

УДК 551.513

Об особенностях формирования глубоких циклонов в Северной Атлантике в осенний период

Е.С. Нестеров, А.Э. Похил, А.В. Федоренко

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

Проанализировано перемещение и эволюция тропических циклонов Омар и Элен в Северной Атлантике. Показано, что спутниковая информация в диапазоне излучения водяного пара (6,2 мкм) дает хорошее представление о том, как взаимодействие тропического и полярно-фронтального циклонов приводит к перекачке энергии тропических циклонов во внетропические циклоны и к их усилению. Внетропические циклоны, подпитанные энергией тропических циклонов, оказывают значительное влияние на погоду в Западной Европе и вызывают штормовое волнение в морях.

Ключевые слова: тропические циклоны, Северная Атлантика, взаимодействие, водяной пар

Peculiarities of deep cyclone formation in the North Atlantic autumn

E.S. Nesterov, A.E. Pokhil, A.V. Fedorenko

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

The movement and evolution of tropical cyclones Omar and Helen in the North Atlantic are analyzed. It is shown that satellite information in the water vapor range (6.2 μm) gives a good idea of how the interaction between the tropical and polar-front cyclones leads to the transfer of tropical cyclone energy to extratropical cyclones and to their strengthening. Extratropical cyclones powered by tropical cyclones have a significant impact on weather in Western Europe and cause storm waves in the seas.

Keywords: tropical cyclones, North Atlantic, interaction, water vapor

Введение

Выходы глубоких циклонов из Северной Атлантики на Европу приводят к большому ущербу и человеческим жертвам. В качестве примера можно привести циклоны Anatol, Kurt, Lothar и Martin в декабре 1999 года, которые вызвали гибель 150 человек и нанесли ущерб странам западной и центральной Европы в размере около 13,5 млрд долларов [2].

Указанные выше циклоны наблюдались в зимний период. Однако глубокие циклоны, вызывающие штормовое волнение в морях Западной

Европы, отмечались и осенью. В данной статье исследуются механизмы взаимодействия тропических циклонов с атмосферной циркуляцией в Северной Атлантике, в результате чего формируются глубокие циклоны.

Трансформация тропических циклонов в Северной Атлантике

Наблюдение за тропическими циклонами (ТЦ) Северной Атлантики ведется с 1851 года. В среднем за сезон формируется 18–19 ТЦ, но в отдельные годы их число может превышать 20. Тропические циклоны способны взаимодействовать с внетропическими возмущениями, усиливая их. В этих процессах выделяются три стадии: тропическая фаза, внетропическая трансформация, повторное углубление [8]. В частности, при взаимодействии тропического циклона с полярным фронтом происходит выброс большого количества энергии, при этом теплые и насыщенные влагой воздушные массы поступают в теплый сектор полярно-фронтального циклона.

В Северной Атлантике за период 1970–1999 гг. 45 % всех тропических циклонов прошли стадию трансформации [10, 11]. Наиболее часто это происходило в сентябре-октябре в области между 40° и 50° с. ш (рис. 1).

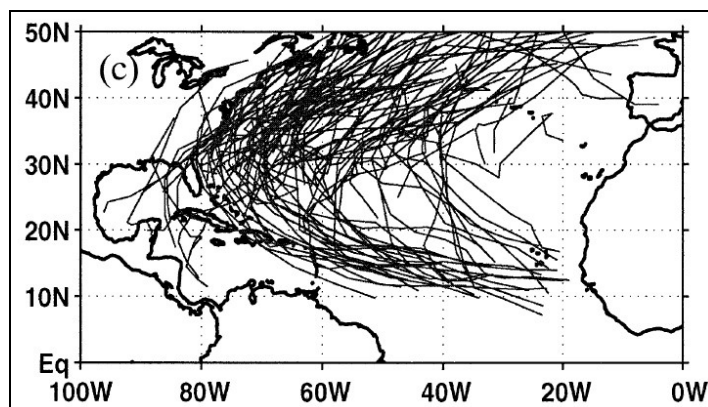


Рис. 1. Траектории тропических циклонов в Северной Атлантике, трансформировавшихся во внетропические в 1970–1999 гг. [11].
Fig. 1. Trajectories of tropical cyclones in the North Atlantic, transformed into extra-tropical cyclones in 1970-1999 [11].

Одним из наиболее интересных примеров взаимодействия тропических циклонов с внетропической атмосферной циркуляцией было формирование трех так называемых «совершенных штормов» (perfect storms) в Северной Америке и Северной Атлантике в октябре-ноябре 1991 года [7].

Один из внетропических штормов прошел две фазы развития, одна из которых была связана с взаимодействием с тропическим циклоном

(ураганом) Grace, а вторая – с сильным возмущением в верхней тропосфере арктического происхождения в восточной части Северной Атлантики. Влияние урагана Grace на развитие внетропического циклона заключалось в усилении адвекции теплого воздуха и увеличении потока скрытого тепла на фоне повышенной бароклинности над Северной Атлантикой [7]. В результате этих взаимодействий внетропический циклон углубился на 49 гПа за 24 ч, т. е. развивался по типу взрывного циклогенеза (рис. 2).

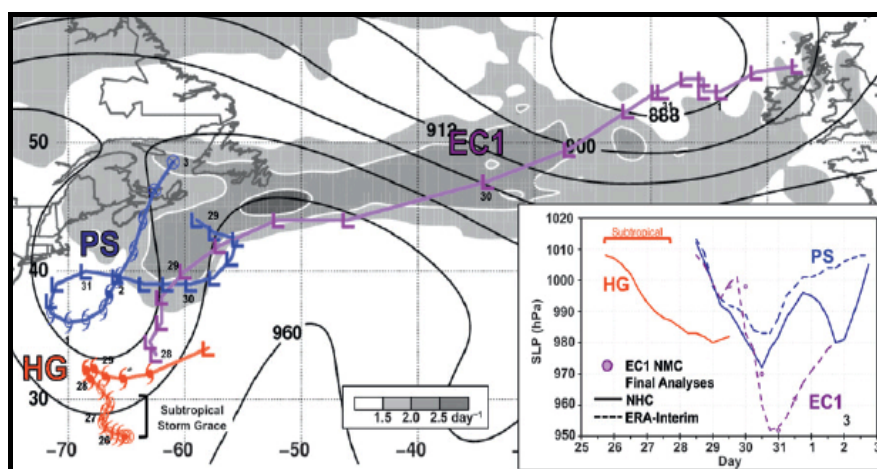


Рис. 2. Траектории «совершенных штормов» (PS), урагана Grace (HG) и внетропического циклона (EC1) 25.10 – 3.11.2001 г. На врезке в правом нижнем углу представлен график изменения давления (гПа) в центре циклонов [7].

Fig. 2. Trajectories of "perfect storms" (PS), hurricane Grace (HG) and extratropical cyclone (EC1) 25.10–3.11.2001. A graph of pressure change (hPa) in the center of the cyclones is shown in the inset in the lower right corner [7].

Представляют интерес попытки сезонного прогноза частоты событий внетропической трансформации тропических циклонов. В [12] получены удовлетворительные результаты ретроспективного прогноза частоты трансформаций в Северной Атлантике с использованием глобальной атмосферной модели высокого разрешения.

Для исследования взаимодействия тропических циклонов с внетропической атмосферной циркуляцией может быть полезной спутниковая информация в разных диапазонах частот, в частности в диапазонах водяного пара (например, ИСЗ МЕТЕОСАТ-5,8,9; диапазоны WV6.3 мкм, WV6.2 мкм) [6].

Излучение радиации в слое ниже 650 гПа полностью поглощается слоем водяного пара, расположенным выше. Таким образом, водяной пар, содержащийся в верхней трети слоя тропосферы, можно назвать

основным излучающим слоем. Различные оттенки серого цвета на изображениях, основанные на измерениях радиационной температуры, представляют собой как температуру слоя пара, так и различную степень насыщения водяным паром в слое 600–300 гПа. Светлые области на снимках соответствуют воздушным массам с повышенной влажностью, а темные – с пониженной. Водяной пар переносится атмосферными движениями, и его можно считать трассером атмосферных перемещений [6].

Ниже рассмотрим два примера взаимодействия тропических циклонов с внетропической атмосферной циркуляцией.

Тропический циклон Омар (Omar)

Траектория ТЦ Омар пролегла в центральной части Северной Атлантики, что характерно для развивающихся осенью тропических циклонов (рис. 3). 14 октября 2008 года ТЦ превратился в тропический шторм и начал двигаться на северо-восток почти по прямолинейной траектории, а 15 октября достиг стадии урагана. Максимальная интенсивность циклона была зарегистрирована 16 октября, когда по данным синоптического анализа NCEP давление в центре циклона составило 968 гПа, а скорость ветра превышала 50 м/с.

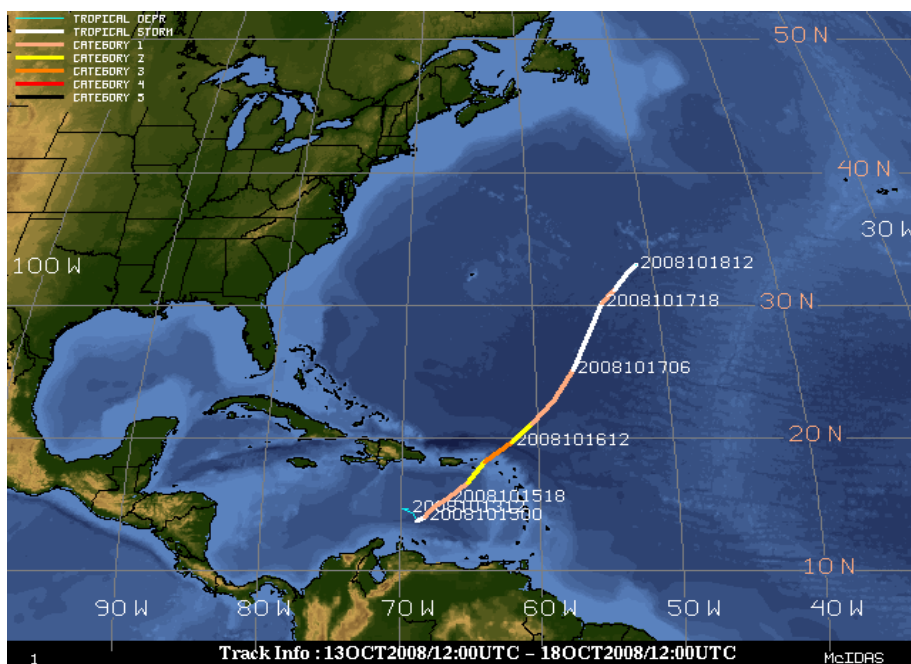


Рис. 3. Траектория ТЦ Омар 13–18.10.2008 г. до взаимодействия с полярным фронтом.

Fig. 3. Trajectory of TC Omar 13-18.10.2008 before the interaction with the polar front.

Дальнейшая эволюция ТЦ Омар исследовалась в [3], где для прогноза траектории и динамики метеорологических полей использовалась мезомасштабная численная модель атмосферы ETA [4, 5]. С определенного момента ТЦ начал активно взаимодействовать с полярным фронтом, спустившимся в низкие широты, и зародившимся на нем внетропическим возмущением синоптического масштаба. В результате взаимодействия внетропический циклон начал быстро углубляться (по данным анализа NCEP, давление в центре составило 17 октября 997 гПа, 19 октября – 974 гПа, 21 октября – 954 гПа) и смещаться на северо-восток, при этом взаимодействие вихрей продолжалось. В результате взаимодействия сформировался перенос теплого и влажного тропического воздуха в северо-восточную часть Атлантического океана и к берегам Европы. Подобное взаимодействие описано также в [9].

Проанализируем поведение ТЦ Омар по спутниковым снимкам в диапазоне водяного пара. 17 октября ТЦ Омар приближается к полярному фронту и далее 18 октября начинается его взаимодействие с полярным фронтом и зародившимся на нем внетропическим циклоном. Возникший в результате взаимодействия мощный перенос тропического воздуха к берегам Европы хорошо виден в потоке с повышенным содержанием водяного пара (рис. 4) и в синоптическом анализе (рис. 5).

Как видно из рис. 5, барическое поле над Балтийским морем характеризуется большими градиентами давления, которые обуславливают штормовые ветры. Расчет по волновой модели SWAN [1] показал, что в отдельных районах Балтийского моря высота волн в этот период достигала 3–4 м (рис. 6).



Рис. 4. Содержание суммарного водяного пара в слое 600–300 гПа 21.10.2008 г. (00 ч) по данным ИСЗ METEOSAT.

Fig. 4. Total water vapor content in the layer 600-300 hPa 21.10.2008 (00 h) according to the METEOSAT satellite data.

Тропический циклон Элен (Helen)

ТЦ Элен образовался 7.09.2018 года у берегов Африки (рис. 7). К 16.09.2018 г. ТЦ Элен, перемещаясь с большой скоростью, за трое суток прошел путь около 2000 км и оказался на широте 42° с. ш., 30° з. д.

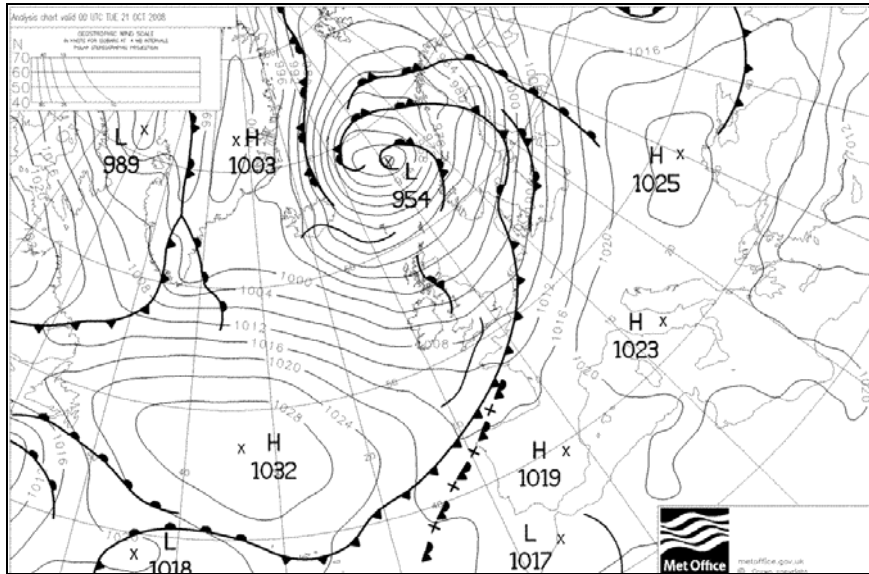


Рис. 5. Приземный синоптический анализ 21.10.2008 г. (00 ч).
Fig. 5. Surface synoptic analysis of 21.10.2008 (00 h).

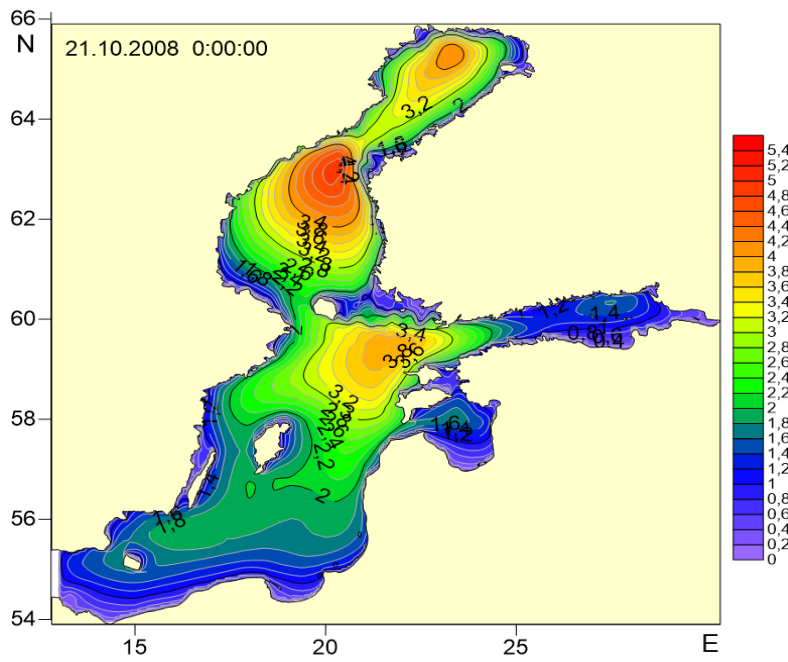


Рис. 6. Расчет высоты волн в Балтийском море по модели SWAN на 21.10.2008 г.
Fig.6. Calculation of wave height in the Baltic sea by SWAN model on 21.10.2008.

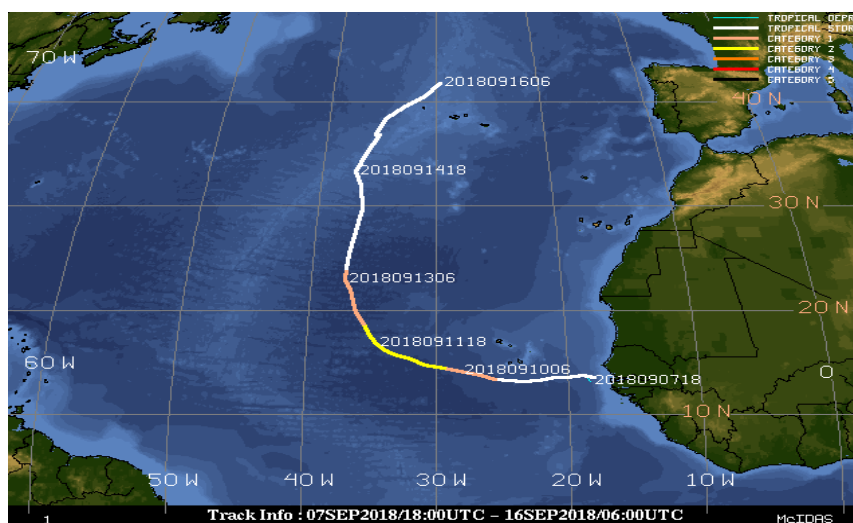


Рис. 7. Траектория перемещения ТЦ Элен 7–16.09.2018 г. до взаимодействия с внетропическим циклоном.

Fig. 7. Trajectory of TC Helen 7-16.09.2018 before the interaction with extratropical cyclone.

На рис. 8 хорошо видно, как ураган Элен приближается к внетропическому циклону и далее происходит объединение этих двух структур. Объединенный вихрь становится значительно более мощным, давление в его центре достигает 990 гПа. Уже 20 сентября это мощное образование имеет три центра низкого давления, и один из них (циклон Бронах) вызывает сильные ветры в Великобритании.

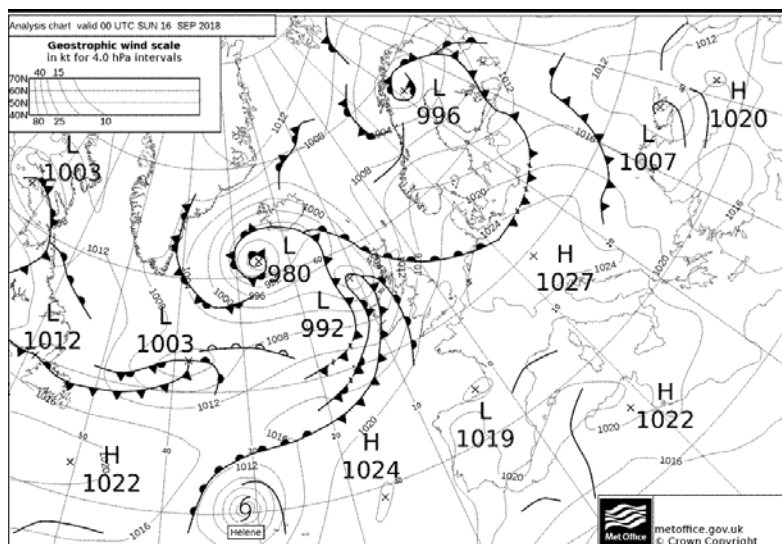


Рис. 8. Приземный синоптический анализ 16.09.2018 г. (00 ч).

Fig. 8. Surface synoptic analysis 16.09.2018 (00 h).

Все это хорошо видно и на спутниковых снимках в диапазоне водяного пара (рис. 9), где видна перекачка энергии урагана к берегам Европы. «Река» пара, тянущаяся из центра Северной Атлантики к северной Европе, превращается в огромный вихрь, покрывающий все пространство от Ирландии до Балтийского моря. Уже 21 сентября этот вихрь движется по направлению к Балтийскому морю и 22 сентября вызывает там штормовое волнение высотой до 4 м.

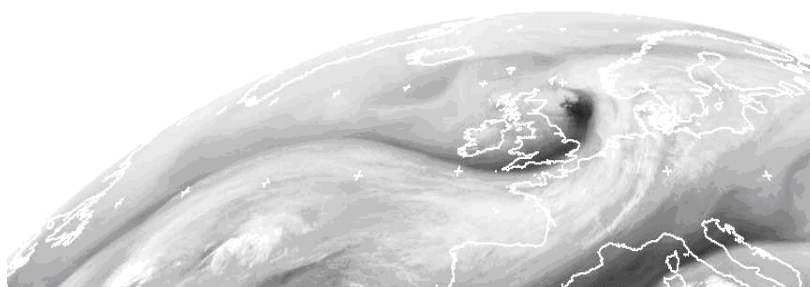


Рис. 9. Содержание суммарного водяного пара в слое 600–300 гПа 21.09.2018 г. (06 ч) по данным ИСЗ METEOSAT.

Fig. 9. Content of total water vapor in the layer 600-300 hPa 21.09.2018 (06 h) according to the METEOSAT satellite data.

Заключение

Проанализировано перемещение и эволюция тропических циклонов Омар и Элен и окружающих их атмосферных структур. Показано, что спутниковая информация в диапазоне излучения водяного пара (~6,2 мкм) дает хорошее представление о том, как взаимодействие тропического и полярно-фронтального циклонов приводит к перекачке энергии тропических циклонов во внетропические циклоны и к их усилению. Внетропические циклоны, подпитанные энергией тропических циклонов, оказывают значительное влияние на погоду в Западной Европе и вызывают штормовое волнение в морях.

Авторы выражают благодарность С.А. Мысленкову за предоставление расчетов полей волнения в Балтийском море.

Список литературы

1. Медведева А.Ю., Мысленков С.А., Медведев И.П., Архипкин В.С., Кречик В.А., Добролюбов С.А. Моделирование ветрового волнения в Балтийском море на прямоугольной и неструктурной сетках на основе реанализа NCEP/CFRSR // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 362. С. 37-54.
2. Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны в атлантико-европейском регионе. М.: Гидрометцентр России, 2018. 104 с.
3. Похил А.Э., Глебова Е.С. Влияние тропического циклона Омар на погоду в Европе // Метеорология и гидрология. 2010. № 9. С. 36-42.

4. Похил А.Э., Глебова Е.С., Смирнов А.В. Расчет на мезомасштабных моделях атмосферы ETA и WRF (NMM) взаимодействия тропических циклонов с полярными фронтами и струйными течениями // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 346. С. 87-102.

5. Похил А.Э., Глебова Е.С., Смирнов А.В. Исследование взаимодействия тропических циклонов и струйных течений по данным расчетов на численных моделях // Метеорология и гидрология. 2013. № 3. С. 5-15.

6. Похил А.Э., Горлач И.А. Образование малых вихрей в верхней тропосфере и блокирующие ситуации // Труды Гидрометцентра России. 2015. Вып. 357. С. 33-50.

7. Cordeira J.M., Bosart L.F. Cyclone interactions and evolutions during the "Perfect Storms" of late October and early November 1991 // Month. Weath. Rev. 2011. Vol. 139, no. 6. P. 1683-1707.

8. Dekker M.M., Haarsma R.J., de Vries H., Baatsen M., van Delden A. Characteristics and development of European cyclones with tropical origin in reanalysis data // Clim. Dyn. 2017. Vol. 50, no. 1-2. P. 445-455.

9. González-Alemán J.J. Use of ensemble forecasts to investigate synoptic influences on the structural evolution and predictability of hurricane Alex (2016) in the midlatitudes // Mon. Wea. Rev. 2018. Vol. 146, no. 10. P. 3143-3162.

10. Hart R. E., Evans J. L. A climatology of the extratropical transition of Atlantic tropical cyclones // J. Climate. 2001. Vol. 14, no. 4. P. 546-564.

11. Jones S.C., Harr P.A., Abraham J., Bosart L.F. et al. The extratropical transition of tropical cyclones: forecast challenges, current understanding, and future directions // Wea. Forecasting. 2003. Vol. 18, no. 6. P. 1052-1092.

12. Liu M., Vecchi G.A., Smith J.A., Murakami H. et al. Towards dynamical seasonal forecast of extratropical transition in the North Atlantic // Geophys. Res. Lett. 2018. Vol. 45, no. 22. P. 12602-12609.

References

1. Medvedeva A.Yu., Myslenkov S.A., Medvedev I.P., Arkhipkin V.S., Krechik V.A., Dobrolyubov S.A. Numerical Modeling of the Wind Waves in the Baltic Sea using the Rectangular and Unstructured Grids and the Reanalysis NCEP/CFSR. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2016, vol. 362, pp. 37-54. [in Russ.].

2. Nesterov E.S. Ekstremal'nye tsiklony v atlantiko-evropejskom regione. Moscow, Gidromettsentr Rossii [Hydrometcenter of Russia], 2018, 104 p. [in Russ.].

3. Pokhil A. E., Glebova E. S. Influence of the tropical cyclone Omar on the weather in Europe. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2010, vol. 35, no. 9, pp. 604-610. DOI: 10.3103/S1068373910090049.

4. Pokhil A.E., Glebova E.C., Smirnov A.V. Calculation of tropical cyclones' and polar fronts and jet-streams interaction on mesoscale models of atmosphere ETA and WRF (NMM). *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2011, vol. 346, pp. 87-102. [in Russ.].

5. Pokhil A.E., Glebova E.C., Smirnov A.V. Studying an interaction between tropical cyclones and jet streams using the numerical simulation data. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2013, vol. 38, no. 3, pp. 141-149. DOI: 10.3103/S1068373913030011.

6. Pokhil A. E., Gorlach I. A. Upper level troposphere water vapor mesoscale eddies and blocking synoptic patterns. *Trudy Gidromettsentra Rossii [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia]*, 2015, vol. 357, pp. 33-50. [in Russ.].

7. Cordeira J.M., Bosart L.F. Cyclone interactions and evolutions during the "Perfect Storms" of late October and early November 1991. *Month. Weath. Rev.*, 2011, vol. 139, no. 6, pp. 1683-1707.

8. Dekker M.M., Haarsma R.J., de Vries H., Baatsen M., van Delden A. Characteristics and development of European cyclones with tropical origin in reanalysis data. *Clim. Dyn.*, 2017, vol. 50, no. 1-2, pp. 445-455.

9. *González-Alemán J.J.* Use of ensemble forecasts to investigate synoptic influences on the structural evolution and predictability of hurricane Alex (2016) in the midlatitudes. *Mon. Wea. Rev.*, 2018, vol. 146, no. 10, pp. 3143-3162.

10. *Hart R. E., Evans J. L.* A climatology of the extratropical transition of Atlantic tropical cyclones. *J. Climate.*, 2001, vol. 14, no. 4, pp. 546-564.

11. *Jones S.C., Harr P.A., Abraham J., Bosart L.F. et al.* The extratropical transition of tropical cyclones: forecast challenges, current understanding, and future directions. *Wea. Forecasting.*, 2003, vol. 18, no. 6, pp. 1052-1092.

12. *Liu M., Vecchi G.A., Smith J.A., Murakami H. et al.* Towards dynamical seasonal forecast of extratropical transition in the North Atlantic. *Geophys. Res. Lett.*, 2018, vol. 45, no. 22, pp. 12602-12609.

Поступила в редакцию 15.04.2019 г.

Received by the editor 15.04.2019.