

О ПРОГНОЗЕ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕВОГО ПОДХОДА

Е.С. Нестеров

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации;
nesterov@mecom.ru*

Введение

В последние годы для прогноза различных характеристик атмосферы и океана широко используется ансамблевый подход. Большинство ведущих метеорологических центров имеют глобальные или региональные системы ансамблевого прогноза состояния атмосферы, изданы документы ВМО по системам ансамблевого прогнозирования [7]. В Гидрометцентре России разработана система кратко- и среднесрочного прогноза [1], совместно с Северо-Евразийским климатическим центром (СЕАКЦ) реализован мультимодельный подход в прогнозах на месяц и сезон на базе отечественных моделей [2, 4].

Развитию мультимодельного подхода посвящен проект TIGGE (The International Grand Global Ensemble), который является основной компонентой международного эксперимента THORPEX (The Observing System Research and Predictability Experiment) [27]. Цель TIGGE – обеспечить обмен данными ансамблевых прогнозов между ведущими метеорологическими центрами, а также способствовать взаимодействию научных и оперативных организаций в использовании продукции ансамблевых прогнозов.

В результате выполнения проекта TIGGE показана перспективность создания большого мультимодельного ансамбля на базе ансамблей нескольких прогностических центров. Продемонстрировано преимущество такого подхода в прогнозировании

тропических и внетропических циклонов, погодных режимов, струйных течений и др. В [21] приведены примеры успешных прогнозов экстремальных температур и осадков, тропических ураганов и наводнений, составленных с помощью мультимодельного ансамбля на основе ансамблей четырех прогностических центров. Использование мультимодельных ансамблей позволяет повысить надежность прогноза опасных явлений с заблаговременностью до 15 суток.

Также выполняются международные проекты по обмену долгосрочными ансамблевыми прогнозами, такие как APCC (<http://www.apcc21.org/main.do?lang=en>), WMO LRF MME (<https://www.wmolc.org/>) и др.

В океане ансамблевый подход используется в основном для прогноза волнения. Это обусловлено тем, что при прогнозировании волнения всегда присутствует некоторая неопределенность, основными источниками которой являются ошибки в прогнозе ветра и несовершенство модели волнения. Решение этой проблемы состоит в использовании группы прогнозов (ансамбля) по ряду незначительно отличающихся начальных условий и/или группы численных моделей волнения, когда в качестве членов ансамбля берутся прогнозы нескольких моделей (мультимодельный подход).

В первом случае с помощью определенных процедур формируется ансамбль начальных данных, являющихся репрезентативной выборкой из распределения возможных состояний волнения, и производится многократное интегрирование модели волнения с использованием этих данных в качестве начальных. Среднее по ансамблю дает лучшую (по сравнению с единичным, детерминированным прогнозом) оценку первого момента распределения состояния волнения в будущем (в частности за счет того, что осреднение позволяет отфильтровать непредсказуемые эффекты в прогнозе), а разброс прогностических характеристик в ансамбле может рассматриваться как индикатор возможной точности прогноза. Ансамблевый подход позволяет уменьшить неопределенность прогноза волнения и повысить его качество.

В настоящее время ансамблевые прогнозы волнения в оперативном режиме выпускаются в Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) [14, 26, 28], Метеорологической

службе Великобритании (Met Office) [9, 10], Национальном центре США по прогнозам окружающей среды (NCEP) [8, 30] и др.

В данной статье дается обзор работ по использованию ансамблевого подхода в прогнозе характеристик атмосферы и океана. Основное внимание в прогнозе характеристик атмосферы уделяется тем из них, которые оказывают наибольшее влияние на океан.

Прогноз характеристик атмосферной циркуляции

Наибольшее количество работ, в которых на основе ансамблевого подхода прогнозируются характеристики атмосферы, влияющие на состояние океана, посвящено прогнозу индексов атмосферной циркуляции. Значительные колебания индексов, как правило, характеризуют атмосферные процессы, вызывающие сильные изменения в таких характеристиках океана, как волнение и температура воды [5].

Одним из индексов, вызывающих наибольший интерес, является индекс североатлантического колебания (САК). В Европейском центре среднесрочных прогнозов погоды прогнозы САК на основе ансамблевого подхода выпускаются с 2002 г. [28]. Прогноз САК на 32 дня считается два раза в неделю. Ансамбль включает 51 член; пространственное разрешение составляет 32 км при прогнозе на первые 10 дней и 65 км на остальные дни. Коэффициент корреляции для прогноза на 2 дня равен 0,8; на 3 дня – 0,6; на 4 дня – 0,5. Прогноз на месяц представляется в виде средних значений за 7 дней.

В настоящее время в прогнозе САК есть улучшение по сравнению с 2002 г. [28]. Частично это связано с улучшением прогнозов колебания Маддена-Джулиана, которое является важным источником предсказуемости на месячном масштабе, в частности, от фазы этого колебания зависит фаза САК.

В [23] с использованием двух ансамблевых систем на основе моделей океан – атмосфера для периода 1959–2001 гг. показано, что средний за зиму индекс САК потенциально предсказуем с заблаговременностью 1 месяц. Преимущество над климатическим прогнозом оказалось довольно малым (6 %), но статистически значимым.

В [32] на основе мультимодельных ансамблевых прогнозов показана потенциальная предсказуемость индекса PNA (Pacific-North America) на масштабах от дней до сезона. Показано, что успешность мультимодельного прогноза выше, чем у прогнозов по отдельным моделям. Потенциальная предсказуемость увеличивается с осреднением от дней к месяцам. Основным источником сезонной предсказуемости PNA является влияние Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК).

В проекте DEMETER в мультимодельном ансамблевом прогнозе использовались семь глобальных моделей океан – атмосфера, которые интегрировались на 6 месяцев [24]. Было получено, что мультимодельный ансамбль дает более высокие результаты, чем отдельные члены ансамбля. Успешность возрастает в годы ЭНЮК. Также оценивалась успешность прогнозов индексов PNA и САК, при этом получена более высокая успешность мультимодельного ансамбля.

В [3] исследовалась способность глобальной полулагранжевой модели ПЛАВ воспроизводить на месячном и сезонном масштабах режимы атмосферной циркуляции. Прогнозировались средние по ансамблю поля геопотенциала H500, по которым считались индексы циркуляции, в том числе САК и PNA. Было получено, что при интегрировании на первый месяц модель успешно воспроизводит первые основные моды изменчивости циркуляции, объясняющие 85–90 % накопленной дисперсии. В прогнозах на 2, 3, 4-й месяцы для всех индексов полезного сигнала нет.

С 2015 г. на сайте СЕАКЦ размещается прогностическая информация о состоянии индексов САК, АО и др., рассчитанных с использованием ансамблевых прогнозов по модели ПЛАВ на предстоящий сезон.

Из других параметров атмосферной циркуляции, прогнозируемых на основе ансамблевого подхода, можно выделить характеристики циклонов, погодных режимов и др. В [17] на основе девяти ансамблевых систем прогнозировались характеристики (положение, интенсивность и скорость распространения) 774 циклонов в период 1.02 – 31.07.2008 г. Учитывались только циклоны с временем жизни не менее двух дней и пройденным расстоянием

не менее 1000 км. Наилучшие результаты по всем характеристикам показали прогнозы ЕЦСПП. Оказалось, что все системы занижают скорость распространения циклонов. В прогнозе на 5 дней это занижение выливается в длине пройденного пути на 200–400 км меньше фактического.

В [16] исследовалась возможность региональной ансамблевой прогностической системы MOGREPS-15 прогнозировать на 15 суток характеристики циклонов. Получено, что радиус области успешного прогноза увеличивается от 650 км при прогнозе на 12 ч до 950 км при прогнозе на 7 суток. Успешность прогноза остается на удовлетворительном уровне в течение 8 суток (для всех циклонов независимо от интенсивности) и в течение 14 суток для наиболее глубоких циклонов.

В [14] оценивалась успешность среднесрочных прогнозов погоды (на 15 дней) в зависимости от преобладающего режима циркуляции атмосферы в Северной Атлантике на момент выпуска прогноза. Рассматривались четыре режима: положительная и отрицательная фаза САК, скандинавский блокинг (SB) и атлантический гребень (AR). Использовался ансамбль из 50 членов с возмущением начальных условий. Было получено, что прогнозы успешны до 9 дней, если в начальный момент преобладали режимы SB и AR, и до 10,5 дней при любой фазе САК в начальный момент. Хуже всего прогнозируется переход от сильного зонального переноса к блокирующей ситуации.

В [15] на основе ансамблевого подхода прогнозировалось положение атмосферного струйного течения (СТ) в Северной Атлантике. Рассматривались три кластера положения СТ: среднее (невозмущенное) положение и два кластера, представляющие сдвиг СТ к северу и к югу от среднего положения. Прогнозировались вероятности перехода СТ между кластерами. Прогнозы составлялись для холодной части года (октябрь–февраль) в 2007–2010 гг.

Получены положительные результаты для прогнозов на 15 суток. Наименее успешны прогнозы в тех случаях, когда СТ находится в северном кластере. Это согласуется с тем фактом, что по данным наблюдений за 23 года наименее устойчиво положение СТ именно в северном кластере.

В [25] на основе мультимодельных ансамблей, включающих 11 гидродинамических моделей атмосфера – океан, были выполнены расчеты на зимний сезон характеристик штормов в Северной Атлантике для периода 1958–2001 гг. Шторм определялся как область с минимальным размером $150\,000\text{ км}^2$, в которой скорость ветра превышала заданный порог в течение не менее 18 часов. Были получены удовлетворительные результаты для частоты штормов и неудовлетворительные для их интенсивности.

Возможность сезонного прогноза траекторий внетропических циклонов на основе ансамблевого подхода с использованием прогностической модели GFDL с высоким разрешением исследовалась в [31]. Расчеты проводились на основе ансамбля из 12 членов для периода 1982–2014 гг. Было получено, что как для зимнего, так и для летнего сезонов основная предсказуемость траекторий циклонов связана с явлением ЭНЮК. Причем сдвиги шторм-треков в северных частях Тихого и Атлантического океанов в зависимости от фазы ЭНЮК предсказуемы с заблаговременностью до 9 месяцев.

Показателен опыт ЕЦСПП в прогнозе экстремальных штормов на основе ансамблевого подхода. Одними из первых таким путем были спрогнозированы штормы Anatol, Lothar, Martin в декабре 1999 г., которые нанесли большой ущерб странам Западной Европы [12]. Анализ прогнозов показал, что ансамблевый подход позволяет спрогнозировать экстремальные штормы с заблаговременностью от 6 до 7,5 суток. Интересно, что детерминистический прогноз не дал полезной информации о возникновении этих штормов.

В [12] отмечается, что среднее по ансамблю в случае экстремальных штормов может не содержать полезной информации. В то же время карты с прогнозами каждого члена ансамбля могут предоставить прогнозисту сведения о возможных опасных явлениях. Также ценным прогностическим продуктом могут быть карты с вероятностью возникновения приземного атмосферного давления ниже порогового значения. В случае указанных трех штормов пороговое значение равнялось 980 гПа.

В осенне-зимний период 2013–2014 гг. на северо-запад Европы обрушились несколько штормов. Наиболее сильными из них

были штормы Christian (28.10.2013 г.) и Xaver (5.12.2013 г.), скорость ветра в которых превышала 50 м/с. Наиболее сильные порывы ветра наблюдались в Северном море, на побережье Дании, Нидерландов, Германии и Швеции. Траектории этих штормов и ожидаемые скорости ветра были предсказаны в ЕЦСПП на основе ансамблевого прогноза с высоким разрешением с заблаговременностью 5–6 суток [18].

Прогноз ветрового волнения и штормовых нагонов

Один из путей увеличения заблаговременности прогноза характеристик волнения заключается в применении ансамблевого подхода, когда для атмосферного форсинга используются результаты прогноза по ансамблю (в том числе на основе нескольких моделей), а прогноз характеристик волнения также реализуется на основе ансамбля [6]. Такой подход позволяет повысить заблаговременность прогноза волнения до 15–20 суток.

Ансамблевый подход к прогнозу волнения начал применяться в ЕЦСПП в 1998 г., в Национальной службе погоды США в 2005 г., в Центре численных прогнозов метеорологии и океанографии военно-морского флота США в 2006 г. и в Норвежском метеорологическом институте в 2008 г. Вероятностные прогнозы волнения позволили повысить надежность обеспечения судов рекомендованными курсами [8].

ЕЦСПП ежедневно выпускает глобальные прогнозы вероятности возникновения волнения с высотой больше 2, 4, 6 и 8 м на основе ансамблевой прогностической системы с использованием модели WAM. В качестве примера рассмотрим прогноз волнения в Норвежском море, где 10–11 ноября 2001 г. на нефтяных платформах Heidrun и Draugen были зарегистрированы волны высотой более 15 м, а наибольшая волна достигала 25 м [26]. На судне погоды Mike (66° с. ш., 2° в. д.) волнение достигало 15,5 м.

Из рис. 1 видно, что в прогнозе на 5 дней вероятность возникновения волн высотой более 8 м в районе Mike больше 50 %, в районе платформ Heidrun и Draugen – от 40 до 45 %. Таким образом, эти экстремальные условия были предсказаны на основе ансамблевого прогноза с заблаговременностью 5 дней.

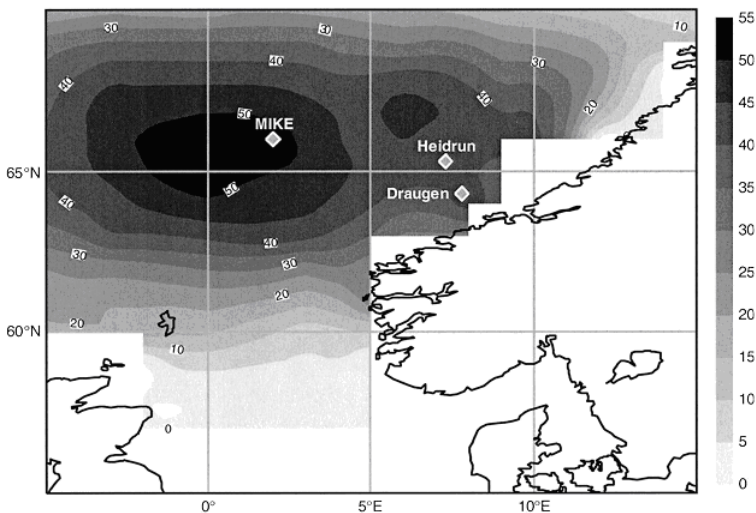


Рис. 1. Прогноз вероятности возникновения волн высотой более 8 м в Норвежском море на 11.11.2001 г. [25].

В этой же статье дается оценка экономической эффективности использования ансамблевого прогноза волнения в сравнении с детерминистическим прогнозом и прогнозом на основе месячного климата волнения. В качестве продукции ансамблевого прогноза использовался прогноз превышения высоты волн 2, 3 и 4 м в вероятностной форме на трое суток. Оценки рассчитывались для 734 рейсов судна к буровой платформе в Северном море. Оказалось, что наименьшие затраты дает использование ансамблевого прогноза, на втором месте – детерминистического. Затраты при использовании климата волнения могут более чем в 3 раза превышать затраты при использовании ансамблевого прогноза. Вопросы экономической эффективности ансамблевого прогноза волнения рассмотрены также в [13].

В США создан первый мультицентровый ансамбль вероятностных прогнозов ветрового волнения, в котором комбинируются ансамблевые прогнозы волнения Национального центра США по прогнозам окружающей среды (NCEP) и Центра численных прогнозов метеорологии и океанографии военно-морского флота США

(FNMOС) [8, 30]. Прогнозы на основе этого ансамбля выпускаются в оперативном режиме с 1 ноября 2011 г. Предполагается включение в ансамбль продукции ансамблевого прогноза волнения Центра окружающей среды Канады.

В комбинируемых ансамблях используется одна и та же версия модели WAVEWATCH III. Прогноз дается для области Мирового океана от 78° ю. ш. до 78° с. ш., шаг сетки 1 градус. Ансамбли состоят из 20 членов, прогноз дается на 16 дней. Создание мультицентрового ансамбля позволило значительно улучшить прогнозы ветрового волнения по сравнению с прогнозами отдельных ансамблей. В качестве примера на рис. 2 представлен прогноз вероятности возникновения волнения высотой более 12 футов, вызванного тайфуном Маон.

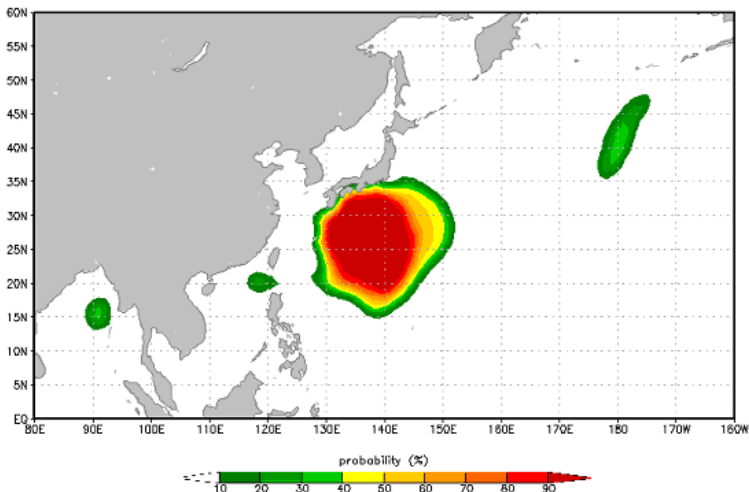


Рис. 2. Прогноз вероятности возникновения волнения высотой более 12 футов (3,7 м) в западной части Тихого океана на 18.07.2011 г. [8].

Наиболее сложен прогноз волнения в зоне тропических циклонов (ТЦ), где скорость ветра может достигать 90–100 м/с, а высота волн 14–16 м. Большие градиенты в поле скорости ветра ТЦ и быстро меняющееся направление ветра создают крайне сложное поле волнения. Волны, генерируемые в ТЦ, обычно представляют

комбинацию ветровых волн и волн зыби. В [19, 20] на основе ансамблевого подхода рассчитаны поля ветра и волнения для 12 ТЦ в Мексиканском заливе. Для расчета поля ветра использовалась специальная технология, представляющая комбинацию данных по ветру регионального реанализа NARR и параметрической модели ветра; технология была протестирована по данным наблюдений на буях. Наилучшие результаты расчетов получены для случаев, когда радиус максимального ветра в области ТЦ был меньше 20 морских миль.

Интересен опыт использования ансамблевых прогнозов для расчета режимных характеристик волнения. В [11] для расчета режимных характеристик значительной высоты волн в северо-восточной части Атлантического океана, Северном и Норвежском морях были использованы ансамблевые прогнозы волнения ЕЦСПП на 10 суток в период с 1999 по 2009 г. Получено, что ансамблевые прогнозы дают более высокие значения высоты волн, чем реанализы ERA-40 и ERA-Interim, и лучше согласуются с данными реанализа NORA10 с высоким пространственным разрешением 10 км. Делается вывод, что использование ансамблевых прогнозов позволяет получать более точные режимные характеристики волнения по сравнению с традиционными реанализами.

В [29] на основе ансамблевого подхода получены характеристики трендов и низкочастотной изменчивости внетропических циклонов за 1871–2010 гг. по данным глобального реанализа 20CR, который представляет собой мультимодельный ансамбль из 56 членов. Получено, что за указанный период циклоническая активность возросла, причем в Южном полушарии больше, чем в Северном. В Северном полушарии увеличение активности наиболее выражено в средних широтах Тихого океана и в высоких широтах Атлантического океана и связано с увеличением продолжительности штормов. Также отмечен сдвиг к северу шторм-треков в обоих океанах. В то же время циклоническая активность в средних широтах Северной Атлантики и в Южной Европе ослабла. Средние статистики по всем членам ансамбля хорошо согласуются с данными реанализа NCEP/NCAR, полученными за период с 1951 по 2010 год.

Наряду с широким использованием ансамблевого подхода для расчета и прогноза характеристик волнения, есть попытки его использования для прогноза других морских явлений, как, например, штормовых нагонов. В [22] с помощью ансамбля из 50 членов рассчитаны характеристик 10 штормовых нагонов в 2010 г. в Адриатическом море для Венеции. Было получено, что ошибки ансамблевых прогнозов меньше, чем ошибки детерминистических прогнозов.

В декабре 2013 г. шторм Xaver вызвал штормовой нагон в Северном море, самый сильный за последние 60 лет (повышение уровня в Гамбурге составило 6 м). Этот нагон был спрогнозирован на основе ансамблевой гидродинамической модели течений и уровня; ансамбль состоял из 51 члена [18].

Заключение

В настоящее время большинство ведущих метеорологических центров имеют глобальные или региональные системы ансамблевого прогноза состояния атмосферы. Проблемам развития ансамблевых прогнозов посвящены крупные международные проекты, такие как DEMETER, THORPEX, TIGGE. В результате выполнения проекта TIGGE показана перспективность создания большого мультимодельного ансамбля на базе ансамблей нескольких прогностических центров.

Наибольшее количество работ, в которых на основе ансамблевого подхода прогнозируются характеристики атмосферы, влияющие на состояние океана, посвящено прогнозу индексов атмосферной циркуляции. Из других параметров атмосферной циркуляции, прогнозируемых на основе ансамблевого подхода, можно выделить характеристики циклонов, погодных режимов, атмосферного струйного течения и др. Большую ценность представляет опыт ЕЦСПП в прогнозе экстремальных штормов. Анализ прогнозов показал, что ансамблевый подход позволяет спрогнозировать экстремальные штормы с заблаговременностью до 7,5 суток.

В океане ансамблевый подход используется в основном для прогноза волнения. При этом для атмосферного форсинга используются результаты прогноза по ансамблю (в том числе на основе

нескольких моделей), а прогноз характеристик волнения также реализуется на основе ансамбля. Такой подход позволяет повысить заблаговременность прогноза волнения до 15–20 суток. Наряду с широким использованием ансамблевого подхода для расчета и прогноза характеристик волнения, есть попытки его использования для прогноза других морских явлений, как, например, штормовых нагонов.

Список использованных источников

1. Астахова Е.Д. Ансамблевый среднесрочный прогноз погоды: реализация технологии на современной компьютерной базе // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 346. – С. 38–52.
2. Вильфанд Р.М., Тищенко В.А., Хан В.М. Мультимодельный подход при прогнозировании приземной температуры воздуха на сезон // Труды Гидрометцентра России. – 2008. – Вып. 342. – С. 3–16.
3. Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости. Часть I. Статистический анализ и гидродинамическое моделирование // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 3. – С. 5–22.
4. Киктев Д.Б., Хан В.М., Крыжов В.Н. и др. Технология выпуска долгосрочных прогнозов Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып. 358. – С. 36–58.
5. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М.: Триада лтд, 2013. – 144 с.
6. Нестеров Е.С. О возможности прогноза опасного волнения в Северной Атлантике с повышенной заблаговременностью // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 350. – С. 5–12.
7. Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию // ВМО-№ 1091. – 2012. – 30 с.
8. Alves J-H.G.M. et al. The NCEP-FNMOC combined wave ensemble product // Bull. Amer. Met. Soc. – 2013. – Vol. 94, No. 12. – P. 1893–1905.
9. Arribas A. et al. The GloSea4 ensemble prediction system for seasonal forecasting // Mon. Weath. Rev. – 2011. – Vol. 139, No. 6. – P. 1891–1910.
10. Bocquet F-X. Development of wave ensemble system at the Met Office // 11 International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Halifax, October 19–23. – 2009. – JCOMM-TR-52. – WMO/TD-NO.1533. – <http://www.waveworkshop.org/11thWaves/Program Frameset.htm>

11. *Breivik Q. et al.* Wave extremes in the Northeast Atlantic from ensemble forecasts // *J. Clim.* – 2013. – Vol. 26, No. 19. – P. 7525–7540.
12. *Buizza R., Hollingsworth A.* Severe weather prediction using the ECMWF EPS: The European storms of December 1999 // *ECMWF Newsletter.* – 2001. – No. 89. – P. 2–12.
13. *Carrasco A., Saetra O., Bidlot J.-R.* Wave ensemble predictions for safe offshore operations // 12 International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Hawaii, October 31 – November 4, 2011. – JCOMM-TR-67. – <http://www.jcomm.info/WW12>
14. *Ferranti L., Corti S., Janousek M.* Flow-dependent verification of the ECMWF ensemble over the Euro-Atlantic sector // *ECMWF Newsletter.* – 2014. – No. 139. – P. 34–38.
15. *Frame T. H. A. et al.* Ensemble prediction of transitions of the North Atlantic eddy-driven jet // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* – 2011. – Vol. 137, No. 658. – P. 1288–1297.
16. *Frame T.H.A. et al.* Predictability of frontal waves and cyclones // *Wea. Forecasting.* – 2015. – Vol. 30, No. 5. – P. 1291–1302.
17. *Froude L.S.R.* TIGGE: comparison of the prediction of Northern hemisphere extratropical cyclones by different ensemble prediction systems // *Wea. Forecasting.* – 2010. – Vol. 25, No. 3. – P. 819–836.
18. *Hewson T. et al.* Windstorms in northwest Europe in late 2013 // *ECMWF Newsletter.* – 2014. – No. 139. – P. 22–28.
19. *Lazarus S.M. et al.* Evaluation of a wind-wave system for ensemble tropical cyclone wave forecasting. Part I: Winds // *Wea. Forecasting.* – 2013. – Vol. 28, No. 2. – P. 297–315.
20. *Lazarus S.M. et al.* Evaluation of a wind-wave system for ensemble tropical cyclone wave forecasting. Part II: Waves // *Wea. Forecasting.* – 2013. – Vol. 28, No. 2. – P. 316–330.
21. *Matsueda M., Nakazawa T.* Early warning products for severe weather events derived from operational medium-range ensemble forecasts // *Meteor. Appl.* – 2014. – Vol. 22. – P. 213–222.
22. *Mel R., Lionello P.* Storm surge ensemble prediction for the city of Venice // *Wea. Forecasting.* – 2014. – Vol. 29, No. 4. – P. 1044–1057.
23. *Muller W.A., Appenzeller C., Schar C.* Probabilistic seasonal prediction of the winter North Atlantic oscillation and its impact on near surface temperature // *Clim. Dyn.* – 2005. – Vol. 24. – P. 213–226.
24. *Palmer T.N. et al.* Development of a European multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER) // *BAMS.* – 2004. – Vol. 85, No. 6. – P. 853–872.

25. *Renggli D. et al.* The skill of seasonal ensemble prediction systems to forecast wintertime windstorm frequency over the North Atlantic and Europe // *Mon. Weath. Rev.* – 2011. – Vol. 139, No. 9. – P. 3052–3068.
26. *Saetra O., Bidlot J.R.* Potential benefits of using probabilistic forecasts for waves and marine winds based on the ECMWF ensemble prediction system // *Wea. Forecasting.* – 2004. – Vol. 19, No. 4. – P. 673–689.
27. *Swinbank R. et al.* The TIGGE project and its achievements // *BAMS.* – 2016. – Vol. 97, No. 1. – P. 49–67.
28. *Vitart F.* Evolution of ECMWF sub-seasonal forecast skill scores // *Quart. J. Roy. Met. Soc.* – 2014. – Vol. 140, No. 683. – P. 1889–1899.
29. *Wang L. et al.* Trends and low frequency variability of extra-tropical cyclone activity in the ensemble of twentieth century reanalysis // *Clim. Dyn.* – 2013. – Vol. 40. – P. 2775–2800.
30. *Wittmann P. et al.* NCEP/FNMOC joint WAVEWATCH III ensemble forecasting system // 12 International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Hawaii, October 31 – November 4. – 2011. – JCOMM-TR-67. – <http://www.jcomm.info/WW12>
31. *Yang X. et al.* Seasonal predictability of extratropical storm tracks in GFDL's high-resolution climate prediction model // *J. Clim.* – 2015. – Vol. 28, No. 9. – P. 3592–3611.
32. *Younas W., Tang Y.* PNA predictability at various time scales // *J. Clim.* – 2013. – Vol. 26, No. 22. – P. 9090–9114.

Поступила в редакцию 06.07.2016 г.