

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗАХ СОВМЕСТНЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА НА ПРОГНОЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОЛЕЙ

Т.В. Красюк¹, М.А. Толстых^{2,1}, Е.В. Буторина³

*¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации;*

²Институт вычислительной математики РАН;

*³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
krasjuk@mail.ru; mtolstykh@mail.ru*

Введение

Требования к оперативным прогнозам быстро растут. Это касается прогнозов разной заблаговременности. Прогнозирование различных метеорологических данных на следующий сезон требует моделирования динамических взаимодействий между всеми частями земной системы, поэтому многие центры применяют совместные модели атмосферы и океана.

Традиционно метеорологические центры выпускают прогнозы с заблаговременностью до 7–10 дней, вероятностные прогнозы на следующий месяц и на следующий сезон. В субсезонном прогнозировании рассматривается промежуток между среднесрочными прогнозами и сезонными, т. е. период от 10 дней до трех месяцев. Ни начальные условия, ни состояние поверхности сами по себе не являются достаточными для субсезонного прогнозирования.

Заполнение субсезонного пробела имеет важное значение для обеспечения действительно бесшовного прогнозирования погоды и климата. Именно на это нацелена деятельность международного проекта S2S [2], осуществляемого в рамках Всемирной программы

метеорологических исследований Всемирной метеорологической организации (ВМО).

10–11 мая 2016 г. в Барселоне состоялась конференция «Начальный шок, смещение и коррекция средних ошибок в прогнозе климата» [3]. Конференция была посвящена, в том числе, выработке стратегии уменьшения начального шока при расчетах долгосрочных прогнозов с помощью совместных моделей атмосферы, океана и морского льда, методам коррекции средних ошибок в совместных моделях атмосферы, океана и морского льда.

В свою очередь, в рамках деятельности Рабочей группы по прогнозам на масштабах от недель до десятилетий (WGSIP) Всемирной программы исследований климата ВМО выполняется проект LFRTIP (the Long-Range Forecast Transient Intercomparison Project) [4].

Целями этого международного проекта является создание архивной базы климатологии ретроспективных прогнозов и связанные с ней диагностические исследования, которые могут продемонстрировать переходные процессы в поведении совместных моделей атмосферы и океана, связанные с необходимостью «сшивания» граничных условий на поверхности океана.

Переходное поведение моделей распространяется на долгосрочные прогнозы от субсезонных до климатических. Возникает необходимость определения длительности и характера переходных явлений при различных методах инициализации совместных моделей, а также устранения возможных систематических ошибок.

Настоящая работа посвящена изучению влияния указанных переходных процессов на качество субсезонных прогнозов метеорологических полей, таких как облачность, осадки, температура поверхности океана, поток длинноволновой радиации на поверхности и др.

Под ретроспективным прогнозом понимается результат численного эксперимента по прогнозированию данных уже прошедшего периода, позволяющий сопоставлять полученные значения переменных прогностической модели с известными (фактическими или интерполированными) данными. Если известны воздействия на систему и результаты этих воздействий, т. е. фактическое развитие системы за определенный период, то ретроспективный прогноз

покажет, приведут ли те же воздействия на прогностическую модель к аналогичным последствиям. В ретроспективном прогнозе сравниваются траектория (в фазовом пространстве) анализируемой модельной переменной и траектория соответствующей характеристики реальной системы. Таким образом, ретроспективный прогноз (ретропрогноз или хайндкаст, reforecast – hindcast) позволяет оценить качество модели и точность прогнозирования будущих состояний системы.

При расчете краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды погрешность модели обычно не настолько велика, чтобы требовалось использовать множество ретропрогнозов, но для субсезонных прогнозов ошибки модельного динамического ряда слишком велики, чтобы их игнорировать. Поэтому для расчета систематической ошибки модели необходим обширный набор ретропрогнозов на протяжении нескольких десятков лет.

Описание численного эксперимента

Главным результатом работы описанного выше проекта S2S является создание обширной базы данных, содержащей субсезонные (до 60 дней) текущие оперативные прогнозы, а также ретропрогнозы 11 оперативных центров разных стран и континентов.

Данные архивируются в формате GRIB2 и требуют преобразования в NetCDF для дальнейшей обработки и анализа. База данных S2S доступна для научного сообщества с мая 2015 года и представляет собой важный инструмент для заполнения существующих пробелов в прогнозировании погоды и климата [5]. В частности, эта база данных поможет определить общие достижения и недостатки в моделировании и прогнозировании субсезонного диапазона. База данных S2S также является важным инструментом для тематических исследований экстремальных явлений.

В настоящем исследовании анализировалась динамика поверхностных полей гидродинамических переменных, полученных в результате ретроспективного прогнозирования на 30 суток, усредненных по регионам. Были рассмотрены два тропических региона: R1 в Тихом океане и R2 в Атлантическом океане, а также регион R3 в Северной Атлантике. Регионы выбирались на поверхности океана так, чтобы максимально учесть взаимное влияние атмосферы и океана в различных частях поверхности Земли.

Для анализа были выбраны поверхностные поля следующих переменных:

- tp (total precipitations) – суммарные осадки;
- sst (sea surface temperature) – температура поверхности океана;
- tcc (total cloud cover) – облачность.

Исследуемые переменные усреднялись по региону, после чего проводился анализ ежедневной динамики среднего значения каждой переменной по региону за месяц, а также аномалий (отклонений от реанализа) каждой переменной. В численном эксперименте использованы реанализы перечисленных выше переменных из базы ERA Interim [1]. Заметим, что использованные нами данные реанализа являются чисто модельными, а не результатом усвоения данных наблюдений.

Все операции усреднения по регионам предварительно конвертированных в формат NetCDF данных производились в приложении GRADS. Далее усредненные по ансамблям значения экспортировались в табличный процессор MS Excel, где подвергались окончательному анализу.

Участники ансамбля ретропрогнозов выбирались из архивной базы проекта S2S. При этом анализировались только ретропрогнозы метеоцентров, применяющих совместные модели атмосферы и океана. Кроме того, учитывалось, сколько лет представлено в архиве ретропрогнозов каждого метеоцентра. В результате такого отбора к численному эксперименту были допущены ретропрогнозы четырех метеоцентров:

- Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды ECMWF (ретропрогнозы за 1995–2014 гг.),
- Японское метеорологическое агентство JMA (1995–2010 гг.),
- Метеобюро Великобритании UKMO (1996–2009 гг.),
- Национальный центр по прогнозированию окружающей среды NCEP, Канада (1999–2010 гг.).

Анализ проводился для ансамблей ретропрогнозов двух сезонов, даты старта ретропрогнозов были выбраны согласно рекомендациям [4]:

- 1 мая плюс-минус один день;

– 1 ноября плюс-минус один день.

Далее приняты следующие обозначения:

– RF – рефоркаст (ретроспективный прогноз);

– RA – реанализ;

– аномалия $a = RF - RA$ усреднялась по ансамблю.

Результаты сравнительного анализа динамики аномалий ретропрогнозов поверхностных полей представлены ниже на рис 1–6.

Обсуждение результатов

При сравнении динамики аномалий ретропрогнозов поверхностных полей выбранных для численного эксперимента метеоцентров необходимо принять во внимание различные условия инициализации моделей и различное число участников ансамбля ретропрогнозов для разных центров.

На рис. 1 и 2 представлена динамика средних аномалий для поверхностного поля облачности.

Для региона 1 (тропики, Тихий океан) сравниваются показатели четырех метеоцентров для ретропрогнозов, стартовавших 1 мая. Заметим, что в регионе 1 (рис. 1) переходный процесс длится примерно 7 дней, после чего кривые от разных центров не только сближаются, но и ведут себя аналогичным образом. Значительно отличается динамика исследуемой величины по ретропрогнозам метеоцентра NCEP, показывающая некоторое систематическое отклонение от других центров. Одной из причин такого отличия может быть меньшее число участников ансамбля. Второй причиной систематических отклонений, безусловно, является различие применяемых для прогнозов моделей. Вопрос о преобладании одной из указанных причин находится в стадии обсуждения. Тем не менее можно ожидать, что при устранении отличий в условиях инициализации моделей и согласовании числа участников ансамблей разница между данными метеоцентров значительно снизится.

Аналогичный анализ для региона 3 (Северная Атлантика, рис. 2) также позволяет сделать весьма близкие к приведенным выше выводы. Однако в этом регионе переходный процесс явно длиннее, он составляет примерно 14–17 дней. При этом к концу переходного процесса между метеоцентрами наблюдается меньшее согласие.

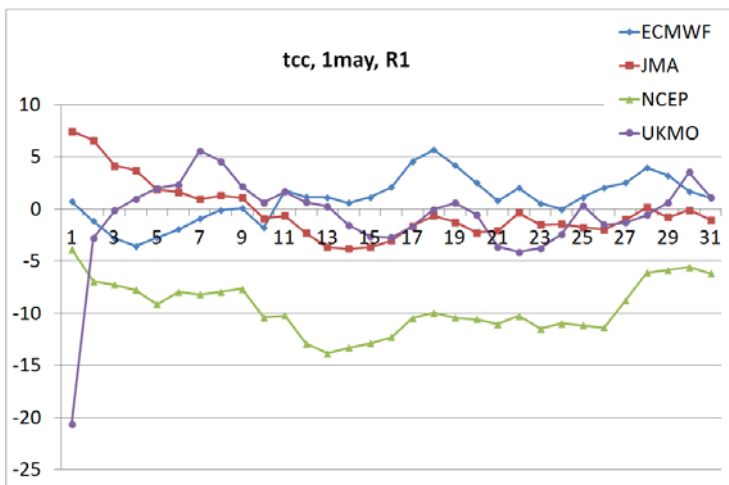


Рис. 1. Средние по ансамблю годов аномалии для поля общей облачности для четырех метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 суток. Старт ретропрогнозов – 1 мая, регион 1 (тропики, Тихий океан).

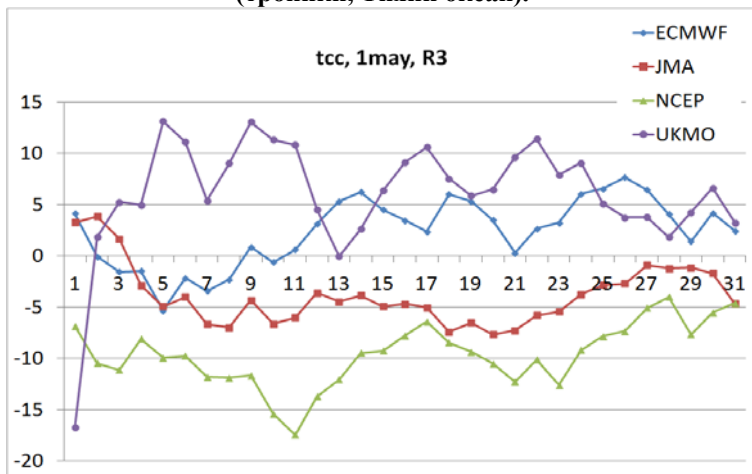


Рис. 2. Средние по ансамблю годов аномалии для поля общей облачности для четырех метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 суток. Старт ретропрогнозов – 1 мая, регион 3 (Северная Атлантика).

Данное обстоятельство, очевидно, оказывает негативное влияние на качество сезонных прогнозов как непосредственно в Северной Атлантике, так и в Арктическом регионе.

Еще большее значение для сезонных прогнозов поверхностных полей в Арктике имеют переходные процессы инициализации моделей, происходящие в холодный период года. На рис. 3 (тропики, Тихий океан) и рис. 4 (Северная Атлантика) мы наблюдаем динамику аномалий ретропрогнозов облачности, стартующих 1 ноября. К сожалению, в этом сравнении участвуют только 3 метеоцентра, что связано с ограниченностью необходимых данных в базе проекта S2S, который продолжает развиваться.

Для этого сезона переходные процессы в двух регионах примерно одинаковы и составляют 7–9 дней. Однако, в отличие от первого (теплого) сезона, здесь наблюдается значительное систематическое отклонение моделей друг от друга, не снижающееся со временем. Это говорит о том, что устранение различий в инициализации и формировании ансамблей окажет значительное влияние на дальнейшее исследование переходных процессов моделей в холодные сезоны.

На рис. 5 и 6 представлена динамика средних аномалий для температуры поверхности океана в теплом сезоне. Для этой переменной в 2009 г. наблюдается ступенчатый скачок значений реанализов, что может быть связано, например, с заменами в системе спутников, ведущих наблюдения. В связи с этим значения 2009 г. были исключены из ансамбля. Переходный процесс для температуры поверхности океана имеет длительность примерно 9 дней в регионе 1 (тропики, Тихий океан) и примерно 11 дней в регионе 2 (тропики, Атлантический океан). При этом систематическое отклонение моделей разных центров после переходного процесса не снижается, выходя во время перехода на свое максимальное значение.

Для сравнения на рис. 7 и 8 представлена динамика аномалий температуры поверхности моря в тех же регионах для холодного сезона. Здесь представляет интерес, что в разных регионах достаточно близко друг к другу ведут себя разные модели. В целом же сохраняются все отмеченные ранее особенности. Пик в районе 21 дня на рис. 7, по-видимому, связан с дефектом данных реанализа.

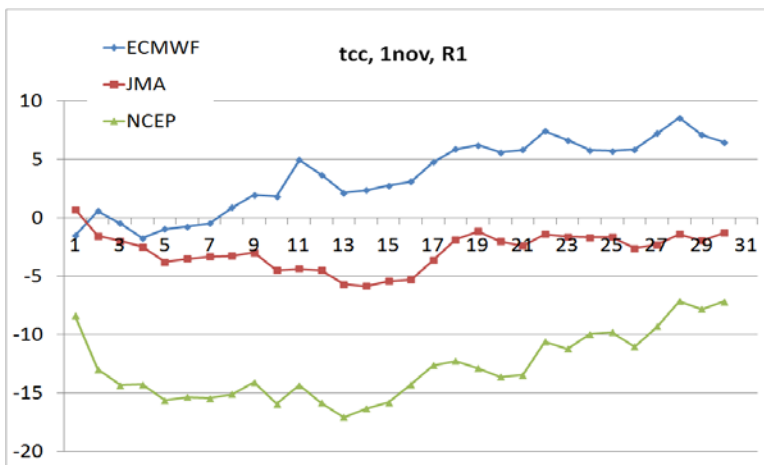


Рис. 3. Средние по ансамблю годов аномалии для поля общей облачности для трех метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 ноября, регион 1 (тропики, Тихий океан).

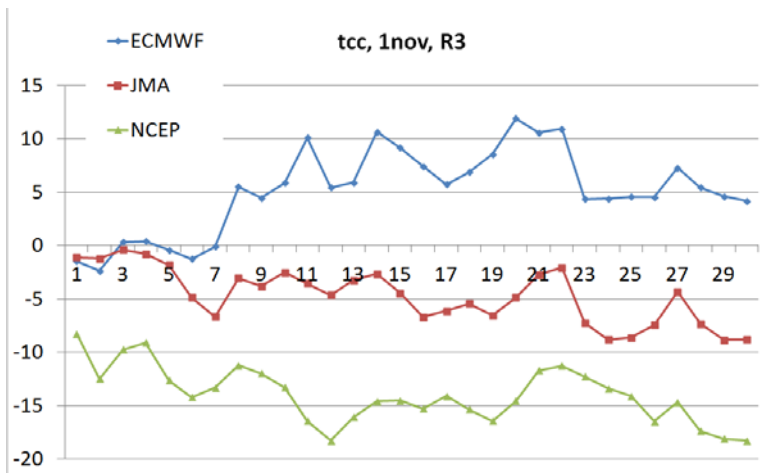


Рис. 4. Средние по ансамблю годов аномалии для поля общей облачности для трех метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 ноября, регион 3 (Северная Атлантика).

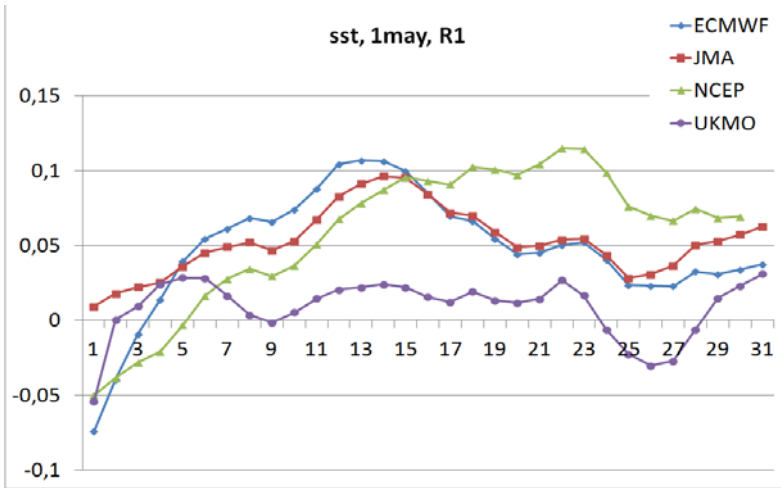


Рис. 5. Средние по ансамблю годов аномалии для температуры поверхности океана для четырех метеоцентров. Исключен аномальный год. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 мая, регион 1 (тропики, Тихий океан).

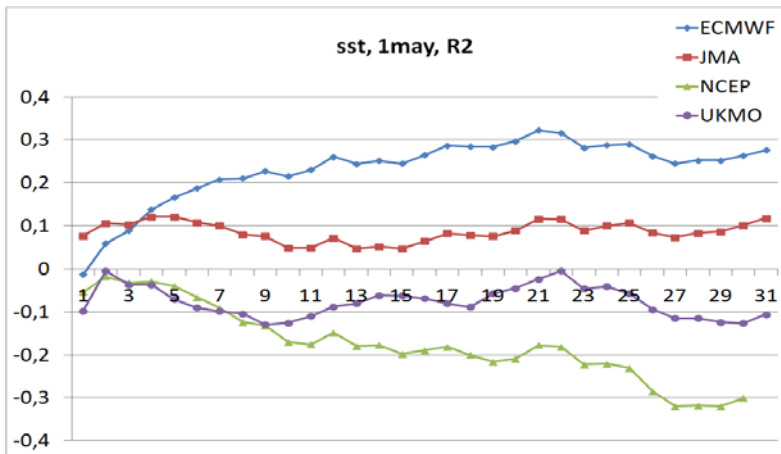


Рис. 6. Средние по ансамблю годов аномалии для температуры поверхности океана для четырех метеоцентров. Исключен аномальный год. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 мая, регион 2 (тропики, Атлантический океан).

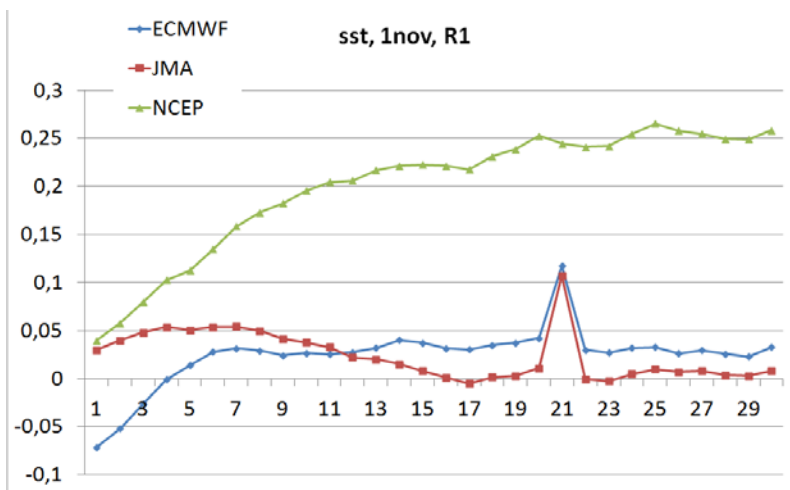


Рис. 7. Средние по ансамблю годов аномалии для температуры поверхности океана для трех метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 ноября, регион 1 (тропики, Тихий океан).

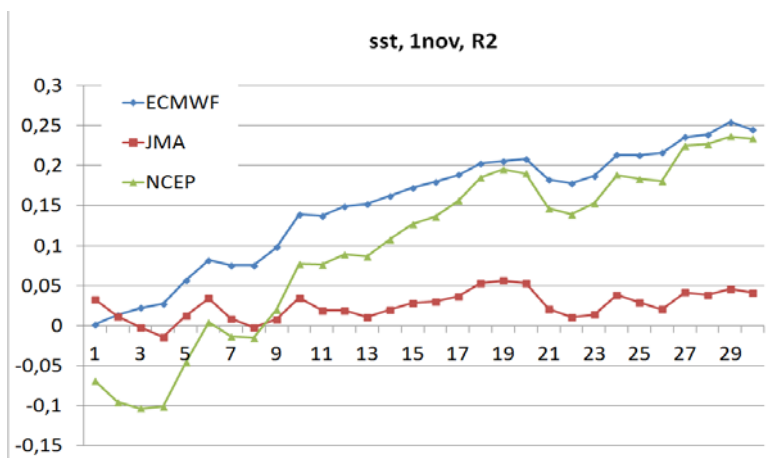


Рис. 8. Средние по ансамблю годов аномалии для температуры поверхности океана для трех метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 ноября, регион 2 (тропики, Атлантический океан).

На рис. 9 и 10 представлена динамика средних аномалий для поля осадков для двух метеоцентров. Поведение ретропрогнозов данной переменной удалось изучить только для теплого сезона. Переходный период составляет примерно 9 дней в тропиках и примерно 12 дней в Северной Атлантике. Предполагается, что значительное систематическое отклонение двух центров в данном случае связано с привязанностью данных реанализа к модели одного из центров. В ближайшей перспективе планируется для анализа аномалий по осадкам использовать интегрированные суточные данные глобального анализа GPCP (Global Precipitation Climatology Project) [6].

Заметим, что для всех исследованных полей переходные процессы в северном регионе протекают дольше, систематические отклонения между моделями больше, чем в южном регионе.

Перспективы исследования

Дальнейшее изучение переходных процессов в поведении совместных моделей атмосферы и океана включает в себя следующие вопросы:

- определение оптимальной стратегии для инициализации системы прогнозирования, которая включает в себя модели атмосферы и океана.
- определение оптимального способа создания субсезонного ансамбля для сезонных прогнозов;
- выявление источников систематических ошибок, влияющих на субсезонные и сезонные прогнозы;
- поиск регионов с наиболее существенным линейным трендом систематических ошибок поверхностных полей.

Выводы

Проведенное исследование архивов ретропрогнозов различных метеоцентров показало, что несогласованность начального состояния атмосферы и океана в совместных моделях действительно приводит к возникновению переходных процессов длительностью от 7 до 15 дней.

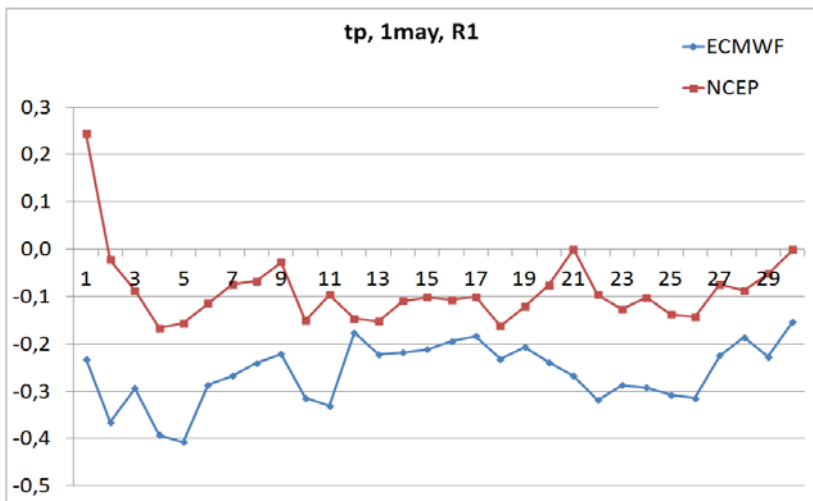


Рис. 9. Средние по ансамблю годов аномалии для поля осадков для двух метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов – 1 мая, регион 1 (тропики, Тихий океан).

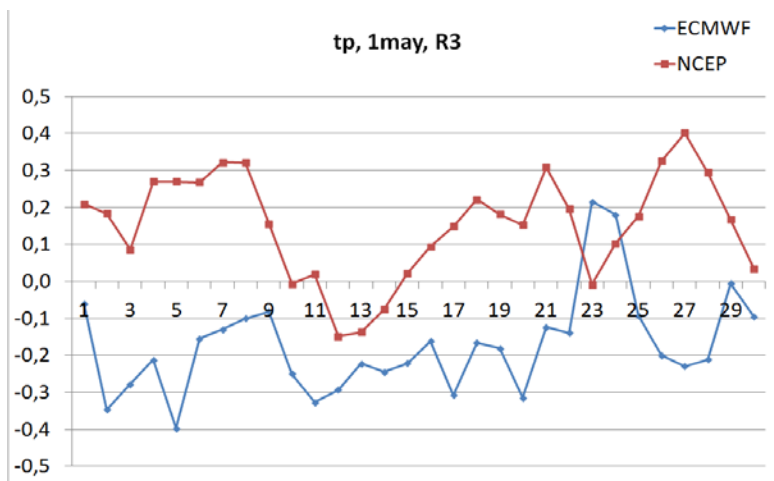


Рис. 10. Средние по ансамблю годов аномалии для поля осадков для двух метеоцентров. Представлена динамика в течение 30 сут. Старт ретропрогнозов 1 мая, регион 3 (Северная Атлантика).

Длительность переходных процессов варьируется в зависимости от региона и времени года. Переходный период также может отличаться для различных прогнозируемых переменных.

Кроме того, несогласованность начальных состояний приводит к ряду систематических ошибок и отклонений в моделях.

Для более детального исследования переходных процессов в совместных моделях и их влияния на качество сезонных прогнозов поверхностных полей необходимо устранить несоответствия в начальных условиях (инициализация моделей, формирование ансамблей начальных данных, разрешение). Также большой интерес представляет выявление регионов, где переходной процесс имеет наибольшую амплитуду.

Исследование выполнено в Гидрометцентре России за счет гранта Российского научного фонда 14-37-00053.

Список использованных источников

1. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Quart. J. Roy. Meteorol. Soci. – 2011. – Vol. 137. – P. 553–597.

2. Vitart F., Ardilouze C., Bonet A. et al. The Sub-seasonal to Seasonal Prediction (S2S) Project Database // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – Posted online on June 21, 2016.

3. <http://www.bsc.es/earth-sciences/events/specsprefacewcrp-workshop>

4. http://www.bsc.es/sites/default/files/public/earth_science/merryfield_wgsip_project.pdf

5. <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/s2s-reforecasts-instantaneous-accum>

6. <http://precip.gsfc.nasa.gov>

Поступила в редакцию 10.08.2016 г.