

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ДВНИГМИ – 65 ЛЕТ

Юбилейный выпуск

Под редакцией
канд. геогр. наук. Е.В. Карасева

Владивосток • Дальнаука

2015

УДК 551.5

ДВНИГМИ – 65 лет // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015, - 270 с. ISBN

Сборник посвящен исследованиям, направленным на рассмотрение аспектов использования гидрометеорологической информации, как в прикладных, так и прогностических целях.

Создание наблюдательной сети Российской службы предупреждения о цунами позволило приступить к анализу полученной информации с автоматизированных постов цунами с практической точки зрения. В статьях нашло отражение использование оперативной информации для прогноза перемещения тропических циклонов, ветрового волнения, ледовых условий на дальневосточных морях, суммарных уровней моря. Ряд статей рассматривает состояние окружающей среды в связи с антропогенным воздействием.

Выпуск представляет интерес для метеорологов, гидрологов, океанологов, морских экологов, специалистов оперативных и научно-исследовательских учреждений Росгидромета и других ведомств, студентов и аспирантов гидрометеорологических специальностей.

Издается по решению Ученого совета ДВНИГМИ

ISBN

© ДВНИГМИ, 2015 г.

© Дальнаука, 2015 г.

*В. В. Крохин, Г. Г. Баранов,
А. Ю. Филь, Л. И. Евдокимова
ФГБУ «ДВНИГМИ», г. Владивосток*

ОЦЕНКА ПРОГНОЗИРУЕМОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТАЙФУНОВ МОДЕЛЮ WRF

Введение

Тропические циклоны (ТЦ) являются, пожалуй, самыми разрушительными из всех погодных явлений с точки зрения ущерба для человека, экономики и природы. Негативное воздействие ТЦ становится особенно неблагоприятным как при выходе ТЦ в районы интенсивного судоходства, так и при выходе ТЦ на сушу.

В отличие от тропических и субтропических районов, территория России в меньшей степени подвержена влиянию ТЦ. В основном, ТЦ доходят до территории нашей страны в качестве слабых тропических штормов и даже тропических депрессий, или уже трансформированными внетропическими циклонами [12]. Однако данное правило нередко нарушается. Поэтому, выход ТЦ на территорию России не является чем-то исключительным.

Прогнозирование положения и эволюции тропических циклонов, влияющих на российский Дальний Восток, и доведение информации о них до потребителей выполняется в настоящее время в оперативных подразделениях Росгидромета, в основном, на базе прогностической продукции отечественных и зарубежных глобальных моделей. В ряде управлений Гидрометслужбы и научно-исследовательских учреждениях Росгидромета, с 1997 года ведутся работы по адаптации региональных негидростатических гидродинамических моделей высокого разрешения на регион Дальнего Востока [1, 2, 5, 7]. С мая 2012 г. в ДВНИГМИ

выполняются экспериментальные расчеты траектории и эволюции ТЦ с использованием модели WRF [9].

За последние несколько десятилетий наблюдался очевидный прогресс в области прогнозирования ТЦ. Так, например, если ошибка прогноза положения ТЦ в конце 80-х годов на период 24 часа составляла около 146 - 235 км [3], то в конце 90-х годов уже была равна 153 - 178 км [16], и в начале 10-х лет 21 века уменьшилась до 92 - 131 км (по данным Объединенного центра предупреждения о тайфунах США (Joint Typhoon Warning Centre – JTWC) и Японского метеорологического агентства (JMA) за период 2007 - 2011).

Большую роль в этом сыграл качественный скачок «класса моделей» (по выражению И. Г. Ситникова [10]), имевший место в 90-е годы 20 века, когда на смену баротропным и бароклиным моделям постепенно пришли гидродинамические модели с высоким пространственным разрешением, параметризацией физических процессов и вложенными движущимися сетками. Этот качественный скачок позволил перейти от прогноза только положения ТЦ к прогнозу эволюции ТЦ. В этой же работе [10], И. Г. Ситников предвидел этапы развития численных моделей ТЦ на десятилетия вперед:

1. Прогноз положения ТЦ.
2. Прогноз положения и эволюции ТЦ.
3. Прогноз жизненного цикла ТЦ.

Согласно этой парадигме, численное моделирование ТЦ начала 10-лет лет 21 века находится на втором этапе. Численный прогноз всего жизненного цикла ТЦ, начиная от прогноза зарождения - это, пока, дело будущего.

Проблема или задача прогнозирования ТЦ имеет как теоретические, так и практические аспекты. С точки зрения теории

динамических систем прогноз ТЦ - это частный случай общей проблемы атмосферной предсказуемости [6]. С точки зрения практики - это проблема чувствительности модели ТЦ к начальным данным (начальные и граничные условия). В данной работе рассматривается прогнозируемость как практический аспект предсказуемости ТЦ, как с точки зрения анализа качества исходных данных наблюдений за ТЦ, так и на основе анализа качества модельных прогнозов положения ТЦ, на примере модели HWRP.

Модель и исходные данные

Данные наблюдений за тропическими циклонами

При моделировании ТЦ численной моделью HWRP использовались уточненные данные текстовых телеграмм Объединенного центра предупреждения о тайфунах США (Joint Typhoon Warning Centre, JTWC), обновляющиеся на серверах Глобальной системы прогнозов Национального центра экологического прогноза США. В перечень данных о ТЦ входят:

- имя ТЦ;
- дата и срок наблюдения (BCB);
- координаты центра, широта и долгота (градусы с десятичными);
- минимальное атмосферное давление в центре ТЦ (гПа);
- максимальная скорость ветра вблизи центра ТЦ (м/с);
- радиус максимального ветра (в км)
- стадия развития.

В работе использовались данные по 17 ТЦ за период 1979 - 2012 гг. Более развернутое подробное описание этих ТЦ и их жизненного

цикла выходит за рамки данной работы и приведено в [9]. В данной работе задача определения истинного центра ТЦ не ставилась.

Архивы начальных данных (реанализы)

При моделировании ТЦ использовались следующие исторические наборы данных (реанализы): NNRP-2 (NCEP/NCAR 2) [14]; JRA-25 [18], NCEP GFS / Final Analysis [23], ERA-INTERIM [13].

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики перечисленных наборов данных.

Модель исследования

Численные эксперименты с ТЦ проводились с моделируемыми данными для региональной модели высокого разрешения Hurricane WRF. Шаг сетки по горизонтали в модели был равен 27 км, в окрестностях ТЦ – 9 км, по вертикали рассматривалось 43 стандартных эта-уровня. Полное описание конфигурации модели HWRF содержится в документации [14], здесь описаны лишь основные детали. Далее по тексту модель будет именоваться как HWRF-R27r9L43.

Приведем краткий перечень физических параметризаций модели HWRF:

- 1) параметризация подстилающей поверхности: однослойная схема «GFDL SLAB» с постоянным коэффициентом теплопроводности;
- 2) параметризация приземного слоя: схема по Монину – Обухову с масштабом шероховатости по Зилитинкевичу;
- 3) параметризация планетарного пограничного слоя: схема высокого разрешения GFS PBL с неявным представлением слоя вовлечения как части нелокального по K- слою смешения;

**Сравнительные характеристики архивов повторного анализа
(реанализа)**

	Название набора			
	JRA-25	NNRP2	NCEP FNL	ERA INTERIM
Организация	Японское метеорологическое агентство (JMA)	Национальный центр по прогнозированию окружающей среды (NCEP), Национальный центр атмосферных исследований США (NCAR)	Национальный центр по прогнозированию окружающей среды (NCEP)	Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды
Период	1979–2004	1979–2006	2004 – по наст. время	1979 – по наст. время
Пространственное разрешение	1,25° x 1,25°	2,5° x 2,5°	1° x 1°	1,0° x 1,0°, 0,75° x 0,75°, 0,5° x 0,5°, 0,25° x 0,25°
Усвоение данных	3D-VAR	3D-VAR	3D-VAR	4D-VAR, 12 ч окно
Количество модельных уровней	40 / гибридная координата	28 сигма-уровней	64 / гибридная координата	60 / гибридная координата
Ковариационная матрица ошибок модели	постоянная	постоянная	постоянная	постоянная только в начальный момент времени
Гидрологические и термодинамические процессы в почве	данные по почве непригодны для усвоения WRF	2 слоя	5 слоев	4 слоя
Схема интегрирования по времени	эйлерова	полу-лагранжева	эйлерова	полу-лагранжева

4) глубокая конвекция параметризуется на основе подхода «потока массы» по Аракаве – Шуберту;

5) схема параметризации для микрофизических процессов Феррье, описывающая многофазные процессы в облаках;

б) параметризация радиации по методу Лаборатории геофизической гидродинамики (GFDL) США: в схеме учитывается поглощение водяным паром, диоксидом углерода, озоном, а также микрофизические эффекты. Радиация в экспериментах рассчитывалась каждые 30 мин.

Во время счета положение модельного ТЦ вместе с вложенной сеткой отслеживалось по методу Марчека [17]. Для определения координат центра ТЦ используются 6 основных и 3 вспомогательных параметра нижнего слоя тропосферы. Основными параметрами являются: относительная завихренность на уровне 850 гПа, относительная завихренность на уровне 700 гПа, относительная завихренность на уровне 10 м, геопотенциал на уровне 850 гПа, геопотенциал на уровне 700 гПа, давление на уровне моря. Вспомогательными параметрами являются: минимум скорости ветра на уровне 850 гПа, минимум скорости ветра на уровне 700 гПа, минимум скорости ветра на высоте 10 м.

Результаты и обсуждение

Согласно общепринятым в настоящее время взглядам, сформировавшимся под влиянием работ К. Поппера [8] и Г. Теннекеса [19], детерминированный модельный прогноз не может являться «научным» без оценок его успешности (дословно: «no forecast is complete without a forecast of forecast skill», Г. Теннекес [1987]). Таким образом, прогнозируемость гидрометеорологического процесса или явления может быть оценена (и оценивается) путем оценки успешности результатов прогноза (forecast skill). Например, для положения центра

ТЦ – это такие характеристики, как средняя минимальная ошибка положения ТЦ (собственный предел прогнозируемости) – *inherent limit of predictability*, согласно [16], и средняя абсолютная ошибка прогноза положения ТЦ [4] – (практический предел прогнозируемости – *practical limit of predictability*, согласно [16]).

К сожалению, до сих пор исследование прогнозируемости ТЦ имеет очень ограниченное применение [11]. Данная проблема решается, как правило, традиционным способом, а именно, построением устойчивого ансамбля из нескольких моделей. Достаточно полный обзор по данной теме содержится в [6, 11]. Тем не менее, имели место попытки выстроить оригинальное направление решения задачи путем эмпирического анализа данных модельных прогнозов ТЦ.

В случае прогноза ТЦ, заблаговременность именно успешных прогнозов не превышает 3 - 5 суток. Поэтому, указывается в работе [16], прогнозируемость ТЦ в большей степени определяется начальными данными, и менее всего зависит от граничных условий. Это позволяет свести поле исследования к следующим основным источникам неопределенности при численном прогнозе ТЦ. Во-первых, это ошибки в начальных данных (*errors in the initial state specification*). Во-вторых, ошибки, присущие самой модели (*model formulation errors*).

Кроме того, по мнению авторов данной статьи, необходимо прибавить и третий источник неопределенности. Это – ошибки определения прогностических параметров ТЦ из модельных полей на этапе пост-прогнозирования.

Однако, как справедливо указывает Г. Теннекес [20] для более полного анализа успешности численного прогноза необходимо также оценивать и модельные статистики успешности второго порядка (*second-order skill*).

Перечисленные выше источники неопределенности прогнозирования ТЦ будут более подробно разобраны далее.

Точность представления положения вихря ТЦ

Точность представления вихря ТЦ в исходных данных зависит от двух факторов:

- точности данных положения ТЦ – (текстовые телеграммы TCVITALS);
- точности полей глобального анализа.

Оценка точности текстовых телеграмм TCVITALS

Качество телеграмм TCVITALS является важным для численного прогноза. Часто оперативные наборы данных TCVITALS содержат повторения (дубли), повторения данных за предыдущие сроки. Реже оперативные данные о ТЦ могут содержать нереальные (нефизические) величины (для ТЦ-сезонов 2012 – 2013 гг. нами не было отмечено). Кроме того, данные о ТЦ могут просто-напросто отсутствовать. Все это приводит к тому, что производство оперативного прогноза оказывается под вопросом – и отменяется.

В условиях ограниченного времени при подготовке оперативного прогноза ТЦ качество наборов данных TCVITALS о положении и интенсивности ТЦ должно страдать ввиду ограниченного набора данных (включая спутники, метеорадары, зонды и др.) для метода Дворака [22].

Известно [22], что на долю спутниковых данных приходится свыше 90% от общего количества данных, используемых для определения координат центра тропических циклонов.

Качество определения центра ТЦ зависит от двух факторов – типа спутникового сенсора и индекса качества позиции PCN (Position Confidence Number). Остановимся кратко на описании этих факторов.

Фактор №1 – тип спутникового сенсора. Для определения центра ТЦ в JTWC и других центрах используются данные с трёх типов спутниковых сенсоров (датчиков) – микроволновых радиометров, скаттерометров и сенсоров видимого и инфракрасного диапазона. В частности, в настоящее время в JTWC используется информация от следующих моделей сенсоров – SSMIS, TMI, AMSR-2 (микроволновые радиометры), OSCAT, WINDSAT (скаттерометры) и сенсоров видимого и инфракрасного (VIS/IR) диапазона высокого разрешения, установленных на геостационарных спутниках серии MTSAT.

Фактор №2 – индекс качества позиции PCN – предназначен для комплексной характеристики качества географической привязки изображения и степени организации облачной структуры ТЦ, определяемой по методу Дворака. При этом качество определения позиции центра растёт с увеличением интенсивности ТЦ и наличием береговой черты на изображении. Величина индекса PCN может изменяться от 1 до 6, где значение 1 соответствует наивысшему качеству. Наименьшие ошибки при определении центра ТЦ получаются при использовании сенсоров VIS/IR-диапазона. Для этих сенсоров при изменении среднего значения индекса качества позиции PCN от 1,2 до 5,6 средняя абсолютная ошибка определения центра ТЦ может изменяться от 13 до 48 км.

Исследование влияния качества наборов оперативных и уточненных данных о положении и интенсивности ТЦ было проведено С. Траханом и Д. Старлингом в NOAA [21]. Они исследовали качество наборов TCVITALS по шести регионам: NHC North Atlantic, JTWC West

Pacific, NHC East Pacific, JTWC Southern Hemisphere, JTWC Indian Ocean. Согласно их оценкам, качество наборов «JTWC West Pacific» является лучшим в группе по регионам ответственности JTWC США, но худшим по сравнению с качеством наборов по регионам ответственности NHC США. Сравнение оценок положения и интенсивности ТЦ по оперативным (TCVITALS) по сравнению с уточненными данными (BEST TRACKS) показало следующее. Ими было получено, что за период 2005–2009 гг. средняя абсолютная ошибка положения ТЦ по TCVITALS составила около 2 км (максимальная – 4 км), средняя арифметическая (систематическая) ошибка аппроксимации давления в центре составила ~0,3 гПа (завышение), средняя арифметическая (систематическая) ошибка аппроксимации скорости максимального ветра составила ~ 0,8 узла (занижение).

Таким образом, качество оперативных телеграмм TCVITALS можно признать хорошим.

Неопределенность положения ТЦ в полях начального анализа

В данном разделе приводятся количественные оценки точности положения вихря ТЦ по данным повторного анализа ERA-INTERIM и NNRP-2.

В таблице 2 приведены некоторые оценки моделью HWRF положения центра ТЦ (км) при инициализации вихря ТЦ и без неё, а также оценки, показывающие степень завышения минимального давления в центре ТЦ. Также, для сравнения приведены оценки ошибки положения центра ТЦ в начальных полях двумя тайфунными моделями, использовавшимися в австралийском метеорологическом агентстве (АМА): баротропной и бароклинной – пространственным разрешением 15 км [16].

Сравнительная оценка точности аппроксимации положения ТЦ в начальных полях повторного анализа

Модель / Метод	Параметр					
	Пространственная невязка, км			Завышение минимального давления, гПа		
	мин	среднее	макс	мин	среднее	макс
Реанализ ERA-INTERIM (1° x 1°) с HWRF-инициализацией вихря, поле глобального анализа скорректировано.	10	24	75	0	0	0
Реанализ ERA-INTERIM (1° x 1°) без инициализации вихря	33	87	168	6	31	93
Реанализ NNRP-2 (2,5° x 2,5°) без инициализации вихря	60	263	748	3	31	96
Баротропная модель AMA 97	44	81	-	-	-	-
Бароклинная модель AMA 97	38	73	-	-	-	-

Примечание: знак «-» показывает отсутствие информации.

Анализ таблицы 2 показывает, что в случае проведения инициализации вихря ТЦ пространственная ошибка положения ТЦ колеблется в пределах 65 км, изменяясь от 10 до 75 км. При отсутствии инициализации вихря пространственная ошибка возрастает примерно в три раза, изменяясь от 33 до 168 км, т.е. на величину более одного

градуса. Такие же примерно ошибки у численных моделей Австралийского Метеорологического Агентства, не использующие инициализацию вихря ТЦ.

Анализ ошибок представления давления в центре ТЦ по исходным немодифицированным инициализацией ТЦ реанализам указывает на очень сильную связь качества этого представления с пространственным разрешением набора данных. Так, средняя абсолютная ошибка для разрешения $1^\circ \times 1^\circ$ (набор ERA-INTERIM) составляет около 90 км, тогда как для разрешения $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (набор NNRP-2) эта величина выше в три раза (порядка 260 км). В тоже время порядок завышения минимального давления при отсутствии инициализации вихря по этим двум наборам (ERA-INTERIM $1^\circ \times 1^\circ$ и NNRP-2 $2,5^\circ \times 2,5^\circ$) примерно одинаков, и составляет около 20 – 30 гПа, достигая в отдельных случаях значений около 90 гПа.

Таким образом, поля начального анализа не могут описывать количественно вихрь ТЦ. Особенно это касается набора данных NNRP-2 с пространственным разрешением $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, в меньшей степени – повторный анализ ERA-INTERIM с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$. По-видимому, это обстоятельство можно объяснить тем, что поля повторного анализа изначально создавались именно для исследования климата, а не природы ТЦ.

Неопределенность положения ТЦ в полях прогноза

В настоящей работе была также предпринята попытка оценить количественно точность положения вихря ТЦ по данным прогнозов как модели HWRF-R27r9L43. так и данных прогнозов других моделей.

Как упоминалось выше, под оценками собственной и практической прогнозируемости понимаются минимальная абсолютная и средняя абсолютная ошибки прогноза положения ТЦ, соответственно.

Оценки собственной и практической прогнозируемости положения ТЦ (в км) моделью HWRF-R27r9L43 за сезон 2012–13 гг. и сравнение с оценками по другим моделям приведены в Таблицах 3–5.

Таблица 3

Оценки собственной и практической прогнозируемости прогнозов положения ТЦ (в км) моделью HWRF-R27r9L43 за сезон 2012–13 гг.

	Заблаговременность прогноза, час					
	12	24	36	48	60	72
Собственная прогнозируемость положения ТЦ, км	11	11	11	11	22	22
Практическая прогнозируемость положения ТЦ, км	56	81	111	151	197	237

Анализ результатов показывает, что оценки собственной прогнозируемости ТЦ моделью высокого разрешения HWRF-R27r9L43 (9 км в окрестностях ТЦ) почти не зависят от заблаговременности, составляя около одной или двух десятых градуса. Аналогичные оценки собственной прогнозируемости положения ТЦ бароклинной моделью австралийского метеорологического агентства, выполненные [16], напротив, увеличиваются с заблаговременностью, составляя примерно 0,6 от соответствующих оценок практической прогнозируемости положения ТЦ. Также, можно отметить, что оценки практической прогнозируемости положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 и ведущих

Труды ФГБУ «ДВНИГМИ»
зарубежных метеорологических агентств JMA и JTWC – практически
одного порядка.

Таблица 4

**Оценки собственной и практической прогнозируемости положения
ТЦ (в км) бароклинной моделью АМА [16]**

	Заблаговременность прогноза, час					
	12	24	36	48	60	72
Собственная прогнозируемость положения ТЦ, км	78	98	123	151	182	205
Практическая прогнозируемость положения ТЦ, км	131	162	195	243	292	334

Таблица 5

**Оценки практической прогнозируемости прогнозов положения ТЦ
(средняя абсолютная ошибка прогноза положения ТЦ в км)
зарубежными метеорологическими агентствами JMA и JTWC
за сезоны 2007–2011 гг.**

Прогностический центр	Заблаговременность прогноза, час		
	24	48	72
Данные Японского метеорологического агентства (JMA)	113	203	305
Данные Объединенного центра предупреждения о тайфунах США	92	172	275

Можно высказать предположение (которое, конечно, требует подтверждения на дополнительном материале), что для моделей высокого класса, к которому, принадлежит модель HWRF-R27r9L43, собственная прогнозируемость, т.е. минимально возможная ошибка

прогноза положения, действительно, почти не зависит от заблаговременности, и определяется свойствами самой модели.

Оценка прогнозируемости положения ТЦ модельными статистиками успешности второго порядка

Известно, что в зависимости от различных начальных данных полей результаты прогноза будут отличаться. Как было показано в разделе 2, каждый набор данных повторного анализа (NNRP-2, JRA-25, NCEP GFS FNL, ERA-INTERIM) был получен с использованием различных схем усвоения исходных данных. Таким образом, можно сказать, что каждому архиву объективного реанализа имеет свойство качества, обладают различным качеством. Поэтому, степень «разбегания» различных модельных прогнозов, а в нашем случае, это – оценка устойчивости оценок прогноза положения ТЦ в зависимости от того, какие данные были использованы, сама по себе представляет отдельный интерес.

В настоящем разделе сделана попытка оценить среднюю степень «разбегания» прогнозов положения ТЦ, обусловленную двумя факторами:

- видом набора данных (например, реанализа);
- различным пространственным разрешением набора данных (реанализа).

Определим термином «невязка» количественное значение – расстояние между двумя прогностическими положениями центра ТЦ.

Следуя [4], определим среднюю абсолютную невязку прогнозов положения ТЦ как среднее расстояние между двумя различными прогнозами в срок прогноза с точностью до 10 км. При этом, если количество прогнозов для данного срока прогноза (данной

заблаговременности) равно m , то общее число комбинаций – расстояний между двумя разными прогнозами будет равно $m*(m-1)/2$. Очевидно, что средняя невязка будет характеризовать некоторую тенденцию разбегания прогнозов в абсолютных единицах – в км.

Также определим среднюю относительную невязку. Средней относительной невязкой будем называть среднюю величину отношения величины каждой невязки (между двумя прогнозами) к величине фактического перемещения ТЦ к данному прогностическому сроку.

В численных экспериментах использовались наборы повторных анализов ERA-INTERIM ($1^\circ \times 1^\circ$), NNRP-2 ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$), GFS-FNANL ($1^\circ \times 1^\circ$), JRA-25 ($1,25^\circ \times 1,25^\circ$),.

На рисунках 1 и 2 показаны зависимость средней абсолютной и средней относительной невязки численных прогнозов положения ТЦ моделью HWRF по НАБОР-ТЦ-02 на основе:

– различных повторных анализов ERA-INTERIM ($1^\circ \times 1^\circ$), NNRP-2 ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$), JRA-25 ($1,25^\circ \times 1,25^\circ$), GFS-FNANL ($1^\circ \times 1^\circ$);

– одного реанализа ERA-INTERIM, но с различным пространственным разрешением ($1^\circ \times 1^\circ$; $0,75^\circ \times 0,75^\circ$; $0,50^\circ \times 0,50^\circ$; $0,25^\circ \times 0,25^\circ$).

Анализ хода средних абсолютных невязок на рисунке 1 показывает их монотонный рост с увеличением заблаговременности. В тоже время необходимо отметить, что средняя абсолютная невязка по разрешениям на порядок меньше средней абсолютной невязки по реанализам. Иными словами, неопределенность прогноза положения центра ТЦ, вызванная «прореживанием» одного фиксированного набора

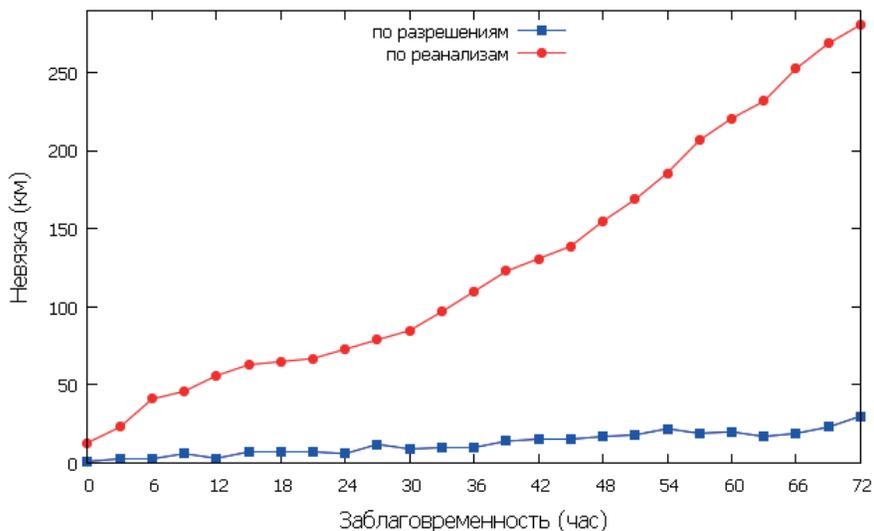


Рис. 1. Средняя абсолютная невязка численных прогнозов положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 на основе разных реанализов и различных пространственных разрешений.

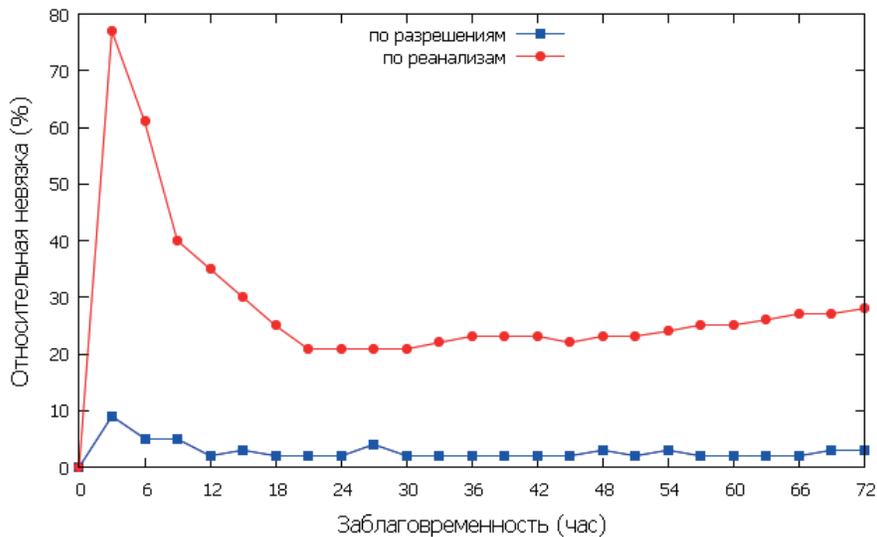


Рис. 2. Средняя относительная невязка численных прогнозов положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 на основе разных реанализов и различных пространственных разрешений.

данных, достаточно мала. Это верно как для набора данных ERA-INTERIM для пространственных разрешений $1^\circ \times 1^\circ$; $0,75^\circ \times 0,75^\circ$;

$0,50^\circ \times 0,50^\circ$; $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, так и для набора данных GFS с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ и $0,50^\circ \times 0,50^\circ$.

Резкий рост средней абсолютной невязки по реанализам с увеличением заблаговременности обязательно следует учитывать при проведении численных экспериментов с ТЦ за даты более чем 30-летней давности – по реанализу NNRP-2 (до 1979 г.). После 1979 года использование реанализа NNRP-2 для численных экспериментов с ТЦ нецелесообразно.

Ход средних относительных невязок на рисунке 2 в зависимости от заблаговременности – идентичен. В обоих случаях имеет место рост в первые 3 – 6 часов, и минимум на интервале 24 – 48 часов, с последующим постепенным увеличением. Различия между невязками велики в первые 18 часов (на заблаговременности 3 часа – почти в 10 раз), в последующие часы различия уменьшаются (в 4 - 5 раз). Есть все основания связывать резкий пик относительной невязки положения ТЦ в первые 3 – 6 часов с «раскруткой» вихря моделью HWRF-R27r9L43. Поэтому, можно сделать вывод о том, что в течение первых 6 часов – ценность прогноза положения ТЦ моделью HWRF – минимальная, а в течение 24 – 48 часов – максимальная.

Отдельно стоит упомянуть реанализы JRA-25 и GFS-FNANL. Использование исторического набора данных JRA-25 является проблематичным, ввиду отсутствия данных о состоянии подстилающей поверхности (температура и влажность почвы). Ввиду этого, для работы с JRA-25 использовались данные о почве из исторического набора повторного анализа ERA-INTERIM.

В заключение добавим, что набор данных GFS FINAL ANALYSIS с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ имеет невосполнимые пропуски, в связи с чем, для определенных дат модель HWRF-R27r9L43 либо

вообще не может быть запущена, либо необходимо увеличивать временной период обновления граничных условий (например, с 6 до 12 часов).

Выводы

В данной работе были проанализированы практические аспекты прогнозируемости ТЦ моделью HWRF-R27r9L43, на примере такой характеристики, как положение ТЦ.

Качество прогноза положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43 за сезоны 2012–13 гг. находится на уровне официального прогноза ведущих метеорологических агенств (JMA, JTWC) за период 2007–11 гг.

Показано, что качество исходных начальных данных – полей глобального реанализа гораздо сильнее влияет на устойчивость оценок прогноза положения ТЦ моделью HWRF-R27r9L43, чем изменение только одного пространственного разрешения архива.

Результаты данных исследований могут быть использованы в дальнейшем в работах по развитию технологий краткосрочного прогноза полей метеоэлементов, тайфунов и других опасных явлений погоды в ДВ-регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1 Вербицкая Е.М. Перспективы развития системы численных прогнозов погоды в региональном специализированном метеорологическом центре Хабаровск // Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет, - Владивосток: Дальнаука. - 2010. - С. 12 - 24. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

2 Гончуков Л.В., Ламаш Б.Е. Численный прогноз опасных явлений погоды по северу Приморского края // Вестник ДВО РАН, 2010. - № 6. - Владивосток: Дальнаука. - 2010. - С. 17 - 23.

3 Зленко В.А. Гидродинамическая схема расчета траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеиздат. - 1987. - №5. - С. 56 - 61.

4 Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. РД 52.27.284–91: ввод в действие с 01.01.92 - СПб.: Гидрометеоиздат. - 1991. - 152 с.

5 Моисеев М.Б. Некоторые характеристики прогнозирования тропических циклонов атмосферными моделями // Юбилейный вып. ДВНИГМИ - 60 лет, - Владивосток: Дальнаука. - 2010. - С. 275 - 281. - ISBN 978-5-8044-1164-1.

6 Муравьев А.В., Куликова И.А. Ансамбли прогнозов: методы, проблемы и перспективы // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 2005. - № 3. - С. 5 - 23.

7 Наумов А. Д., Николаева А. В. Использование региональной ETA-модели для прогноза траекторий тропических циклонов по данным Гидрометцентра России // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 2003. - № 10. - С. 33 - 40.

8 Поппер К. Объективное знание. Эволюционный подход. Пер. с англ. Д. Г. Лахути. Отв. ред. В. Н. Садовский. - М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 384 с.

9 Развитие технологий краткосрочных прогнозов опасных метеорологических явлений и тропических циклонов на территории Дальнего Востока с использованием модели WRF: отчет о НИР (заключ.) / ДВНИГМИ; рук. Крохин В.В.; исполн.: Вербицкая Е.М., Баранов Г.Г., Евдокимова Л.И. и др.: - Владивосток: ДВНИГМИ, 2013. - 380 с. - № гос. Регистрации 01201159032.

10 Ситников И.Г., Зленко В.А. Бароклинная схема прогноза траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 1991. - №3. - С. 5 - 12.

11 Ситников И.Г., Полякова И.В. Практическое применение ансамблей гидродинамических прогнозов метеорологических полей // Метеорология и гидрология. - М.: Гидрометеоиздат. - 1997. - №8. - С.113 - 119.

12 Ситников И.Г., Похил А.Э., Тунеголовец В.П. Гидрометеорологические опасности. Гл. 4: Тайфуны; Монография: Природные опасности России. Т. 5. / под ред. Г.С. Голицина, А.А. Васильева. - М.: Издательский дом КРУК. - 2001. - С. 84 - 126.

13 Dee, D.P. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system / D.P. Dee, S.M. Uppala, [et al.] // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. - 2011. - Vol. 137. - Issue 656. - P. 553 - 597.

14 Gopalakrishnan S., Liu Q., Marchok T. et al. Hurricane Weather and Research and Forecasting (HWRF) Model 2011 Scientific Documentation, Technical Report // Boulder. Developmental Testing Center. - http://www.dtcenter.org/HurrWRF/users/docs/scientific_documents/HWRFScientificDocumentation_August2011.pdf. (дата обращения: 25.01.2012).

15 Kanamitsu, M., NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) / M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J Woollen, [et all] // Bull. Amer. Meteor. Soc. - 2002. - Vol. 83. - P. 1631 - 1643.

16 Leslie L.M., Abbey R.E., Holland L.M. Tropical Cyclone Track Predictability // Meteor. Atmos. Phys. - 1998. - Vol. 65. - P. 223 - 231.

17 Marchok, T How the NCEP tropical cyclone tracker works / T. Marchok // 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology: SAIC at NCEP/GFDL - Princeton, NJ. - 2002. - 2p.

18 Onogi, K. The JRA-25 Reanalysis / Onogi K., Tsutsui Ju., Koide H., [et al] // J. Meteor. Soc. - 2007. - Vol. 85. - No. 3. - 369 - 432.

19 Tennekes, H., Baede, A.P.M. and Opsteegh, J.D. (1987) Forecasting forecast skill. In: Proceedings ECMWF Workshop on Predictability, Reading, April 1986.

20 Tennekes H (1993) Karl Popper and the accountability of numerical weather forecasting. / In: Workshop predictability and chaos in the geosciences, Boulder, 7–10 September 1993, pp. 343 - 346.

21 Trahan, S. An Analysis of NCEP Tropical Cyclone Vitals and Potential Effects on Forecasting Models / S. Trahan, L. Sparling // Wea. Forecasting - 2012. - Vol. 27. - №3. - P. 744 - 756.

22 Tropical cyclone intensity analysis using satellite data:NOAA Tech. Report / NOAA / NESDIS, 5200 Auth. Rd. / Dvorak V. - Washington. - 1984. - 47 p.

23 http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/STATS/html/model_changes.html

режиме в ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (РСМЦ Хабаровск). Сборки модели для прогнозов общего пользования по территории ДВ-региона с горизонтальным разрешением 15 км и по территории Забайкалья 30 км, и сборка модели для прогноза опасных явлений погоды (сильных ливней, очень сильных дождей, шквалов и шквалистых ветров) по территории Забайкалья с горизонтальным разрешением 3 км. Дано краткое описание технологии расчетов, приведены примеры выходной продукции, обсуждается качество выпускаемых прогнозов элементов погоды.

Табл. 1. Ил. 12. Библ. 16.

УДК 551.5:001.891.57

Оценка предсказуемости перемещения тайфунов моделью WRF / Крохин В.В., Баранов Г.Г., Филь А.Ю., Евдокимова Л.И. // ДВНИГМИ – 65 лет // Юбилейный вып. ДВНИГМИ – 65 лет. - Владивосток: Дальнаука, 2015. - С. 204 - 224

Рассматриваются вопросы практической предсказуемости тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана моделью HWRF. Подробно разобраны факторы, влияющие на точность представления ТЦ как в начальных полях анализа, так и в модельных прогностических полях. Проведены оценки собственной и практической предсказуемости положения ТЦ моделью HWRF и выполнено их сравнение с уровнем официальных прогнозов JMA и JTWC.

Табл. 5. Ил. 2. Библ. 23