

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «ДВНИГМИ»)




УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУ «ДВНИГМИ»
канд. физ.-мат. наук
Ю. Н. Волков
« 17 » апреля 2017 г.

ОТЧЕТ ПО ИСПЫТАНИЯМ


Автоматизированного метода

краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза положения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана численной региональной моделью HWRF

Зам. директора по научной работе,
канд. геогр. наук

 17.04.17 Е. В. Карасев

Ответственный исполнитель,
Заведующий отделом
метеорологии и тропических циклонов
ФГБУ «ДВНИГМИ», канд. геогр. наук

 17.04.17 В. В. Крохин

Владивосток 2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ответственный
исполнитель
зав. отделом,
канд. геогр. наук



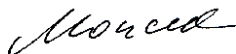
В. В. Крохин
(введение, разделы 1-5, заключение,
Приложение А, , постановка задачи,
порядок выполнения работ, методика
обработки данных, , технология расчёта
прогнозов на вычислительных ресурсах
ФГБУ «ДВНИГМИ», анализ
результатов)

Ст. науч. сотр.



Л. И. Евдокимова
(анализ результатов, техническая
редакция отчёта)

Ст. науч. сотр.



М. Б. Моисеев
(формирование исторических и
модельных архивов для испытаний)

Науч. сотр.



А. Ю. Филь
(расчёт оценок качества прогнозов для
испытаний, технология расчёта
прогнозов тайфунов на вычислительных
ресурсах ФГБУ «ДВНИГМИ», анализ
результатов; Приложение Б)

Науч. сотр.



А. В. Ремез
(подготовка банка данных о ТЦ ФГБУ
«ДВНИГМИ»)

Вед. инженер



Л. В. Павлюк
(подготовка банка данных о ТЦ ФГБУ
«ДВНИГМИ», оформление списка
литературных источников)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Цель работы	5
2 Порядок проведения испытаний	5
3 Перечень числовых характеристик для оценок качества прогнозов	6
4 Результаты испытаний	9
4.1 Прогноз положения тропических циклонов	10
4.2 Прогноз скорости перемещения тропических циклонов	15
4.3 Прогноз направления перемещения тропических циклонов	19
4.4 Прогноз минимального давления в тропических циклонах	23
4.5 Прогноз максимального ветра в тропических циклонах	27
4.6. Общие выводы	31
5 Решение Технического Совета ФГБУ «Приморское УГМС»	35
Заключение.....	36
Список использованных источников.....	36
Приложение А (Краткое описание модели HWRF-ДВНИГМИ).....	37
Приложение Б (Примеры выходной продукции модели HWRF)	46

ВВЕДЕНИЕ

Тропические циклоны (ТЦ) являются, пожалуй, самыми разрушительными из всех погодных явлений с точки зрения ущерба для человека, экономики и природы. Негативное воздействие ТЦ (сильный ветер, интенсивные осадки) становится особенно неблагоприятным при выходе ТЦ в районы интенсивного судоходства и интенсивной хозяйственной деятельности и при выходе ТЦ на сушу. В отличие от тропических и субтропических районов, до территории российского Дальнего Востока и ДВ-морей тайфуны доходят преимущественно в качестве слабых тропических штормов, тропических депрессий, или уже трансформированными внетропическими циклонами. Однако, данное правило нередко нарушается.

В связи с этим разработка новых автоматизированных методов прогноза ТЦ на Дальнем Востоке России является важной и актуальной задачей.

Испытывался автоматизированный метод краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза положения прогноза тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана численной региональной моделью HWRF-R27r9L43 по данным модели численной региональной модели HWRF-R27r9L43 (далее HWRF-ДВНИГМИ) с горизонтальным разрешением 27 км (9 км в окрестности ТЦ).

Краткое описание модели HWRF-ДВНИГМИ приведено в *Приложении А*.

Испытания проводились согласно Плана испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов Росгидромета на 2013 – 2015 гг. Испытания дважды продлялись (в 2014 и 2015 гг.).

Период испытаний: с 1 января 2014 г. по 31 декабря 2016 г.

Качество прогнозов оценивалось по совокупности числовых характеристик, рекомендованных РД 52.27.284–91 «Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов» [1].

1 Цель работы

Целью работы является создание современной автоматизированной отечественной технологии прогноза характеристик ТЦ на базе мезомасштабной негидростатической модели WRF с использованием современных информационных ресурсов, средств связи и вычислительных средств.

2 Порядок проведения испытаний

Для проведения испытаний в рамках НИР 1.1.1.6 в 2013 г. отделом метеорологии и тропических циклонов ФГБУ «ДВНИГМИ» разработана оперативная технология расчёта прогнозов параметров положения и эволюции тропических циклонов по модели HWRF-ДВНИГМИ с горизонтальным шагом 27/9 км. Технология находится в оперативной эксплуатации на вычислительных ресурсах отдела автоматизации ФГБУ «ДВНИГМИ» с мая 2013 года.

В случае наличия оперативных данных и работоспособности вычислителя расчёты прогнозов тайфунов выполнялись на вычислительных ресурсах ФГБУ «ДВНИГМИ» два раза в сутки от 00^h и 12^h ВСВ в течение 2014–2016 гг. под методическим сопровождением специалистов отдела метеорологии и тропических циклонов ФГБУ «ДВНИГМИ». Расчёт характеристик успешности прогнозов осуществлялся в ОМТЦ ДВНИГМИ по разработанным ЭВМ-программам (автор – В.В. Крохин, к.г.н., зав. ОМТЦ ДВНИГМИ).

Для проведения испытаний выходная прогностическая информация фиксировалась на сервере в ФГБУ «ДВНИГМИ».

В качестве начальной информации о ТЦ для модели HWRF-ДВНИГМИ бралась оперативная историческая информация по положению и интенсивности ТЦ из текстовых телеграмм Объединённого центра предупреждения о тайфунах США (Joint Typhoon Warning Centre, JTWC), оперативно обновляющихся (каждые 6ч., 00^h, 06^h, 12^h, 18^h ВСВ) на серверах Глобальной системы прогнозов Национального центра экологического прогноза США.

Кроме того, прогнозы тропических циклонов моделью HWRF по северо-западной части Тихого океана выкладывались на web-сервер ФГБУ «ДВНИГМИ» для использования синоптиками отдела краткосрочных прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Приморское УГМС». Примеры прогностической продукции представлены в *Приложении Б*.

3 Перечень числовых характеристик для оценки качества прогнозов

В соответствии с [1], для определения качества прогноза перемещения ТЦ вычислялись показатели, характеризующие ошибки прогноза положения центра ТЦ, скорости и направления перемещения ТЦ.

Показатели успешности для ошибок положения центра ТЦ:

– абсолютные ошибки прогноза положения центра ТЦ Δr (расстояние между фактическим и прогностическим положениями центров в срок прогноза с точностью до 10 км): средняя и экстремальные (*min*, *max*);

– повторяемость Δr , %, рассчитывается по градациям <200, 201–400, 401–600, >600 км;

– относительная ошибка ε прогноза положения ТЦ (с точностью до 0,01).

Показатели успешности для ошибок скорости перемещения ТЦ:

– абсолютная ошибка прогноза скорости перемещения ТЦ ΔS (вычисляется с точностью до 10 км): средняя и экстремальные (*min*, *max*);

– повторяемость ΔS , %, рассчитывается по градациям 0–250, 251–450, и >450 км/сут;

– средняя арифметическая (систематическая) ошибка скорости перемещения ТЦ $\Delta \bar{S}$;

– характеристика завышения или занижения (η_s) прогностической скорости ТЦ по сравнению с фактической (с точностью до 0,01).

Показатели успешности для ошибок направления перемещения ТЦ:

– ошибка прогноза направления перемещения $\Delta \varphi$, определяемая значением угла между фактической и прогностической траекториями ТЦ с точностью до 1° (в пределах от 0 до 180° вправо или влево): средняя и экстремальные (*min*, *max*);

– повторяемость $\Delta \varphi$, %, рассчитывается по градациям <20, 21–35, >35°. При этом отдельно рассматриваются случаи отклонения прогностической траектории от фактической вправо и влево.

Из всех перечисленных показателей успешности прогнозов перемещения ТЦ основными принято считать ошибки в прогнозе положения ТЦ (Δr).

Допустимые ошибки прогнозов перемещения ТЦ для заблаговременностей 24, 48 и 72 ч представлены ниже в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Допустимые ошибки прогнозов перемещения тропических циклонов

Качество прогноза	Δr , км	ΔS , км/сут	$\Delta \varphi^\circ$
<i>Заблаговременность 24 ч</i>			
Хорошее	<200	<250	<20
Удовлетворительное	201–400	251–450	21–35
Неудовлетворительное	>400	>450	>35
<i>Заблаговременность 48 ч</i>			
Хорошее	<350 км	<350	<30
Удовлетворительное	351–550	351–450	31–40
Неудовлетворительное	>550	>450	>40
<i>Заблаговременность 72 ч</i>			
Хорошее	<500	<450	<30
Удовлетворительное	501–700	451–650	31–45
Неудовлетворительное	>700	>650	>45

В дополнение к расчёту успешности качества прогнозов перемещения ТЦ, в ходе оперативных испытаний, кроме того, рассчитывалось и качество прогнозов эволюции ТЦ.

Для установления надёжности методов прогноза эволюции ТЦ необходимо использовать статистические показатели успешности, предназначенные для оценки качества прогнозов интенсивности ТЦ: давления в центре ТЦ и максимального ветра. Показатели успешности прогноза изменения давления в центре ТЦ:

- оценка прогноза знака изменения давления в центре ТЦ p_p . Значения $p_p > 0,5$ свидетельствуют об удовлетворительном, а $p_p > 0,7$ – о хорошем качестве прогноза знака изменения давления в ТЦ;

- абсолютная ошибка прогноза давления в ТЦ δ_p , (с точностью до 0,1): средняя и экстремальные (*min*, *max*);

- относительная ошибка прогноза давления ε_p (с точностью до 0,01): средняя и экстремальные (*min*, *max*). Чем меньше ε_p , тем лучше качество прогноза;

- средняя фактическая изменчивость давления δ_Φ в центре ТЦ, гПа;

- средняя арифметическая (систематическая) ошибка σ_p прогноза давления в центре ТЦ (с точностью до 0,1). Положительное (отрицательное) значение σ_p свидетельствует о систематическом завышении (занижении) давления в центре ТЦ.

Согласно рекомендаций [1], оценка оправдываемости прогноза максимального ветра в циклонах производится с использованием тех же характеристик, что и оценка оправдываемости прогноза давления в центре ТЦ. При этом в формулы вместо показателей давления подставляются показатели ветра.

Дополнительно рассчитаны показатели оправдываемости прогноза максимального ветра PV [2, 3]. Прогноз максимального ветра в ТЦ оценивается на 100 %, когда фактическая скорость ветра отличается от крайних пределов прогностической скорости не более, чем на 20 %. Если отличие составляет более 20 %, оценка прогноза равна 0 %.

Когда скорость ветра в прогнозе предусматривалась менее, чем установлено по критерию ОЯ, а фактически она достигла градаций ОЯ (ураганный ветер), то допуск 20 %, указанный выше, не должен использоваться, оценка этого прогноза ветра равна 0 %.

Когда скорость ветра в прогнозе давалась в градации неблагоприятного явления для отрасли экономики (например 12–17 м/с — НЯ), то при оценке используется допуск 20 % только для максимального значения скорости (17 м/с).

Оценка оправдываемости прогнозов зон ветров с интенсивностью более 30 узлов (15 м/с) и более 50 узлов (25 м/с) не рассчитывалась.

Согласно [1], испытание новых методов прогноза перемещения и эволюции ТЦ производится в сравнении с другими расчетными методами аналогичного прогноза, а также в сравнении с инерционными прогнозами. В основу инерционного прогноза берется гипотеза, согласно которой суммарный эффект всех сил, направляющих ТЦ в течение некоторого прошедшего периода, продолжает действовать в течение такого же будущего периода. В силу указанного предположения инерционный прогноз представляет собой линейную экстраполяцию движения ТЦ на последующий период времени. В зависимости от вида интерполяции различают инерционные прогнозы первого и второго порядка.

Инерционному прогнозу первого порядка присущи однородные (постоянные) скорость и направление перемещения ТЦ в течение прошедшего и будущего периодов. Инерционный прогноз второго порядка учитывает изменение (увеличение и уменьшение) скорости, а также изменение направление движения ТЦ в течение прошедшего периода и, соответственно этому, в будущем периоде.

В связи с требованиями [1], а также в связи с большими различиями в физико-географических и климатических условиях развития и перемещения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана, зафиксированных на рассматриваемой территории, оценки рассчитывались как в среднем по всей территории, так и по районам южнее и севернее 25° с. ш.

Результаты оперативных испытаний прогнозов перемещения и эволюции тропических циклонов численной моделью HWRF-ДВНИГМИ и методом инерционного прогноза первого порядка (как лучшего, по сравнению с методом инерционного прогноза второго порядка) для заблаговременностей 24, 48 и 72 часа представлены в следующем разделе.

4. Результаты испытаний

За период испытаний в течение 2014–2016 годов каждый тайфунный сезон отличался своими особенностями.

В 2014 г. в северо-западной части Тихого океана образовалось 23 тропических циклона (ТЦ), что составляет 89,8 % от нормы (25,6 ТЦ). Сезон ТЦ в 2014 г. начался довольно рано. Уже в январе возникло два ТЦ (при норме 0,3). Последний тропический шторм образовался 27 декабря. В марте и мае ТЦ не зарождались. Наиболее активный циклогенез происходил в июле (5 ТЦ) и сентябре (5 ТЦ) при норме 3,6 и 4,8 ТЦ соответственно. Траектории ТЦ были зональными и параболическими. В своём развитии ТЦ в 11 случаях достигли стадии тайфуна (Т), 6 развились до сильного тропического шторма (STS) и 6 ТЦ остались в стадии тропического шторма (TS). Давление в их центрах изменялось от 900 до 1002 гПа, а скорость ветра – от 35 до 115 (в порывах от 50 до 165) узлов.

В 2015 году в северо-западной части Тихого океана образовалось 27 тропических циклонов (ТЦ), что на 5,5% выше нормы (25,6 ТЦ). Сезон тайфунов в северо-западной части Тихого океана начался рано и был довольно активным в первой своей половине (9 ТЦ), что превысило норму (4,1 ТЦ) более чем вдвое (на 119,5 %). В период с июля по октябрь возникло 18 ТЦ (84,1% от нормы). ТЦ зарождались ежемесячно, последний ТЦ образовался 9 декабря. Наиболее активный циклогенез – июль (4 ТЦ) и сентябрь (6 ТЦ) при норме 3,6 и 4,8 ТЦ соответственно. Самыми глубокими были ТЦ SOUDELOR (1513) и NOUL (1506), с давлением в их центрах 900 и 915 гПа, и максимальной скоростью ветра 100–115 (в порывах 140–165) узлов. Российский Дальний Восток подвергался влиянию 11 ТЦ, из них 4 уже трансформировались во внетропические циклоны.

В 2016 году в северо-западной части Тихого океана образовалось 26 тропических циклонов, что примерно на 2% выше нормы (25,6 ТЦ). Сезон тайфунов в северо-западной части Тихого океана начался поздно. Открыл его супер тайфун (STY) NEPARTAK (1601), зародившийся 2 июля. При этом предыдущий тайфун MELOR (1527) закончил свое существование 17 декабря 2015 года. Таким образом, период без образования тропических циклонов составил 197 дней. В период с июля по октябрь возникло 23 ТЦ (88,5% от 26 ТЦ). С января по июнь ТЦ не зарождались, последний ТЦ образовался 21 декабря. Наиболее активный циклогенез происходил в августе (7 ТЦ) и в сентябре (6 ТЦ) при норме 5,9 и 4,8 ТЦ соответственно. Самыми глубокими были супер тайфуны NEPARTAK (1601), MERANTI (1614), HAIMA (1622), CHABA (1618), NOCK-TEN (1626). Давление в их центрах понижалось соответственно до 890, 900, 900 905, 915 гПа. Максимальная

скорость ветра достигала 100–115 (в порывах 140–165) узлов. Российский Дальний Восток подвергался влиянию 10 ТЦ в стадиях: тайфуна, STS, TS, TD и внетропического циклона (L).

В течение всех трёх тайфунных сезонов 1014–2016 гг. влиянию ТЦ подвергались: Японское, Охотское и Берингово моря, Приморский и Хабаровский край, Сахалин, Курилы, Камчатка, Амурская и Магаданская области.

Всего за период оперативных испытаний 2014–2016 гг. было обчислено 68 ТЦ, что составило 90% от 76 ТЦ, отмечавшихся в северо-западной части Тихого океана. Это обстоятельство позволяет считать полученные прогностические оценки репрезентативными.

В таблицах в данном разделе приняты следующие обозначения: Δt – заблаговременность; N – число прогнозов; δ_p и δ_v – средняя абсолютная ошибка прогноза давления и ветра в ТЦ; δ_* – средняя абсолютная фактическая изменчивость; σ_p и σ_v – средняя арифметическая ошибка прогноза давления и ветра в ТЦ; ε – относительная ошибка; p_p и p_v – оценка прогноза знака изменения давления, ветра или радиусов зон сильных и ураганных ветров в ТЦ, P_p и P_v – ошибка знака изменения давления, ветра в ТЦ (%), δ_{\min} – минимальная абсолютная ошибка, δ_{\max} – максимальная абсолютная ошибка, ε_{\min} – минимальная относительная ошибка, ε_{\max} – максимальная относительная ошибка, N_{TC} – число ТЦ при расчёте ошибок прогнозов.

При анализе оправдываемости по всем трём сезонам в качестве итоговых брались как самые худшие оценки, так и средние значения по трём сезонам. В качестве методической основы для анализа бралась работа [3].

4.1 Прогноз положения тропических циклонов

Анализ результатов, представленных в табл. 4.1–4.3 показывает, что при любой заблаговременности прогнозов численный метод даёт хороший результат.

Средняя ошибка прогнозов положения центров ТЦ при заблаговременности прогнозов до 24 ч не превышает 101 км при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. и 95 км при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. При заблаговременности 48 ч – 188 и 179 км соответственно и при заблаговременности 72 ч – 259 и 341 км. При заблаговременности прогнозов до 48 ч в большинстве случаев ошибка прогноза положения не превышает 156 км (от 99 % при заблаговременности 12 ч до 59 % при заблаговременности 48 ч при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш., а при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. – от 93 %

при заблаговременности 12 ч до 69 % при заблаговременности 48 ч). При большей заблаговременности возрастает число случаев, когда эта ошибка превышает 200 км и в среднем разница между прогностическим и фактическим положением тропических циклонов находится в интервале 201–400 км.

Минимальная величина ошибки положения составляет примерно одну десятую градуса (11,1 км) для всех заблаговременностей. Максимальное значение ошибки (707 км) приходится на прогнозы сезона 2014 года с заблаговременностью 60–72 ч при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. и 965 км для заблаговременности 72 ч при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш.

Относительная ошибка положения ТЦ ϵ с увеличением заблаговременности от $\Delta t=24$ до 72 часов меняется незначительно, с тенденцией слабого уменьшения. Максимальные значения характерны для первых часов прогноза (0,30–0,43). По мере увеличения заблаговременности относительная ошибка положения ТЦ стабилизируется (0,23–0,27).

Большие ошибки прогноза положения ТЦ при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25 градусов с. ш., по сравнению с ошибками прогноза положения ТЦ при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш., предположительно, могут быть объяснены тем фактом, что скорость перемещения ТЦ по мере своего перемещения на север, как правило, значительно увеличивается.

Во всех сезонах 2014–2016 гг. и по каждому району анализа (к югу и к северу от 25° с. ш.), автоматизированный метод прогноза положения ТЦ имеет преимущество перед инерционным прогнозом.

Таблица 4.1 – Ошибки в прогнозе положения ТЦ по результатам испытаний за 2014 г.

Δt	N _{ТС}	N	Повторяемость (%) Δг, (км)				Δr̄, км	Экстремальное Δг, км		ε
			<200	201–400	401–600	>600		Min	Max	
Численный прогноз моделью HWRF										
12	22	220	97	3	0	0	61	0	288	0,33
24	22	201	94	6	0	0	98	0	379	0,28
36	22	184	74	25	1	0	145	10	423	0,28
48	22	166	61	33	6	0	188	0	576	0,27
60	22	148	48	43	7	2	233	23	779	0,27
72	22	131	35	45	16	4	273	11	927	0,27
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.										
12	20	182	98	2	0	0	61	10	288	0,36
24	20	165	94	6	0	0	101	0	379	0,31
36	20	147	72	27	1	0	150	11	423	0,30
48	20	131	59	36	5	0	188	15	576	0,29
60	20	116	45	50	5	0	222	23	707	0,28
72	20	101	36	48	15	1	259	11	552	0,28
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.										
12	10	38	93	7	0	0	64	0	258	0,21
24	10	36	95	5	0	0	78	11	376	0,13
36	10	37	85	15	0	0	120	10	372	0,16
48	10	35	69	231	10	0	179	0	526	0,17
60	10	32	55	26	14	5	266	23	779	0,22
72	10	30	34	39	15	12	316	33	927	0,23
Инерционный прогноз 1 порядка										
12	22	195	42	49	7	2	228	0	656	2,28
24	22	179	18	42	25	15	377	8	910	1,42
36	22	162	13	27	27	33	407	8	995	1,06
48	22	144	18	26	24	32	467	1	996	0,88
60	22	127	19	22	18	41	480	6	995	0,60
72	22	113	16	23	24	37	487	4	978	0,57

Таблица 4.2 – Ошибки в прогнозе положения ТЦ по результатам испытаний за 2015 г.

Δt	N _{ТС}	N	Повторяемость (%)				Δr̄, км	Экстремальное		ε
			Δr, (км)					Δr, км		
			<200	201-400	401-600	>600	Min	Max		
Численный прогноз моделью HWRF										
12	21	168	99	1	0	0	60	0	296	0,40
24	21	152	93	7	0	0	87	11	385	0,28
36	21	137	92	8	0	0	111	10	401	0,23
48	21	129	76	24	0	0	150	10	466	0,23
60	21	114	64	33	2	1	184	55	652	0,22
72	21	103	45	49	3	3	218	11	673	0,22
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.										
12	19	152	99	1	0	0	60	0	296	0,43
24	19	137	94	6	0	0	87	11	284	0,30
36	19	122	92	8	0	0	110	10	323	0,25
48	19	113	76	24	0	0	150	10	466	0,24
60	19	101	66	32	2	0	182	55	556	0,23
72	19	90	48	46	4	2	215	11	619	0,24
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.										
12	10	16	100	0	0	0	59	0	188	0,18
24	10	15	87	13	0	0	95	11	385	0,14
36	10	15	88	6	6	0	124	22	401	0,14
48	10	16	77	23	0	0	156	29	322	0,15
60	10	13	58	35	0	7	203	64	652	0,16
72	10	13	35	51	0	14	250	22	673	0,17
Инерционный прогноз 1 порядка										
12	21	168	46	49	4	1	218	0	794	2,28
24	21	152	22	32	37	9	360	39	898	1,37
36	21	137	14	23	25	35	478	22	999	1,16
48	21	129	22	18	15	45	503	17	983	0,86
60	21	114	18	26	23	33	474	1	992	0,62
72	21	103	22	19	20	39	485	18	995	0,50

Таблица 4.3 – Ошибки в прогнозе положения ТЦ по результатам испытаний за 2016 г.

Δt	N _{ТС}	N	Повторяемость (%) Δг, (км)				Δr̄, км	Экстремальное Δг, км		ε
			<200	201-400	401-600	>600		Min	Max	
Численный прогноз моделью HWRF										
12	25	190	100	0	0	0	54	0	224	0,27
24	25	170	94	6	0	0	88	10	397	0,22
36	25	150	84	15	1	0	129	11	456	0,21
48	25	133	70	28	4	0	171	0	569	0,22
60	25	117	57	31	9	3	224	15	756	0,23
72	25	101	46	36	9	9	282	0	965	0,23
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.										
12	22	128	100	0	0	0	53	0	224	0,29
24	22	110	93	7	0	0	86	10	252	0,24
36	22	91	83	16	1	1	128	11	437	0,23
48	22	79	68	26	5	5	169	0	569	0,24
60	22	68	64	27	8	8	200	15	613	0,23
72	22	57	49	38	8	8	235	0	644	0,22
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.										
12	14	62	100	0	0	0	55	0	173	0,22
24	14	60	96	4	0	0	93	22	397	0,19
36	14	59	86	13	1	0	131	24	456	0,19
48	14	54	72	25	3	0	175	22	508	0,19
60	14	49	48	36	10	6	258	22	756	0,23
72	14	44	40	34	11	15	341	38	965	0,26
Инерционный прогноз 1 порядка										
12	22	169	30	65	5	0	256	0	605	2,19
24	22	151	9	46	28	17	415	33	930	1,33
36	22	133	7	25	23	45	536	21	973	1,008
48	22	117	18	18	18	46	519	5	993	0,79
60	22	102	24	18	30	28	458	10	988	0,49
72	22	87	24	21	26	29	433	0	967	0,47

4.2 Прогноз скорости перемещения тропических циклонов

Анализ результатов, представленных в таблицах 4.4–4.6 показывает, что при любой заблаговременности прогнозов численный метод прогнозов скорости перемещения ТЦ имеет хорошее качество. При всех заблаговременностях (12–72 ч) прогнозов в подавляющем большинстве случаев (99–100 % при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. и 93–98 % при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш.) ошибка прогноза скорости перемещения тропических циклонов не превышает 250 км/сут.

При нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. средняя абсолютная ошибка прогноза скорости ТЦ уменьшается с увеличением заблаговременности, составляя наибольшую величину 76 км/сут при заблаговременности 12 ч (76 км/сут). При нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. средняя абсолютная ошибка прогноза скорости ТЦ минимальна (66–72 км/сут) в течение вторых суток прогноза (24–48 ч).

Значения средней арифметической ошибки скорости перемещения тропических циклонов колеблются от –38 до –8 км/сут при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. и от –74 до –31 км/сут при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. Знак ошибки свидетельствует о систематическом занижении в большинстве случаев рассчитанной скорости.

Таблица 4.4 – Ошибки в прогнозе скорости ТЦ по результатам испытаний за 2014 г.

Δt	N_{TC}	N	$\overline{S}_{\phi,}$ км/сут	Повторяемость(%) ΔS			$\Delta S,$ км/сут	Экстремальное $\Delta S,$ км		$\Delta \overline{S}$ км/сут	ηS
				<250	<450	>450		min	max		
Численный прогноз моделью HWRF											
12	22	220	478	99	1	0	78	0	469	-26	1,00
24	22	201	454	100	0	0	64	0	339	-28	0,96
36	22	184	440	100	0	0	70	0	282	-33	0,95
48	22	166	430	100	0	0	69	0	262	-38	0,95
60	22	148	421	99	1	0	69	1	311	-45	0,93
72	22	131	408	100	0	0	70	1	384	-47	0,94
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.											
12	22	182	440	99	1	0	76	0	385	-22	1,00
24	22	165	423	100	0	0	66	0	306	-24	0,97
36	22	147	418	100	0	0	70	0	282	-29	0,95
48	22	131	411	100	0	0	67	2	226	-32	0,96
60	22	116	405	100	0	0	64	1	223	-36	0,95
72	22	101	395	100	0	0	64	1	178	-38	0,96
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.											
12	22	38	644	93	5	2	83	0	469	-44	0,96
24	22	36	590	98	2	0	54	1	339	-43	0,93
36	22	37	522	100	0	0	66	1	248	-47	0,93
48	22	35	500	98	2	0	72	0	262	-59	0,89
60	22	32	476	95	5	0	83	1	311	-74	0,86
72	22	30	449	97	3	0	85	3	384	-73	0,85
Инерционный прогноз 1 порядка											
12	22	195	238	20	42	38	431	0	1292	429	3,10
24	22	179	342	40	33	27	356	2	1557	349	2,38
36	22	162	369	45	35	20	330	2	2270	313	2,08
48	22	144	381	47	32	21	308	1	1323	282	2,05
60	22	127	379	51	26	23	321	2	1292	293	1,99
72	22	113	367	46	30	24	327	2	1278	302	2,06

Таблица 4.5 – Ошибки в прогнозе скорости ТЦ по результатам испытаний за 2015 г.

Δt	N_{TC}	N	\overline{S}_{ϕ} , км/сут	Повторяемость(%) ΔS			ΔS , км/сут	Экстремальное ΔS , км		$\Delta \overline{S}$ км/сут	ηS
				<250	<450	>450		min	max		
Численный прогноз моделью HWRF											
12	21	168	443	99	1	0	76	0	550	-12	1,07
24	21	152	428	100	0	0	56	0	384	-14	1,00
36	21	137	420	100	0	0	45	0	265	-16	0,97
48	21	129	415	100	0	0	46	1	161	-20	0,95
60	21	114	408	100	0	0	44	1	254	-18	0,96
72	21	103	409	100	0	0	45	1	213	-20	0,96
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.											
12	19	152	725	99	1	0	75	0	550	-10	1,09
24	19	137	654	100	0	0	52	0	227	-8	1,01
36	19	122	563	100	0	0	42	0	164	-13	0,97
48	19	113	511	100	0	0	44	1	141	-18	0,95
60	19	101	487	100	0	0	41	1	126	-16	0,96
72	19	90	471	100	0	0	43	1	145	-16	0,96
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.											
12	10	16	725	100	0	0	89	0	239	-36	0,95
24	10	15	654	94	6	0	87	9	384	-65	0,93
36	10	15	563	94	6	0	72	11	265	-47	0,93
48	10	16	511	100	0	0	66	1	161	-40	0,94
60	10	13	487	93	7	0	64	3	254	-34	0,94
72	10	13	471	100	0	0	60	5	213	-49	0,90
Инерционный прогноз 1 порядка											
12	21	168	228	26	28	46	408	22	1325	404	3,12
24	21	152	327	42	35	23	317	2	1081	302	2,16
36	21	137	353	45	35	20	297	2	951	274	1,99
48	21	129	365	46	36	18	295	7	883	270	1,97
60	21	114	369	46	32	22	298	4	939	263	1,90
72	21	103	378	46	31	23	301	3	942	257	1,83

Таблица 4.6 – Ошибки в прогнозе скорости ТЦ по результатам испытаний за 2016 г.

Δt	N_{TC}	N	\overline{S}_{ϕ} , км/сут	Повторяемость(%) ΔS			ΔS , км/сут	Экстремальное ΔS , км		$\Delta \overline{S}$ км/сут	ηS
				<250	<450	>450		min	max		
Численный прогноз моделью HWRF											
12	25	190	516	96	4	0	74	0	442	-28	0,98
24	25	170	496	100	0	0	62	1	380	-29	0,96
36	25	150	483	100	0	0	58	1	253	-27	0,95
48	25	133	475	100	0	0	56	0	207	-28	0,94
60	25	117	467	100	0	0	59	1	274	-33	0,93
72	25	101	454	100	0	0	61	1	265	-35	0,89
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.											
12	22	128	493	97	3	0	69	0	442	-27	0,99
24	22	110	478	100	0	0	55	1	242	-23	0,97
36	22	91	469	100	0	0	51	1	207	-17	0,97
48	22	79	468	100	0	0	50	0	207	-15	0,98
60	22	68	468	100	0	0	47	1	154	-18	0,95
72	22	57	460	100	0	0	48	1	136	-24	0,89
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.											
12	14	62	563	93	7	0	87	0	345	-31	0,96
24	14	60	529	99	1	0	74	1	380	-40	0,93
36	14	59	504	99	1	0	68	2	253	-41	0,91
48	14	54	484	100	0	0	65	2	202	-49	0,89
60	14	49	465	98	2	0	75	1	274	-53	0,89
72	14	44	446	98	2	0	78	1	265	-48	0,90
Инерционный прогноз 1 порядка											
12	22	169	262	14	27	59	487	22	1140	484	3,02
24	22	151	377	31	29	40	365	7	1034	358	2,13
36	22	133	410	39	33	28	333	5	931	317	1,92
48	22	117	422	40	34	26	320	1	839	296	1,89
60	22	102	427	44	34	22	310	6	799	280	1,86
72	22	87	417	48	32	20	292	3	869	252	1,84

4.3 Прогноз направления перемещения тропических циклонов

Анализ результатов, представленных в таблицах 4.7–4.9 показывает, что при любой заблаговременности прогнозов численный метод прогнозов скорости перемещения ТЦ имеет хорошее качество.

Погрешность определения направления смещения тропических циклонов при любой заблаговременности прогнозов до 72 ч включительно в большинстве случаев (от 79 до 91 % при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. и от 93 до 100 % при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш.) не превышает 25°. При этом в большинстве случаев повторяемость $\Delta\varphi < 25^\circ$ уменьшается с увеличением заблаговременности прогноза. Средний показатель угла отклонения прогностической траектории от фактической при любой заблаговременности прогнозов равен 4–6°. Чаще всего (от 50 до 65 % случаев) прогностические траектории отклоняются от фактических вправо при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. и вправо (от 50 до 55 %) – при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш.

Максимальные значения ошибок, в том числе более 35°, по направлению отмечаются в первые 12 ч.

Таким образом, правый поворот относительно истинной траектории преобладает в течение всего периода прогноза по методу HWRF-ДВНИГМИ.

Таблица 4.7 – Ошибки в прогнозе направления перемещения ТЦ по результатам испытаний за 2014 г.

Δt	N _{ТС}	N	Повторяемость(%) Δφ			Число случаев		Δφ°			Эстрем. значения Δφ°	
			<25	25-35	>35	Влево	Вправо	Влево	Вправо	Все	min	max
Численный прогноз моделью HWRF												
12	22	220	83	10	7	87	133	3	9	5	0	119
24	22	201	89	7	4	91	110	4	7	4	0	174
36	22	184	90	6	4	88	96	3	6	2	0	154
48	22	166	91	5	4	75	91	4	4	1	0	93
60	22	148	94	4	2	70	78	4	4	1	1	87
72	22	131	92	5	3	65	66	5	5	1	1	61
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.												
12	22	182	81	11	8	65	117	4	10	7	0	119
24	22	165	85	9	6	65	100	4	9	5	0	174
36	22	147	87	8	5	61	86	3	7	4	0	154
48	22	131	89	6	5	50	81	4	6	1	1	93
60	22	116	93	5	2	49	67	4	5	1	1	87
72	22	101	94	3	3	46	55	4	4	1	1	61
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.												
12	22	38	93	2	5	23	15	5	4	1	0	83
24	22	36	100	0	0	27	9	3	1	2	1	17
36	22	37	100	0	0	28	9	4	1	3	0	18
48	22	35	98	2	0	26	9	4	1	3	0	27
60	22	32	98	2	0	22	10	5	2	2	1	29
72	22	30	88	9	3	21	9	6	3	4	1	41
Инерционный прогноз 1 порядка												
12	22	195	74	13	13	114	81	9	9	1	0	151
24	22	179	65	19	16	109	78	10	10	1	1	159
36	22	162	61	19	20	98	64	13	10	3	1	177
48	22	144	54	20	26	85	59	17	9	8	1	147
60	22	127	56	12	32	77	50	18	9	8	1	143
72	22	113	48	15	37	71	42	20	10	9	1	147

Таблица 4.8 – Ошибки в прогнозе направления перемещения ТЦ по результатам испытаний за 2015 г.

Δt	N _{ТС}	N	Повторяемость(%) Δφ			Число случаев		Δφ°			Эстрем. значения Δφ°	
			<25	25-35	>35	Влево	Вправо	Влево	Вправо	Все	min	max
Численный прогноз моделью HWRF												
12	21	168	80	10	10	63	127	3	11	9	0	168
24	21	152	89	5	6	50	120	2	9	7	1	172
36	21	137	90	2	8	48	102	3	7	5	1	113
48	21	129	88	6	6	53	80	4	6	3	1	91
60	21	114	91	7	2	52	65	4	7	4	1	157
72	21	103	92	5	3	51	50	3	6	3	1	118
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.												
12	19	152	79	11	10	53	99	4	12	9	0	168
24	19	137	88	5	7	43	94	2	10	8	1	172
36	19	122	89	2	9	41	81	2	8	6	1	113
48	19	113	86	7	7	47	66	4	6	3	1	91
60	19	101	90	8	2	46	55	3	7	4	1	157
72	19	90	91	5	4	45	45	4	6	3	1	118
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.												
12	10	16	95	0	5	10	6	3	4	3	0	53
24	10	15	100	0	0	7	8	1	2	1	1	10
36	10	15	100	0	0	7	8	1	2	1	1	8
48	10	16	100	0	0	6	10	1	3	2	1	9
60	10	13	100	0	0	6	7	1	4	2	1	10
72	10	13	93	7	0	6	7	2	5	2	1	20
Инерционный прогноз 1 порядка												
12	21	168	65	22	13	95	59	12	7	6	0	153
24	21	152	62	19	19	86	54	13	8	6	1	146
36	21	137	60	15	25	86	43	16	7	9	1	104
48	21	129	59	13	28	84	35	18	6	13	1	94
60	21	114	58	16	26	72	32	20	5	14	1	93
72	21	103	58	13	29	62	31	19	8	11	0	109

Таблица 4.9 – Ошибки в прогнозе направления перемещения ТЦ по результатам испытаний за 2016 г.

Δt	N _{ТС}	N	Повторяемость(%) Δφ			Число случаев		Δφ°			Эстрем. значения Δφ°	
			<25	25-35	>35	Влево	Вправо	Влево	Вправо	Все	min	max
Численный прогноз моделью HWRF												
12	25	190	91	9	3	90	100	4	6	3	0	165
24	25	170	93	5	2	65	105	3	6	3	1	169
36	25	150	93	4	3	66	84	3	5	1	0	60
48	25	133	91	6	3	57	76	3	6	3	0	130
60	25	117	91	6	3	42	75	4	5	2	0	81
72	25	101	87	9	4	37	64	4	6	3	0	56
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.												
12	22	128	88	9	3	52	76	3	8	5	0	165
24	22	110	89	8	3	33	77	2	7	5	1	169
36	22	91	91	4	5	36	55	3	6	3	0	60
48	22	79	87	8	5	27	52	3	7	5	0	130
60	22	68	90	5	5	21	47	4	5	2	0	81
72	22	57	86	7	7	16	41	3	7	3	0	56
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.												
12	14	62	98	1	1	39	23	5	3	3	0	97
24	14	60	99	1	0	33	27	3	3	1	1	34
36	14	59	97	3	0	30	29	4	3	1	1	22
48	14	54	99	1	0	30	24	4	4	1	1	31
60	14	49	92	8	0	21	28	3	5	2	1	41
72	14	44	85	13	2	21	23	4	6	2	1	
Инерционный прогноз 1 порядка												
12	22	169	70	21	9	99	70	9	9	1	0	176
24	22	151	66	15	19	86	65	11	10	1	1	164
36	22	133	60	19	21	73	60	12	12	1	0	175
48	22	117	59	14	27	63	54	13	14	1	0	179
60	22	102	55	12	33	53	49	14	15	1	1	169
72	22	87	49	12	39	45	42	15	19	4	0	172

4.4 Прогноз минимального давления в тропических циклонах

Результаты оперативных испытаний метода прогноза давления в центре ТЦ представлены в таблицах 4.10–4.12.

Абсолютная ошибка прогнозов при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. с увеличением заблаговременности растёт от 7,5 до 27,3 гПа. Средняя арифметическая ошибка прогноза положительна при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш., отрицательна при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. В целом, имеет место занижение величины прогноза давления, особенно значительное на третьи сутки прогноза.

Относительная ошибка метода с увеличением заблаговременности, как правило, уменьшается при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш., или остаётся без существенного изменения при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш.

Значения $p_p > 0,5$ больше характерны при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. и на вторые сутки прогноза.

Анализ результатов, представленных в таблицах 4.10–4.12 показывает, что при любой заблаговременности прогнозов численный метод прогнозов давления в центре ТЦ имеет удовлетворительное качество.

Таблица 4.10 – Ошибки в прогнозе минимального давления в центрах ТЦ по результатам испытаний за 2014 г.

Характеристики							
Δt	N_{TC}	N	δ_p	δ_ϕ	σ	ε_p	ρ_p
Численный прогноз моделью HWRP							
12	22	220	8,1	7,0	2,3	1,24	0,14
24	22	201	10,9	12,4	1,1	0,87	0,28
36	22	184	12,9	16,7	0,1	0,77	0,35
48	22	166	16,4	20,8	-1,4	0,78	0,32
60	22	148	19,3	24,4	-2,1	0,79	0,32
72	22	131	21,6	28,1	-2,1	0,76	0,41
Численный прогноз моделью HWRP при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.							
12	22	182	9,1	6,9	2,6	1,31	0,10
24	22	165	11,4	12,3	1,9	0,92	0,21
36	22	147	13,4	16,9	1,9	0,78	0,38
48	22	131	16,1	21,0	1,9	0,76	0,37
60	22	116	18,3	24,3	2,7	0,75	0,36
72	22	101	20,1	28,1	4,0	0,71	0,48
Численный прогноз моделью HWRP при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.							
12	22	38	7,5	6,9	0,2	1,07	0,25
24	22	36	9,8	12,6	-3,3	0,77	0,52
36	22	37	11,8	15,4	-9,8	0,77	0,23
48	22	35	18,1	19,1	-15,1	0,94	0,08
60	22	32	24,3	23,5	-21,2	1,03	0,11
72	22	30	27,3	27,7	-24,0	0,98	0,18
Инерционный прогноз 1 порядка							
12	22	195	9,1	3,5	-2,1	2,60	-0,01
24	22	179	16,5	10,1	-5,6	1,63	-0,01
36	22	162	23,3	15,1	-8,5	1,53	-0,04
48	22	144	30,4	19,1	-12,6	1,58	-0,06
60	22	127	35,4	22,8	-16,9	1,55	0,01
72	22	113	38,9	26,4	-20,6	1,47	0,15

Таблица 4.11 – Ошибки в прогнозе минимального давления в центрах ТЦ по результатам испытаний за 2015 г.

Характеристики							
Δt	N_{TC}	N	δ_p	δ_ϕ	σ	ε_p	ρ_p
Численный прогноз моделью HWRP							
12	21	168	9,6	7,9	7,6	1,21	0,16
24	21	152	12,0	14,2	8,35	0,84	0,22
36	21	137	14,5	20,0	8,7	0,72	0,34
48	21	129	15,3	24,1	8,4	0,63	0,42
60	21	114	16,6	26,8	9,7	0,61	0,38
72	21	103	17,3	29,6	10,7	0,58	0,53
Численный прогноз моделью HWRP при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.							
12	19	152	9,9	7,9	8,2	1,24	0,13
24	19	137	12,5	14,1	9,5	0,88	0,18
36	19	122	14,8	19,9	10,4	0,74	0,32
48	19	113	15,4	23,4	10,9	0,65	0,41
60	19	101	17,0	26,7	12,3	0,63	0,40
72	19	90	18,3	29,9	12,8	0,61	0,48
Численный прогноз моделью HWRP при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.							
12	10	16	6,8	8,4	1,7	0,81	0,52
24	10	15	7,0	14,5	-0,5	0,48	0,60
36	10	15	11,6	22,2	-5,6	0,52	0,50
48	10	16	14,2	29,1	-9,6	0,48	0,52
60	10	13	14,2	26,9	-11,1	0,52	0,14
72	10	13	11,6	26,6	-5,7	0,43	0,71
Инерционный прогноз 1 порядка							
12	21	168	9,2	4,2	-0,5	2,15	0,18
24	21	152	17,1	11,4	-4,1	1,49	0,40
36	21	137	24,8	18,0	-10,9	1,37	0,36
48	21	129	31,3	22,8	-16,3	1,37	0,29
60	21	114	36,3	25,8	-20,2	1,40	0,21
72	21	103	40,2	29,5	-24,4	1,36	0,18

Таблица 4.12 – Ошибки в прогнозе минимального давления в центрах ТЦ по результатам испытаний за 2016 г.

Характеристики							
Δt	N_{TC}	N	δ_p	δ_ϕ	σ	ε_p	ρ_p
Численный прогноз моделью HWRF							
12	25	190	11,1	9,6	5,6	1,15	0,11
24	25	170	12,3	15,6	4,8	0,78	0,34
36	25	150	15,3	21,9	4,3	0,69	0,32
48	25	133	16,9	26,8	4,4	0,63	0,44
60	25	117	20,5	25,1	4,6	0,62	0,38
72	25	101	22,5	27,8	6,8	0,58	0,54
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.							
12	22	128	12,1	9,9	5,7	1,20	0,06
24	22	110	13,2	17,1	5,2	0,77	0,36
36	22	91	16,5	26,2	4,3	0,63	0,38
48	22	79	18,2	34,8	5,7	0,52	0,56
60	22	68	22,7	29,1	5,2	0,59	0,55
72	22	57	27,1	26,8	5,6	0,63	0,68
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.							
12	14	62	11,4	9,2	-1,8	0,23	0,17
24	14	60	14,2	12,9	-3,5	0,10	0,64
36	14	59	19,6	14,5	-10,2	0,35	0,52
48	14	54	24,0	15,0	-13,7	0,59	0,43
60	14	49	29,3	18,3	-17,1	0,58	0,18
72	14	44	36,6	20,3	-26,6	0,80	0,18
Инерционный прогноз 1 порядка							
12	22	169	12,4	6,1	-4,7	2,05	-0,05
24	22	151	22,4	14,1	-10,6	1,58	0,08
36	22	133	32,2	21,3	-15,7	1,47	0,09
48	22	117	38,6	25,9	-20,9	1,48	0,11
60	22	102	44,7	30,2	-23,9	1,47	0,10
72	22	87	47,9	35,1	-25,2	1,48	0,14

4.5 Прогноз максимального ветра в тропических циклонах

Качество прогнозов максимального ветра в ТЦ (таблицы 4.13–4.15) для численного метода характеризуют следующие показатели успешности: относительная ошибка уменьшается с увеличением заблаговременности.

Средняя арифметическая ошибка прогнозов при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш., как правило, отрицательна для всех заблаговременностей, следовательно, имеет место занижение прогноза максимального ветра.

Средняя арифметическая ошибка при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. с увеличением заблаговременности увеличивается от –5 м/с (прогноз на 12 ч) до –25 м/с (прогноз на 72 ч). При этом занижение скорости максимального ветра в прогнозах больше характерно при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш.

Оправдываемость прогнозов максимальной скорости ветра при заблаговременности 12 ч средняя: 68–71 %, затем она понижается до 48–68 % для заблаговременности 72 ч.

Анализ качества инерционных прогнозов максимальной скорости ветра показывает преимущество методических численных прогнозов моделью HWRF-ДВНИГМИ при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш.

Таблица 4.13 – Ошибки в прогнозе максимального ветра в ТЦ по результатам испытаний за 2014 г.

Характеристики								
Δt	N_{TC}	N	δ_v	δ_ϕ	σ_v	ε_v	ρ_v	PV, %
Численный прогноз моделью HWRF								
12	22	220	10,5	5,7	-8,1	1,83	0,03	62,2
24	22	201	12,7	10,3	-10,2	1,22	0,16	57,2
36	22	184	17,2	14,4	-13,9	1,19	0,08	46,9
48	22	166	19,3	17,6	-16,4	1,09	0,14	42,1
60	22	148	21,6	20,1	-18,4	1,07	-0,00	46,8
72	22	131	21,9	22,4	-19,1	0,97	0,14	46,2
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.								
12	22	182	11,2	4,7	-6,1	2,39	-0,02	60,6
24	22	165	12,8	8,5	-7,8	1,51	0,17	56,9
36	22	147	16,1	11,5	-11,5	1,38	0,15	49,4
48	22	131	17,8	14,4	-13,8	1,23	0,19	45,5
60	22	116	19,1	16,6	-14,9	1,14	0,17	47,5
72	22	101	20,7	19,2	-16,7	1,08	0,14	48,9
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.								
12	22	38	6,5	5,1	-5,2	1,27	0,55	71,3
24	22	36	8,4	9,1	-5,5	0,92	0,68	67,0
36	22	37	7,5	11,1	-2,8	0,67	0,64	69,0
48	22	35	10,1	13,5	0,1	0,74	0,51	64,1
60	22	32	14,0	16,4	-1,3	0,85	0,52	52,2
72	22	30	18,1	19,3	-5,2	0,94	0,50	50,3
Инерционный прогноз 1 порядка								
12	22	195	11,3	2,4	-7,8	4,67	-0,12	60,2
24	22	179	16,0	6,9	-11,1	2,31	0,07	49,6
36	22	162	18,3	10,4	-13,4	1,75	0,08	44,4
48	22	144	21,4	13,1	-16,2	1,63	-0,01	37,3
60	22	127	19,8	15,5	-15,2	1,27	0,19	40,9
72	22	113	22,1	18,1	-17,3	1,21	0,09	35,7

Таблица 4.14 – Ошибки в прогнозе максимального ветра в ТЦ по результатам испытаний за 2015 г.

Характеристики								
Δt	N_{TC}	N	δ_v	δ_ϕ	σ_v	ε_v	ρ_v	PV, %
Численный прогноз моделью HWRF								
12	21	168	9,4	5,5	-7,3	1,72	0,20	64,7
24	21	152	9,7	9,7	-7,9	1,00	0,32	64,0
36	21	137	11,4	13,7	-8,8	0,82	0,37	60,3
48	21	129	14,3	16,5	-11,4	0,86	0,37	53,5
60	21	114	15,5	18,4	-12,5	0,84	0,29	50,8
72	21	103	17,7	20,3	-15,4	0,87	0,32	49,7
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.								
12	19	152	9,7	5,5	-7,5	1,77	0,15	65,1
24	19	137	10,3	9,7	-8,6	1,06	0,28	63,7
36	19	122	12,0	13,7	-10,0	0,88	0,32	58,8
48	19	113	15,2	16,1	-13,5	0,93	0,34	51,5
60	19	101	16,4	18,4	-14,7	0,89	0,26	49,7
72	19	90	19,4	20,5	-17,9	0,94	0,26	48,7
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.								
12	10	16	6,4	5,7	-5,1	1,10	0,64	71,6
24	10	15	4,5	9,8	-2,0	0,46	0,73	76,9
36	10	15	5,2	15,1	1,1	0,34	0,75	75,3
48	10	16	8,1	19,6	3,4	0,41	0,64	67,7
60	10	13	7,9	18,2	4,2	0,43	0,57	68,9
72	10	13	8,5	17,9	-0,4	0,47	0,71	67,7
Инерционный прогноз 1 порядка								
12	21	168	13,1	2,9	-10,6	4,48	0,10	56,4
24	21	152	17,0	7,8	-14,1	2,17	0,31	48,3
36	21	137	18,3	12,4	-13,9	1,48	0,34	45,3
48	21	129	19,4	15,6	-14,9	1,24	0,29	41,9
60	21	114	20,4	17,8	-16,0	1,15	0,32	39,6
72	21	103	21,7	20,2	-18,4	1,01	0,33	32,6

Таблица 4.15 – Ошибки в прогнозе максимального ветра в ТЦ по результатам испытаний за 2016 г.

Характеристики								
Δt	N_{TC}	N	δ_v	δ_ϕ	σ_v	ε_v	ρ_v	PV, %
Численный прогноз моделью HWRF								
12	25	190	10,5	5,7	-8,1	1,83	0,03	62,2
24	25	170	12,7	10,3	-10,3	1,22	0,16	59,2
36	25	150	17,2	14,4	-13,9	1,19	0,08	49,9
48	25	133	19,4	17,6	-16,4	1,09	0,14	42,8
60	25	117	21,6	20,1	-18,4	1,07	-0,01	37,8
72	25	101	21,9	22,4	-19,2	0,98	0,14	36,2
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к югу от 25° с. ш.								
12	22	128	12,2	5,7	-9,2	2,13	0,03	58,3
24	22	110	14,8	11,1	-12,5	1,32	0,20	52,4
36	22	91	21,1	16,39	-18,2	1,24	0,14	39,6
48	22	79	24,2	22,4	-21,8	1,07	0,18	30,9
60	22	68	27,5	26,7	-25,8	0,03	0,08	25,9
72	22	57	27,4	30,4	-25,8	0,90	0,33	26,1
Численный прогноз моделью HWRF при нахождении циклона к северу от 25° с. ш.								
12	14	62	7,2	5,9	-5,9	1,21	0,01	69,7
24	14	60	9,0	9,0	-6,4	1,00	0,08	65,6
36	14	59	11,1	10,4	-7,5	1,06	-0,01	61,8
48	14	54	12,3	10,5	-8,5	1,16	0,07	59,9
60	14	49	13,4	10,9-	-8,1	1,22	-0,10	55,6
72	14	44	14,8	12,1	-10,6	1,22	-0,09	53,4
Инерционный прогноз 1 порядка								
12	22	169	15,8	3,5	-13,5	4,49	-0,17	50,1
24	22	151	17,1	9,0	-13,2	1,88	0,07	47,1
36	22	133	22,1	13,5	-17,4	1,63	0,03	35,7
48	22	117	23,8	16,8	-19,4	1,41	0,07	31,8
60	22	102	24,3	19,3	-20,8	1,25	0,21	30,7
72	22	87	22,6	21,4	-20,1	1,05	0,26	34,6

4.6 Общие выводы

4.6.1 Статистическая оценка преимущества методического прогноза над инерционным

Итак, численный метод прогноза положения тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана моделью HWRF-ДВНИГМИ при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш., а также при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш. позволяет с большой вероятностью рассчитывать будущее положение тропических циклонов с заблаговременностью до 72 ч включительно. По всем показателям успешности метод имеет преимущество перед инерционными прогнозами.

Отмечается некоторое занижение прогностической скорости смещения ТЦ по сравнению с фактической. Направление смещения ТЦ прогнозируется хорошо, качество прогнозов практически не меняется с увеличением заблаговременности прогнозов, при этом преобладает повторяемость отклонения прогностических траекторий вправо, вне зависимости от нахождения циклона на момент прогноза к югу или к северу от 25° с. ш.

Дополнительно, для проверки значимости преимущества методических прогнозов положения ТЦ был применён статистический t-критерий Стьюдента [4]:

$$t = \bar{f}(n-1)^{1/2} / s \quad (4.1)$$

где

– \bar{f} – средняя разность между ошибкой методического прогноза и ошибкой инерционного;

– s – стандартное отклонение разностей между ошибкой методического и ошибкой инерционного прогноза;

– $n = (m + (N - m)(1 - r) / (1 + r) - 1)$ - это число степеней свободы для t-статистики по Стьюденту;

– m – число тропических циклонов;

– N – число прогнозов положения ТЦ;

– r – коэффициент сериальной корреляции прогнозов, принят равным 0,53.

Если отрицательное значение t-статистики меньше соответствующего критического значения на выбранном уровне значимости (обычно 5%), то это говорит о преимуществе методического прогноза над инерционным.

Данные таблицы 4.16 подтверждают, что на уровне значимости 5 % ошибки методических прогнозов положения ТЦ значимо меньше, чем ошибки инерционного. Также становится ясно, что наилучшим образом удаются прогнозы положения ТЦ, на втором месте по качеству идут прогнозы направления перемещения, и на последнем месте – прогнозы скорости перемещения ТЦ.

Таблица 4.16 – Оценка статистической значимости преимущества методических прогнозов ТЦ перед инерционными прогнозами по статистическому t-критерию Стьюдента [4] за весь период оперативных испытаний 2014-2016 гг.

Δt	N_{TC}	N	Значение t-статистики по Стьюденту (критическое значение t-статистики при уровне значимости 5 %)		
			Ошибка положения центра ТЦ	Средняя абсолютная ошибка скорости перемещения ТЦ	Средняя абсолютная ошибка направления перемещения ТЦ
24	523	68	-18,78 (-1,97)	-4,53 (-1,97)	-5,77 (-1,97)
48	428		-18,01 (-1,97)	-3,50 (-1,97)	-8,35 (-1,97)
72	335		-16,34 (-1,98)	-1,27 (-1,98)	-8,52 (-1,98)

Оценка качества методических прогнозов интенсивности ТЦ удовлетворительная, в большинстве случаев имеет место занижение прогноза давления в центре ТЦ при нахождении циклона на момент прогноза к северу от 25° с. ш., и завышение – при нахождении циклона на момент прогноза к югу от 25° с. ш. Максимальная скорость ветра в центре ТЦ занижается на сравнительно постоянную величину для каждой заблаговременности. Авторы предполагают, что введение систематической поправки в прогнозы максимальной скорости ветра может улучшить качество численных прогнозов.

4.6.2 Сравнение с другими методами

Для оценки качества методических прогнозов положения ТЦ проведено их сопоставление с официальными синоптическими прогнозами по данным Японского Метеорологического Агентства (JMA) и Объединённого центра предупреждения о тайфунах США (Joint Typhoon Warning Centre, JTWC) для северо-западной части Тихого океана, а также с комплексным методом ДВНИГМИ (таблицах 4.17 и 4.18).

Таблица 4.17 – Сравнение средней ошибки положения центра ТЦ разными методами

Метод	Заблаговременность (ч)		
	24	48	72
2014 г.			
Метод HWRF-ДВНИГМИ (опер. испытания)	98	188	273
Синоптический метод JMA	101	177	249
Синоптический метод JTWC	91	152	228
2015 г.			
Метод HWRF-ДВНИГМИ (опер. испытания)	87	150	218
Синоптический метод JMA	72	119	176
Синоптический метод JTWC	78	124	181

Анализ таблицы 4.17 показывает, что численный метод HWRF-ДВНИГМИ прогноза положения центра ТЦ на период до 48 часов вполне сравним по качеству с оправдываемостью синоптических методов прогноза положения ТЦ ведущих мировых метеорологических агентств со специализацией на деятельности в области тропических циклонов.

Ввиду большой изменчивости ошибок прогноза положения ТЦ от года к году, была составлена сводная таблица (4.18), содержащая итоговые осреднённые за период ошибки положения ТЦ. Для мировых метеорологических агентств принят период 5 лет. Оценки по методу HWRF-ДВНИГМИ усреднены за три года оперативных испытаний.

Для сравнения приведены оценки комплексного физико-статистического метода В. П. Туноголовца для сезона 2009 г. [3].

Анализ этой таблицы позволяет сказать, что оправдываемость полностью автоматизированного метода прогноза положения центра ТЦ моделью HWRF-ДВНИГМИ находится на хорошем уровне.

Таблица 4.18 – Сводная таблица средней ошибки положения центра ТЦ (км) разными методами

Метод	Период оценки	Заблаговременность (час.)		
		24	48	72
Численный метод HWRF-ДВНИГМИ	2014-2016	91	170	258
Официальные оценки Японского Метеорологического Агентства (JMA)	2011-2015	87	143	210
Официальные оценки Объединённого центра предупреждения о тайфунах США (JTWC)	2011-2015	96	167	244
Инерционный прогноз 1 рода	2014-2016	384	468	496
Комплексный физико-статистический метод (автор В. П. Туноголовец, ДВНИГМИ, 2010)	2009	133	216	352

5 Решение Технического совета ФГБУ «Приморское УГМС»

Заслушав отчёт начальника отдела метеорологии и тропических циклонов В.В. Крохина «Об оперативных испытаниях» автоматизированного метода краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза положения тропических циклонов северо-западной части Тихого океана численной региональной моделью HWRF (ФГБУ «ДВНИГМИ», В.В. Крохин, к.г.н.),

Технический совет Гидрометцентра Приморского УГМС от 4 апреля 2017 г. отметил:

- отчёт выполнен в соответствии с принятыми требованиями.
- по результатам трёхлетних оперативных испытаний автоматизированного метода краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза положения тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана численной региональной моделью HWRF оправдываемость прогнозов положения ТЦ, осреднённая за 3 сезона (2014-2016 гг.) составила 91, 170, 258 км на 24, 48 и 72 часа, соответственно.
- согласиться с решением Учёного Совета ФГБУ «ДВНИГМИ» от 2 марта 2017 года и рекомендовать использование выходной прогностической продукции автоматизированного метода краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза положения тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана численной региональной моделью HWRF в качестве основного, а прогнозов интенсивности ТЦ – в качестве вспомогательного.

Технический совет постановил:

- рекомендовать ФГБУ «Приморское УГМС» использовать в практической работе выходную продукцию автоматизированного метода краткосрочного (с заблаговременностью до 72 часов) прогноза положения тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана численной региональной моделью HWRF,
- ФГБУ ДВНИГМИ обеспечить передачу прогнозов,
- продолжить работы по совершенствованию тайфунной модели и методов прогноза элементов и явлений погоды в окрестностях ТЦ по северо-западной части Тихого океана с учётом физико-географических и климатических особенностей рассматриваемого региона;
- рассмотреть возможность увеличения заблаговременности выпуска прогнозов положения и интенсивности тропических циклонов северо-западной части Тихого океана.

Заключение

В ходе выполнения работы решены все запланированные задачи. Достигнута цель – создание автоматизированной технологии прогноза ТЦ на базе модели WRF.

При любой заблаговременности прогнозов численный метод прогноза положения, скорости и направления перемещения ТЦ даёт хороший результат и находится на одном уровне с официальными оценками ведущих метеорологических центров со специализацией на деятельности в области тропических циклонов. Это верно для прогнозов положения ТЦ, как к югу, так и к северу от 25° с. ш. Наилучшим образом удаются прогнозы положения ТЦ, на втором месте по качеству идут прогнозы направления перемещения, и на последнем месте – прогнозы скорости перемещения ТЦ.

Список использованных источников

1 Оценка методов прогноза тропических циклонов // Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. РД 52.27.284–91. Л.: Гидрометеоиздат, 1991.- С.46-61.

2 Наставления по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.27.724-2009 (Руководящий документ РД 52.27.724-2009 "Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения", утв. Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды от 25 декабря 2009 г.)

3 Тунеголовец В.П. Результаты испытания комплексного метода прогноза перемещения и интенсивности тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана с заблаговременностью до 72 ч (ДВНИГМИ, автор В.П. Тунеголовец) / В. П. Тунеголовец, М.В. Сиротенко // Информ. сб. / Гидрометеорол. науч.-исслед. центр Рос. Федерации.-М.; Обнинск, 2011. - № 38: Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – С. 31-45.

4 Goerss J.S., and Jeffries R.A. Assimilation of synthetic tropical cyclone observations into the Navy operational global atmospheric prediction system // Weather and Forecasting. – 1994. –Vol. 9. –No 4.- P. 557-576.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Краткое описание модели HWRF-ДВНИГМИ

Версия модели HWRF-ДВНИГМИ для прогнозов тропических циклонов северо-западной части Тихого океана

Прогнозирование положения и эволюции ТЦ, влияющих на российский Дальний Восток [A1], и доведение информации о них до потребителей выполняется в настоящее время в оперативных подразделениях Росгидромета, на базе прогностической продукции отечественных и зарубежных глобальных моделей.

Научно-оперативная технология расчёта прогнозов тайфунов северо-западной части Тихого океана моделью Hurricane WRF (HWRF), в своей последней редакции, включает в себя следующие программные единицы [A2, A3]:

1) подсистема подготовки (закачки) начальных данных в коде GRIB1/GRIB2 по расписанию. Это могут быть как оперативные данные глобальной модели GFS с пространственным разрешением $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ [A4], так и исторические данные, например, реанализ ERA-INTERIM [A5];

2) программный комплекс модели версии Hurricane WRF, включающий блоки препроцессинга WRF Preprocessing System, инициализации вихря ТЦ, основного расчётного блока и блоков постпроцессинга (WRF Unified Post Processor) и отслеживание вихря ТЦ в расчётных полях модели WRF;

3) подсистема выпуска прогностической продукции:

– прогностические поля метеорологических элементов у земли и на изобарических поверхностях по северо-западной части Тихого океана на период 72 часа с интервалом 3 ч в графическом и бинарном виде. Карты основных метеорологических элементов – давление на уровне моря, 3-х часовые накопленные суммы осадков, данные о высоте геопотенциальных поверхностей 1000, 850, 700 гПа т.д. размещены на сайте ФГБУ ДВНИГМИ (<http://www.ferhri.ru>);

– текстовые прогностические телеграммы в формате ATCF (Automated Tropical Cyclone Forecast);

– специализированные прогнозы ТЦ в графическом и бинарном виде предоставляются всегда, и доступны на сайте ФГБУ ДВНИГМИ [A6];

4) подсистема расчёта оценок качества прогнозов положения и эволюции ТЦ (минимальное давление, максимальный ветер). Расчёт оценок производится по окончании тайфунного сезона в конце каждого года.

Вышеперечисленные операции запускаются автоматически по расписанию при получении телеграммы о ТЦ с серверов Национальной Администрации по атмосфере и океану (США). Выполнение команд осуществляется на вычислительных средствах

ДВНИГМИ ALTIX с минимальным участием оператора через сценарии (скрипты) управления сеансами в командной среде bash/ksh операционной системы Linux SLES 11.4.

Вклад сотрудников ФГБУ «ДВНИГМИ» в разработку технологии прогноза тайфунов состоял в настройке и адаптации под ДВ-регион блоков препроцессинга WRF Preprocessing System, инициализации вихря ТЦ постпроцессинга (отслеживания вихря ТЦ), а также настройке исполняемого кода, собственно, модели WRF. В процессе данной работы имели место e-мэйл консультации со специалистами по разработке HWRF в Национальном центре США по прогнозированию окружающей среды (NCEP).

Непосредственный вклад в разработку технологии состоял в создании набора выходной продукции технологии прогноза тайфунов. Описание выходной продукции приведено в Приложении Б.

В настоящее время экспериментальные оперативные расчёты прогнозов полей метеорологических элементов и параметров ТЦ (траектория, давление в центре, области сильных и штормовых ветров) по территории Дальнего Востока и северо-западной части Тихого океана выполняются на постоянной основе 2 раза в сутки от сроков 00 и 12 ВСВ. При отсутствии ТЦ запускается обычная «нетайфунная» версия модели WRF-NMM. В этом случае прогнозы ТЦ в цифровом и графическом виде отсутствуют.

HWRF (сокращённая аббревиатура от Hurricane WRF-NMM) – это современная гидродинамическая модель, разработанная в NCEP [A7]. В модели HWRF-ДВНИГМИ используется инициализация вихря ТЦ при холодном старте. В технической документации модели HWRF для определения получившегося вихря применяется термин «композиционный вихрь» (composite vortex). На основании данных положения и интенсивности ТЦ, получаемых по результатам самолётного и дистанционного зондирования, производится поиск параметров вихря в полях первого приближения (guess fields) – крупномасштабных метеорологических полях объективного анализа, полученных по результатам работы глобальной модели (оперативный прогноз или повторный анализ). Под термином параметры вихря здесь понимается информация об интенсивности и положении ТЦ. Завершается инициализация ТЦ проведением коррекции размера композиционного вихря на основании фактических данных о ТЦ – скорости и радиуса максимального ветра, и, по возможности, радиуса внешней замкнутой изобары. Получившийся вихрь в полной мере удовлетворяет физике и динамике модели, при соблюдении соответствия фактическим значений минимального давления в центре ТЦ, максимального ветра и радиуса максимальных ветров. Вихрь не подвергается инициализации или (и) перемещению в случае, если он находится над сушей.

Особенностью модели HWRF с ядром NMM является то, что в ней в явном виде отделены члены, присутствующие в гидростатических моделях, от членов, возникающих вследствие учёта негидростатичности. В упрощённом виде система прогностических и диагностических уравнений модели WRF-NMM в σ - системе координат на плоскости трансформированной широтно-долготной проекции содержит 9 уравнений и 9 неизвестных, т.е. является замкнутой. Она имеет следующий вид:

уравнение движения по горизонтали (A.1):

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = -(1 - \varepsilon)\nabla_{\sigma}\Phi - \alpha\vec{k} \times f, \quad (\text{A.1})$$

уравнение сохранения массы в негидростатической формулировке (A.2):

$$w = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla_{\sigma}\Phi + \dot{\sigma} \frac{\partial\Phi}{\partial\sigma} \right), \quad (\text{A.2})$$

уравнение сохранения массы в гидростатической формулировке (A.3):

$$\frac{d\mu}{dt} + \mu \left(\nabla_{\sigma}\vec{V} + \frac{\partial\dot{\sigma}}{\partial\sigma} \right) = 0, \quad (\text{A.3})$$

уравнение негидростатичности (отношение вертикального ускорения к ускорению свободного падения) (A.4):

$$\varepsilon = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial w}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla_{\sigma}w + \dot{\sigma} \frac{\partial w}{\partial\sigma} \right), \quad (\text{A.4})$$

промежуточное уравнение притока тепла (A.5)

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)_1 = -\vec{V} \cdot \nabla_{\sigma}T - \dot{\sigma} \frac{\partial T}{\partial\sigma} + \frac{\alpha}{c_p} \left[\vec{V} \cdot \nabla_{\sigma}p - (1 + \varepsilon) \int \nabla_{\sigma} \cdot (\mu\vec{V}) d\sigma' \right], \quad (\text{A.5})$$

окончательное уравнение притока тепла (A.6):

$$\left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_2 = \frac{\alpha}{c_p} \left[\frac{\partial p}{\partial t} - (1 + \varepsilon) \frac{\partial \pi}{\partial t} \right], \quad (\text{A.6})$$

промежуточное уравнение тенденции геопотенциала (A.7):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\mu \alpha, \quad (\text{A.7})$$

уравнение движения для вертикальной скорости (A.8):

$$\frac{\partial p}{\partial \sigma} = \mu(1 + \varepsilon), \quad (\text{A.8})$$

диагностическое уравнение состояния (A.9):

$$\alpha = \frac{RT}{p} \quad (\text{A.9})$$

В вышеприведённых уравнениях (A.1) – (A.9) приняты следующие обозначения:

– $\mu = \pi_s - \pi_t$, где π_s и π_t – гидростатическое давление на поверхности Земли и

на верхней границе расчетной области;

– \vec{V} – это вектор горизонтальной скорости;

– $g=9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

– $R=287,04 \text{ Дж/(кг К)}$ – газовая постоянная сухого воздуха;

– c_p – удельная теплоёмкость при постоянном давлении;

– $\dot{\sigma}$ – вертикальная скорость;

– ∇_σ – плоский оператор градиента в сигма системе;

– α – удельный объем;

Неизвестными в HWRF-NMM являются:

– $\Phi(x, y, \pi, t)$ – геопотенциал;

– $T(x, y, \pi, t)$ – температура;

– $\vec{V}(x, y, \pi, t)$ – скорость ветра;

- $p = p(x, y, \pi, t)$ – полное давление (гидростатическое и негидростатическое);
- w – вертикальная скорость;
- ε – параметр негидростатичности.

В полном виде исходная система уравнений также включает источники (стоки) в уравнениях движения и притока тепла. Также добавляются уравнения переноса влаги в различных фазовых состояниях.

Численное решение системы уравнений модели WRF-NMM выполняется конечно-разностным аналогом, записанным на расштанной “E” сетке Аракавы [А8].

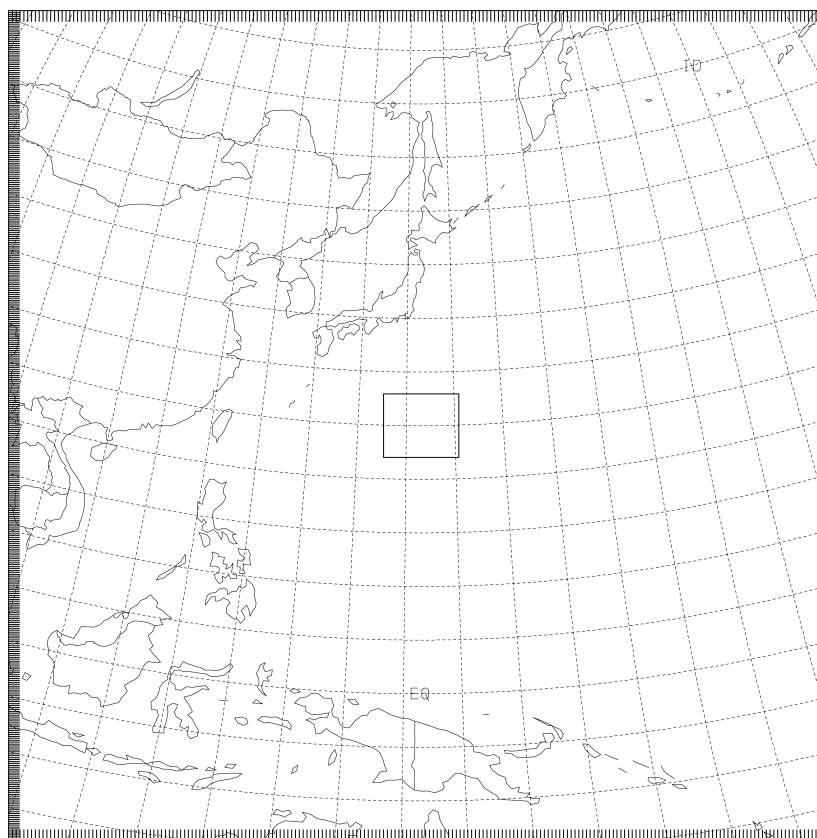
В модели HWRF используются повёрнутые сферические координаты. Такие координаты используются также в моделях Eta (США) и в локальной модели LM-COSMO (Метеорологическая служба Германии, Гидрометцентр России). Эти координаты удобны тем, что при сравнительно небольших размерах области, характерных для локальных и региональных моделей, расчёты ведутся на почти равномерной (в линейном смысле) широтно-долготной сетке. Все плоские операторы, присутствующие в уравнениях, являются операторами в сферической системе координат. Концепция масштабного множителя в модели WRF-NMM не применяется.

В текущей конфигурации HWRF используются 43 вертикальных η -уровня.

1.0, .9919699, .98274, .97216, .9600599, .94626, .9306099, .91293, .89306, .87086, .8462, .81903, .78931, .75708, .72246, .68565, .64691, .6066099, .56516, .52305, .48077, .43886, .3978, .35805, .3200099, .28401, .25029, .21901, .19026, .16406, .14036, .11906, .10005, .08316, .0682400, .0551200, .04362, .03357, .0248200, .0172200, .01063, .00492, .00.

Особенностью конфигурации модели HWRF является то, что она специально разработана для работы с ТЦ. В настоящее время при расчётах тайфунов модель HWRF запускается в одиночном режиме без модели океана POM [А7].

Расчётная область для модели HWRF состоит из материнской сетки размером примерно $80^\circ \times 80^\circ$ с шагом $0,18^\circ$ (около 27 км) и вложенной сетки приблизительно $6^\circ \times 6^\circ$ с шагом $0,06^\circ$ (около 9 км), двигающейся вслед за ТЦ. Материнская сетка позиционируется относительно начального положения ТЦ. Во время счета положение модельного ТЦ вместе с вложенной сеткой отслеживается по максимуму относительного вихря. Число узлов сетки по осям x и y составляет соответственно 216 и 432 точек. Область прогноза схематично представлена на рисунке А.1.



E-GRID E WE = 216. E SN = 432. DX = 0.1800. DY = 0.1800. REF LAT = 25.000. REF LON = 141.400

Рисунок А.1 — Схема области прогноза модели HWRF-ДВНИГМИ на примере ТЦ TALAS за 00 ВСВ 1 сентября 2011 г.

Основной набор параметризаций для модели HWRF таков [А7]:

- 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 К-слою смешения ;
- 4) Глубокая конвекция параметризуется на основе подхода «потока массы» по Аракаве-Шуберту [А9];
- 5) Схема параметризации для микрофизических процессов Феррье, описывающая многофазные процессы в облаках [А10];
- 6) Коротко- и длинноволновая радиация параметризуется схемой GFDL [А7].

Шаг по времени равен 54 сек. Потоки коротковолновой и длинноволновой радиации в экспериментах рассчитываются каждые 30 мин.

Отслеживание прогностического положения ТЦ и определение его интенсивности производится по программе, разработанной в GFDL, являющейся составной частью постпроцессинга модели HWRF [A11]. Метод отслеживания вихря ТЦ реализует объективную процедуру получения прогностических параметров ТЦ (координаты и параметры интенсивности) из набора полей (относительная завихренность, геопотенциал, давление на уровне моря и компоненты скорости ветра в окрестности ТЦ), являющихся выходной продукцией численной модели HWRF. Результатом работы программы отслеживания вихря ТЦ является текстовая телеграмма в международном формате ATCF. По умолчанию, в модели HWRF-ДВНИГМИ вывод прогностических параметров происходит с дискретностью 3 часа. В ATCF-формате на один прогностический срок может приходиться от одной до трёх строк, в зависимости от интенсивности ТЦ. В строке все параметры отделяются друг от друга запятой и пробелом.

ATCF-формат содержит информацию о районе прогноза, номере ТЦ, идентификаторе модели, начальной дате-времени прогноза, заблаговременности (час), а также различную информацию о координатах, интенсивности и радиусах штормовых ветров [A7]. Более полное развёрнутое описание модернизированного ATCF-формата дано в Приложении Б.

Список использованных источников

A1 Ситников, И.Г. Гидрометеорологические опасности. Гл. 4: Тайфуны [Текст] / И.Г. Ситников; А.Э. Похил, В.П. Тунеголовец // Монография: природные опасности России / под ред. Г.С. Голицина, А.А. Васильева. – М.: Издательский дом КРУК, 2001. – Т 5. – С. 84– 26.

A2 Крохин, В.В. Гидродинамический численный региональный прогноз погоды, модель WRF-NMM: описание метода прогноза: научная документация. / В. В. Крохин, А. Ю. Филь // Сайт ФБГУ ДВНИГМИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ferhri.org/index.php?option=com_content&view=article&id=317:2013-03-14-01-56-24&catid=99:-wrf&Itemid=94 (дата обращения: 21.11.2016).

A3 Крохин, В.В. Гидродинамический прогноз тайфунов, на основе модели HWRF: описание метода прогноза: научная документация / В.В. Крохин, А.Ю.Филь // Сайт ФБГУ ДВНИГМИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ferhri.org/index.php?option=com_content&view=article&id=317:2013-03-14-01-56-24&catid=99:-wrf&Itemid=94 (21.11.2016).

A4 McClung T. "Global Forecast System: Technical Implementation Notice 16–11 Amended" Nation Weather Service. Archived from the original on 5 June 2016. Retrieved 5 June 2016 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.nws.noaa.gov/os/notification/tin16-11gfs_gdasaaa.htm.

A5 Dee D.P. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system [Text] / D.P. Dee [et al.] // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. – 2011. – Vol. 137. – Issue 656. – P. 553–597.

A6 Сайт ФБГУ ДВНИГМИ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ferhri.ru>

A7 Gopalakrishnan, S. Hurricane Weather Research and Forecasting (HWRF) Model [Text]: Scientific Documentation / S. Gopalakrishnan, Q. Liu, T. Marchok [et al.]. – 2012.

A8 Мезингер, Ф. Численные методы, используемые в атмосферных моделях [Текст] / Ф. Мезингер, А. Аракава. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 136 с.

A9 Arakawa, A. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment [Text] / A. Arakawa, W.H. Schubert. // J. Atmos. Sci. – 1974. – Vol. 31. – № 3. – P. 674–701.

A10 Ferrier, B.S. An efficient mixed-phase cloud and precipitation scheme for use in operational NWP models [Text] / B.S. Ferrier // Eos, Trans. Amer. Geophys. Union. – 2005. – Vol. 86 (18). – P. A42A – 02.

A11 Marchok, T. How the NCEP tropical cyclone tracker works [Text]: 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology / T. Marchok; SAIC at NCEP/GFDL – Princeton, NJ. 2002. – 2p.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Примеры выходной продукции модели

Примеры выходной продукции модели

Б.1 Прогноз траектории тайфунов

В данном разделе описывается графическая продукция (слайд) для представления результатов прогноза траектории ТЦ моделью HWRF-ДВНИГМИ в ОМТЦ.

При создании макета слайда в 2013 г. учитывалось следующее:

- 1) учёт наработок отдела при представлении результатов прогноза ТЦ (аналоговый и комплексный методы прогноза, разработанные профессором, д.г.н. В.П. Туноголовцем);
- 2) простота и наглядность графической информации;
- 3) отсутствие потери информации при распечатке бланка на монохромном принтере;
- 4) возможность предоставления цифровой информации на бланке прогноза.

В течение 2014–2016 гг. была проделана следующая работа:

- ошибки прогноза траектории ТЦ для отображения области ветров были актуализированы данными по оправдываемости за сезоны 2013–2015 гг.;
- легенда, описывающая области сильных ветров, была уточнена и доработана.

На рисунке Б.1 изображён пример экспериментального оперативного прогноза моделью HWRF-ДВНИГМИ положения и эволюции тайфуна LIONROCK (1610) в период его наибольшего воздействия на российский Дальний Восток с 00 ВСВ 28 августа по 00 ВСВ 1 сентября 2016 года.

Левая половина бланка отдана карте с нанесением:

- прогностической траектории ТЦ – ломаная линия оранжевого цвета;
- областей сильных ветров более 34, 50, 64 узлов – окружности зелёного, красного и лилового цветов, соответственно;
- области сильных ветров более 34 узлов с учётом погрешности прогноза положения ТЦ – слабой штриховкой оранжевого цвета.

Правая половина бланка отдана табличной цифровой информации:

- наименование ТЦ;
- название и версия численной модели;
- период действия прогноза согласно ВСВ;
- заблаговременность прогноза в часах;
- прогнозы положения ТЦ (координаты ТЦ, широта и долгота в градусах с десятичными);
- прогнозы минимального давления в центре ТЦ в гПа;

– прогностические средние радиусы штормовых ветров (34, 50, 64 узла) в морских милях.

Нижняя часть бланка прогноза отдана под легенду с описанием обозначений положения центра ТЦ через 12 часов для максимальных скоростей ветра и областей сильных ветров более 34, 50, 64 узлов. Здесь же помещено примечание к таблице.

Завершает оформление бланка прогноза ТЦ информационная строка о том, где был рассчитан прогноз, а также ссылка на интернет-сайт ФГБУ «ДВНИГМИ».

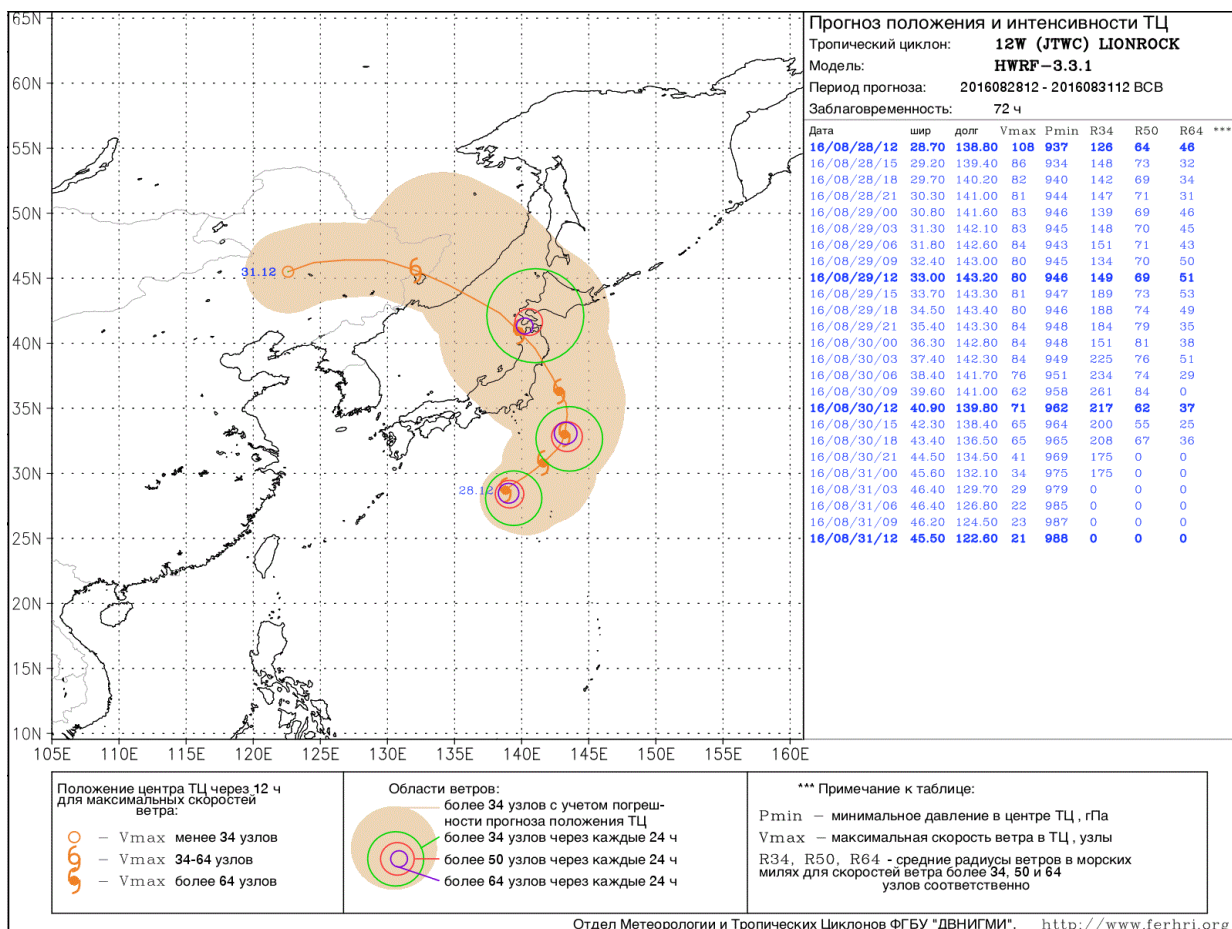


Рисунок Б.1 – Пример прогноза траектории тайфуна LIONROCK (1610) моделью HWRF-ДВНИГМИ от 12 BCB 28 августа 2016 г. на период 72 ч (трое суток)

Б.2 Лагранжева прогностическая метеограмма тропического циклона ДВНИГМИ

Лагранжева метеограмма тропического циклона (далее по тексту ТЦ-метеограмма) – это полезный инструмент для анализа и понимания процессов, происходящих в тайфуне. В метеорологическую практику ТЦ-метеограмма была, по-видимому, введена в 2011 году Европейским метеорологическим агентством.

В настоящее время в мировой оперативной практике используется лишь ансамблевая модификация ТЦ-метеограммы Европейского метеорологического агентства, предоставляемая лишь зарегистрированным платным пользователям. Отметим, что ТЦ-метеограмма Европейского метеорологического агентства содержит только два параметра (временные ряды) – это минимальное давление в центре тропического циклона и максимальная скорость ветра (на 10 м) в пределах квадрата $7^\circ \times 7^\circ$, с центром над тропическим циклоном. Кроме того, указывается число членов статистического ансамбля.

Американское и японское метеорологическое агентства ТЦ-метеограммы не выпускают.

Разработанная в ДВНИГМИ ТЦ-метеограмма представляет собой экспериментальный продукт, предназначенный для использования в прогностических подразделениях Росгидромета. Примеры типичных ТЦ-метеограмм приведены на рисунках Б.2–Б.3.

В настоящее время заблаговременность прогноза тропического циклона составляет 72 ч (трое суток). ТЦ-метеограмма имеет три шкалы времени. Из них две абсолютные шкалы, включают в себя время-ВСВ и время-Владивосток. Относительная шкала времени представлена заблаговременностью в часах, с шагом 3 ч от 0 до 72 ч.

В ТЦ-метеограмме реализован принцип последовательного наглядного представления временного хода ключевых прогностических параметров тайфуна. Данный принцип заключается в физически обоснованном представлении данных о тайфуне. Все данные о тайфуне разделены на несколько секций.

Секция 1. «Приземная прогностическая информация». В этой секции содержатся прогностические данные о ключевых параметрах приземного слоя в тайфуне: минимальном давлении в тайфуне (гПа) и расчётной максимальной скорости ветра. Согласованный временной ход этих параметров говорит сам за себя, и здесь подробно не рассматривается. Для удобства анализа шкала для значений максимальной скорости указана в двух единицах – в м/с и в узлах.

Секция 2. «Прогностическая информация по средней тропосфере тайфуна». В этой секции содержатся прогностические данные о ключевом параметре средней тропосферы в тайфуне – конвективной деятельности.

Мощность конвективной деятельности в тайфуне в нашем случае описывается интенсивностью осадков (мм/3 ч) в его окрестности в пределах квадрата $6^\circ \times 6^\circ$ с центром над тропическим циклоном за определённый период времени. Средняя сумма осадков за период при этом будет характеризовать среднюю интенсивность восходящих токов в ближайшей окрестности тайфуна. В то же время, интенсивность восходящих

вертикальных токов в горячих башнях аппроксимируется максимальным (пиковым) значением интенсивности осадков (мм/3 ч) в его окрестности в пределах квадрата $6^\circ \times 6^\circ$ с центром над тропическим циклоном. При этом, опыт эксплуатации ТЦ-метеограммы показывает, что при прекращении существования горячих башен, т.е на заключительном этапе существования тайфуна максимальное значение интенсивности осадков быстро уменьшается, приближаясь к средним значениям их интенсивности.

Секция 3. «Тёплое ядро тайфуна». В этой секции содержится прогностическая информация о так называемом «тёплом ядре» тайфуна. В ТЦ-метеограмме ДВНИГМИ процессы «тёплого ядра» представлены характеристиками температуры воздуха в окрестности тайфуна на уровне 200 гПа. В них входят температура воздуха на 200 гПа в точке с координатами центра тайфуна и аномалия температуры воздуха на 200 гПа в окрестности тайфуна. Аномалия температуры воздуха на 200 гПа в окрестности тайфуна рассчитывается как разность между температурой воздуха в центре и средней температурой в окрестности центра в радиусе трёх градусов. При усилении тайфуна величины самой температуры и её аномалии возрастают. Уменьшение аномалии температуры до нулевых или отрицательных значений, как правило, говорит об окончании жизненного цикла тайфуна, и наступлении последней его стадии – стадии трансформации.

Секция 4. «Ветер в окрестности тайфуна». В этой секции содержится прогностическая информация о скорости и направлении ветра в радиусе 3° от центра ТЦ, а также радиусы максимальных ветров свыше 34 узлов по квадрантам.

На основании модельных и фактических данных получено, что в большинстве случаев, расчётная область с радиусом 3° от центра тайфуна, как правило, охватывает всю зону тропического циклона с критическими значениями всех параметров тропического циклона. Определено, что непосредственная оценка ветра, выполненная для набора отдельных точек в окрестности ТЦ, представляется весьма загроublённой, ввиду большой пространственной изменчивости поля ветра в приземном слое. Ввиду этого, специально для ТЦ-метеограммы была разработана методика получения репрезентативной оценки ветра в окрестности ТЦ, определённой по 8 румбам на расстоянии 3 градуса от центра ТЦ по району (квадрату) с учётом масштаба скорости ветра на временном интервале порядка 10 минут (установившийся ветер).

На начальном этапе расчётов производится оценка поля ветра в первом приближении по области $0,3^\circ \times 0,3^\circ$. На следующем этапе, в случае наличия значительных скоростей ветра, производится коррекция. Берётся максимальное значение ветра по увеличенной расчётной области, размер которой равен удвоенному значению

произведения скорости ветра на 600 секунд, далее идёт пересчёт скорости и направления ветра по скорректированной области. Полученную оценку ветра считаем репрезентативной характеристикой установившегося ветра за стандартный период 10 мин.

Приложение. Сюда входит дополнительная вспомогательная информация, такая как: направление перемещения, интенсивность тайфуна и расстояние до Владивостока в км. Интенсивность тайфуна рассчитывается по данным о максимальном ветре. Расстояние от центра тайфуна до Владивостока рассчитывается как дуга большого круга, в случае малых расстояний используется метод гаверсинусов.

В случае, если жизненный цикл тайфуна заканчивается ранее трёх суток, далее график не отрисовывается, а заполняется жёлтым фоном (рисунок Б.3).

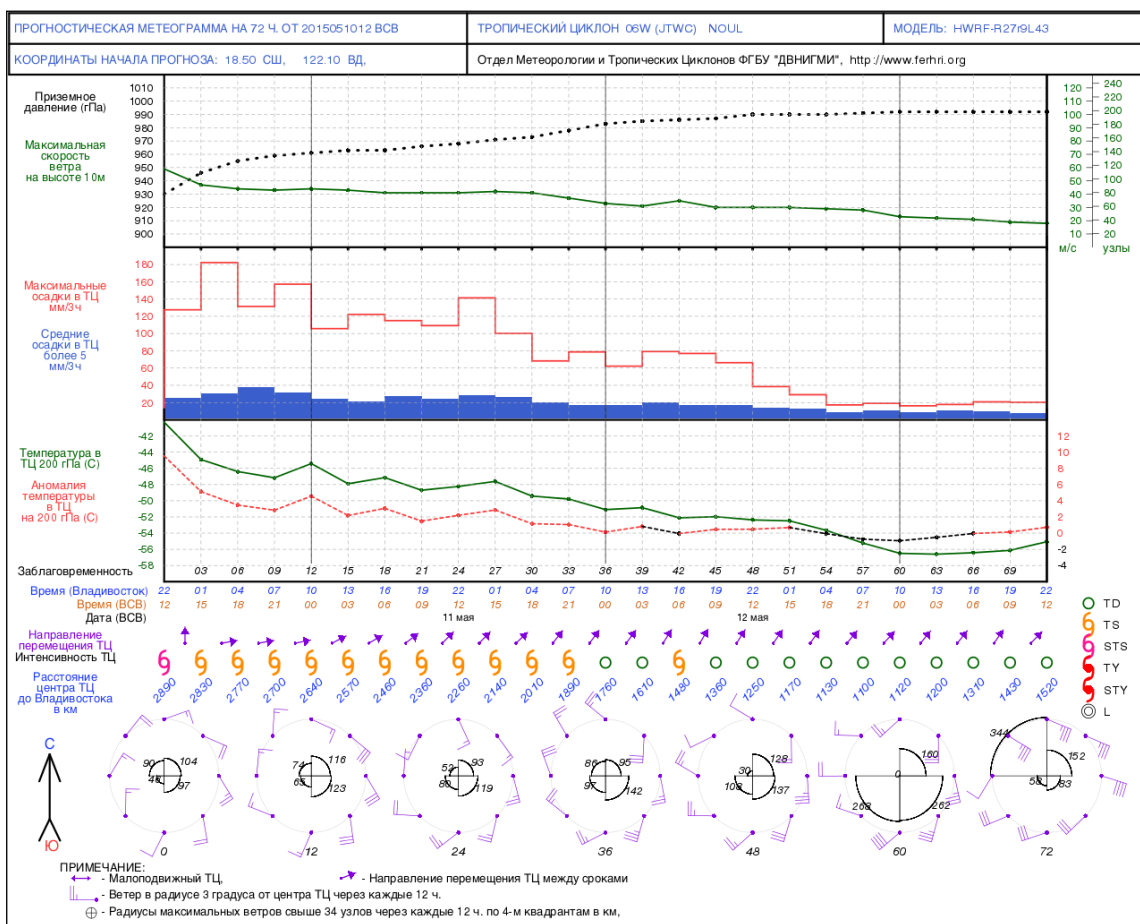


Рисунок Б.2 – Пример типичной ТЦ-метеогаммы, рассчитанной по прогностическим данным модели HWRF-ДВНИГМИ

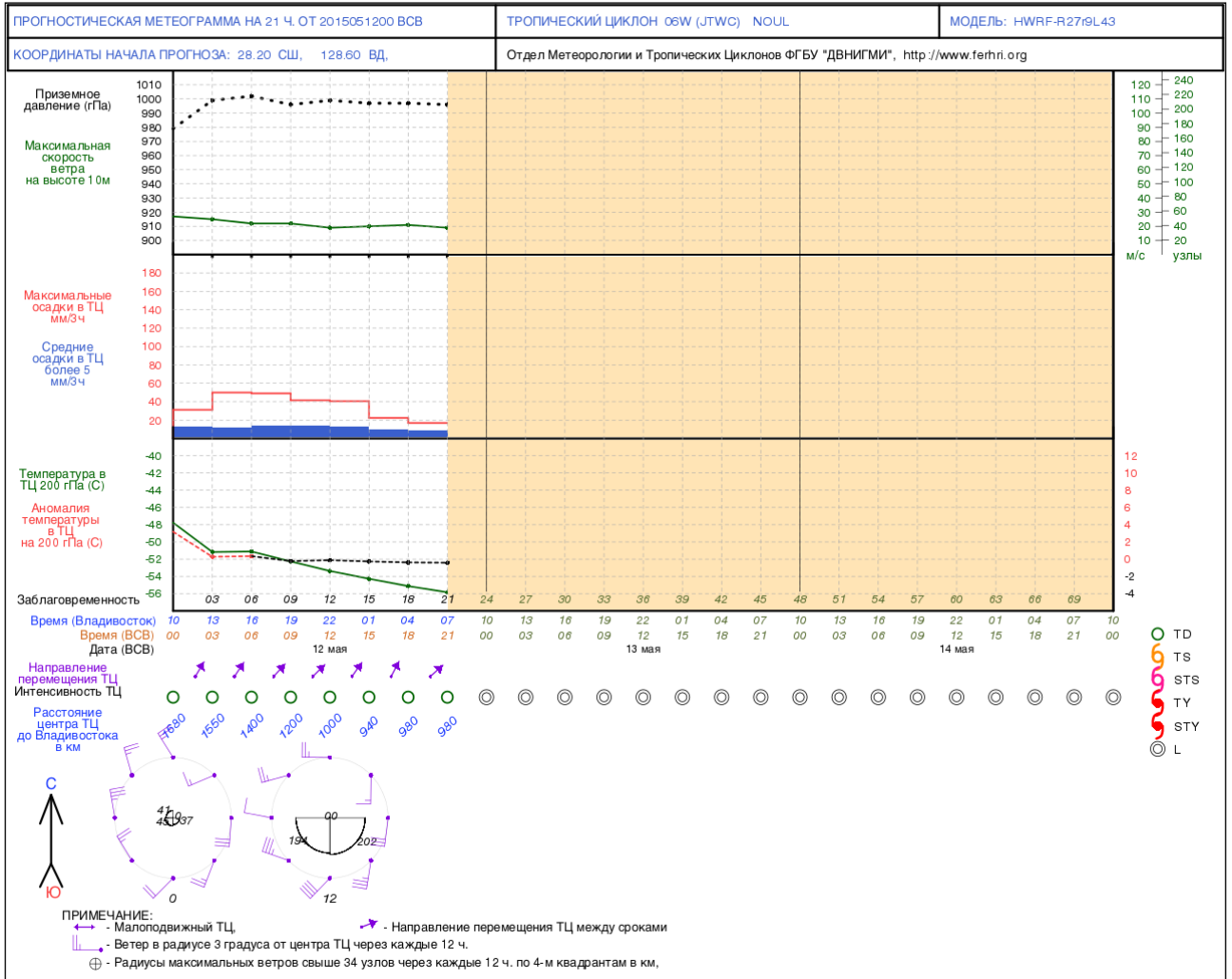


Рисунок Б.3 – Пример типичной ТЦ-метеогаммы, рассчитанной по прогностическом данным модели HWRF-ДВНИГМИ для случая, когда тайфун прекратил своё существование

Краткое описание формата ATCF

ATCF – формат телеграммы автоматического прогноза тропического циклона. Телеграмма генерируется программой-трекером (GFDL Vortex Tracker) на стадии постпроцессинга. Прогностические параметры ТЦ записываются построчно с дискретностью, задаваемой пользователем. Описание ATCF формата по позициям представлено в табл. Б.1. В табл. Б.2 приведен пример прогностической продукции – текстовой телеграммы.

Таблица Б.1 описание формата ATCF телеграммы по позициям

№ позиции	Параметр	Примечание
1	2	3
1-2	код района прогноза	"AL" - Атлантика, "EP" - Северо-восточная часть Тихого океана, "WP" - Северо-западная часть Тихого океана.
5-6	номер ТЦ согласно JTWC.	
9-18	дата прогноза.	дата прогноза. (в одну строку без пробелов YYYYMMDDHH. YYYY-год, MM-месяц, DD-день, HH-срок
21-22	03	"03" - идентификатор содержания в строке прогностических данных.
25-28	название модели.	
31-35	заблаговременность прогноза, в часах	умноженная на 100
38-41	широта умноженная на 10	н: 334 = 33,4
41	индикатор широты	S-юг, N-север
44-47	долгота, умноженная на 10	н: 1286 = 128,6
48	индикатор долготы	E-восток, W-запад
51-53	максимальная скорость ветра в ТЦ	на высоте 10 м (в узлах).
56-59	минимальное давление в ТЦ	в гПа

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
62-63	XX	зарезервированный параметр для описания стадии ТЦ - TD, TS, TY и т.д.
66-68	стандартная скорость ветра по 4 квадрантам в данном ТЦ	стандартная скорость ветра, для которой вычисляются значения радиусов по 4 квадрантам в данном ТЦ (в узлах).
71-73	“NEQ” - идентификатор квадранта, с которого начинается печать значений радиусов в последующих 4 колонках строки.	Значения в секторах указываются по часовой стрелке. В данном случае "NEQ" - северо-восточный квадрант.
76-79	радиус ветра (северо-восточный квадрант)	в морских милях
82-85	радиус ветра (юго-восточный квадрант)	в морских милях
88-91	радиус ветра (юго-западный квадрант)	в морских милях
94-97	радиус ветра (северо-западный квадрант)	в морских милях
103	0	Равна 0. - В настоящее время не используется.
109	0	Равна 0. - В настоящее время не используется.
112-114	радиус максимальных ветров	в морских милях.

Таблица Б.2 Пример текстового прогноза

WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00000, 287N, 1388E, 108, 937, XX, 34, NEQ, 0142, 0177, 0139, 0074, 0, 0, 29
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00000, 287N, 1388E, 108, 937, XX, 50, NEQ, 0069, 0089, 0073, 0039, 0, 0, 29
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00000, 287N, 1388E, 108, 937, XX, 64, NEQ, 0047, 0065, 0051, 0027, 0, 0, 29
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00300, 292N, 1394E, 86, 934, XX, 34, NEQ, 0131, 0227, 0208, 0069, 0, 0, 38
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00300, 292N, 1394E, 86, 934, XX, 50, NEQ, 0074, 0106, 0100, 0039, 0, 0, 38
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00300, 292N, 1394E, 86, 934, XX, 64, NEQ, 0052, 0063, 0058, 0000, 0, 0, 38
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00600, 297N, 1402E, 82, 940, XX, 34, NEQ, 0140, 0211, 0208, 0073, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00600, 297N, 1402E, 82, 940, XX, 50, NEQ, 0077, 0100, 0098, 0038, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00600, 297N, 1402E, 82, 940, XX, 64, NEQ, 0046, 0068, 0061, 0000, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00900, 303N, 1410E, 81, 944, XX, 34, NEQ, 0106, 0219, 0204, 0075, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00900, 303N, 1410E, 81, 944, XX, 50, NEQ, 0067, 0097, 0095, 0045, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 00900, 303N, 1410E, 81, 944, XX, 64, NEQ, 0051, 0061, 0058, 0000, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01200, 308N, 1416E, 83, 946, XX, 34, NEQ, 0113, 0196, 0184, 0081, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01200, 308N, 1416E, 83, 946, XX, 64, NEQ, 0051, 0058, 0054, 0033, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01500, 313N, 1421E, 83, 945, XX, 34, NEQ, 0107, 0178, 0189, 0086, 0, 0, 35
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01500, 313N, 1421E, 83, 945, XX, 50, NEQ, 0067, 0089, 0089, 0050, 0, 0, 35
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01500, 313N, 1421E, 83, 945, XX, 64, NEQ, 0046, 0058, 0055, 0032, 0, 0, 35
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01800, 318N, 1426E, 84, 943, XX, 34, NEQ, 0116, 0182, 0185, 0094, 0, 0, 32
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01800, 318N, 1426E, 84, 943, XX, 50, NEQ, 0070, 0090, 0081, 0052, 0, 0, 32
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 01800, 318N, 1426E, 84, 943, XX, 64, NEQ, 0049, 0051, 0051, 0034, 0, 0, 32
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02100, 324N, 1430E, 80, 945, XX, 34, NEQ, 0127, 0171, 0168, 0096, 0, 0, 30
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02100, 324N, 1430E, 80, 945, XX, 50, NEQ, 0080, 0085, 0072, 0055, 0, 0, 30
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02100, 324N, 1430E, 80, 945, XX, 64, NEQ, 0056, 0054, 0043, 0036, 0, 0, 30
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02400, 330N, 1432E, 80, 946, XX, 34, NEQ, 0161, 0178, 0172, 0119, 0, 0, 35
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02400, 330N, 1432E, 80, 946, XX, 50, NEQ, 0080, 0085, 0074, 0053, 0, 0, 35
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02400, 330N, 1432E, 80, 946, XX, 64, NEQ, 0058, 0057, 0044, 0040, 0, 0, 35
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02700, 337N, 1433E, 81, 947, XX, 34, NEQ, 0190, 0180, 0188, 0133, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02700, 337N, 1433E, 81, 947, XX, 50, NEQ, 0081, 0084, 0071, 0062, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 02700, 337N, 1433E, 81, 947, XX, 64, NEQ, 0059, 0059, 0047, 0043, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03000, 345N, 1434E, 80, 946, XX, 34, NEQ, 0192, 0187, 0183, 0162, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03000, 345N, 1434E, 80, 946, XX, 50, NEQ, 0087, 0083, 0060, 0066, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03000, 345N, 1434E, 80, 946, XX, 64, NEQ, 0062, 0059, 0036, 0043, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03300, 354N, 1433E, 84, 948, XX, 34, NEQ, 0204, 0159, 0164, 0165, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03300, 354N, 1433E, 84, 948, XX, 50, NEQ, 0099, 0090, 0058, 0075, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03300, 354N, 1433E, 84, 948, XX, 64, NEQ, 0069, 0057, 0000, 0051, 0, 0, 34
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03600, 363N, 1428E, 84, 948, XX, 34, NEQ, 0216, 0170, 0085, 0143, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03600, 363N, 1428E, 84, 948, XX, 50, NEQ, 0106, 0105, 0055, 0071, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03600, 363N, 1428E, 84, 948, XX, 64, NEQ, 0075, 0066, 0000, 0053, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 03900, 374N, 1423E, 84, 949, XX, 34, NEQ, 0204, 0181, 0244, 0269, 0, 0, 36
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04200, 384N, 1417E, 76, 951, XX, 34, NEQ, 0221, 0178, 0246, 0229, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04200, 384N, 1417E, 76, 951, XX, 50, NEQ, 0099, 0076, 0049, 0036, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04200, 384N, 1417E, 76, 951, XX, 64, NEQ, 0057, 0057, 0000, 0029, 0, 0, 37
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04500, 396N, 1410E, 62, 958, XX, 34, NEQ, 0347, 0172, 0105, 0350, 0, 0, 53
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04500, 396N, 1410E, 62, 958, XX, 50, NEQ, 0089, 0073, 0000, 0094, 0, 0, 53
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04800, 409N, 1398E, 71, 962, XX, 34, NEQ, 0320, 0204, 0113, 0316, 0, 0, 60
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04800, 409N, 1398E, 71, 962, XX, 50, NEQ, 0123, 0000, 0000, 0059, 0, 0, 60
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 04800, 409N, 1398E, 71, 962, XX, 64, NEQ, 0073, 0000, 0000, 0000, 0, 0, 60
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05100, 423N, 1384E, 65, 964, XX, 34, NEQ, 0287, 0177, 0113, 0224, 0, 0, 41
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05100, 423N, 1384E, 65, 964, XX, 50, NEQ, 0110, 0059, 0000, 0110, 0, 0, 41
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05100, 423N, 1384E, 65, 964, XX, 64, NEQ, 0050, 0000, 0000, 0000, 0, 0, 41
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05400, 434N, 1365E, 65, 965, XX, 34, NEQ, 0319, 0158, 0096, 0091, 0, 0, 57
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05400, 434N, 1365E, 65, 965, XX, 50, NEQ, 0133, 0000, 0000, 0079, 0, 0, 57
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05400, 434N, 1365E, 65, 965, XX, 64, NEQ, 0072, 0000, 0000, 0049, 0, 0, 57
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 05700, 445N, 1345E, 41, 969, XX, 34, NEQ, 0350, 0150, 0000, 0090, 0, 0, 70
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 06000, 456N, 1321E, 34, 975, XX, 34, NEQ, 0350, 0000, 0000, 0000, 0, 0, 79
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 06300, 464N, 1297E, 29, 979, XX, 34, NEQ, 0000, 0000, 0000, 0000, 0, 0, 93
WP, 12, 2016082812, 03, HWRF, 06600, 464N, 1268E, 22, 985, XX, 34, NEQ, 0000, 0000, 0000, 0000, 0, 0, 78