



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследование тропических циклонов Тихого океана»

Исполнитель Березина Анастасия Эдуардовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой 
(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

«2» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Теоретические сведения о тропических циклонах.....	5
1.1 Понятие тропического циклона.....	5
1.2 Условия образования тропического циклона.....	6
1.3 Особенности тропических циклонов на Дальнем Востоке.....	9
2. Информация о тропических циклонах на Дальнем Востоке.....	12
2.1 Анализ количества тропических циклонов на Дальнем Востоке	
2.2 Исследуемые тропические циклоны 2013-2018 год.....	14
3. Исследуемые тропические циклоны на Дальнем Востоке.....	21
3.1 Тропический циклон Хайян, ноябрь 2013 году.....	21
3.2 Тропический циклон Вонфонг, октябрь 2014 году.....	38
3.3 Тропический циклон Соделор, июль 2015 году.....	55
3.4 Тропический циклон Нору, июль 2017 году.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	92

ВВЕДЕНИЕ

Тропические циклоны важный элемент циркуляции атмосферы в тропических широтах, одним из наиболее опасных природных катаклизмов. Из-за катастрофических последствий распространения тайфунов в последние годы, проблема их изучения и прогнозирования становится особенно актуальной. Подобные вихри и на сегодняшний день считаются малоизученным феноменом, хотя и часто повторяющимся.

По имеющимся сведениям, с тайфунами связаны наиболее крупные ущербы для жизни людей и материальных ценностей. Негативные последствия их деятельности обуславливаются, прежде всего, непосредственным воздействием метеорологических факторов: атмосферное давление, ветер, осадки, температура. Общие ущербы от ТЦ превышают ущербы от других опасных природных явлений, включая землетрясения. Это связано с частотой прохождения и энергетической мощностью рассматриваемых вихрей.

Актуальность: исследование тропических циклонов имеет глобальную важность, так как циклоны тропических широт - одно из самых разрушительных природных явлений. Изучение условий возникновения и распределения тропических циклонов по территории Дальнего Востока, увеличит степень и качество прогнозирования опасных явлений, позволит своевременно провести мероприятия по защите населения и отраслей народного хозяйства.

Цель: анализ тропических циклонов на Дальнем Востоке 2013-2018 года

Задачи:

- Охарактеризовать особенности и условия образования тропических циклонов на территории Дальнего Востока.

- Создать архив о тропических циклонах в акватории Тихого океана с 2013 года по 2018 год.
- Произвести анализ количества тропических циклонов, приходящихся на каждый год исследуемого периода.
- Создать прогноз атмосферного давления, скорости ветра и вертикальной структуры в тропических циклонах с помощью модели WRF-ARW.
- Построение иллюстративного ряда для метеорологических параметров с помощью OpenGrADS.
- Провести сравнительный анализ реальных и смоделированных данных метеорологических параметров выбранных тропических циклонов на Дальнем Востоке
- Оценить качество прогнозов, созданных с помощью модели WRF-ARW.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав и заключения.

В первой главе работы рассматривается определение тропического циклона, условий возникновения в акватории Тихого океана и особенности тропических циклонов Дальнего Востока.

Во второй главе работы представлен анализ количества тропических циклонов на Дальнем востоке в выбранный период времени (2013-2018гг).

В третьей главе работы отражены результаты спрогнозированных метеорологических параметров с помощью WRF-ARW модели, а так же сравнительный анализ смоделированных и реальных данных тропического циклона.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ

1.1 Понятие тропического циклона

Тропический циклон это быстро вращающийся вихрь, образующийся в зоне тропических широт над поверхностью океанов, из которой он получает энергию для развития. В циклоническом центре возникает область пониженного давления и облака, которые передвигаются по спирали по направлению к «стене глаза», окружающей сам «глаз», в центре которого преимущественно безоблачная и спокойная погода. На рисунке 1.1 представлен спутниковый снимок, на котором ясно можно наблюдать явление «глаза бури».

Диаметр тропического циклона варьируется от 200 до 500 км, иногда достигает 1000 км. Циклоны тропических широт провоцируют ливневые дожди, очень сильные порывы ветра, высокие волны, а в некоторых случаях разрушительные штормовые нагоны и наводнения в прибрежных районах. В Северном полушарии ветры закручиваются против часовой стрелки, а в Южном — по часовой стрелке.

Тропические циклоны представляют собой одну из самых серьезных угроз для жизни и имущества даже на этапе своего формирования. Они сопровождаются множеством опасных явлений, например, штормовые нагоны, наводнения, экстремально сильные ветры, торнадо и молнии, которые сами по себе могут вызвать разрушительные последствия для жизни и имущества. А в совокупности эти явления взаимодействуют друг с другом и существенно увеличивают вероятность гибели людей и причинения материального ущерба [1].

Циклоны сопровождаются экстремально сильными дождями, которые могут приводить к затоплению обширных территорий. Они также

приносят разрушительные и опасные ветры: в самых крупных системах скорость ветра у подстилающей поверхности может достигать 300 км/ч и более.

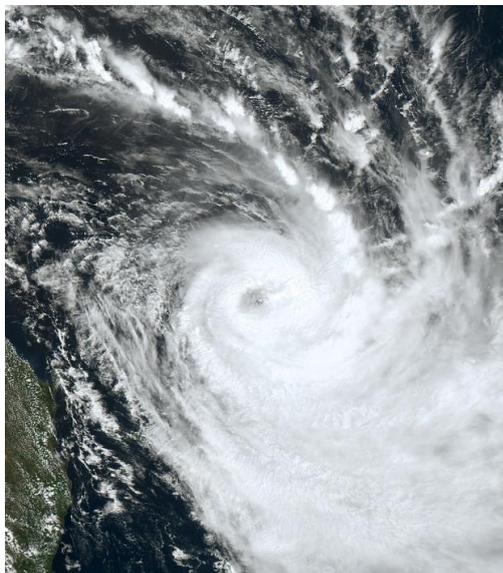


Рисунок 1.1 – Тропический шторм Gabrielle 10 февраля 2023 года, JMA's Himawari 9 Satellite [7]

Сочетание вызываемых ветром волн и низкого давления в зоне циклонов тропических широт может спровоцировать штормовой нагон на побережье — большой объем воды, который выбрасывается на берег с высокой скоростью и с огромной силой. Вода с нагоняемой волны смывает на своем пути строения и причиняет колоссальный ущерб прибрежной окружающей среде.

1.2 Условия образования тропического циклона

Тропические циклоны, как и внетропические, образуются при неустойчивости атмосферы, наличии зоны пониженного давления, окружённой массой воздуха с нормальным или повышенным давлением (антициклоническими системами). Подобная ситуация возникает при повышении температуры воздуха на значительной территории, что понижает его плотность и, как итог, атмосферное давление. Насыщение воздуха влагой

хоть и несущественно, но тоже понижает плотность воздушной смеси. Возникающие обособленные воздушные потоки, ориентируясь в направлении стационарных атмосферных потоков и под действием силы Кориолиса, начинают двигаться по спирали. Чередующиеся участки более холодного и теплого воздуха, разделённые фронтами, по этой спирали начинают втягиваться в образовавшуюся зону пониженного давления. Так возникают тропические циклоны. Влажный воздух с повышенной температурой поднимается вверх, температура поднимающегося воздуха превышает температуру точки росы, начинается конденсация и выделение теплоты конденсации, продолжая движение вверх воздух, отклоняется и расходится по сторонам – возникает завихрение.

Когда циклон уже набрал силу, постоянное увеличение энергии происходит вследствие подъёма огромных масс теплого воздуха и скрытой теплоты конденсации (это схематически представлено на рисунке 1.2). Однако возникают вопросы по поводу механизма зарождения циклона. [10]

Локальные изменения давления и температуры в тропиках не так велики, чтобы только эти факторы могли играть главную роль в образовании циклонической системы, столь значительно увеличивая скорость воздушных потоков.



Рисунок 1.2 – Спутниковый снимок тропического циклона Джелават 8 августа 2022 год [3]

В зоне зарождения тропических циклонов складывается следующая ситуация. Отсутствие сколько-нибудь существенных движений воздушных потоков создаёт условия для нагревания воздуха и насыщения его влагой над поверхностью океана. Постепенно теплый и влажный воздух поднимается всё выше. Расширяясь и охлаждаясь, влажный воздух достигает точки росы и в условиях отсутствия ветра остаётся в состоянии переохлаждённого пара, продолжая всё больше охлаждаться. Изменить это неустойчивое состояние может даже небольшой поток воздуха. Начавшийся процесс конденсации вызывает резкое локальное понижение давления. В эту зону устремляются уже более быстрые потоки воздуха, увеличивая скорость процесса конденсации, вовлекая всё новые массы воздуха, насыщенные переохлаждённым паром.

Шквальный ветер (шквал) сменяет затишье. Причину этого шквалистого ускорения потоков трудно объяснить только увеличением высоты подъёма тёплого влажного воздуха. Когда тропический циклон уже образуется, изменения температуры и давления на разных высотах и процессы выделения скрытой теплоты конденсации (вся запасённая потенциальная энергия) играют уже важнейшую роль в развитии циклонов в тропической зоне. [4]

Условия образования циклонов в тропической зоне.

1. Тропические циклоны формируются над океанической поверхностью тропиков во время, когда температура воды на поверхности максимальная и превышает 27 °С. При этом важно, чтобы она на 1–2 °С превышала температуру воздуха.

2. Для появления тропических циклонов очень важно наличие мощного слоя неустойчивого экваториального влажного воздуха.

3. Предварительное существование циклонической циркуляции либо в виде слабой депрессии, либо в виде возмущения восточных пассатных ветров, создающего движение воздуха по циклонической траектории (т. е. по кривой с поворотом против часовой стрелки при

низком давлении, остающемся в северном полушарии слева, а в южном – справа).

4. Несущественная изменчивость ветра с высотой в нижней тропосфере. [11]

Источником большей части энергии тропических циклонов является скрытое тепло, выделяемое при конденсации водяного пара поднимающихся вверх воздушных масс, этот процесс можно наглядно объяснить благодаря вертикальному разрезу, представленному на рисунке 1.3.

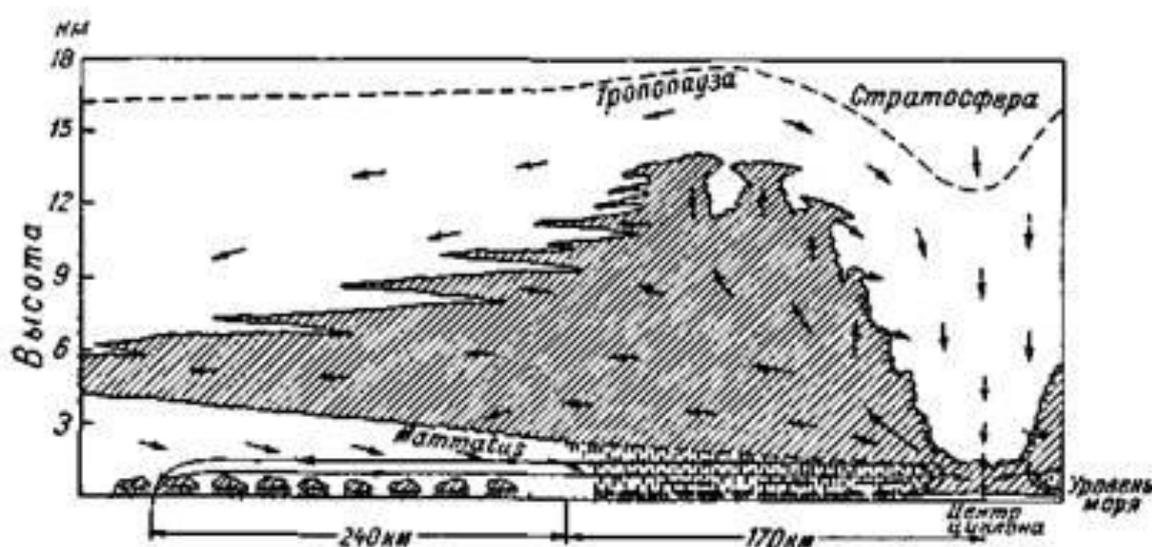


Рисунок 1.3-Вертикальный разрез тропического циклона [1]

1.3 Особенности тропических циклонов на Дальнем Востоке

В зависимости от интенсивности максимального ветра циклонические циркуляции классифицируются на:

- тропические депрессии (менее 18 м/с),
- тропические штормы (18-25 м/с),
- сильные тропические штормы (26-33 м/с),
- тайфуны (33-67 м/с),
- супертайфуны (более 67 м/с).

Каждый год в северо-западной части Тихого океана возникает более 32 тропических циклонов. Траектории движения их проходят либо вдоль широтного круга с выходом на юго-восточную Азию, где они разрушаются, или по параболической траектории с выходом в умеренные широты, а так же на восточное побережье Азии или в западную часть Тихого океана. Из всего числа сформировавшихся тропических циклонов только 42.3% пересекают параллель 30 с.ш., при этом из числа циклонов тропических зон, достигших стадию шторма и выше - 49.7%. [8]

Одним из самых разрушительных для побережья Охотского моря можно назвать супертайфун «Хайян», изображенный на спутниковом снимке (рисунок 1.4).

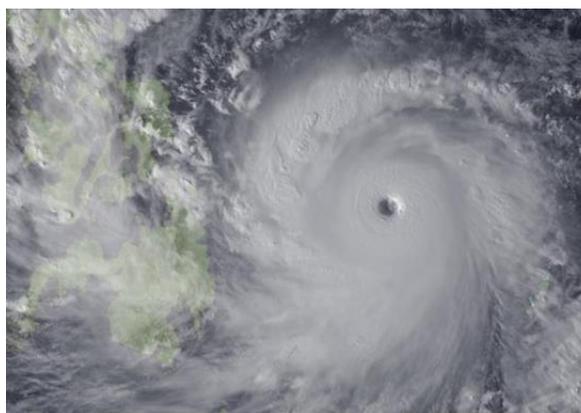


Рисунок 1.4. Спутниковый снимок супертайфуна Хайян у Филиппин 7 ноября 2013 года [5]

Циклонической деятельностью внетропических широт можно назвать развитие, перемещение крупномасштабных атмосферных образований с пониженным давлением. В течение года сотни циклонов возникают во внетропической зоне полушарий. Размеры внетропических циклонов весьма значительны. Хорошо развитый циклон может иметь в поперечнике 3000 км, означающее определение режима погоды на очень обширных территориях, как над поверхностью океанов, так и над сушей. [5]

С 1947 года Объединенный центр предупреждения о тайфунах США (JTWC) выпускает предупреждения о тайфунах и классифицирует все тайфуны в районе Северо-западной части Тихого океана со скоростью ветра не менее 130 узлов (67 м/с или 240 км/ч) — эквивалент сильной категории 4 по шкале Саффира–Симпсона, как супертайфуны [6].

Шкала ураганных ветров Саффира–Симпсона (SSHWS) классифицирует ураганы, которые представляют собой тропические циклоны, интенсивность которых превышает интенсивность тропических депрессий и тропических штормов, на пять категорий, различающихся по интенсивности их устойчивых ветров (таблица 1.1).

Шкала ураганного ветра Саффира–Симпсона создана на основе самой высокой скорости ветра, усредненной за одноминутный интервал в 10 м над поверхностью.

Тайфуны западной части Тихого океана формируют более мощный очаг тропических циклонов, в сравнении с данными других регионов. Более 30% таких явлений приходится именно на эту часть Мирового океана.

Таблица 1.1- Шкала ураганных ветров Саффира-Симпсона (SSHWS) [6]

Категория	м/с	узлы	миль/час	км/ч
5	>70	>137	>157	>252
4	58-70	113-136	130-156	209-251
3	50-58	96-112	111-129	178-208
2	43-49	83-95	96-110	154-177
1	33-42	64-82	74-95	119-153

2 ИНФОРМАЦИЯ О ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

2.1 Анализ количества тропических циклонов на Дальнем Востоке

Информация для количественного анализа тропических циклонов 2013-2016 г в восточной части Тихого океана была взята с официального сайта научно-исследовательского и оперативно-методического учреждения ФГБУ «Гидрометцентр России» [5].

С 2013-2018 год на северо-западной части Тихого океана возникло 159 тропических циклонов, что на 3 % больше нормы (153,6). Нормой можно считать среднюю многолетнюю повторяемость тропических циклонов на территории восточной части Тихого океана. Нормой считается значение в 25,6 тропических циклонов в год. Анализируя таблицу количества тропических циклонов (таблица 2.1), можем увидеть, что в 2013 году образовалось максимальное количество циклонов тропических широт, а именно в сентябре (было отмечено 8 циклонов).

В 2014 и в 2015 годах наблюдалось минимальное количество образовавшихся тропических циклонов в восточной части Тихого океана за весь рассмотренный шестилетний период (22, что ниже нормы на 3.6 в 2014 году и 25 в 2015 году при норме 25.6).

В 2014 году максимальное количество тропических циклонов наблюдалось в июле и сентябре – по 5 тропических циклонов были замечены в эти месяцы.

В 2015 году максимальное количество тропических циклонов наблюдалось в сентябре (4 ТЦ) и октябре (4 ТЦ), в сумме на эти месяцы пришлось 8 атмосферных образований.

В следующие годы – 2016, 2017, 2018 – количество циклонов также превышало норму. В июле 2017 возникло 9 тропических циклонов, что

определяет экстремум за весь исследуемый период. В августе 2016 и 2018 годов наблюдалось по 8 тропических циклонов.

Таблица 2.1- Количество тропических циклонов над северо-западной частью Тихого океана 2013-2018 [5]

Год/ Месяц	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Итог/Норма
2013	1	1				4	3	6	8	6	2		31/25,6
2014	2	1		2		2	5		5	2	1	2	22/25,6
2015	1	1	2	1	2	2	3	3	4	4	1	1	25/25,6
2016							4	8	6	4	3	1	26/25,6
2017				1		1	9	5	3	4	2	2	27/25,6
2018	1	1	1			4	5	8	4	1	3		28/25,6

На графике, представленном на рисунке 2.1, который иллюстрирует данные из таблицы 2.1, можно увидеть, в какие месяцы 6-летнего периода наблюдается увеличение количества тропических циклонов, а какие месяцы в меньшей степени подвержены возникновению исследуемых атмосферных образований.

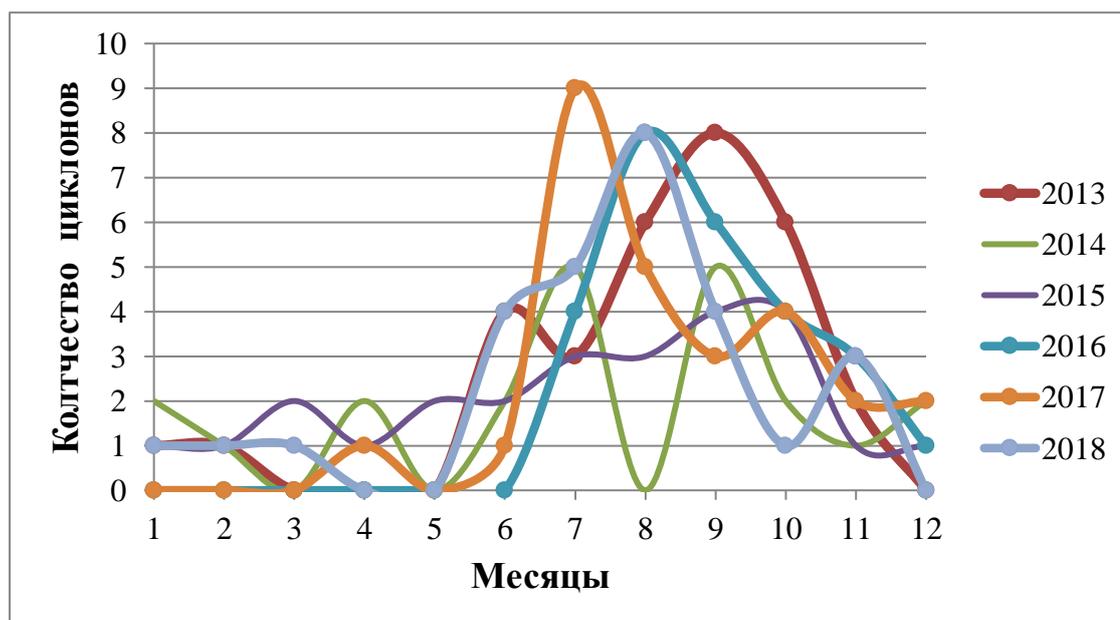


Рисунок 2.1-. Количество тропических циклонов над северо-западной частью Тихого океана 2013-2018 г.

На графике рисунка 2.1, более жирные линии отражают года, в которых количество циклонов тропических широт превышавших норму. Соответственно более тонкими линиями представлено количество тропических циклонов в года, когда количество тропических циклонов не превышает норму в 25, 6.

Июль, август, сентябрь – месяцы с повышенной атмосферной активностью. Это может объясняться повышенной температурой поверхности океана (зарождение атмосферной активности в тропической зоне возможно при температуре воды 27 °С). Исключением является август 2014 года, в котором не было замечено ни одного тропического циклона.

С декабря по май снижение активности в каждом году 6-летнего периода, количество тропических циклонов колеблется в диапазоне от 0 до 2 тропических циклонов.

2.2 Исследуемые тропические циклоны 2013-2018 год.

Из данных сайта Гидрометцентра России за период с 2013 по 2018 год было выбрано шесть тропических циклонов, пять из которых имеют статус супертайфунов. [5]

- 1) Хайян (Haiyan)– супертайфун в 2013 году;
- 2) Вонфонг (Wonfong)– супертайфун в 2014 году;
- 3) Соделор (Sodelor)– тайфун в 2015 году;
- 4) Непартак (Nepartak)– супертайфун в 2016 году
- 5) Нору (Noru) – супертайфун в 2017 году;
- 6) Мангхут (Mangkhut)– супертайфун в 2018 году.

Самым разрушительным в сезоне 2013г. стал ноябрьский тропический циклон Хайян. Волны с ветром губительной силы, высотой более 6,5 м оказались в районе порта Таклобан, Китай. Количество жертв оказалось катастрофически велико: к концу декабря погибшими и пропавшими без вести числятся 7900 человек. Повреждено 300 тысяч жилых домов, 160 000 разрушены полностью.

В 2014 году мощным тропическим циклоном сезона в этом регионе и в северном полушарии в целом стал тайфун Вонфонг, существовавший в октябре. Очаг формирования в осеннем периоде был довольно компактным и располагался области 130° - 160° в.д. и $1,5^{\circ}$ - 20° с.ш. Именно здесь зародилось примерно 85% тайфунов Дальнего Востока. [9]

Более поздний, но самый мощный для периода активности тропических циклонов в 2015 году стал августовский тайфун Соделор. Траектория данного циклона вполне тривиальна – направлена на запад, поэтому можно было наблюдать влияние стихии на побережье Китая и Филиппин (южные дождевые полосы вызвали сильные дожди и наводнения на севере страны).

Тропическая буря Непартак, зародившаяся 3 июля 2016 года в восточной части Филиппинского моря, смещалась на северо-запад и 5 июля стала первым в этом сезоне тайфуном. Спустя сутки Непартак набрал силу супертайфуна. Но позже, особенности горного рельефа острова Тайвань замедлили скорость тропического циклона, понизив его категорию по шкале ураганных ветров Саффира-Симпсона до эквивалента 1-й категории.

В 2017 году тропические циклоны в районе северо-западной части Тихого океана оказались чуть слабее, но одним из самых ярких оказался июльский супертайфун Нору. Траектория движения в первые три дня самая непредсказуемая, ее сложно назвать традиционной для северного полушария (западное и северо-западное направление). Так же из особенностей можно выделить температуру воды в западной половине Тихого океана в течение всего сезона оставалась высокой и благоприятствовала тропическому циклогенезу.

Сентябрь 2018 года в северо-западной части Тихого океана сформировался тайфун Мангхут. След разрушений коснулся острова Гуаме и Северных Марианских островах и, набирая скорость ветра, поменял свой статус на супертайфун (5 категория по шкале Саффира-Симпсона) и продолжил движение в сторону Филиппин.

Рассматривая особенности каждого из представленных циклонических образований в тропических широтах, мной была создана Таблица 2.2, в которой отражены более четкие аналитические данные о скорости ветра, минимальному давлению и траектории движения.

Таблица 2.2- Аналитические данные, исследуемых тропических циклонов 2013-2018 г [2]

Дата (начало/ конец)	Название тропического циклона	Классифи- кация	Мин. давление (гПа)	Макс скорость ветра	Катего- рия	Рисунок траектории
07.09.18 - 17.09.18	Мангхут	Супер- тайфун	905	более 60 м/с (в порывах более 80 м/с)	5	

<p>20.07.17 - 08.08.17</p>	<p>Нору</p>	<p>Супер-тайфун</p>	<p>930</p>	<p>55 м/с (в порывах до 75 м/с)</p>	<p>5</p>	
<p>02.07.16 - 10.07.16</p>	<p>Непартак</p>	<p>Супер-тайфун, тропический шторм</p>	<p>900</p>	<p>в центре достигала 58 м/с (в порывах более 80 м/с)</p>	<p>5</p>	

<p>30.07.15 - 09.08.15</p>	<p>Соделор</p>	<p>Тайфун</p>	<p>900</p>	<p>более 60 м/с (в порывах – более 90 м/с).</p>	<p>5</p>	<p>13W SOUDELOR T1513 30 JUL 2015 - 08 AUG 2015</p> <p>Max. Sustained Winds</p> <ul style="list-style-type: none"> 130 KT OR GREATER 64 TO 129 KT 34 TO 63 KT 33 KT OR LESS <p>DOT : POSITION AT 00UTC (09JST)</p> <p>The map shows the typhoon's path starting on July 31 at approximately 15°N, 160°E, moving west-northwest through the Philippines and Japan. Wind speed categories are indicated by line thickness and color: red for 130 kt or greater, blue for 64-129 kt, and green for 34-63 kt. A scale bar at the bottom indicates distances up to 800 nautical miles.</p>
------------------------------------	----------------	---------------	------------	---	----------	--

<p>03.10.14 - 14.10.14</p>	<p>Вонфонг</p>	<p>Супер-тайфун</p>	<p>900</p>	<p>более 60 м/с (в порывах – более 90 м/с).</p>	<p>5</p>	
<p>03.11.13 - 11.11.13</p>	<p>Хайян</p>	<p>Супер-тайфун</p>	<p>895</p>	<p>70 м/с (в порывах – более 90 м/с).</p>	<p>5</p>	

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Для исследования тропических циклонов использовалась мезомасштабная гидродинамическая модель WRF-ARW. Так как все рассматриваемые циклоны существовали в разных регионах, то было использовано несколько версий модели, отличающихся регионом моделирования, каждый из которых будет описан отдельно.

3.1 Тропический циклон Хайян, ноябрь 2013 году

3.1.1 Описание конфигурации модели

После адаптации модели к региону исследования использовалась следующая конфигурация модели. Область моделирования представлена на рисунке 3.1. Область моделирования имеет следующие характеристики:

1. Проекция Меркатора (цилиндрическая).
2. Координаты по долготе – 90° в.д- 170° в.д
3. Координаты по широте – 10° ю.ш- 40° с.ш
4. Размер сетки – 300 узлов по долготе и 150 узлов по широте
5. Шаг сетки по горизонтали – 20 километров
6. Количество уровней по вертикали – 35
7. Граничные условия меняются через 6 часов (21600 секунд)
8. Шаг по времени 60 секунд
9. Заблаговременность прогноза 36 часов (например, с 00 часов 4 ноября 2013 года до 12 часов 5 ноября 2013 года)
10. Всего разработано 3 прогнозов для периода с 4 ноября до 6 ноября

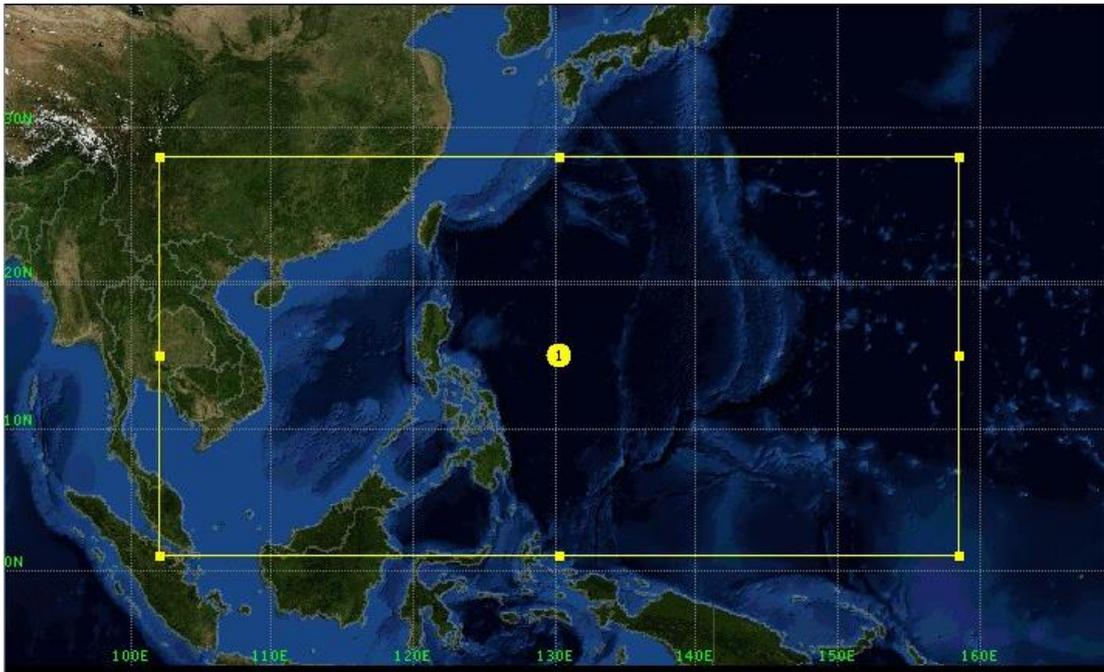


Рисунок 3.1 – Область моделирования тропического циклона Хайян в 2013 году.

3.1.2 Траектория движения тропического циклона Хайян

4 ноября 2013 года в акватории Охотского моря начинает зарождаться атмосферное образование с понижающимся давлением, координаты центра циклона приведены в таблице 3.1, так же данные о территориальном движении можно увидеть на рисунке 3.2. Атмосферная депрессия двигается на запад и до 8 ноября тропический циклон набирает максимальное развитие и достигает берегов Филиппинский островов.

9 и 10 ноября Хайян переходит в акваторию Южно-Китайского моря. Так же во второй половине дня 10 ноября достигает побережье острова Хайнань и 11 ноября переходит на территорию континента, а именно города Ханой, где и полностью заполнился.

С момента зарождения до выхода на территорию континента тропический циклон проделал путь в 54° в долготном направлении и в последние дни с 9 по 11 ноября перемещался севернее на 10° с.ш.

3.1.3 Анализ спутниковых снимков тропического циклона Хайян

Анализ развития тропического циклона проведём на основе спутниковых снимков, которые представлены на рисунке 3.2. Рисунки 3.2, 3.3 были взяты из японского сайта лаборатории «КИТАМОТО» Национального исследовательского института информатики. [2]

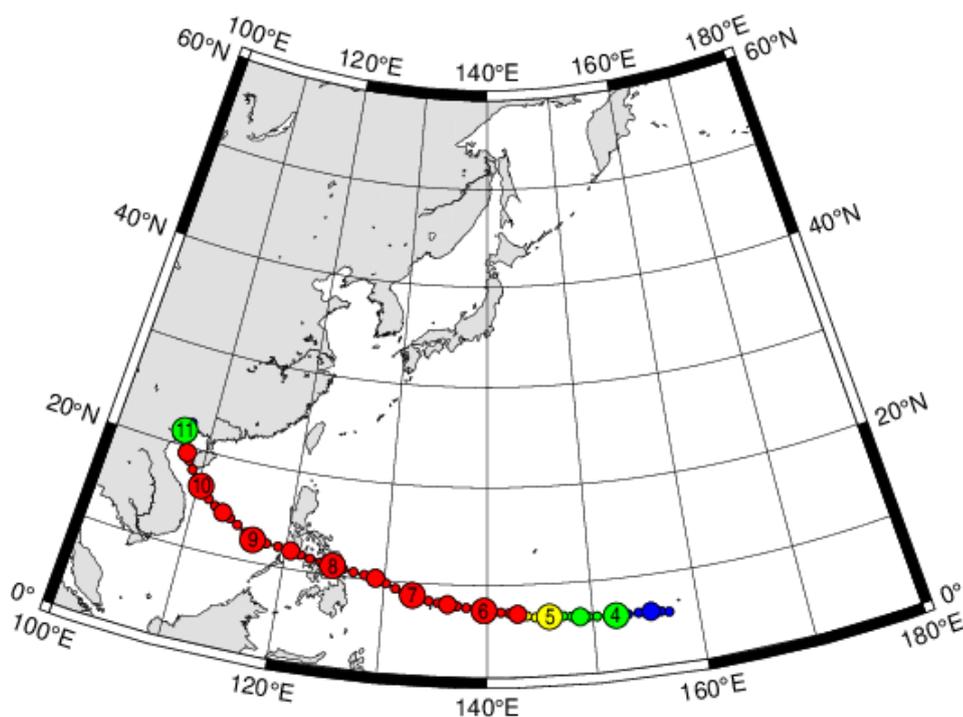


Рисунок 3.2 - Траектория движения тропического циклона Хайян [2]

В первые дни облачные системы стягиваются к центру атмосферной депрессии, по этой спирали начинают втягиваться в образовавшуюся зону пониженного давления

На рисунке 3.3 видно увеличение диаметра облачных образований в период с 4 ноября до 8 ноября. Интересное явление можно наблюдать на спутниковом снимке 7 ноября 2013 года, движение по спирали сходится в глаз бури, в котором наблюдается спокойная и безоблачная погода.

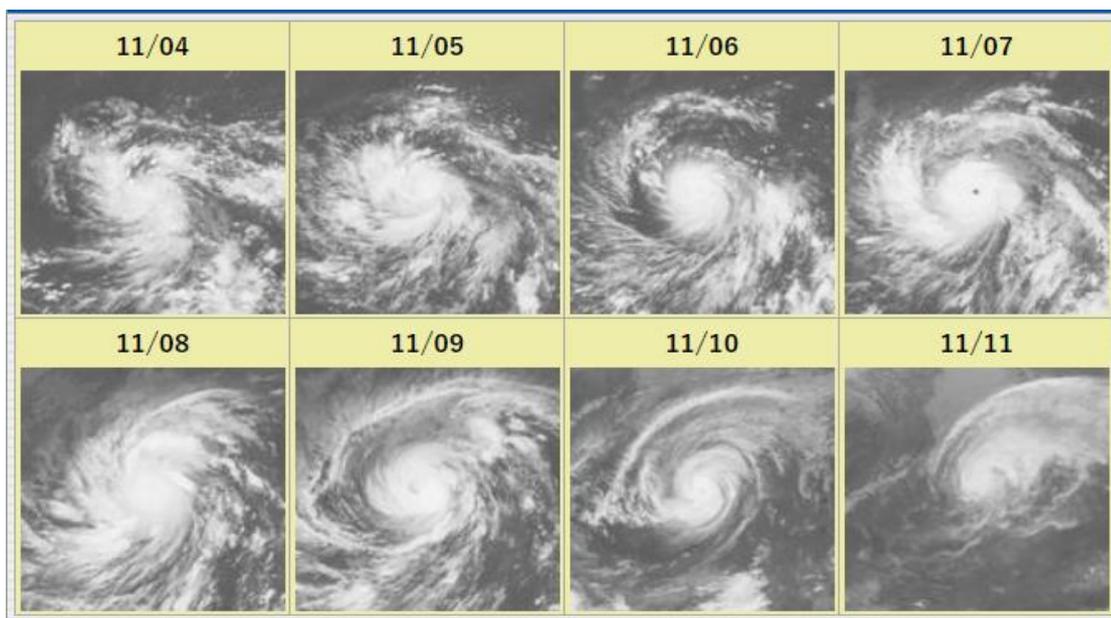


Рисунок 3.3 – Динамика развития супертайфуна Хайян в 2013 году [2]

Как можно судить по представленным на рисунке 3.3 спутниковым снимкам и дополнительной информации – 7 ноября циклон это круглая область приблизительно 45 километров в диаметре. Чётко виден глаз бури, окруженный кольцом плотной облачности, где отмечается низкое давление 905 гПа (реальные данные представлены в таблице 3.1).

С 9 ноября на спутниковом изображении циклона хорошо видно, что энергия тропического циклона ослабевает (облачность менее плотная, диаметр увеличивается, нет глаза бури) и атмосферное образование разрушается, вероятно, это связано с приближением центра циклона к континенту.

3.1.4 Исследование атмосферного давления в тропическом циклоне Хайян

Моделирование тропического циклона Хайян проводилось в период с 3 ноября по 11 ноября 2013 года. Результаты моделирования будут представлены в виде рисунков, созданных с помощью графической программы OpenGrads. Подробный анализ модельных данных будет осуществляться на основе двух дней (4 ноября, 5 ноября), это можно

объяснить движением центра пониженного давления в тропических широтах. ТЦ движается на северо-запад, что является нормальным ходом для северного полушария.

На рисунках 3.4 – 3.10 представлены модельные поля давления на уровне моря. Цветовая шкала на всех рисунках одинаковая и это позволяет анализировать эволюцию ТЦ.

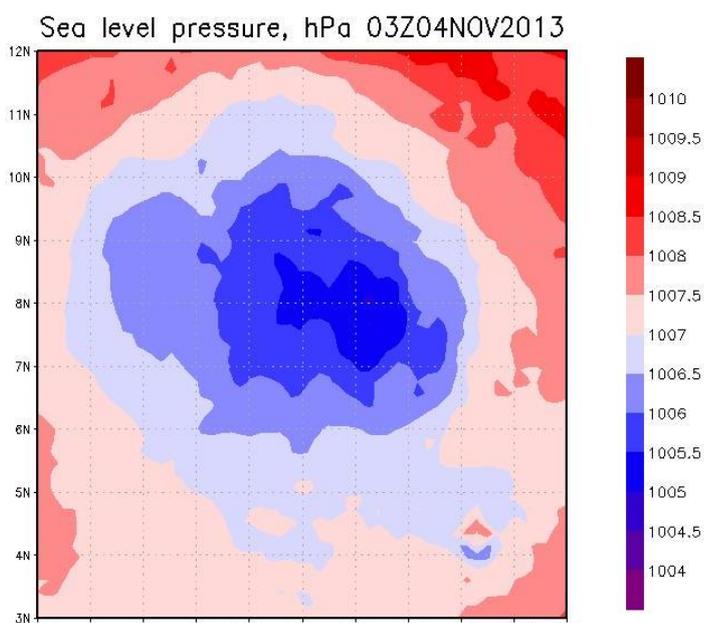


Рисунок 3.4 – Атмосферное давление 4 ноября 2013 года 03 ч (UTC)

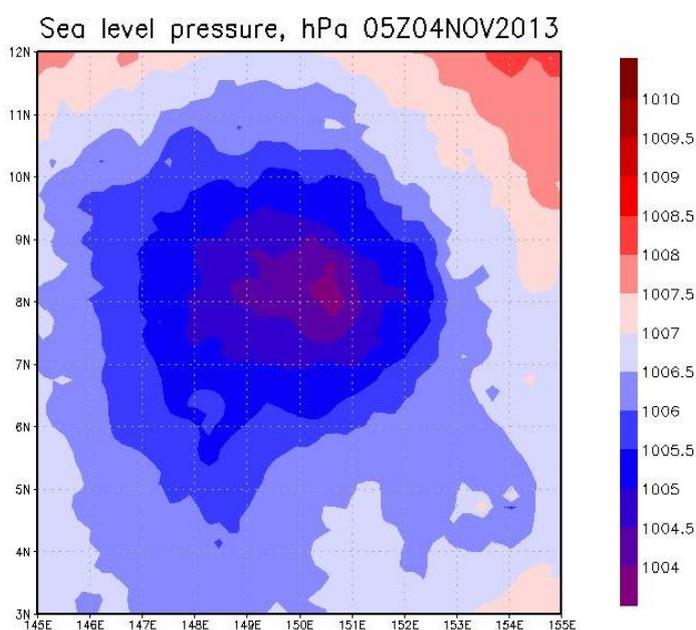


Рисунок 3.5 – Атмосферное давление 4 ноября 2013 года 05 ч (UTC)

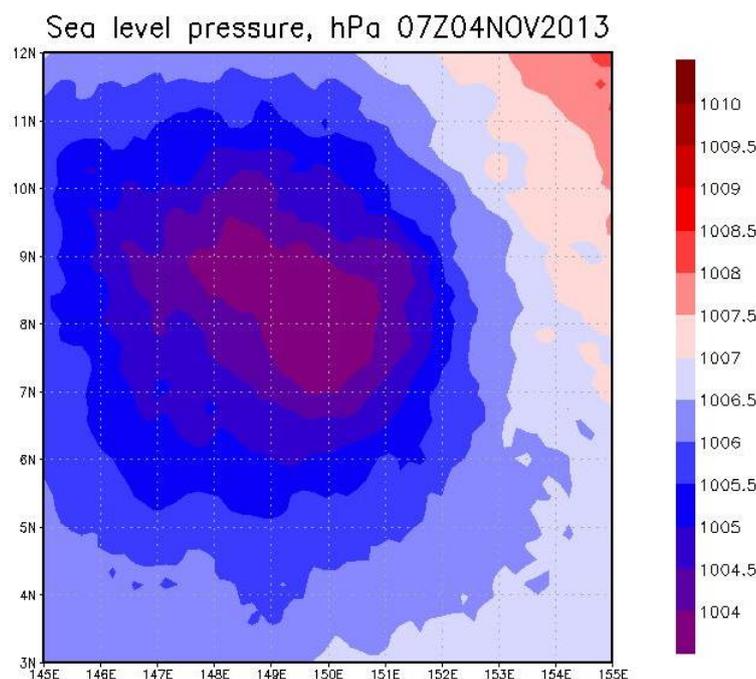


Рисунок 3.6 – Атмосферное давление 4 ноября 2013 года 07 ч (UTC)

В анализируемых полях, представленных на рисунках, минимальное давление имеет фиолетовый, синий цвет, в свою очередь максимальное давление – красный, бордовый. Легенда представлена слева и шаг изолиний на изображении 0,5 гПа.

Мной было выбрано три изображения, которые хорошо описывают момент зарождения атмосферной депрессии в тропических широтах. На рисунке 3.4 минимальное давление составило 1005.5 гПа, что совпадает с реальными данными наблюдений за этим ТЦ, которые представлены на графике рисунка 3.11. Благодаря выбранной цветовой палитре отчетливо видно зону округлой формы с минимальным давлением в центре.

На границах изображения можно наблюдать максимальное давление-1008,5 гПа.

Рисунок 3.5 отражает процесс формирования более крупного атмосферного образования. Разница между рисунком 3.4 и рисунком 3.5 - 2

часа, и визуально хорошо просматривается, что радиус тропического циклона вырос, а атмосферное давление в центре упало до 1004 гПа.

Зона минимального атмосферного давления тропического циклона увеличилась в несколько десятков раз на рисунке 3.6 (территория обозначена фиолетовым цветом). Так же на изображении можно отметить перемещение на запад.

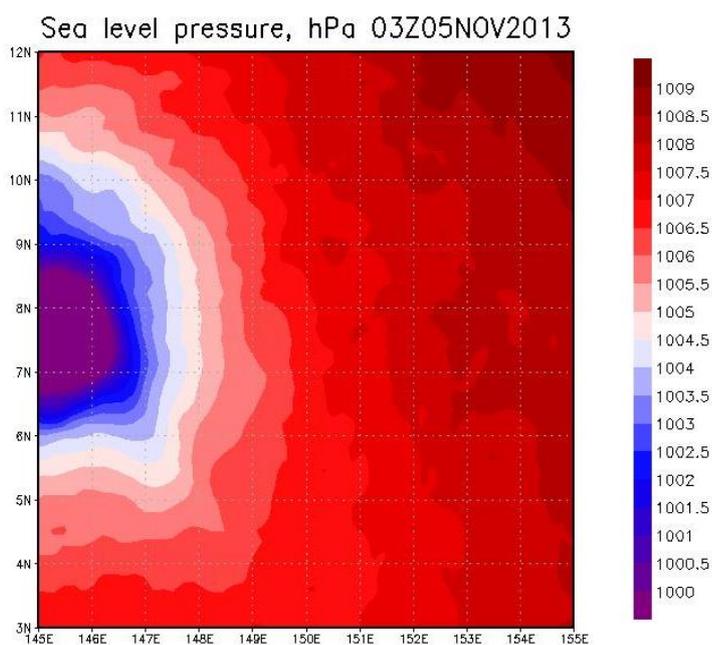


Рисунок 3.7– Атмосферное давление 5 ноября 2013 года 03 ч (UTC)

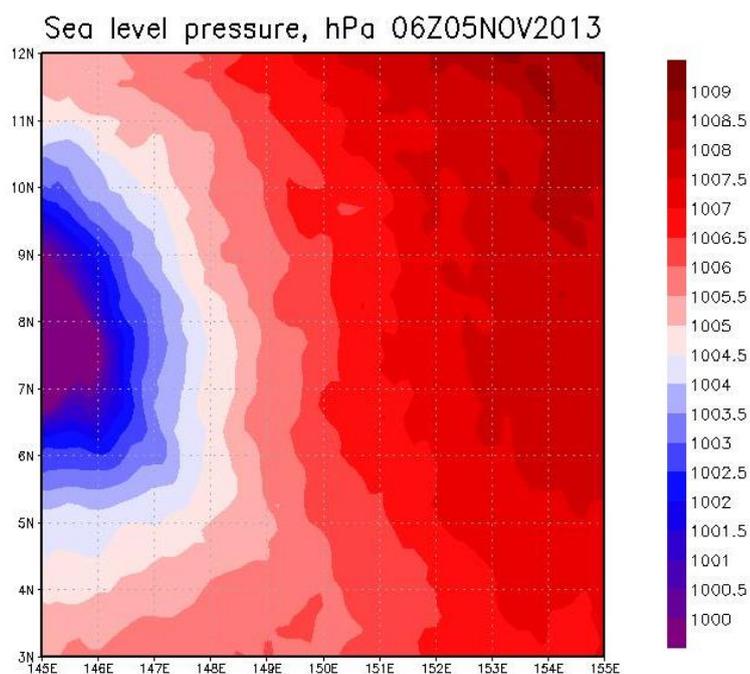


Рисунок 3.8– Атмосферное давление 5 ноября 2013 года 06 ч (UTC)

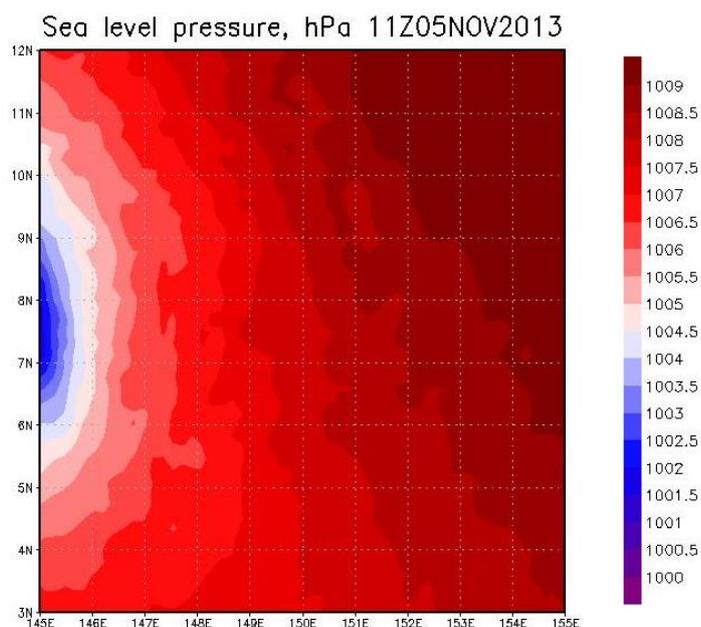


Рисунок 3.9– Атмосферное давление 5 ноября 2013 года 11 ч (UTC)

Исследуя поле давления на уровне моря 5 ноября 2013 года, можно заметить активное движение тропического циклона на запад. На рисунке 3.7 центр тропического циклона сместился на запад и циклон выходит из области моделирования – уже не виден весь циклон, вся зона пониженного давления. Нельзя не заметить, что давление продолжает падать и его

значение на 03 часа 5 ноября 2013 г. понизилось до 1000 гПа, а максимальное давление в рассматриваемой области достигало 1009 гПа.

К 6 часам (рисунок 3.8) центр циклона продолжает перемещаться, но все еще видно часть минимального значения атмосферного давления. На рисунке 3.10 в 11 ч минимальное давление 1002,5 гПа, но это только то значение, которое прослеживается на изображении, если обратиться к таблице 3.1 атмосферное давление 5 ноября 998 гПа.

Сравнивая данные об атмосферном давлении, которые были рассчитаны с помощью модели и данные наблюдений, представленные в таблице 3.1 и графике на рисунке 3.11, можно сказать, что прогноз верный. Модель правильно описывает эволюцию поля давления в тропическом циклоне Хайян и занижает минимальное давление примерно на 2 гПа.

В таблице 3.1 приведено сравнение модельных и фактических данных о циклоне Хайян.

Таблица 3.1– Фактические и модельные характеристики тропического циклона Хайян

Дата	Реальные координаты центра циклона	Модельные координаты центра циклона	Реальное минимальное давление (гПа)	Модельное минимальное давление (гПа)	Реальная скорость ветра (м/с)	Модельная скорость ветра (м/с)
04.11	5 с.ш 152 в.д	6 с.ш 150 в.д	1005	1003,5	23	27
05.11	6 с.ш 146 в.д	6 с.ш 145 в.д	998	996,5	38	30
06.11	7 с.ш 139 в.д		975		59	

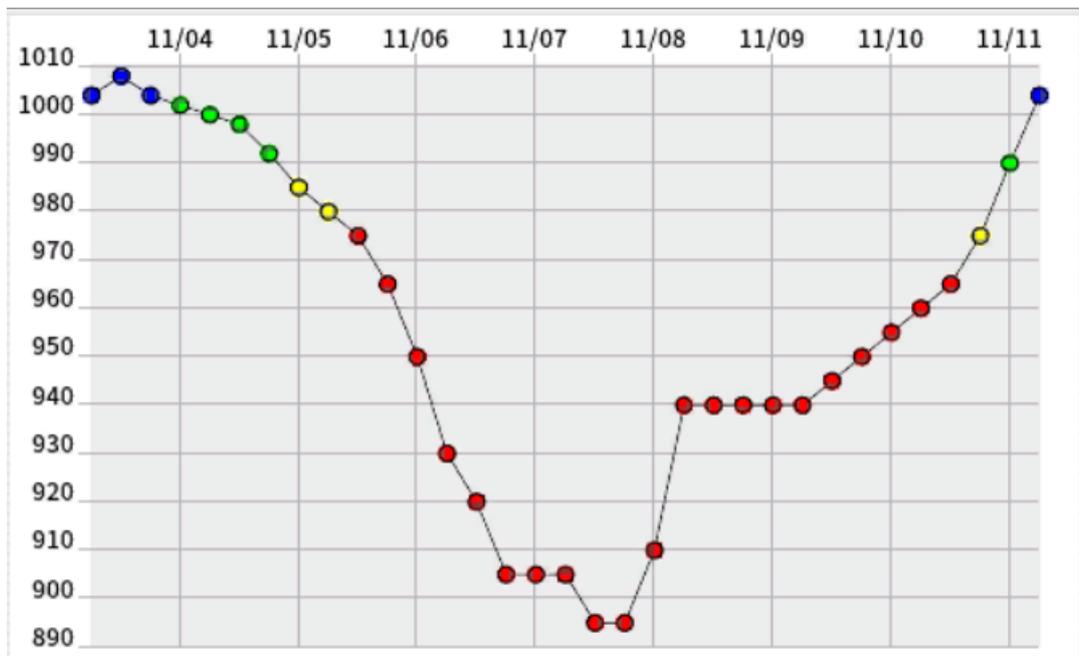


Рисунок 3.11– График изменения давления в центре супертайфуна Хайян [2]

3.1.5 Исследование скорости ветра в тропического циклона Хайян

Модельные поля скорости ветра в области развития циклона Хайян представлены на рисунках 3.12 – 3.17. Заливка на этих рисунках – модуль скорости ветра, стрелки показывают направление, а их длина пропорциональна модулю скорости ветра.

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 09Z04NOV2013

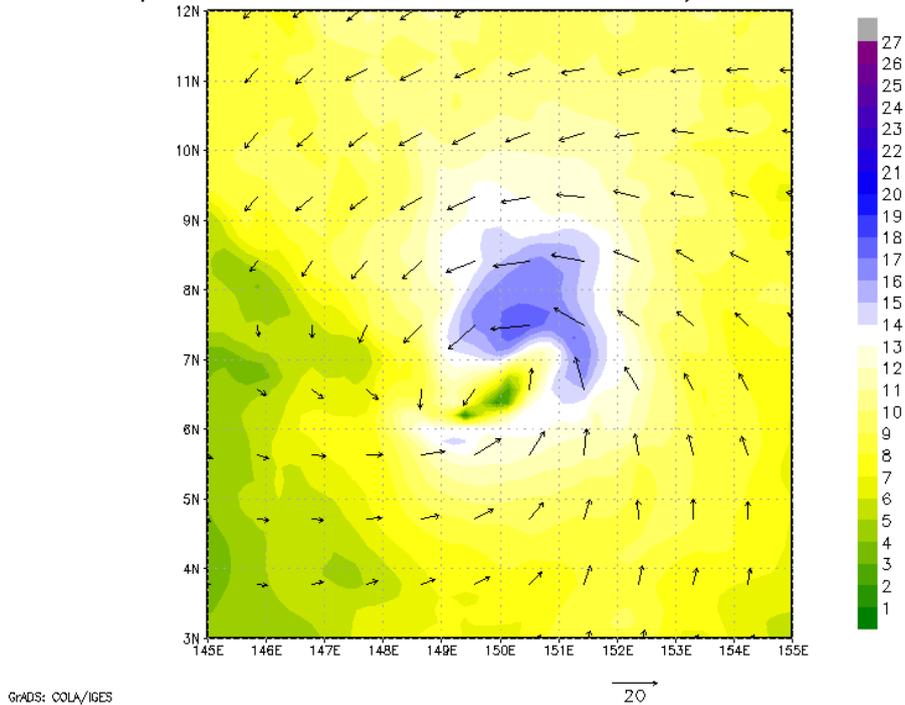


Рисунок 3.12 – Скорость ветра (м/с) 4 ноября 2013 09 ч (UTC)

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 15Z04NOV2013

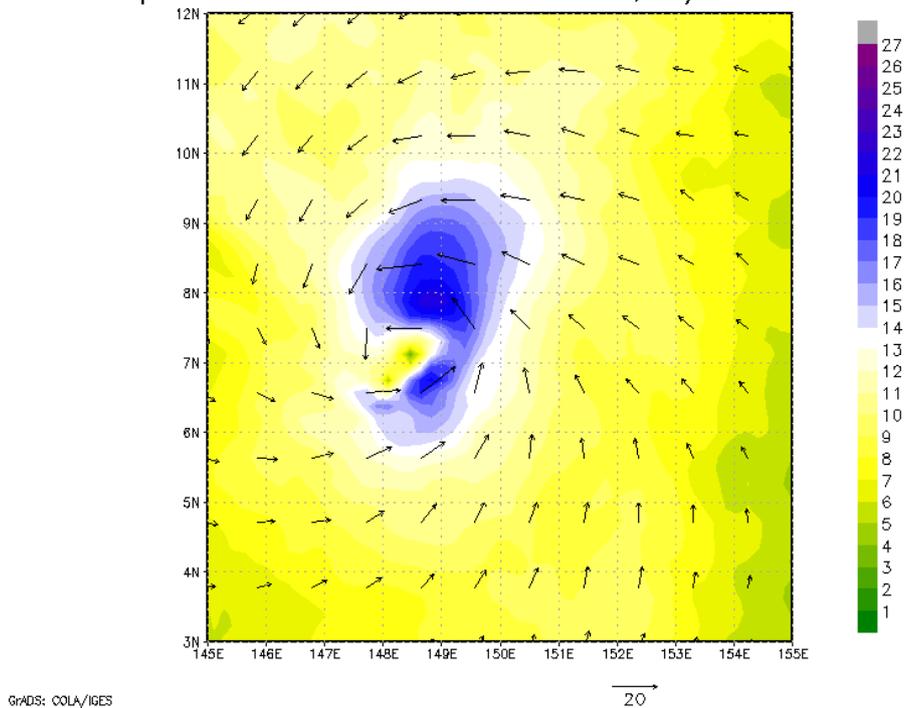


Рисунок 3.13 – Скорость ветра (м/с) 4 ноября 2013 15 ч (UTC)

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 23Z04NOV2013

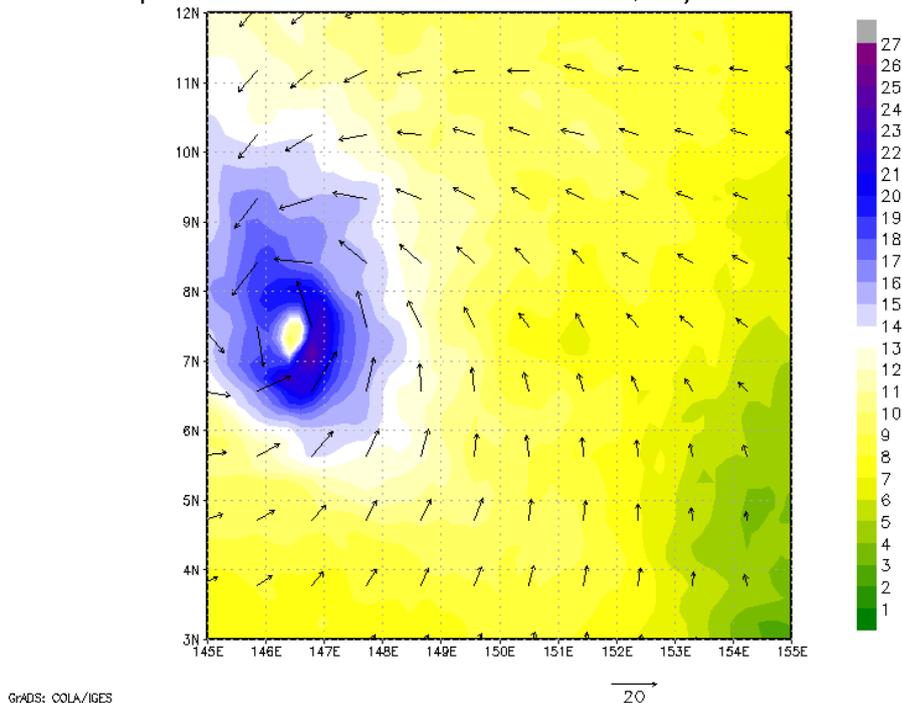


Рисунок 3.14 – Скорость ветра (м/с) 4 ноября 2013 23 ч (UTC)

На рисунках, созданных на основе модельных данных, фиолетовый, синий цвета эквивалентны максимальным значениям скорости ветра, а зеленый, салатовый - минимальной скорости ветра. Так же на изображении представлены стрелки, которые указывают направление ветра в тропическом циклоне и зоне вокруг него. Шаг в представленных на рисунках полях скорости ветра на изображении составляет 1 м/с.

4 ноября в 09 часов в модельных полях скорости наблюдается усиление ветра, максимальное значение составило 18 м/с, а минимальное – 1 м/с.

Зона синего цвета ориентирована севернее центра, скорость в которой 1 м/с. Так же можно отметить направление ветра, стрелки показывают вихревое движение против часовой стрелки, что указывает на зарождение тропического циклона.

На рисунке 3.13 территория, на которой отмечается увеличенная скорость ветра, напоминает форму запятой, ветер увеличивается не только в

северной части, но и в юго-восточном направлении и только с западной стороны просматриваются более низкие скорости (3-5 м/с).

В поле, представленном на рисунке 3.13, видно появление глаза бури – отчетливо виден центр тропического циклона, в котором скорость ветра не достигает 11 м/с, хотя вокруг скорость ветра очень большая и достигает 28 м/с.

Максимальная скорость ветра - 28 м/с (юго-восточная часть тропического циклона). Тропический циклон смещается на запад.

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 01Z05NOV2013

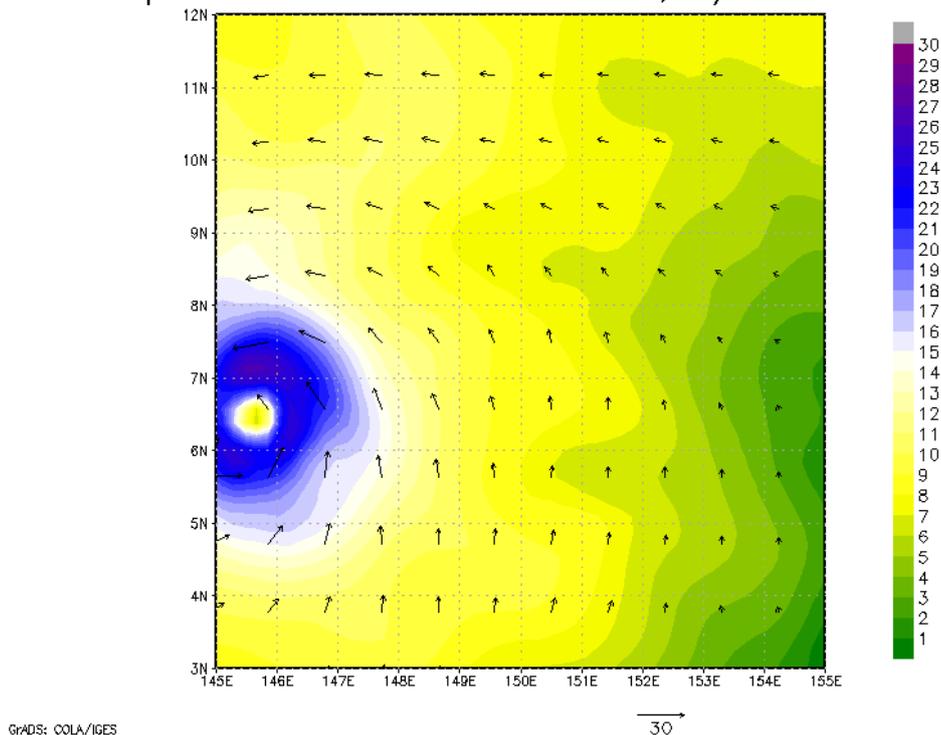


Рисунок 3.15– Скорость ветра (м/с) 5 ноября 2013 01 ч (UTC)

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 05Z05NOV2013

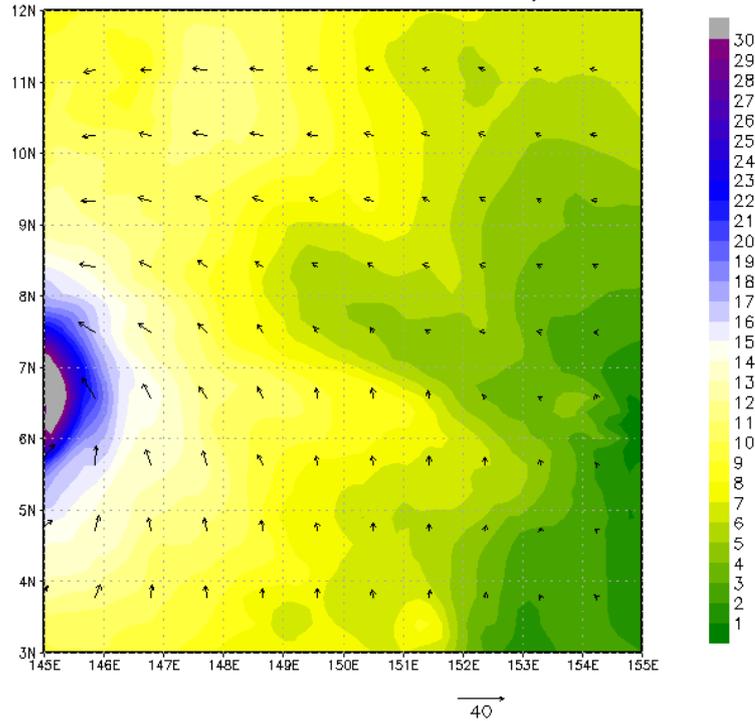


Рисунок 3.16 – Скорость ветра (м/с) 5 ноября 2013 05 ч (UTC)

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 09Z05NOV2013

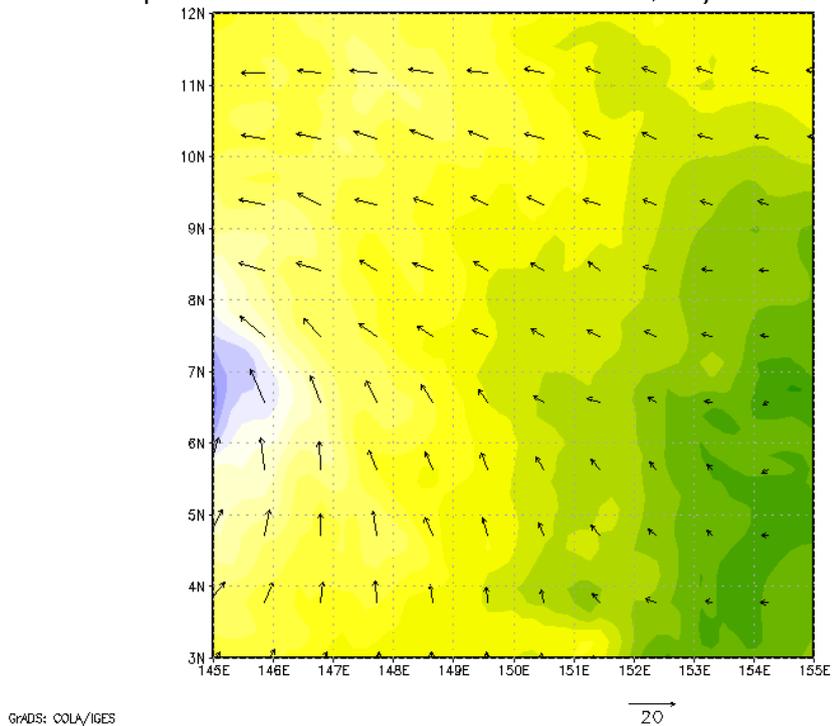


Рисунок 3.17 – Скорость ветра (м/с) 5 ноября 2013 09 ч (UTC)

К 01 часам 5 ноября скорость ветра продолжает расти, скорость ветра в северной части тропического циклона составляет 29 м/с (рисунок 3.14).

Так же прослеживается пониженное значение скорости ветра в центре тропического циклона (6-8 м/с). Тропический циклон смещается на запад.

Анализ поля ветра рисунка 3.16 показывает усиление скорости ветра до 30 м/с, но на изображении не прослеживается глаз бури, вероятно, максимальная скорость ветра 5 ноября гораздо выше 30 м/с.

В поле, представленном на рисунке 3.17, тропический циклон уходит за границы области моделирования и только на основе реальных данных можно узнать максимальную скорость ветра.

Из совместного анализа фактических данных (таблица 3.1) и данных, представленных на рисунках, можно сделать вывод о том, что прогноз в первые два дня формирования тропического циклона верный.

В последующие дни скорость ветра в тропическом циклоне росла до 65 м/с (7 ноября), далее скорость ветра понижается, но 8 и 9 ноября скорость по прежнему можно назвать высокой 51 м/с и 58 м/с, соответственно. В последний день существования максимальная скорость ветра составила 20 м/с.

Из таблицы 1.1 можно сделать вывод, что тропический циклон Хайян соответствует 4 категории шкалы Саффира- Симпсона.

3.1.6 Исследование вертикальной структуры тропического циклона Хайян

Вертикальный разрез построен на основе данных о скорости ветра на высотах. Разрез построен вдоль 7° с.ш. На рисунках 3.18-3.20 внизу изображена шкала скорости ветра в м/с, в которой оттенки синего отражают низкую скорость ветра, а оттенки красного – высокую скорость ветра. Горизонтальная ось на рисунках означает долготу исследуемой территории, вертикальная ось – изобарические уровни в гПа (1000 гПа-300 гПа).

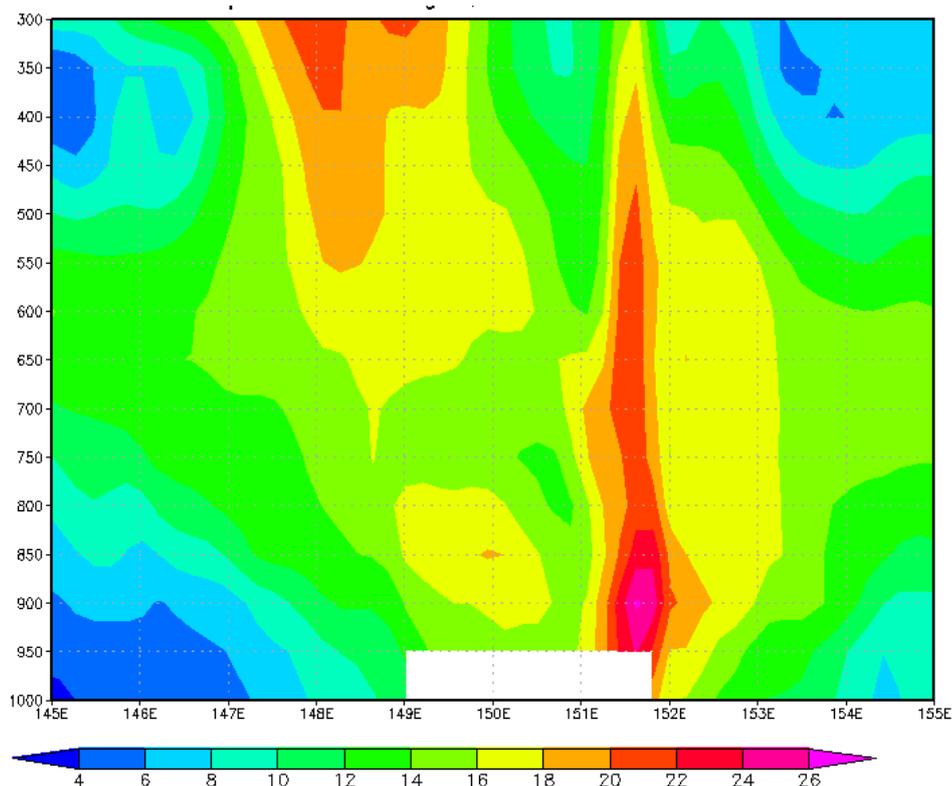


Рисунок 3.18– Вертикальный разрез скорости ветра 4 ноября 2013 год
07 ч

На рисунке 3.18 на высоте 1000 гПа можно наблюдать прямоугольник белого цвета, который отражает барического образование с низким давлением, то есть в этой области в атмосфере нет давления выше 950 гПа и эта область соответствует области тропического циклогенеза. Ширина тропического циклона изображенного на рисунке 3.18 4 ноября 07 ч от $149^{\circ}10''$ в.д до $151^{\circ}57''$ в.д. На восточной границе барического образования наблюдается «столб», который говорит о том, что тропический циклон начинает развиваться и максимальная скорость ветра 24 м/с на высоте 900 гПа. Так же увеличение скорости ветра можно увидеть на высоте от 550-300 гПа, скорость ветра в данной зоне составила 22 м/с. Можно заметить, что в центральной области высокие скорости, связанные с тропическим циклоном достигают уровня 400 гПа.

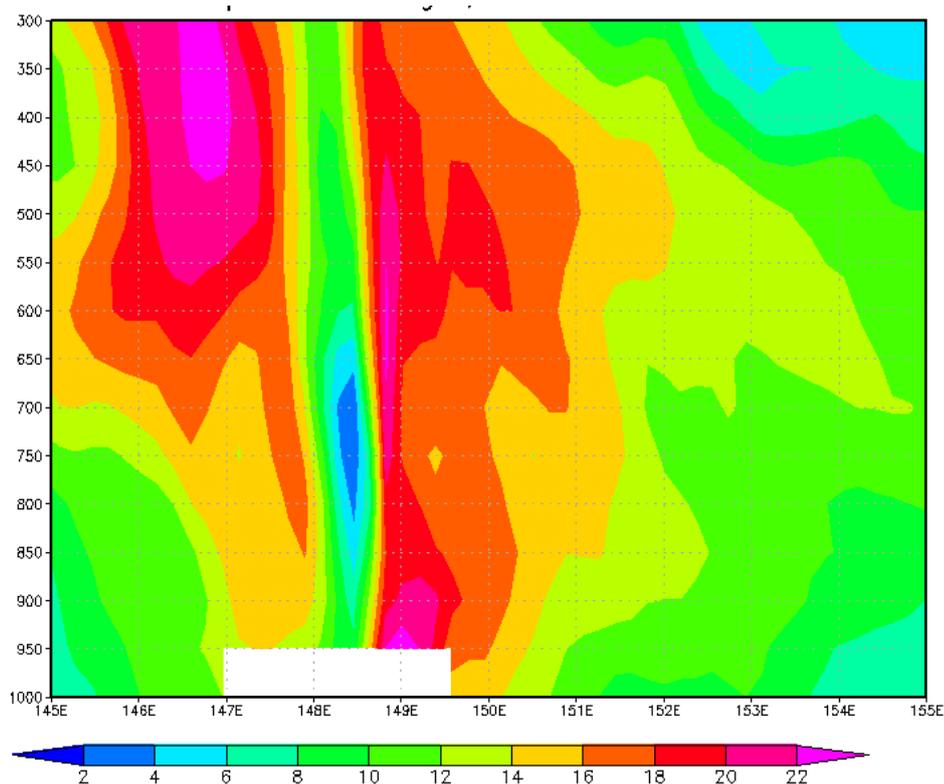


Рисунок 3.19 – Вертикальный разрез скорости ветра 4 ноября 2013 год 15 ч

На рисунке 3.19 хорошо видно развитие тропического циклона, что выражается в увеличении скорости ветра, а так же в расширении по долготе и увеличению по высоте зоны с высокими скоростями ветра. Четко виден глаз бури – небольшая скорость между зонами повышенной скорости ветра. В глазе бури скорость ветра не превышает 6 м/с, в свою очередь, справа и слева скорость ветра достигает значения 20-22 м/с. Высота области глаза бури достигает 300 гПа. Так же совместный анализ вертикальных разрезов, представленных на рисунках 3.18 и 3.19, показывает движение тропического циклона в восточном направлении.

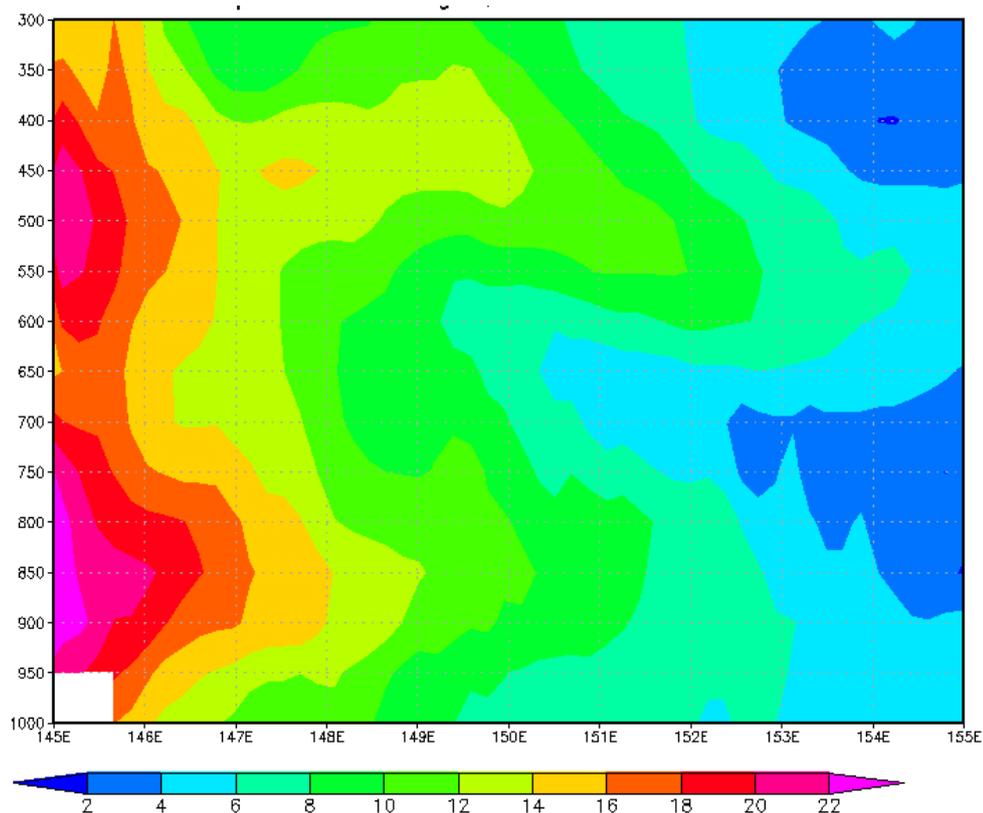


Рисунок 3.20– Вертикальный разрез скорости ветра 5 ноября 2013 год
10 ч

Перемещение барического образования на восток хорошо отражает вертикальный разрез поля ветра, представленный на рисунке 3.20. В модельном поле видна лишь часть тропического циклона. Скорость ветра превышала 22 м/с. По высоте можно наблюдать две зоны с высокой скоростью ветра – в слое от 1000 гПа до 700 гПа и в слое от 620 гПа до 300 гПа.

Исследуемые мной изображения отражают явления зарождения тропического циклона, глаз бури и активное перемещение циклона на восток.

3.2 Тропический циклон Вонфонг, октябрь 2014 года

3.2.1 Описание конфигурации модели

Область моделирования тропического циклона Вонфонг в 2014 году была адаптирована к целям исследования. Рисунок 3.21 отражает область моделирования.

Характеристики данной конфигурации модели следующие:

1. Проекция Меркатора (цилиндрическая).
2. Координаты по долготе – 115° в.д- 150° в.д
3. Координаты по широте – 10° с.ш- 40° с.ш
4. Размер сетки – 200 узлов по долготе и 150 узлов по широте
5. Шаг сетки по горизонтали – 15 километров
6. Количество уровней по вертикали – 35
7. Граничные условия меняются через 6 часов (21600 секунд)
8. Шаг по времени 90 секунд
9. Заблаговременность прогноза 36 часов.
10. Количество прогнозов-12 (с 3 октября до 14 октября).



Рисунок 3.21 – Область моделирования тропического циклона «Вонфонг»

3.2.2 Траектория движения тропического циклона Вонфонг, октябрь 2014 года

3 октября 2014 года в акватории Филиппинского моря начинает образовываться зона с пониженным давлением. Траекторию движения

атмосферного образования в тропических широтах можно наблюдать на карте, представленной на рисунке 3.22, координаты центра тропического циклона представлены в таблице 3.2.

С 3 по 9 октября новое атмосферное образование движется на запад. Преодолев к 7 октября 24° на запад, тропический циклон достигает максимального развития и меняет направление движения – вплоть до 12 октября на север. 11 и 12 октября «Вонфонг» достигает острова Рюкю, перемещаясь в акваторию Восточно-Китайского моря. В северном направлении тропический циклон преодолел 10° на север, в дни максимального развития (9-12 октября) Вонфонг преодолевает небольшое расстояние.

Сила тропического циклона снижается после 13 октября, траекторию движения в следующие дни существования атмосферного образования, трудно назвать типичной для движения циклонов тропических широт этого региона. Движение продолжается на восток. 13 октября, поворачивая на восток, тропический циклон в первой половине дня достигает берегов японского архипелага, а именно самого южного о. Кюсю. В течение последующих часов Вонфонг успел пройти юго-восточную часть о.Хонсю. 14 октября атмосферное образование покидает береговую линию острова, двигаясь в сторону Курильских островов. Продолжает движение на восток и переходит в стадию разрушения, в течение двух последующих дней тропический циклон Вонфонг прекратит свое существование.

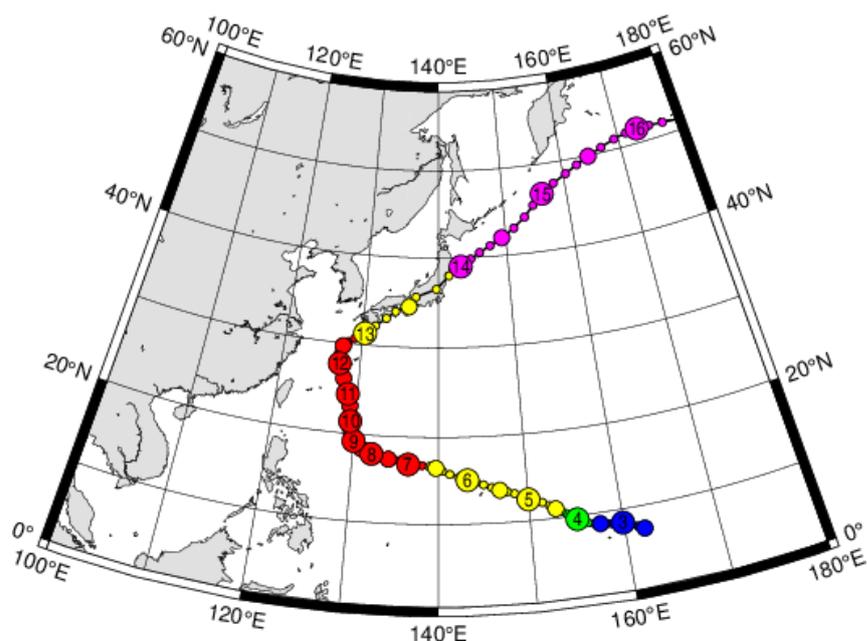


Рисунок 3.22 – Траектория движения тропического циклона Вонфонг, октябрь 2014 года [2]

3.2.3 Анализ спутниковых снимков тропического циклона Вонфонг, октябрь 2014 года

Исследование развития тропического циклона будет основываться на спутниковых снимках, которые представлены на рисунке 3.23.

Изображения 3.22 и 3.23 были взяты из японского сайта лаборатории «КИТАМОТО» Национального исследовательского института информатики Японии [2].

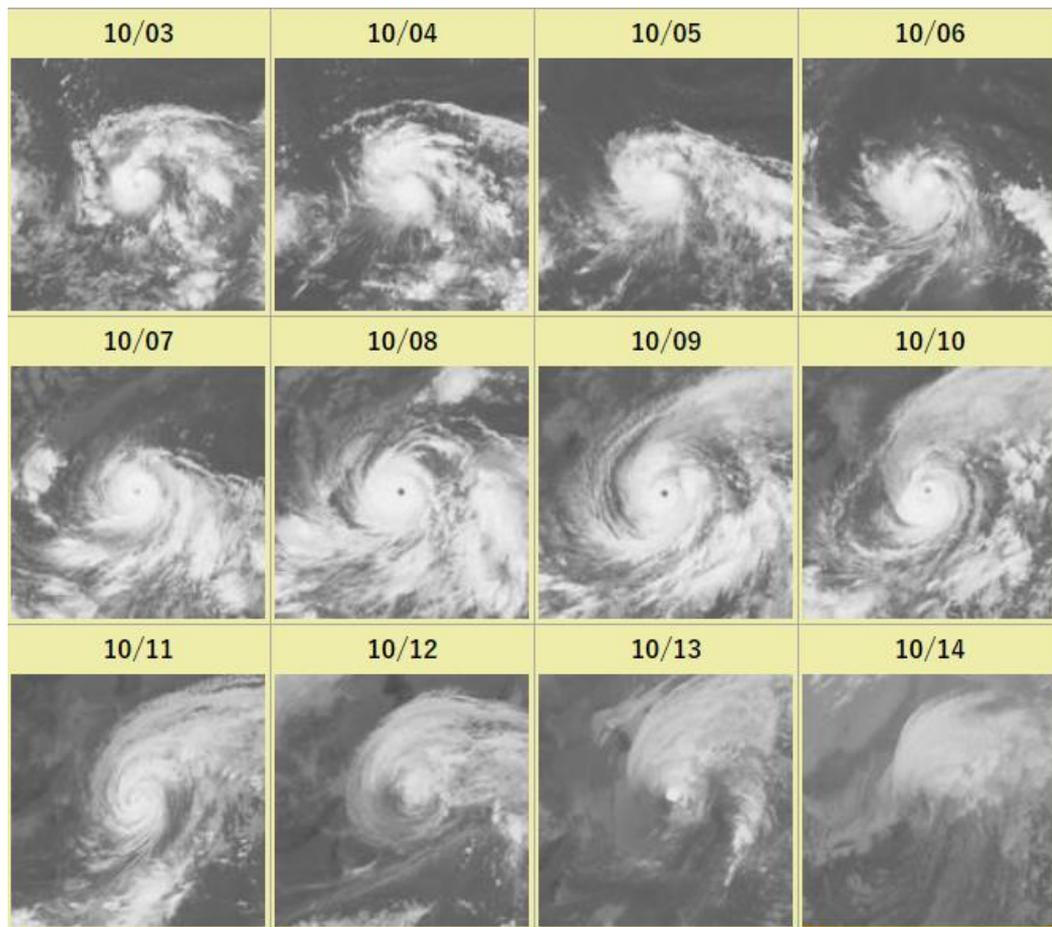


Рисунок 3.23– Динамика развития тропического циклона Вонфонг, октябрь 2014 года [2]

Ряд спутниковых снимков на рисунке 3.23 визуально хорошо показывает все стадии развития тайфуна Вонфонг.

3 октября наблюдается зарождение атмосферного образования, атмосферные потоки начинают закручиваться против часовой стрелки. Облачные образования сгущаются, образуя воронку, которая отлично прослеживается, начиная с 6 октября.

7-10 октября на спутниковых снимках Национального института информатики наблюдается явление глаза бури, отчетливо видно затемнение в центре (отсутствие облаков) и яркие белые облачные образования, которые стягиваются в центре. Появление глаза бури свидетельствуют о максимальной стадии развития Вонфонг, обратившись к таблице 3.2, можно

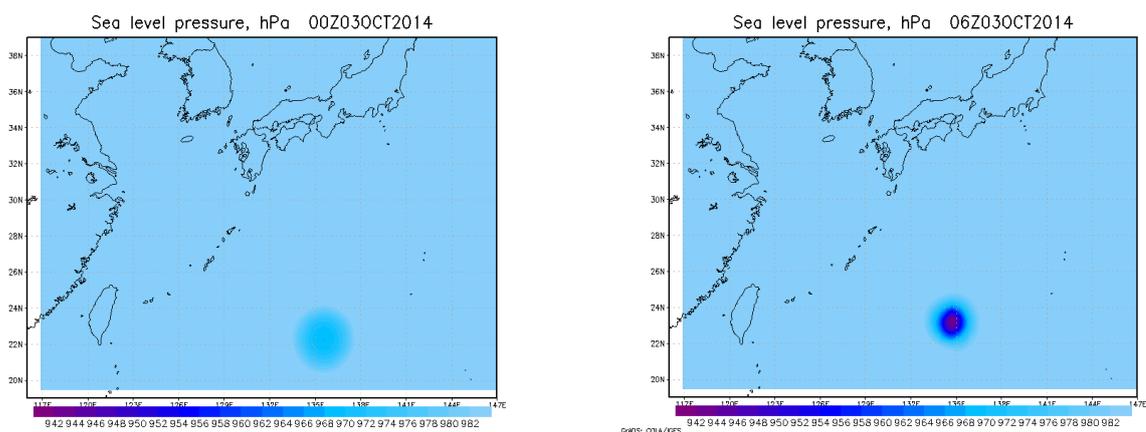
проверить достоверность реальных данных, на основе которых будет проанализированы модельные данные.

Если рассматривать рисунок 3.23 по рядам сверху вниз, можно заметить, последний ряд показывает стадию разрушения тайфуна, 11 и 12 октября на спутниковых снимках еще видна спираль, характерная для тропического циклона. На следующих снимках 13 и 14 октября облака рассеиваются, и тропический циклон прекращает свое существование.

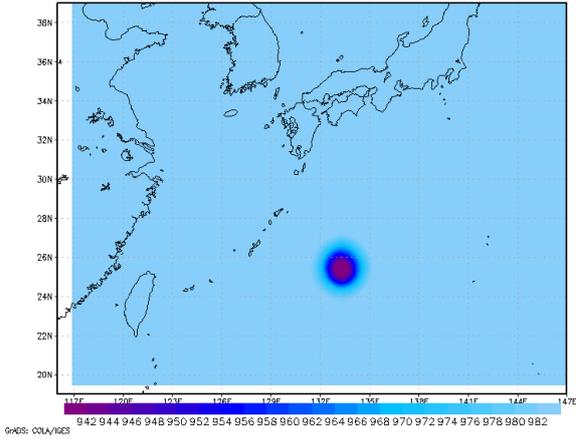
3.2.4 Исследование атмосферное давление тропического циклона «Вонфонг», октябрь 2014 года

Используя интерактивную систему OpenGrads, проанализируем модельные данные об атмосферном давлении тропического циклона Вонфонг. Анализ атмосферного давления будет представлен на основе четырёх дней (3 октября, 5 октября, 6 октября, 13 октября). Таблица 3.2 была создана для иллюстрации изменения атмосферного давления, а так же для наблюдения за траекторией движения тайфуна Вонфонг.

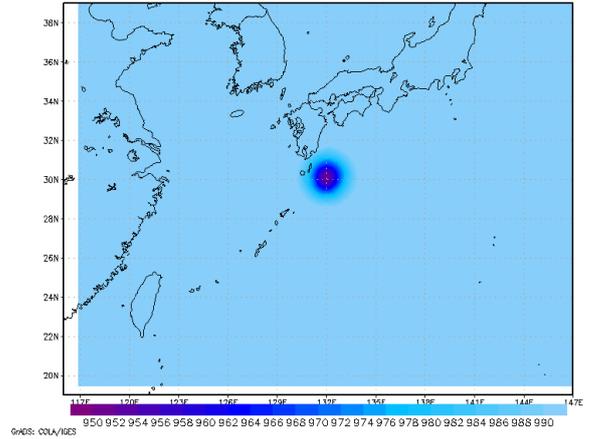
Таблица 3.2 – Поля атмосферного давления в тропическом циклоне Вонфонг



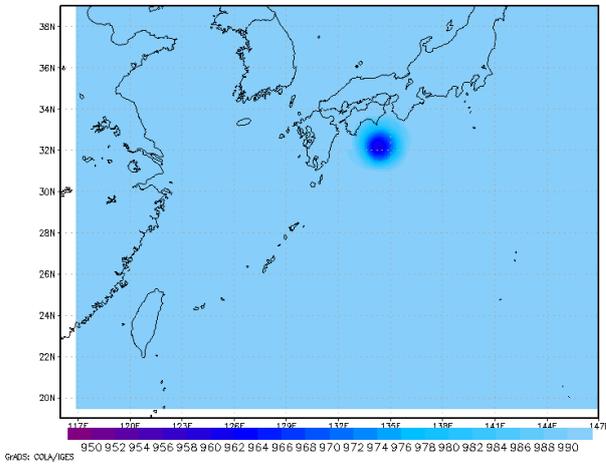
Sea level pressure, hPa 21Z03OCT2014



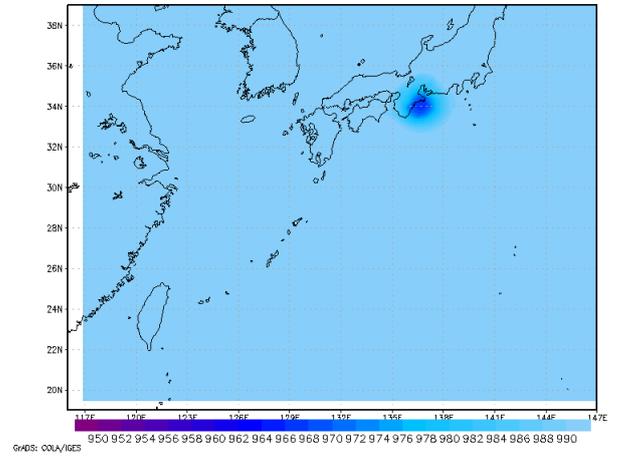
Sea level pressure, hPa 06Z05OCT2014



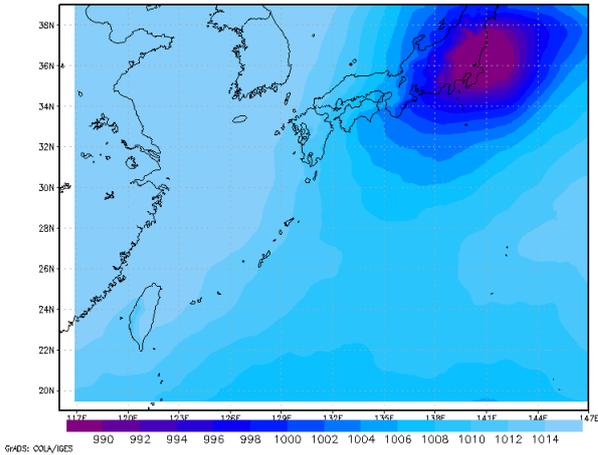
Sea level pressure, hPa 15Z05OCT2014



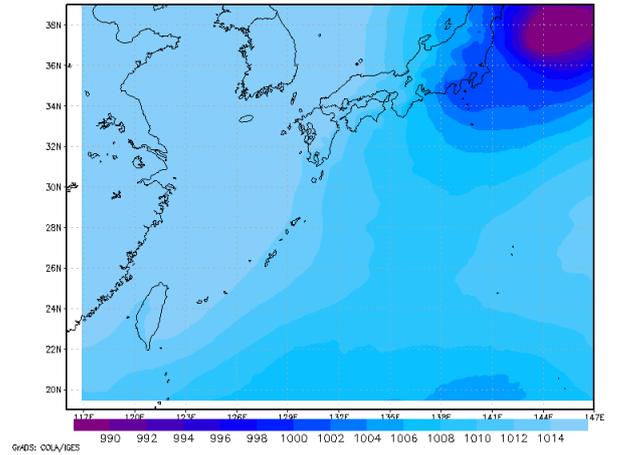
Sea level pressure, hPa 21Z05OCT2014

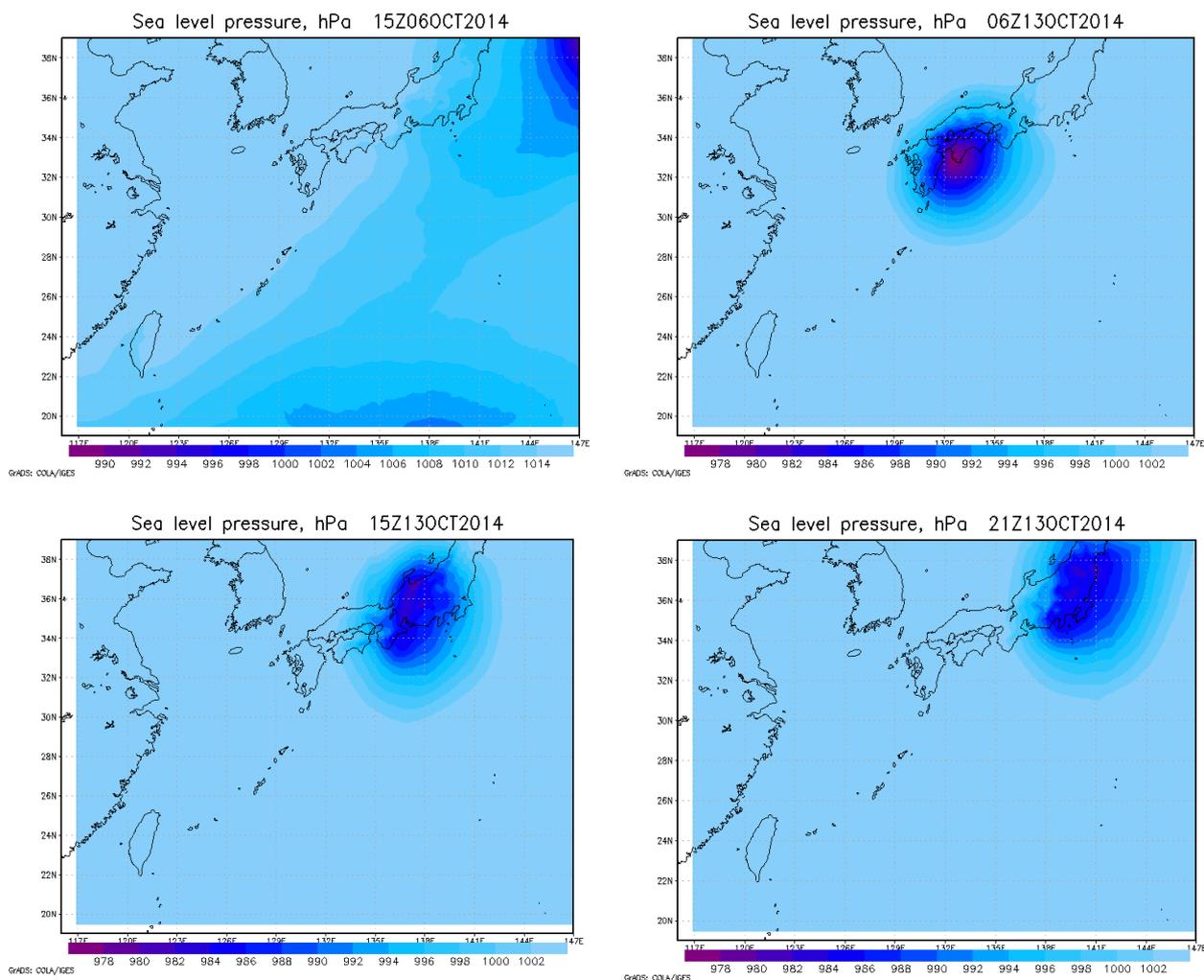


Sea level pressure, hPa 03Z06OCT2014



Sea level pressure, hPa 09Z06OCT2014





На изображениях в таблице 3.2 координатная ось абсцисс показывает долготу, ордината - широту. Под каждым изображением представлена легенда. Цвета выбраны следующим образом: максимальные значения атмосферного давления имеют бирюзовый оттенок, минимальные значения - фиолетовый.

3 октября 2014 года в акватории Филиппинского моря зарождается тропический циклон Вонфонг. Атмосферное давление в центре циклона в начале срока соответствует 970 гПа, спустя 15 часов тропический циклон набирает силу – давление понижается до 942 гПа. Траектория движения тропического циклона 3 октября по широте на север, в долготном направлении центр тропического циклона сместился на 4 ° на запад.

5 октября 2014 года тайфун Вонфонг продолжает движение на север. По долготе центр циклона меняет свое направление на северо-восточное к сроку 15ч. Далее, двигаясь в том же направлении, к 21ч ТЦ достигает побережья японского архипелага. Атмосферное давление увеличивается с 950 гПа до 968 гПа. Давление в центре тропического циклона в моменте перехода на сушу составил 966 гПа.

6 октября 2014 года на изображениях отчетливо видно расширение радиуса атмосферного образования и увеличение давления, которое в срок 03ч составило 990 гПа, далее тропический циклон движется на северо-восток и ещё 09ч мы можем наблюдать центр циклона, то в последующий срок 15 ч центр покидает границы рассматриваемой области и минимальное давление в центре циклона не прослеживается. Так же на изображении 6 октября 2015 в срок 15 ч на юге прослеживается еще одно атмосферное образование с пониженным давлением, анализ данного циклона не производился.

13 октября 2014 тропический циклон Вонфонг, перемещаясь на юг, вернулся на сушу и в течении суток проходит весь о. Хонсю. Минимальное атмосферное давление в срок 06 ч составило 978 гПа, далее ТЦ двигается в северо-восточном направлении, давление повышается, и можно говорить о том, что тропический циклон «Вонфог» разрушается, и в течение двух последующих дней полностью перестанет существовать.

Смоделированная траектория так же показала отличный результат с 6 октября до 13 октября, максимальная погрешность составила всего 4 градуса по долготе и 2 градуса по широте. 14 октября 2014 года ошибка в моделировании траектории тропического циклона максимальна и это связано с движением на север за пределы исследуемой области (таблица 3.3).

Обращаясь к графику, приведённому на рисунке 3.24, можно сказать, что прогноз атмосферного давления точен для последних четырёх дней существования тропического циклона и с 6 октября реальные и описываемые моделью тенденции изменения давления совпадают. Модель WRF ошибается

в дни появления атмосферной депрессии. В первые дни прогноза модель занижает значения атмосферного давления, а в дни максимального развития тропического циклона завышает данные до 70 гПа.

Таблица 3.3– Характеристики тропического циклона Вонфонг

Дата	Реальные координаты центра циклона	Модельные координаты центра циклона	Реальное минимальное давление (гПа)	Модельное минимальное давление (гПа)	Реальная скорость ветра (м/с)	Модельная скорость ветра (м/с)
03.10	8 с.ш 158 в.д	23 с.ш 135 в.д	1005	942	18	40
04.10	11 с.ш 153 в.д	27с.ш 131 в.д	997	950	23	40
05.10	14 с.ш 147 в.д	29 с.ш 130 в.д	978	948	31	30
06.10	16 с.ш 140 в.д	16 с.ш 138 в.д	974	990	33	35
07.10	17 с.ш 134 в.д	15 с.ш 133 в.д	950	990	49	35
08.10	18 с.ш 131 в.д	17 с.ш 130 в.д	900	970	59	50
09.10	20 с.ш 130 в.д	21 с.ш 129 в.д	907	932	52	50
10.10	23 с.ш 129 в.д	24 с.ш 127 в.д	926	940	48	45
11.10	26 с.ш 128в.д	25 с.ш 127 в.д	940	944	44	40
12.10	30 с.ш 127 в.д	29 с.ш 127 в.д	966	964	33	27
13.10	34 с.ш 136 в.д	33 с.ш 132 в.д	972	978	28	27
14.10	50 с.ш 151 в.д	38 с.ш 143 в.д	984	986	17	24

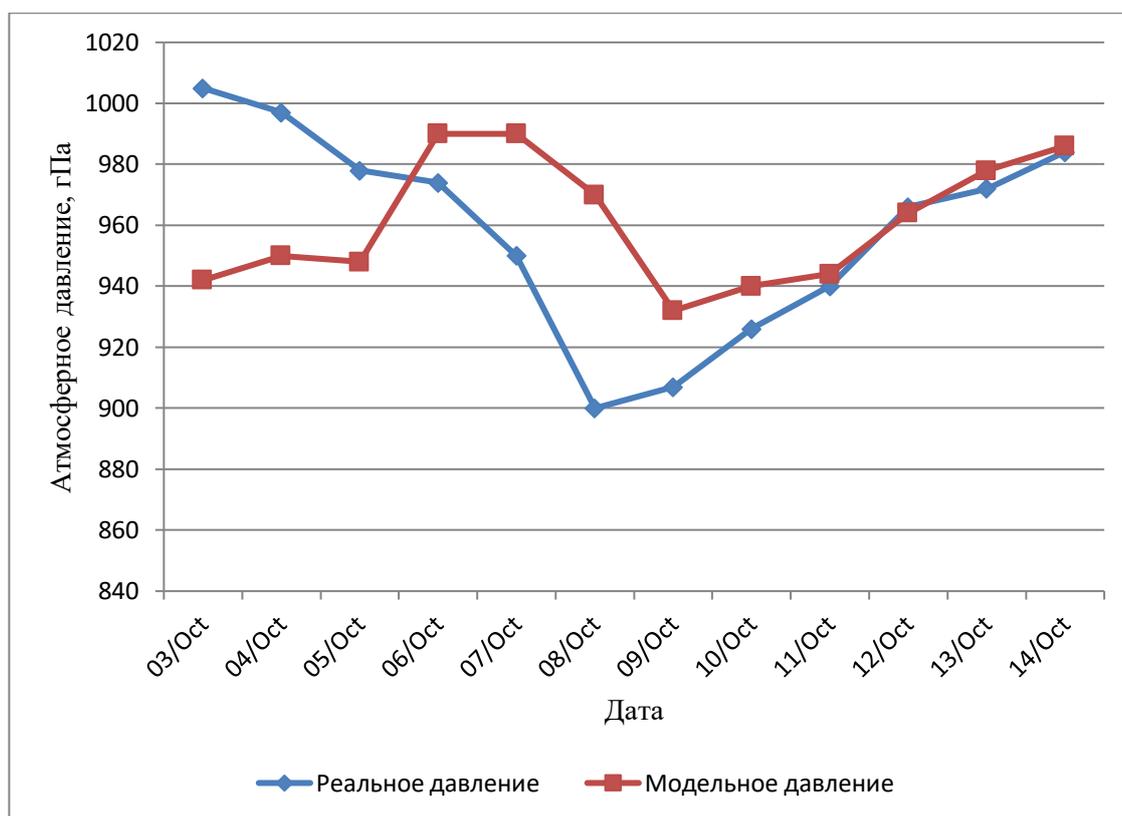


Рисунок 3.24– График атмосферного давления в центре тропического циклона Вонфонг

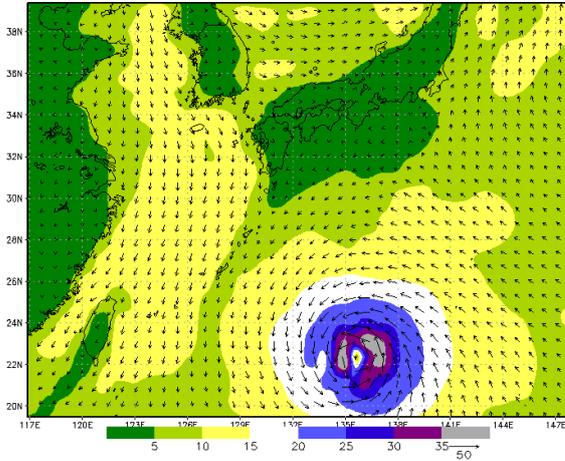
3.2.5 Исследование скорости ветра тропического циклона Вонфонг

Исследование скорости ветра в ТЦ Вонфонге основано на анализе полей скорости за четыре дня, рассмотренных ранее в главе 3.2.2. Приведённые на рисунках поля созданы с помощью системы OpenGrADS

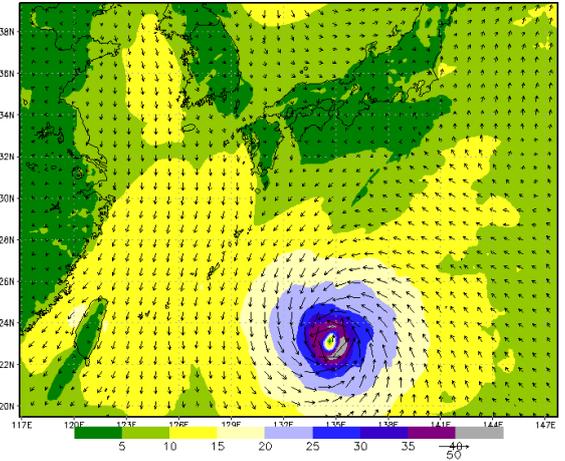
Таблица 3.4 совмещает в себе иллюстративный ряд (каждому дню соответствует 3 срока), на изображениях координатные оси обозначают широту и долготу. Под изображениями расположена легенда. Цвета для создания показательной картины анализа скорости ветра были выбраны следующим образом: минимальные значения скорости ветра отражает зеленый цвет, максимальные- синий и серый. Стрелки черного цвета показывают направление движения ветра, длина стрелки так же дублирует значение скорости ветра.

Таблица 3.4– Скорость ветра в области существования тропического циклона Вонфонг

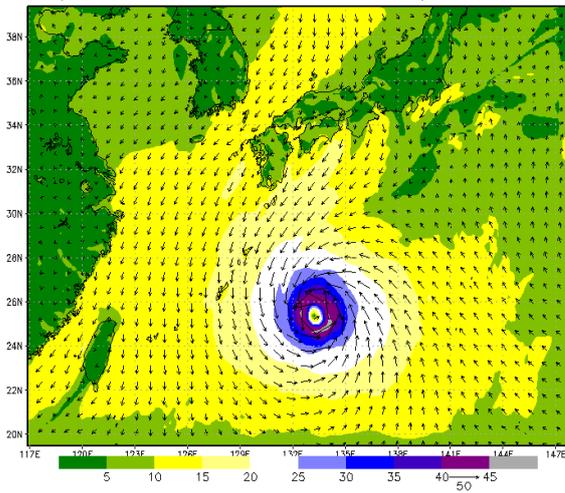
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 00Z03OCT2014



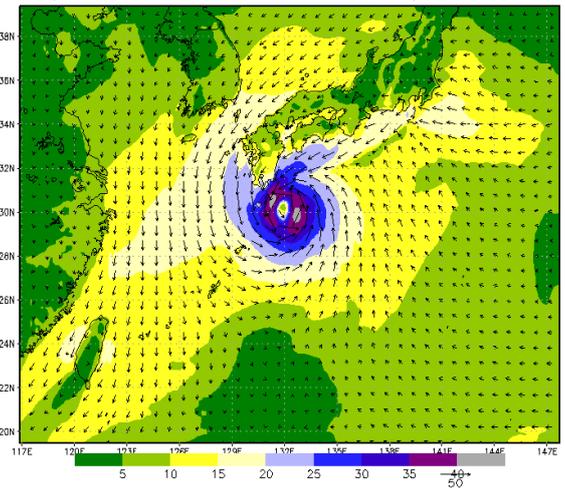
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 06Z03OCT2014



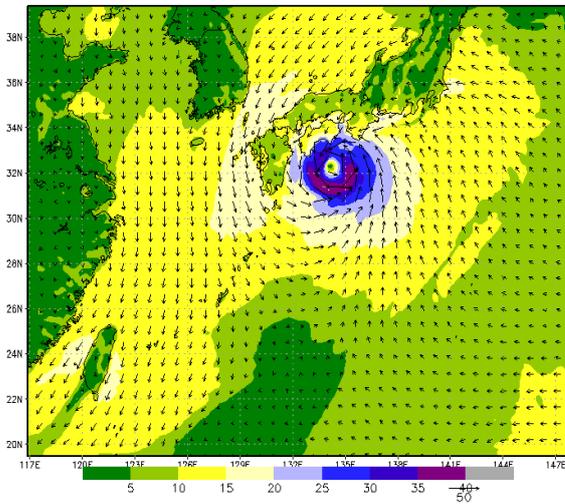
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 21Z03OCT2014



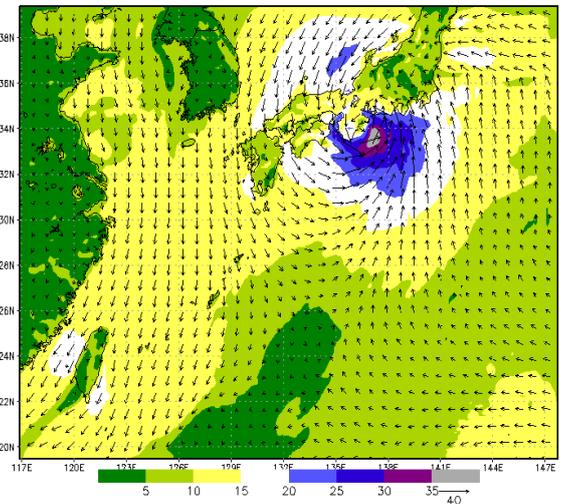
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 06Z05OCT2014



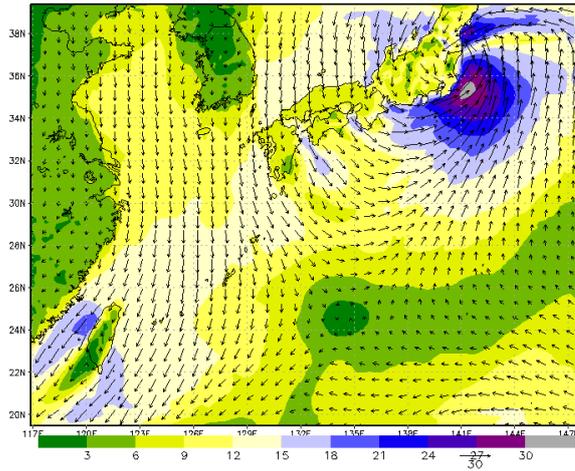
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 15Z05OCT2014



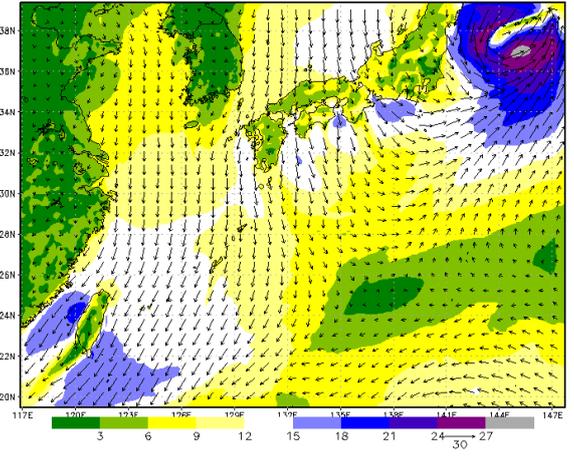
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 21Z05OCT2014



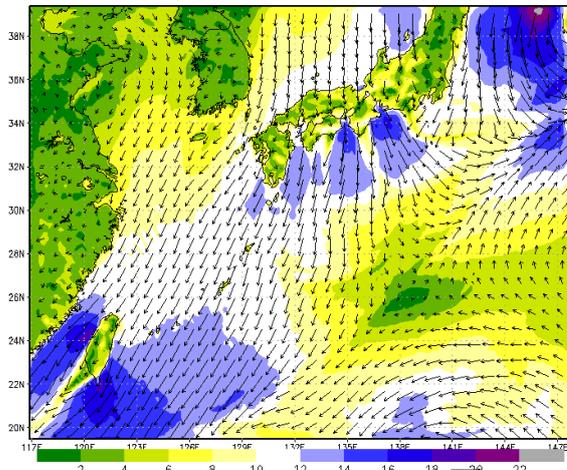
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 03Z06OCT201



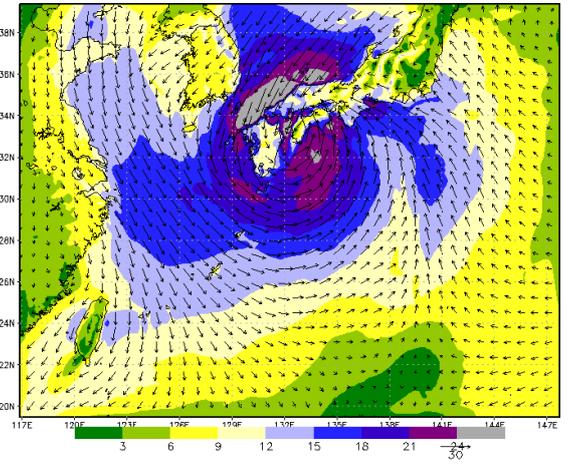
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 09Z06OCT201



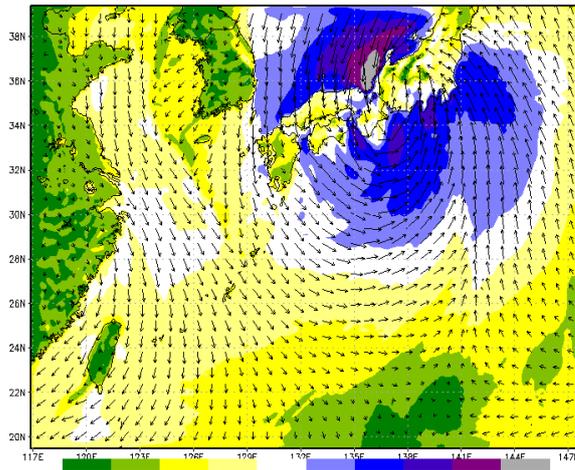
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 15Z06OCT2014



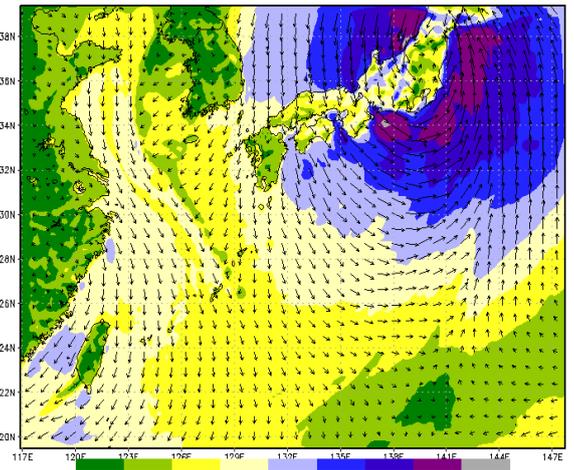
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 06Z13OCT2014



Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 15Z13OCT201



Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 21Z13OCT201



3 октября 2014 года максимальная скорость ветра наблюдалась близ центра тропического циклона и составляла в 00ч 50 м/с. Зона максимальной скорости ветра наблюдается с северо-западной и северо-восточной стороны

относительно центра. В течении трёх сроков 3 октября видно явление характерное для тропического циклона большой силы – глаз бури, в которой скорость ветра не превышает 2-3 м/с. Так же хорошо прослеживается движение тайфуна на север.

5 октября 2014 года образовавшийся тропический циклон, стремительно движется на северо-восток в сторону суши и к сроку 21ч достигает её, при этом скорость ветра уменьшается с 40 м/с к 15ч до 35 м/с. В первые два срока все ещё можно наблюдать глаз бури, далее он пропадает.

6 октября 2014 года максимальная скорость ветра варьировалась в диапазоне 27-30 м/с. В 03 ч можно увидеть, что зона максимального значения скорости ветра наблюдается над водной поверхностью. На суше же диапазон скорости ветра не превышает 3-9 м/с. Движение тропического циклона сохраняет северо-восточное направление и к сроку 15 ч центр циклона уходит из зоны моделирования.

13 октября к сроку 06 ч, максимальная скорость ветра не превышает 24-27 м/с и зона максимальных ветров находится на северо-западном побережье о.Хонсю. Интересно то, что 13 октября зона синего и фиолетового цвета на рисунках (значительные скорости ветра) занимает 30-40% всего поля и на суше скорость ветра в среднем 6 м/с, но над водной поверхности вокруг острова скорость ветра достигает 24 м/с.

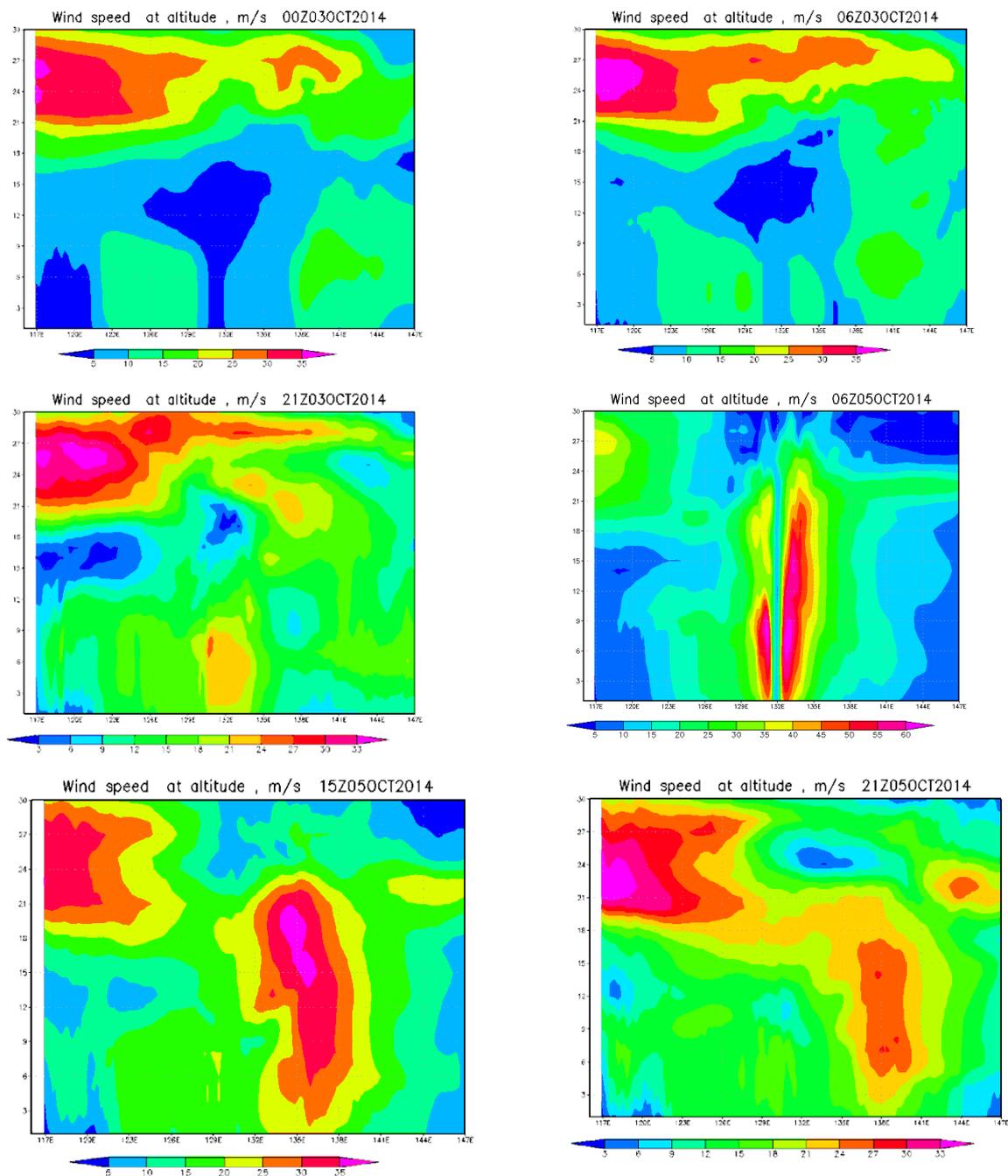
Анализируя данные, приведённые в таблице 3.3, можно сделать вывод о том, что модельные данные совпадают в большинстве с реальными за весь жизненный цикл тропического циклона Вонфонг – погрешность в моделировании скорости ветра не превышала 3 м/с.

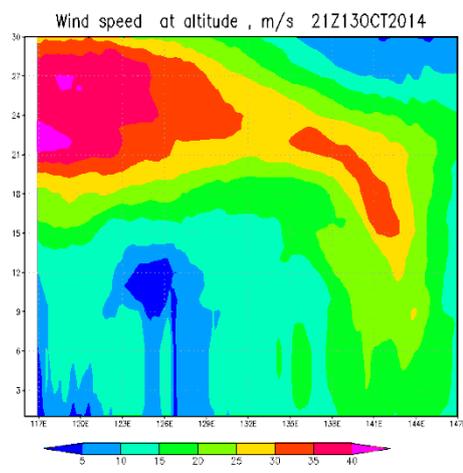
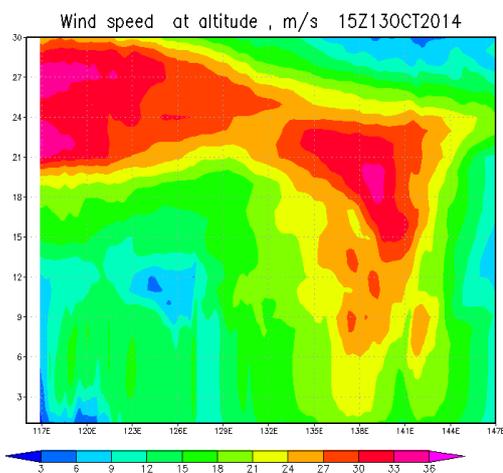
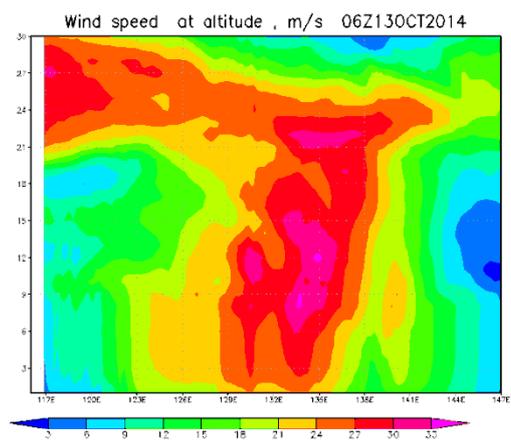
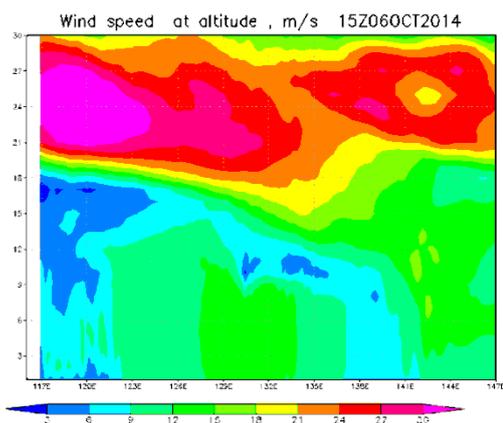
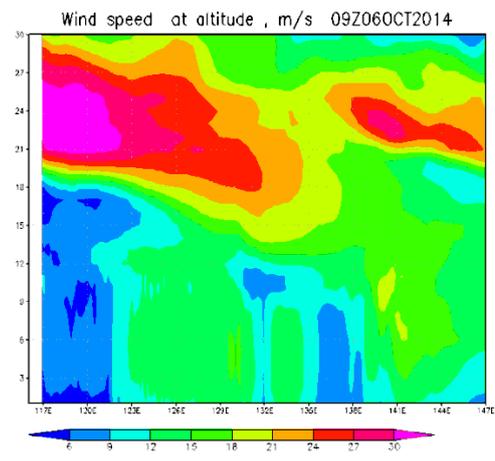
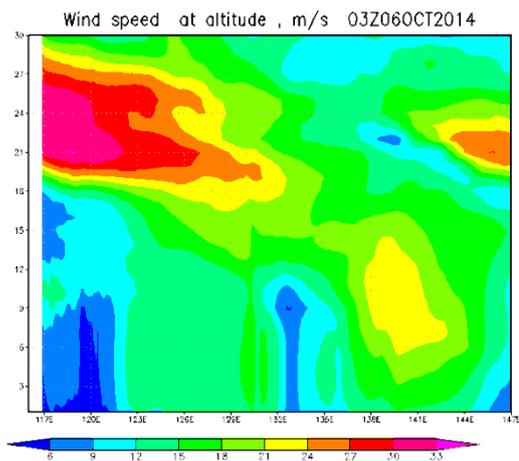
3.2.6 Исследование вертикальной структуры тропического циклона Вонфонг

В основу анализа вертикальной структуры был взят иллюстративный ряд, состоящий из вертикальных разрезов за три срока четырёх дней существования тропического циклона Вонфонг. Рисунки полей были

построены с помощью графической программы OpenGrADS и представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5– Вертикальный разрез тропического циклона Вонфонг





Вертикальный разрез тропического циклона Вонфонг имеет протяжённость по высоте 30 км, долгота относительно которой были построены вертикальные разрезы представлены на оси абсцисс. Шаг на координатных осях 3 км и 3°, соответственно. Средняя широта, по которой были построены изображения - 30° с.ш. На вертикальных разрезах оттенки синего это минимальная скорость ветра, красные и розовые – максимальные значения скорости ветра на высотах.

Исследуя вертикальные разрез 3 октября 2015 года, можно увидеть явление «глаз бури», область синего цвета высотой имеет скорость ветра 5 м/с. Область с высокими значениями скорости ветра можно наблюдать (35-40 м/с) на высоте 21-30 км. На иллюстративном ряде 3 октября 2014 года прослеживается движение тропического циклона Вонфонг на восток (130° в.д. – 135° в.д) на двух сроках 00 ч и 06 ч , далее тропический циклон двигается на запад и возвращается на 118° в.д. к сроку 21 ч.

5 октября 2014 года в срок 06 ч наглядно видно развитие в тропическом циклоне глаза бури, циклон сужается в долготном направлении, явно виден «столб» повышенного значения скорости ветра справа и слева вытянутой линии синего цвета (скорость ветра не превышает 5 м/с). На долготе 131° в.д скорость ветра 50 м/с наблюдается до высоты 10 км, 133° в.д ту же скорость ветра можно наблюдать в слое до 22 км. К сроку 15 ч тропический циклон продолжает развиваться – глаз бури не прослеживается, максимальная скорость ветра 35 м/с. Зона повышенной скорости ветра перемещается западнее (117° - 130° в.д) и наблюдается в срок 21 ч на высоте 18-30 км.

6 октября 2014 года увеличение скорости ветра наблюдается исключительно на высотах до 15 км – средняя скорость ветра составила 10 м/с. Большая зона со скоростью ветра 33 м/с наблюдается в последний срок исследования 15 ч.

Наблюдая за циклоном 13 октября 2014 года, можно увидеть, что в срок 06 ч тропический циклон перемещается на восток, на широте 129° - 138° в слое до 26 км скорость ветра 33 м/с. Так же в слое 21-30 км в долготной области 117° - 129° в.д можно наблюдать зону с повышенной скорости ветра, которая составляла 30-33 м/с. Скорость ветра в последующие сроки увеличивается до 40 м/с к сроку 21 ч в слое 10-30 км, причем скорость ветра на высоте до 6 км примерно 5-8 м/с.

Модель, созданная по данным скорости ветра на высоте до 30 км, визуально показывает развитие тропического циклона «Вонфонг» от срока к

сроку, траектория движения на протяжении всего жизненного цикла циклона совпадает с реальными данными из таблицы 3.3.

3.3 Тропический циклон Соделор, июль 2015 года

3.3.1 Описание модельной области

Для исследования супер-тайфуна Соделор была создана модельная область, которая показана на рисунке 3.25.

Характеристики данной конфигурации модели следующие:

1. Проекция Меркатора (цилиндрическая).
2. Координаты по долготе – 118° в.д- 162° в.д
3. Координаты по широте – 12° с.ш- 27° с.ш
4. Размер сетки – 150 узлов по долготе и 150 узлов по широте
5. Шаг сетки по горизонтали – 15 километров
6. Количество уровней по вертикали – 35
7. Граничные условия меняются через 6 часов (21600 секунд)
8. Шаг по времени 60 секунд
9. Заблаговременность прогноза 36 часов
10. Количество прогнозов, составленных моделью 12 (с 31 июля по 11 августа)

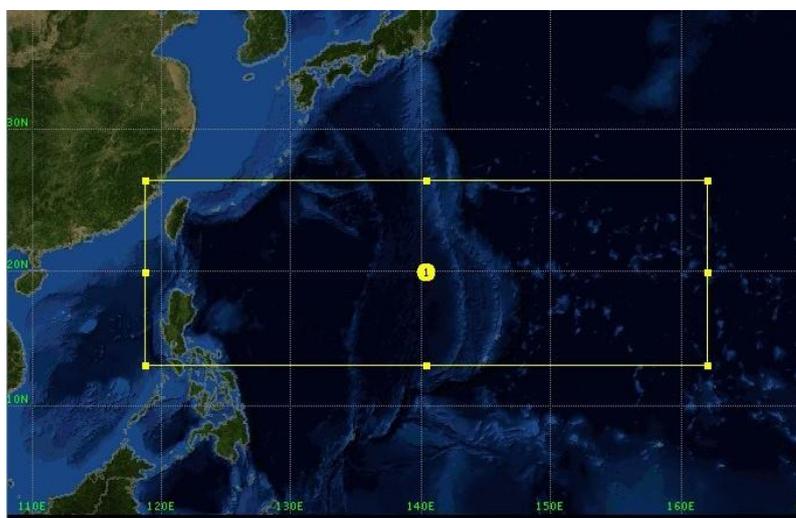


Рисунок 3.25 – Область моделирования тропического циклона Соделор

3.3.2 Траектория движения тропического циклона Соделор

31 июля 2015 года в акватории Тихого океана севернее Маршалловых островов зарождается атмосферное образование с низким значением давления в центре. Координаты центра перемещающегося тропического циклона отражены в таблице 3.6, траектория движения на рисунке 3.26.

Атмосферная депрессия движется в западном направлении до 8 августа 2015 года, в этот день тропический циклон переходит с водной поверхности на сушу. В период зарождения циклона (2 августа) тропический циклон проделал путь в 10° вдоль долготы, перемещение по широте было незначительным, то есть циклон имел стандартную траекторию движения. Со 2 августа по 8 августа Соделор набирает силу и этот период можно считать днями максимального развития тропического циклона, эти данные можно подтвердить таблицей 3.6. Тайфун передвигается достаточно быстро и преодолевает путь в 30° по долготе за 6 дней. Движение циклона по широте ограничивается 8° на север.

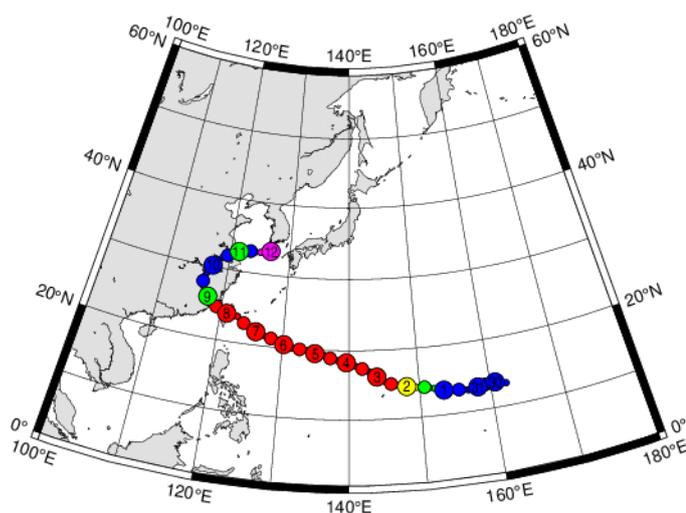


Рисунок 3.26– Траектория движения тропического циклона Соделор [2]

Далее тропический циклон переходит в стадию разрушения, давление увеличивается, а скорость ветра, в свою очередь, понижается. Переходя на

континент (9-11 августа), Соделор поворачивает на восток – делает «крюк», который хорошо виден на рисунке 3.25. 12 августа тропический циклон вновь переходит в акваторию Южно-китайского моря и прекращает свое существование.

3.3.3 Анализ спутниковых снимков тропического циклона Соделор

На спутниковых снимках (рисунок 3.27) отчетливо видно зарождение атмосферного образования. К 1 августа облачные системы стягиваются к центру пониженного атмосферного давления, образуется характерная для тропического циклона облачная спираль.

4 и 7 августа 2015 года прослеживается глаз бури, на снимке в центре тайфуна видна область темно-серого цвета, что говорит об отсутствии облаков. Обращаясь к таблице 3.6, можно увидеть, что 4 августа день максимального развития тропического циклона Соделор.

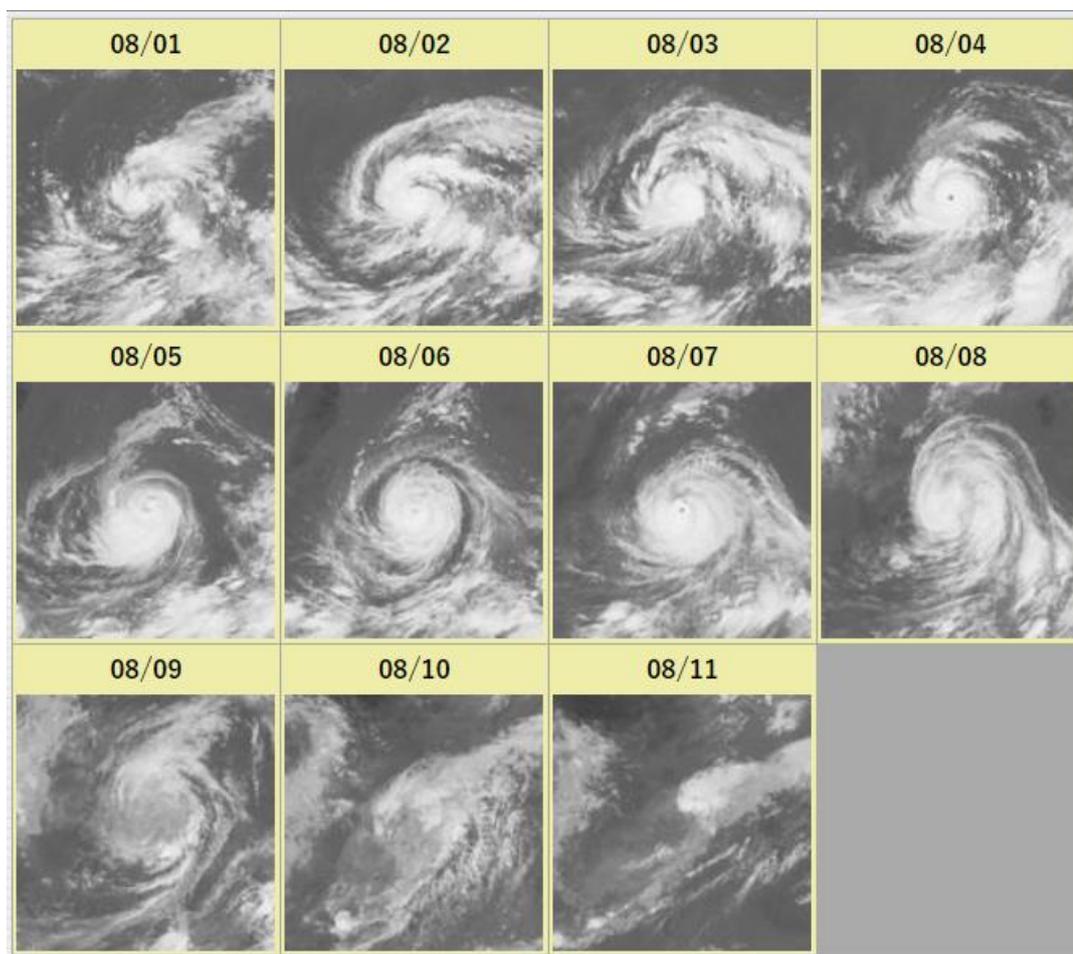


Рисунок 3.27–Развитие супер-тайфуна Соделор [2]

Диаметр облачных систем увеличивается до 8 августа, далее тропический циклон перемещается на территорию Китая и на спутниковых снимках плотность облаков уменьшается, а к 10 августа пропадает округлая зона из облаков, что говорит о разрушении супер-тайфуна к 11-12 августа 2015 года.

3.3.4 Исследование атмосферное давление в тропическом циклоне Соделор

Обращаясь к интерактивной системе OpenGrads, исследуем смоделированные значения атмосферного давления и траектории тропического циклона Соделор. Для исследования атмосферного давления и координат центра тропического циклона составлена таблицы 3.6-3.10. В таблицах 3.7-3.10 составлен иллюстративный ряд изменения атмосферного давления за четыре дня существования супертайфуна Соделор (31 июля, 4 августа, 8 августа и 10 августа).

Таблица 3.6 – Характеристики супер-тайфуна Соделор

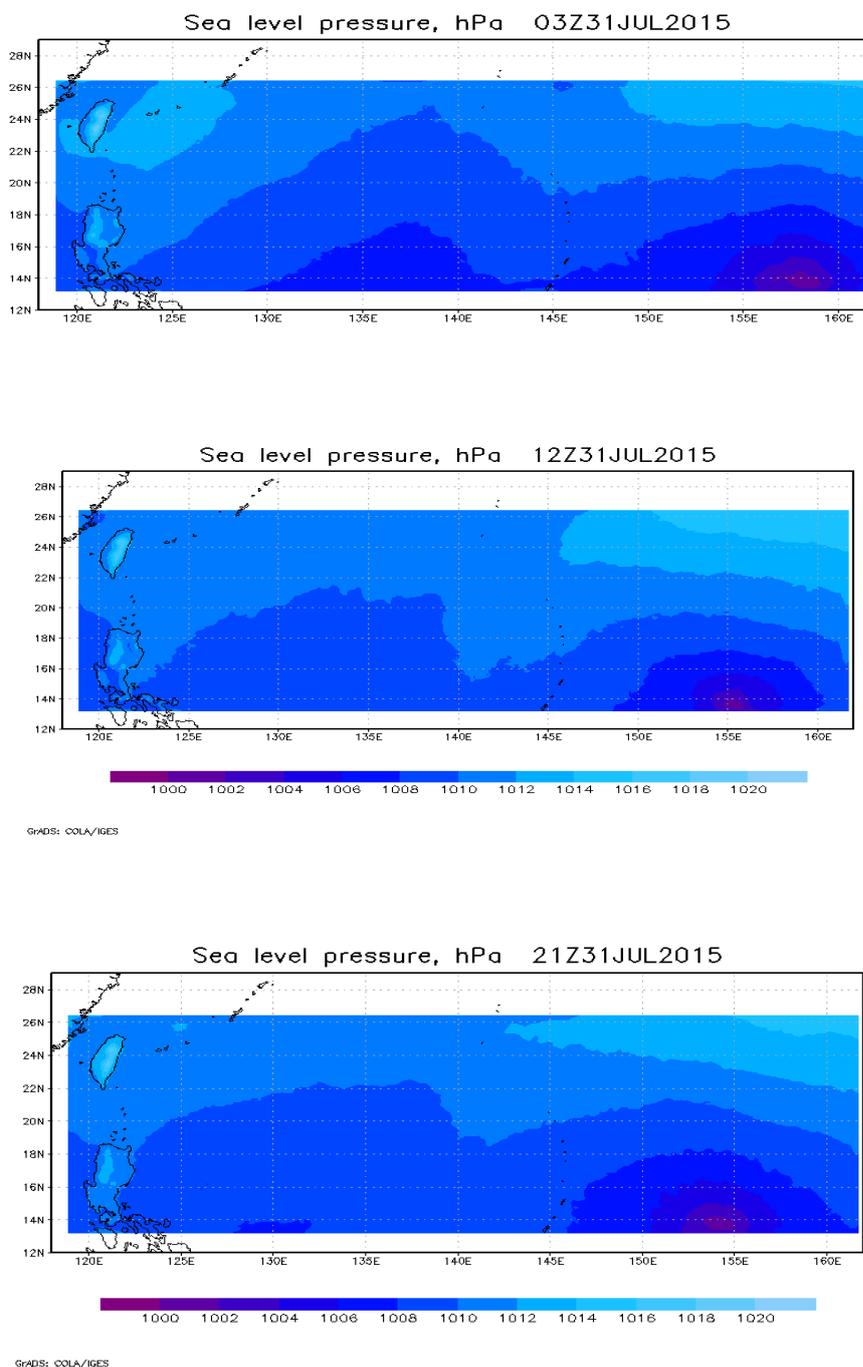
Дата	Реальные координаты центра циклона	Модельные координаты центра циклона	Реальное минимальное давление (гПа)	Модельное минимальное давление (гПа)	Реальная скорость ветра (м/с)	Модельная скорость ветра (м/с)
31.07	13с.ш 155 в.д	14 с.ш 155 в.д	1002	1000	18	20
01.08	14 с.ш 150 в.д	14 с.ш 150 в.д	1000	998	23	27
02.08	15 с.ш 146 в.д	15 с.ш 145 в.д	975	998	38	40
03.08	17 с.ш 142 в.д	18 с.ш 141 в.д	933	946	52	50
04.08	19 с.ш 137 в.д	19 с.ш 136 в.д	900	950	56	55
05.08	20 с.ш 132 в.д	20 с.ш 132 в.д	930	952	47	35

06.08	21 с.ш 128 в.д	22 с.ш 126 в.д	935	952	46	45
07.08	23 с.ш 123 в.д	23 с.ш 123 в.д	936	954	46	45
08.08	24 с.ш 120 в.д	24 с.ш 120 в.д	970	964	34	33
09.08	27 с.ш 116 в.д		993		19	
10.08	31 с.ш 119 в.д		1000		14	
11.08	33 с.ш 123 в.д		998		15	

В таблице 3.7 отражены три срока 31 июля 2015 года (03 ч, 12 ч, 21 ч). На осях представлены границы исследуемой территории, абсцисса – долгота, ордината – широта. Ниже под иллюстрациями легенда, шаг- 2 гПа, цвета выбраны следующим образом: фиолетовый цвет – минимальное значение атмосферного давления, голубой и бирюзовый – максимальные.

31 июля (таблица 3.7) можно наблюдать атмосферное образование с минимальным давлением в центре 1000 гПа. С течением времени тропический циклон перемещается на запад – зона с минимальным значением атмосферного давления увеличивается территориально. В течение исследуемого периода тропический циклон Соделор переместился на 5° в западном направлении, по широте тропический циклон за 18 ч не переместился. По данным, представленным в таблице 3.7, можно наблюдать процесс зарождения тропического циклона Соделор.

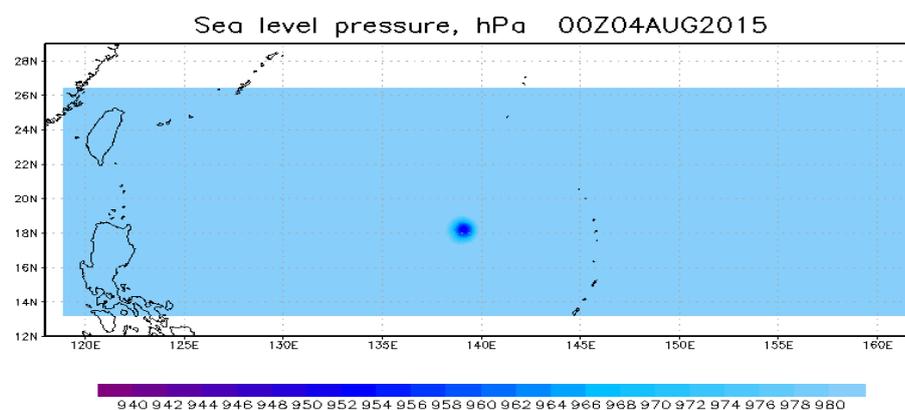
Таблица 3.7 – Атмосферное давление 31 июля 2015 года



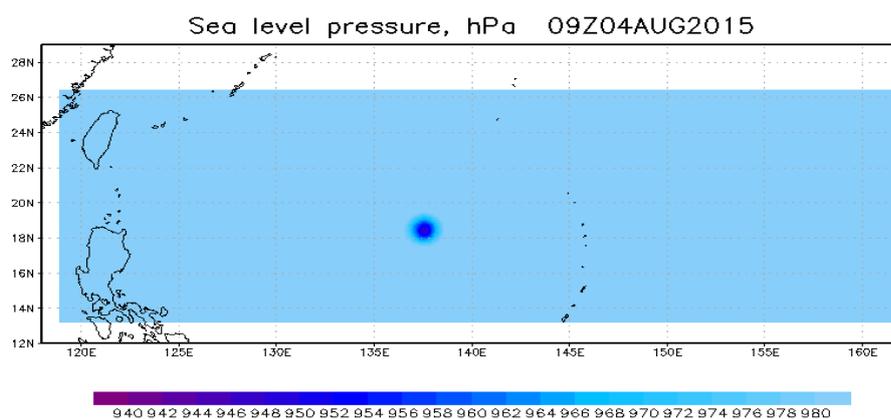
В таблице 3.8 иллюстративный ряд показывает период максимального развития тропического циклона, так же за три срока (00 ч, 09 ч, 18 ч). Минимальное давление в центре супертайфуна-950 гПа, что сильно отличается от реальных данных, представленных в таблице 3.6. Тропический циклон к 4 августа углубляется до 900 гПа и модель WRF ошибается,

моделируя изображения в исследуемые сроки. Можно с уверенностью говорить о том, что это именно исследуемое атмосферное образование, основываясь на данных о координатах центра супер-тайфуна. Широта, на которой развивается циклон не заходит границ 18°-20°с.ш. По долготе в срок от 00 ч до 09 ч движение происходило в западную сторону, а от 09 ч до 18 в восточном направлении.

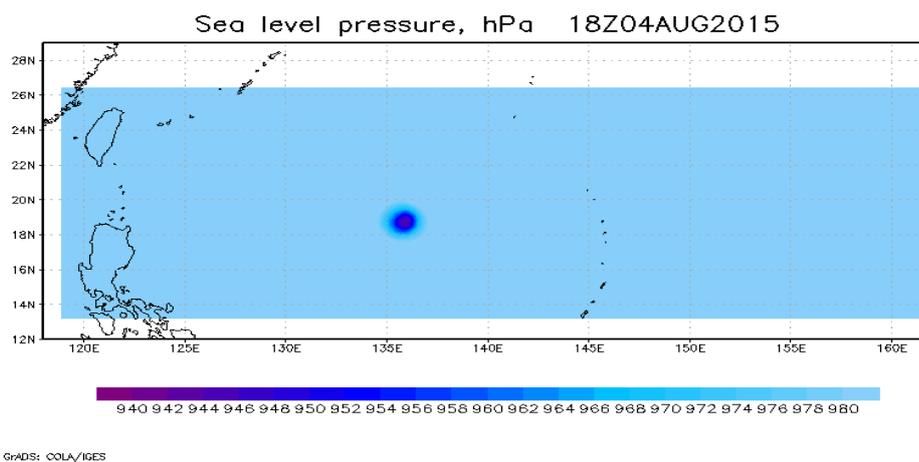
Таблица 3.8 – Атмосферное давление в супер-тайфуне Соделор



GRADS: COLA/IGES

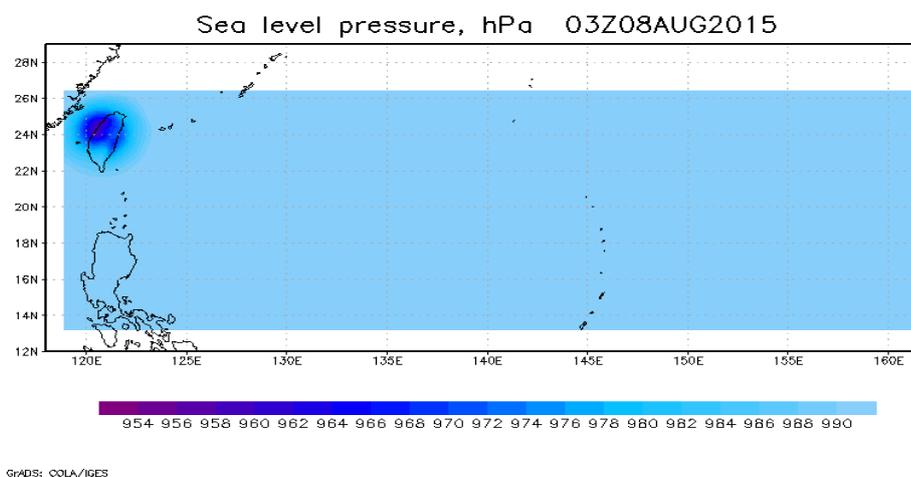


GRADS: COLA/IGES



8 августа 2015 года супер-тайфун Соделор (таблица 3.9) продолжает свое движение на запад и переходит на территорию суши к сроку 03ч, минимальное давление в этот срок 954 гПа, далее атмосферное давление увеличивалось до 968 гПа. В 18 ч, наблюдаем картину, в которой тропического циклона уже не видно, это говорит о том, что «Соделор» переходит в стадию разрушения и атмосферное давление увеличилось на 978 гПа.

Таблица 3.9 – Атмосферное давление 8 августа 2015 года



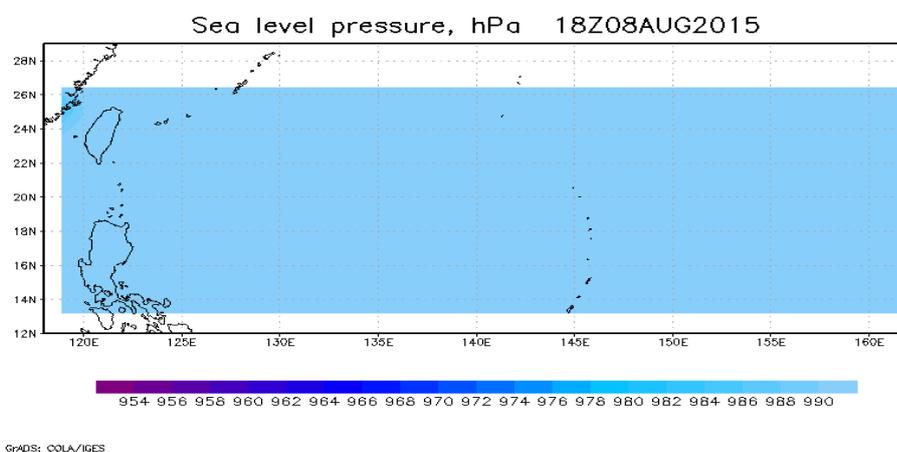
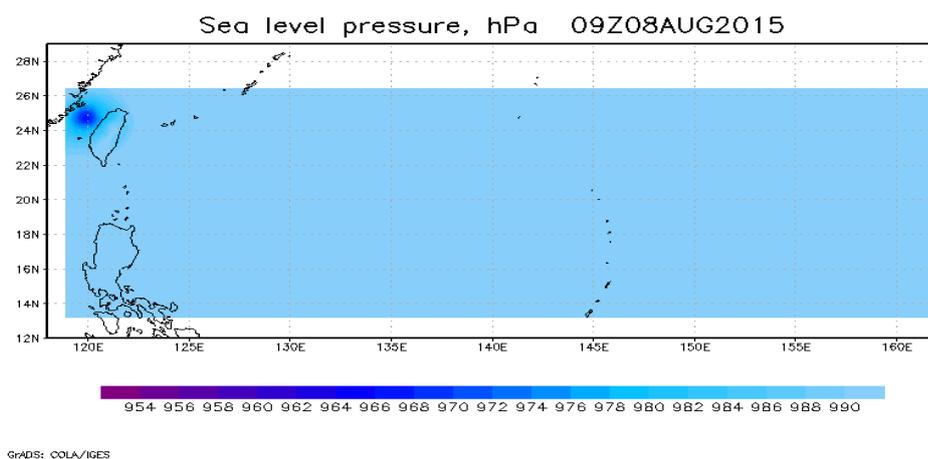
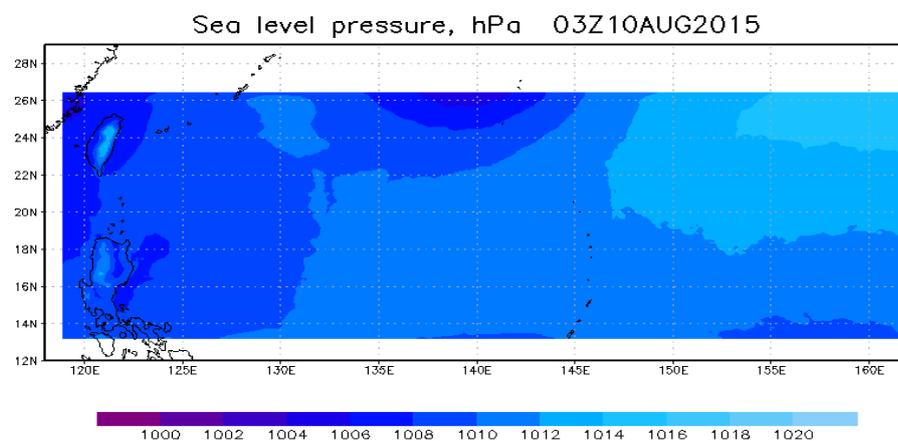
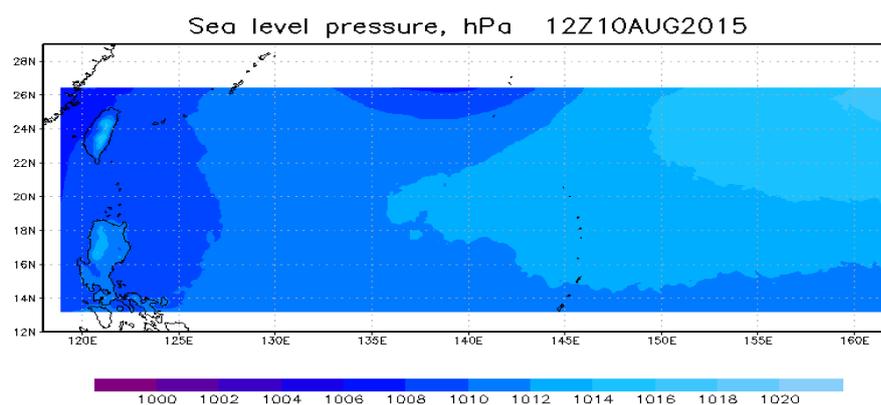


Таблица 3.10 показывает стадию разрушения тропического циклона, центра которого уже не видно на исследуемой территории. Соделор к данным срокам выходит на сушу и можно наблюдать лишь его юго-восточную часть. 10 августа минимальное давление 1002 гПа, но не в центре циклона, так как Соделор вышел за пределы исследуемой территории. Это так же является причиной отсутствия модельных данных в таблице 3.6.

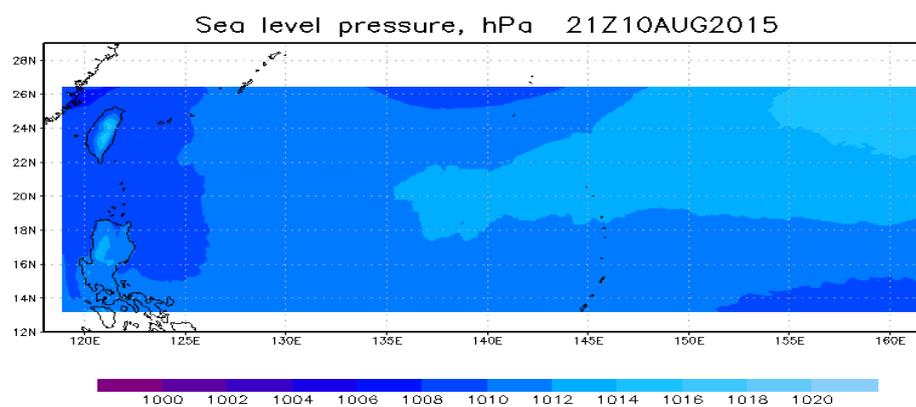
Таблица 3.10 – Атмосферное давление 10 августа 2015 года



GRADS: COLA/IGES



GRADS: COLA/IGES



GRADS: COLA/IGES

Анализ изменения атмосферного давления и траектории движения тропического циклона Соделор показал все стадии жизненного цикла тайфуна. Траектория была смоделирована точно, погрешность составляла 1°-2°, что является отличным результатом.

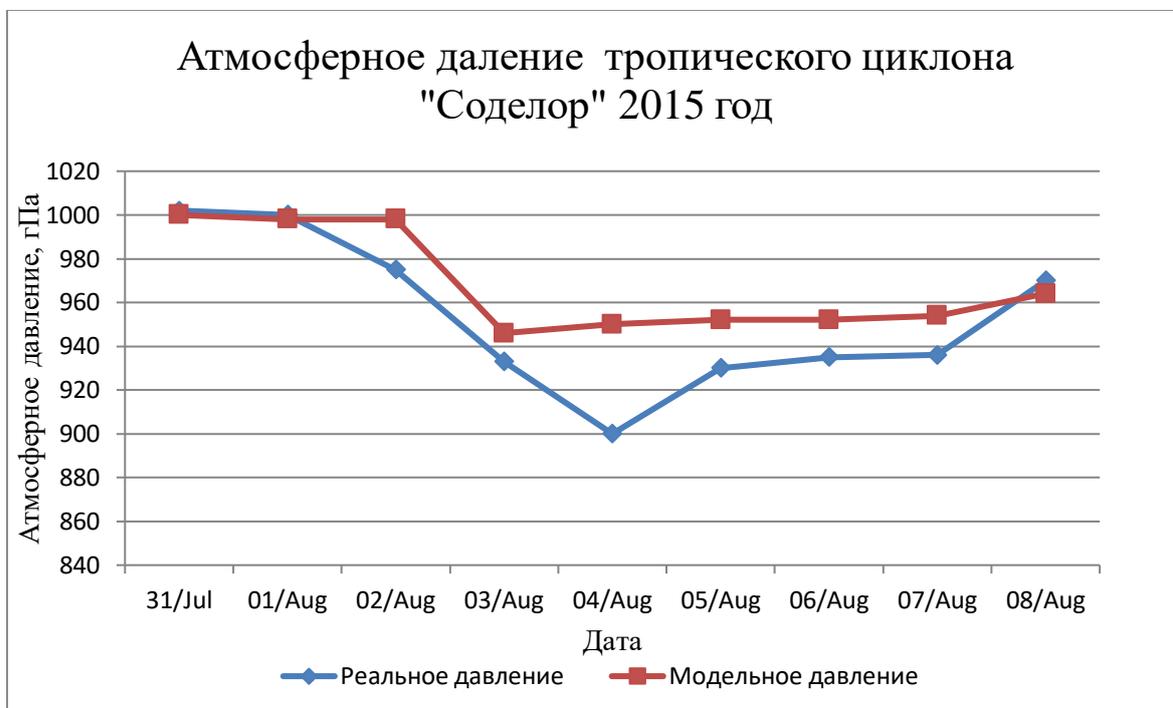


Рисунок 3.28 – График изменения атмосферного давления в тропическом циклоне Соделор

График, представленный на рисунке 3.28, показывает насколько хорошо модель-WRF прогнозирует атмосферное давление в супер-тайфуне Соделоре – видно, что минимальное давление 4 августа модель воспроизводит плохо. Вероятно, это связано с исключительной силой тропического циклона (супертайфун с самым низким атмосферным давлением в центре из тех, что представлены в работе).

Модельное давление повторяет линию реального давления, особенно это видно в первые дни существования тропического циклона и в последние.

3.3.5 Исследование скорости ветра в супер-тайфуне Соделор

Исследование скорости ветра в тропическом циклоне Соделор будет основываться на таблицах 3.11-3.14. В них представлен иллюстративный ряд, созданный благодаря графической программе OpenGraDS.

На рисунках ось абсцисс представляет собой долготу, ось ординат - широту. Шаг на координатных осях 5° и 1° , соответственно. Высокие скорости ветра отражены серым и синим цветом, более низкие значения скорости ветра – зеленым и желтым цветом. Стрелки черного цвета показывают направление ветра, их длина пропорциональна модулю скорости ветра.

Таблица 3.11 состоит из данных о скорости ветра в день зарождения супер-тайфуна. На 157° в.д образуется область с повышенной скоростью ветра. Максимальная скорость ветра 31 августа 20 м/с. На изображениях прослеживается движение тропического циклона на запад, а так же зона высоких скоростей от срока к сроку увеличивалась.

4 августа 2015 года тропический циклон максимальная скорость ветра 55 м/с. В этот день тропический циклон достигает стадии максимального развития и, обращаясь к таблице 1.1 (Шкала ураганных ветров Саффира-Симпсона), Соделор приобретает статус супер-тайфуна. Так же на всех 3 сроках виден глаз бури (таблица 3.12). Движение тропического циклона в эти сроки минимально и имеет западное направление.

Таблица 3.11– Скорость ветра (м/с) 31 июля 2015 года

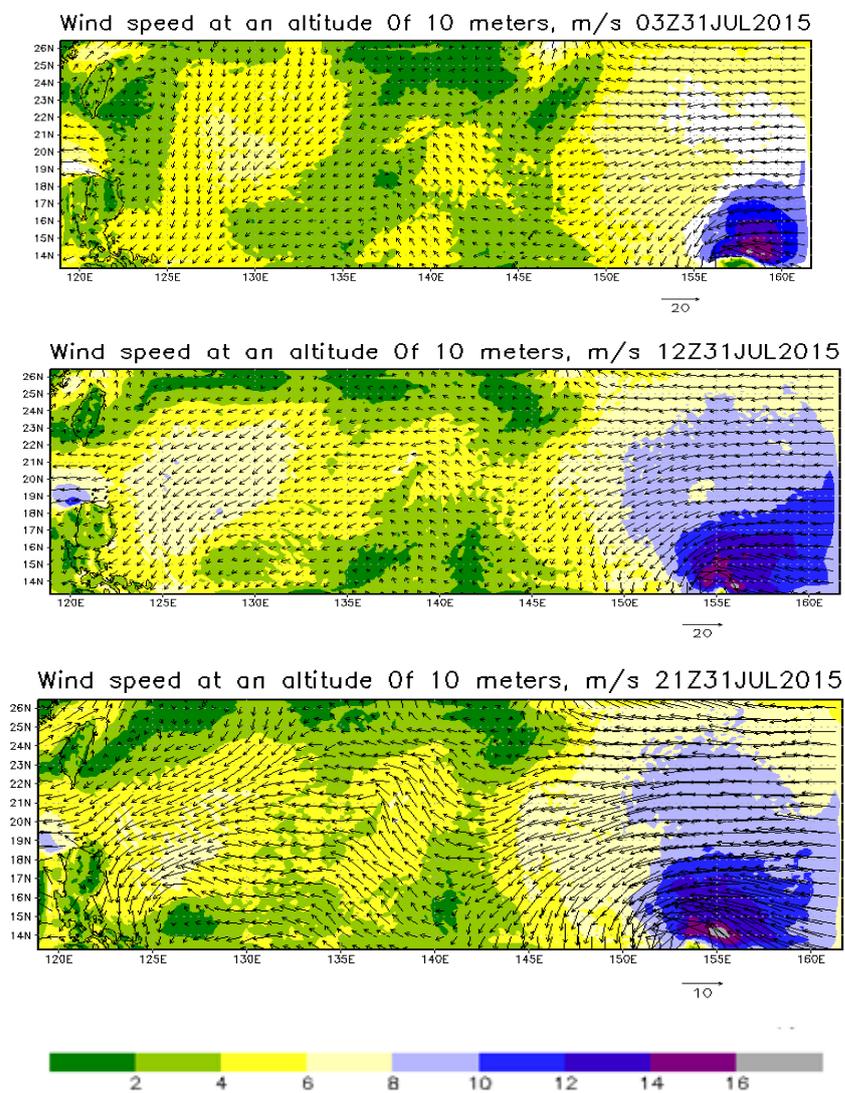
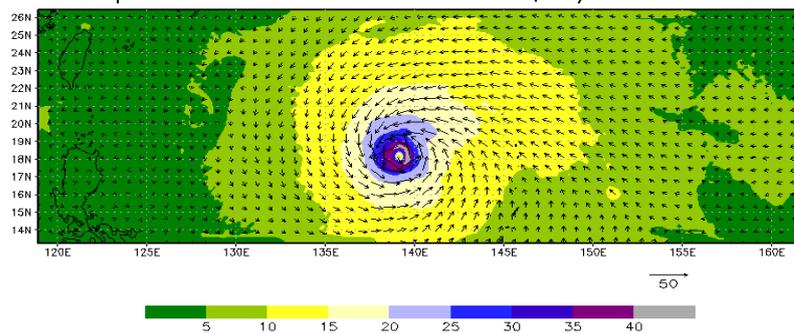
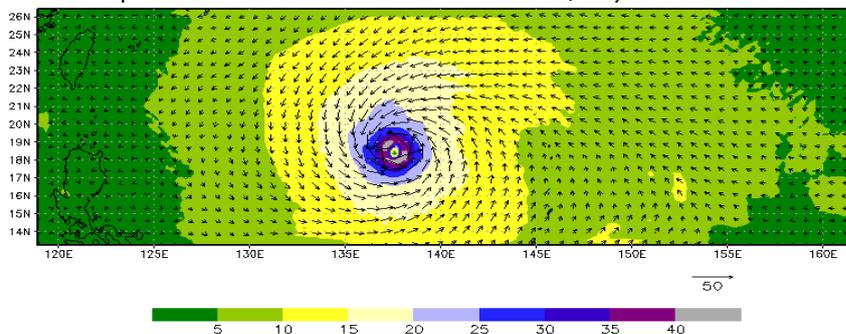


Таблица 3.12– Скорость ветра (м/с) 4 августа 2015 года

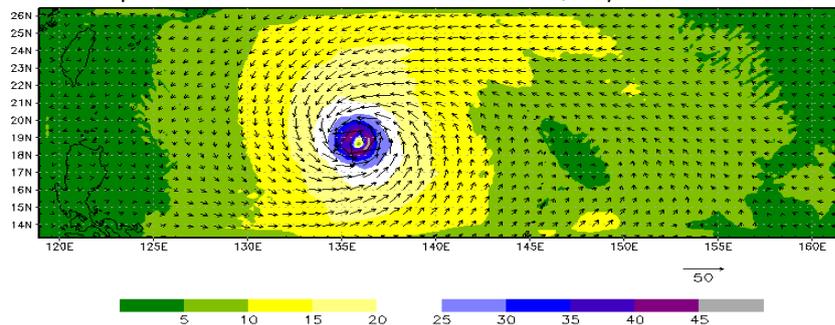
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 00Z04AUG2015



Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 09Z04AUG2015



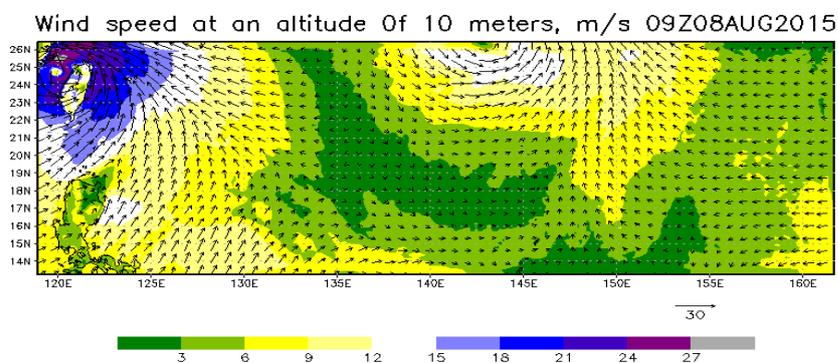
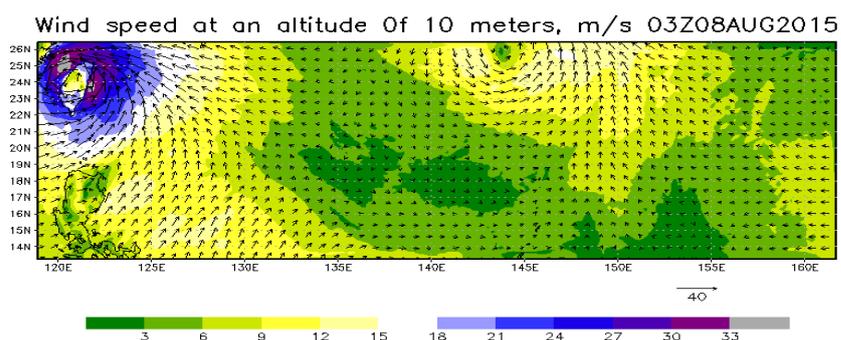
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 18Z04AUG2015



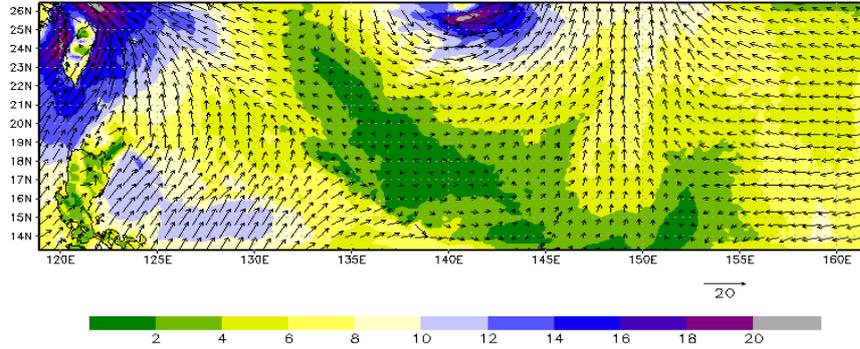
В таблице 3.13 приводятся данные о скорости ветра 8 августа за сроки 03 ч, 09 ч, 18 ч.

Тропический циклон переместился за 9 дней к побережью континента и максимальная скорость 8 августа составила 33 м/с. Тропический циклон накрыл весь остров Тайвань – вокруг острова над морской поверхностью скорость ветра достигала 27-33 м/с, а над сушей 9 м/с. Тропический циклон двигался в северо-западном направлении. В таблице видно, что около 18 ч на 140 долготе образовалась еще одна депрессия, анализ данного циклона не производился.

Таблица 3.13– Скорость ветра (м/с) 8 августа 2015 года



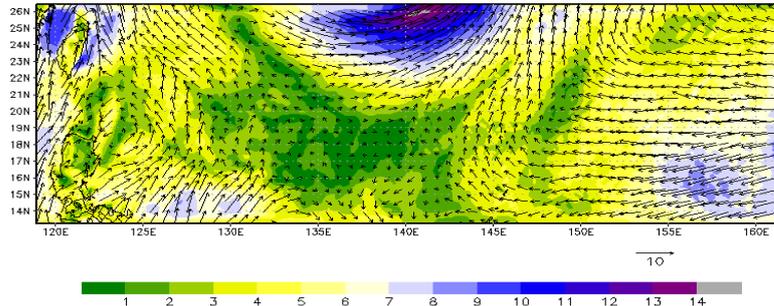
Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 18Z08AUG2015

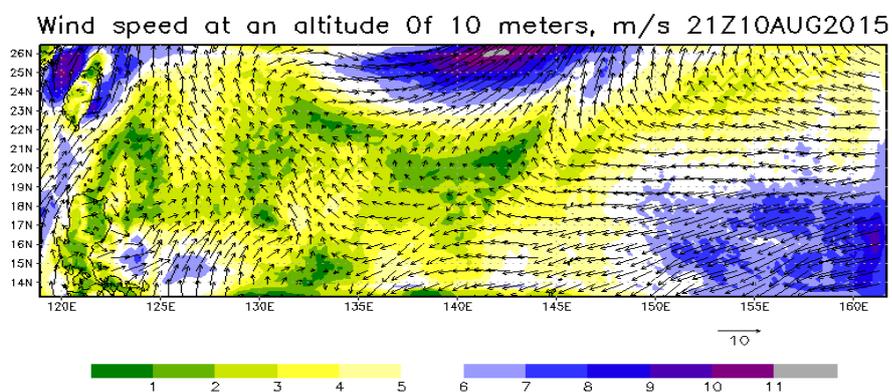
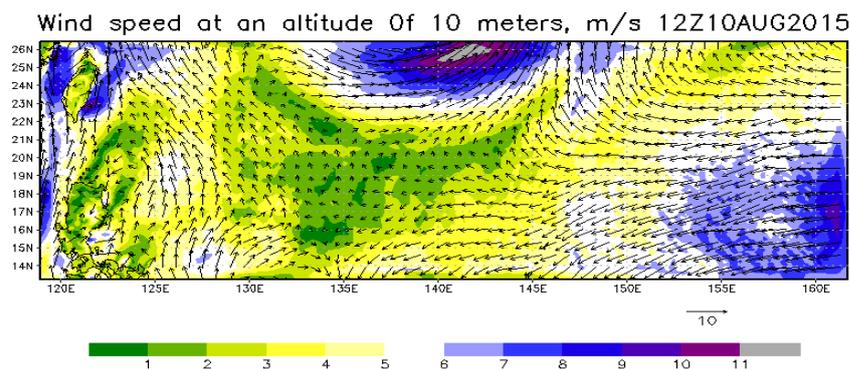


10 августа 2015 года тропический циклон Соделор вышел на континент (территорию Китая), окончательно потеряв силу – скорость ветра понизилась до 13 м/с. В таблице 3.14 прослеживается разрушение тропического циклона и выход за территорию исследования. Далее тропический циклон продолжит движение на северо-восток и прекратит свое существование в ближайшие сутки.

Таблица 3.14– Скорость ветра (м/с) 10 августа 2015 года

Wind speed at an altitude of 10 meters, m/s 03Z10AUG2015





Сравнивая реальные данные о скорости ветра в супертайфуне Соделор и модельные данные из таблиц 3.11-3.14, можно сказать, что модель отлично воспроизвела скорость ветра и движение с минимальными погрешностями. Самая большая погрешность 12 м/с 5 августа.

3.3.6 Исследование вертикальной структуры супертайфуна Соделор

Для анализа вертикальной структуры скорости ветра в супертайфуне Соделор создана таблица 3.15. Изображения построены с помощью графической программы OpenGrADS.

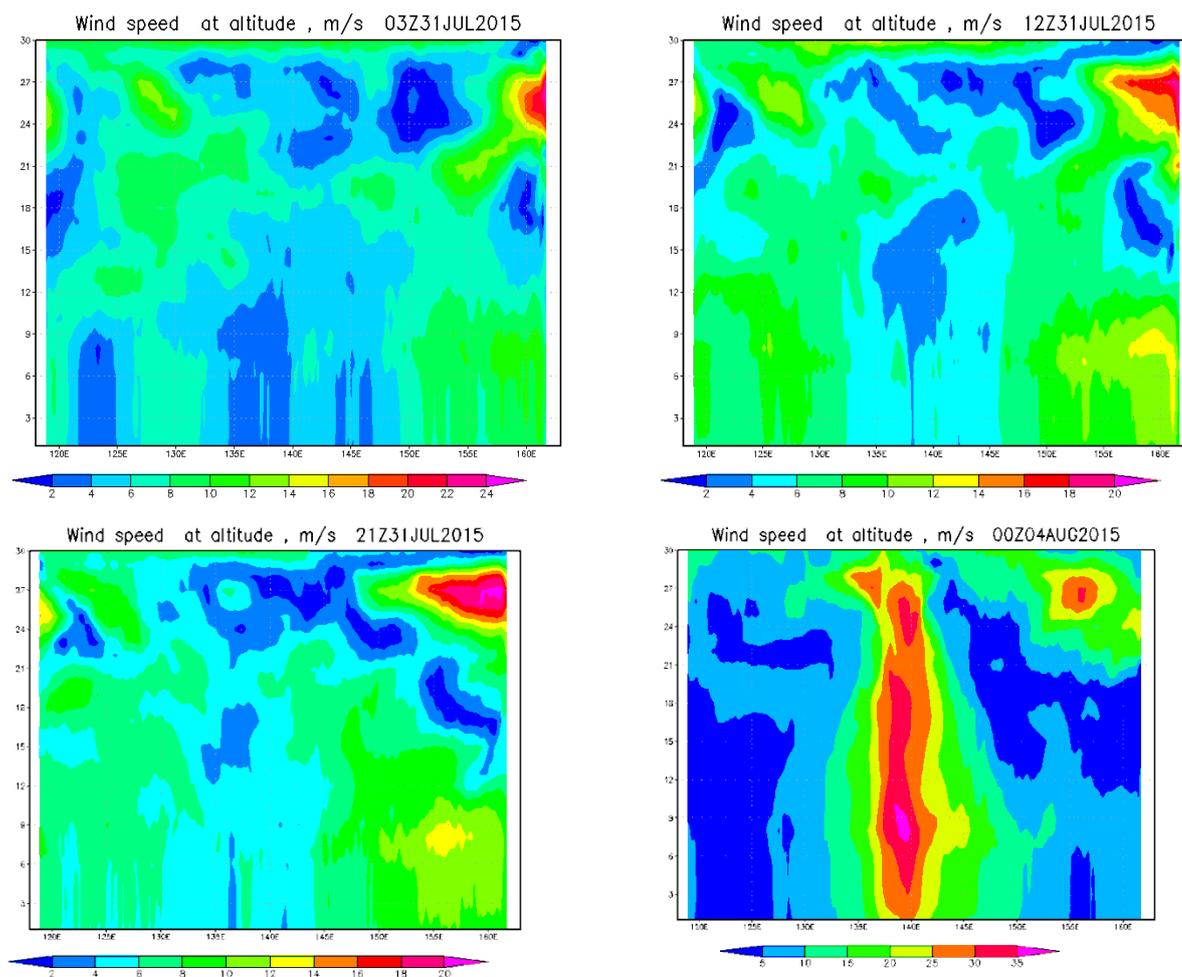
31 июля 2015 года в срок 03 ч на высоте 23 км образовалась область повышенного скорости ветра (зона красного цвета), скорость ветра в которой

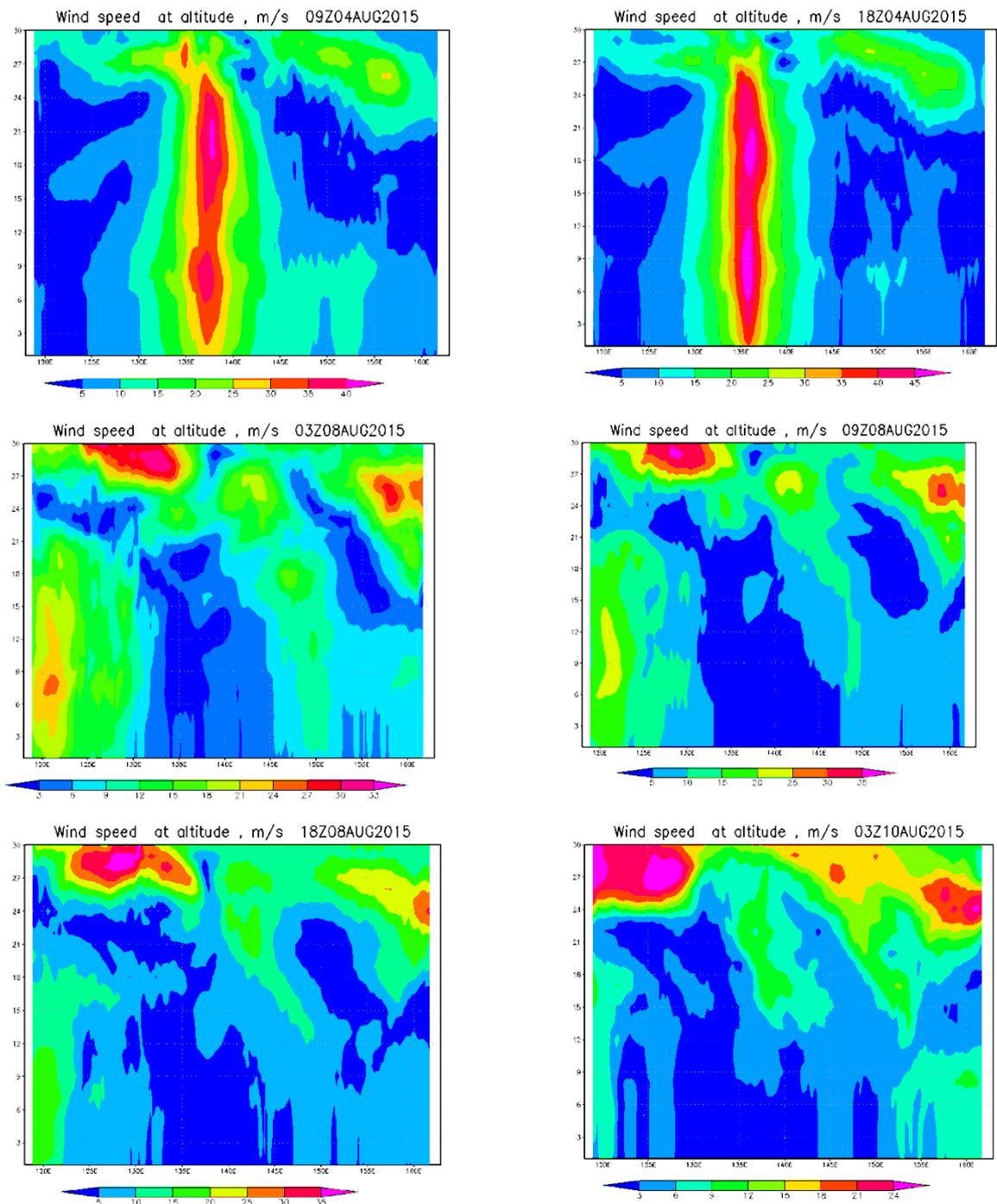
составил 20 м/с. Далее эта зона увеличивалась, перемещаясь на запад. В срок 12 ч появилась и область на высоте 1-12 км со скоростью 14 м/с.

В день максимального развития супертайфуна Соделор наблюдается область максимальной скорости до высоты 27 км – максимальная скорость ветра 45 м/с на высотах 6 и 20 км (область розового цвета на рисунке).

8 августа 2015 года на высоте 24-30 км две области со скоростью 30-33 м/с. Тропический циклон прослеживается на 120 ° в.д, его скорость уменьшается до 27 м/с. Соделор переходит в стадию разрушения и к 10 августа в полях вертикального разреза скорости ветра на высотах 28 и 24 км наблюдаются небольшие области со скоростью ветра около 24 м/с.

Таблица 3.15– Вертикальный разрез скорости ветра в супертайфуне Соделор





Анализ вертикальных разрезов, приведённых в таблице 3.15, показал наличие атмосферной депрессии, а так же ее перемещение на запад. Во все сроки, используемые в исследовании, прослеживается динамика развития тропического циклона Соделор от депрессии (31 июля 2015 года) до супертайфуна и его заполнения (10 августа).

3.5 Тропический циклон Нору, июль 2017 г.

3.5.1 Описание модели

Территория, выбранная для создания модели тропического циклона «Нору», адаптирована к целям исследования и показана на рисунке 3.29.

Характеристики данной конфигурации модели следующие:

1. Проекция Меркатора (цилиндрическая).
2. Координаты по долготе – 120° в.д- 170° в.д
3. Координаты по широте – 10° с.ш- 40° с.ш
4. Размер сетки – 250 узлов по долготе и 150 узлов по широте
5. Шаг сетки по горизонтали – 15 километров
6. Количество уровней по вертикали – 35
7. Граничные условия меняются через 6 часов (21600 секунд)
8. Шаг по времени 60 секунд
9. Заблаговременность прогноза 36 часов.
- 10.Количество прогнозов-20 (с 20 июля по 8 августа).

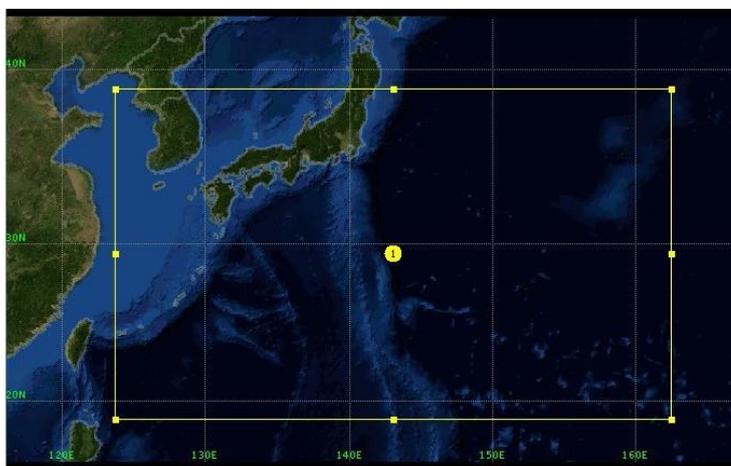


Рисунок 3.29– Область моделирования тропического циклона Нору

3.5.2 Траектория движения тропического циклона Нору

Исследование траектории движения тропического циклона Нору построено на основе изображения 3.30 (взяты из японского сайта

лаборатории «КИТАМОТО» Национального исследовательского института информатики [2]).

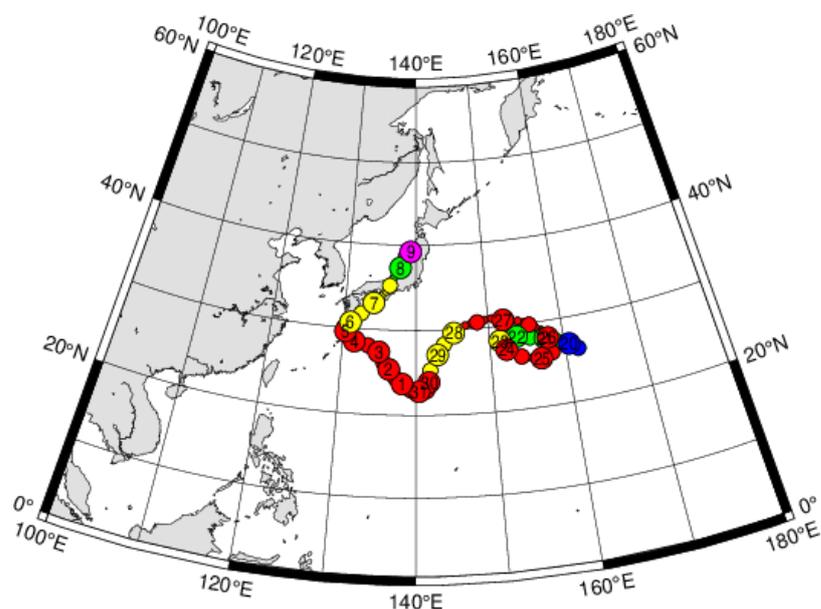


Рисунок 3.30 – Траектория движения тропического циклона Нору [2]

20 июля 2017 года в акватории Тихого океана образуется атмосферная депрессия. Траекторию движения в первые дни её существования можно назвать типичной, так как Нору прошел 9° в западном направлении в сторону континента в период 20-23 июля. Далее тайфун поворачивает на восток, набирая силу, движется в северо-восточном направлении. Циклон делает «петлю», возвращаясь практически в точку своего возникновения – координаты центра тропического циклона 21 июля и 26 совпадают, это отражено в таблице 3.16.

27-31 июля Нору движется в юго-западном направлении, преодолевая расстояние 8° широты. В последующие дни августа циклон перемещается на северо-запад.

С 6 августа по 8 августа Нору движется вдоль острова о. Хонсю и 9 августа прекращает свое существование.

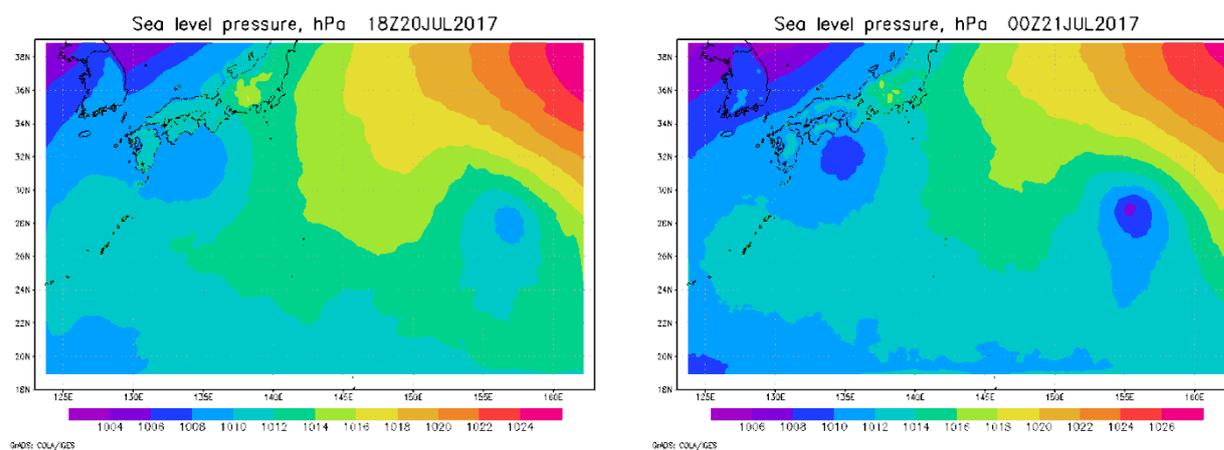
Анализируя силу тропического циклона Нору, можно сказать, что наблюдалась две максимальные стадии развития (циклон регенерировал): с 24 июля - 27 июля и 30 июля - 5 августа.

Исследуя траекторию тропического циклона Нору, можно сказать, что она необычна и среди всех проанализированных тайфунов выделяется за счет появления «петли» (с 21 июля по 26 июля) и периода существования Нору – за счёт регенерации он существовал 19 дней.

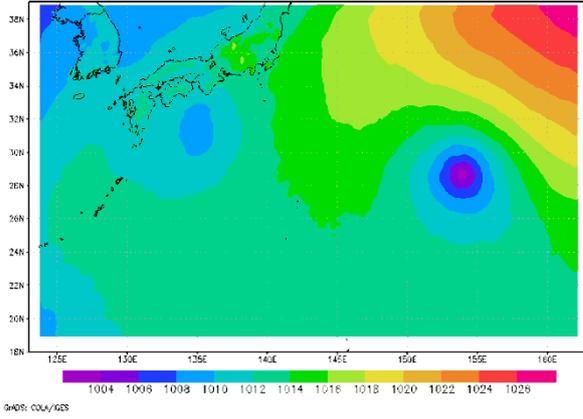
3.5.3 Исследование атмосферного давления в супертайфуне Нору

Исследование атмосферного давления и траектории тропического циклона Нору основана на анализе модельных полей, представленных в таблице 3.16, которые построены с использованием графической программы OpenGrADS. Сравнительный анализ реального атмосферного давления и модельного атмосферного давления представлен на рисунке 3.31. Исследование траектории движения представлено в таблице 3.17. На изображениях ось абсцисс – долгота исследуемой области, ось ординат – широта.

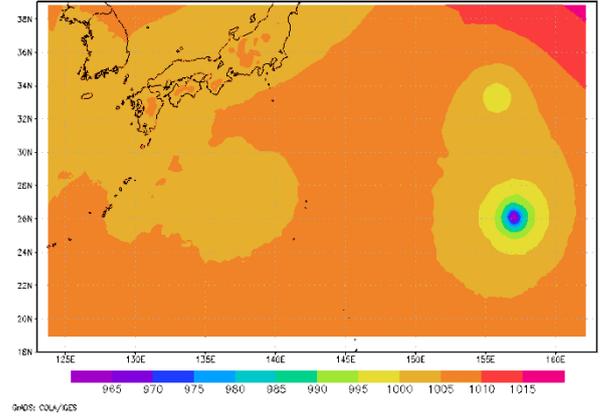
Таблица 3.16– Атмосферное давление в ТЦ Нору



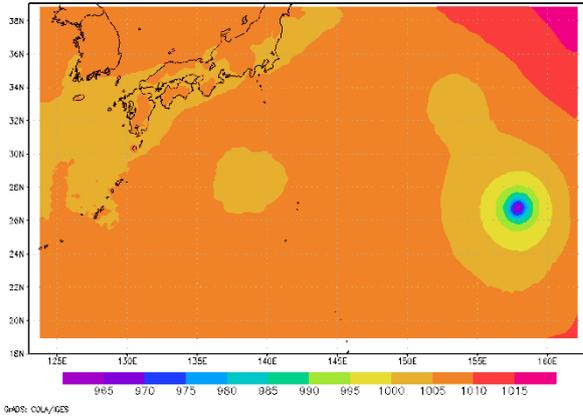
Sea level pressure, hPa 12Z21JUL2017



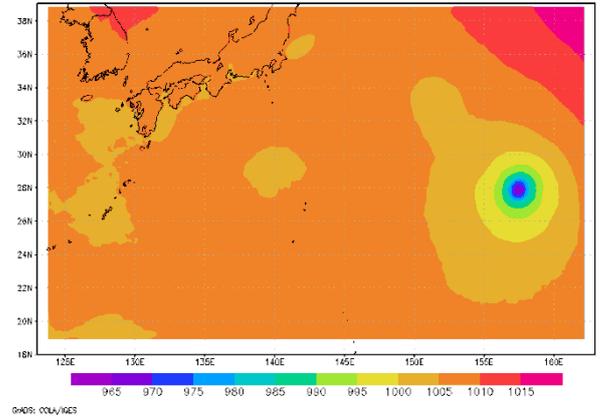
Sea level pressure, hPa 03Z25JUL2017



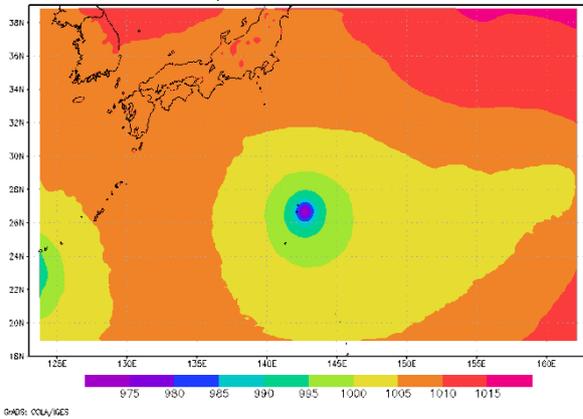
Sea level pressure, hPa 12Z25JUL2017



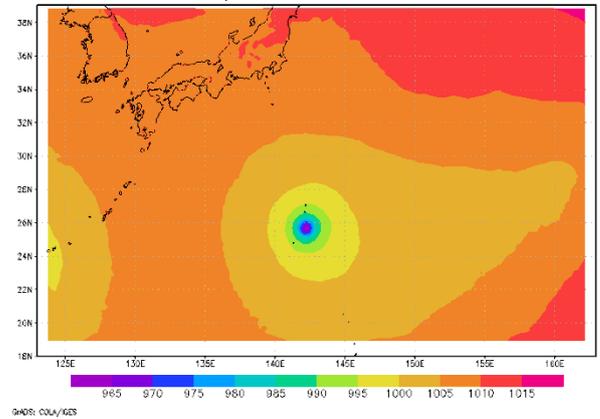
Sea level pressure, hPa 21Z25JUL2017



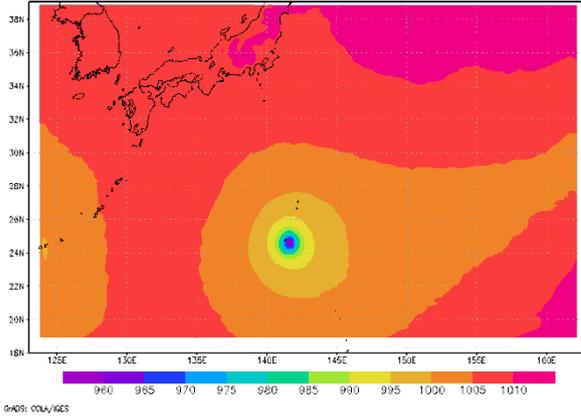
Sea level pressure, hPa 03Z29JUL2017



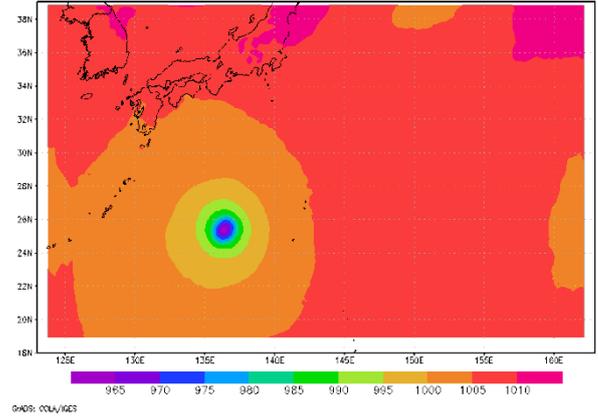
Sea level pressure, hPa 12Z29JUL2017



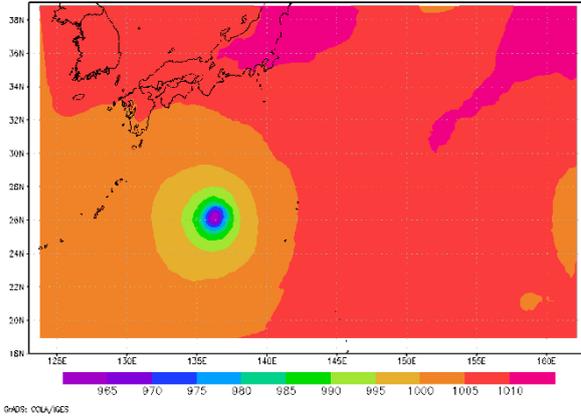
Sea level pressure, hPa 21Z29JUL2017



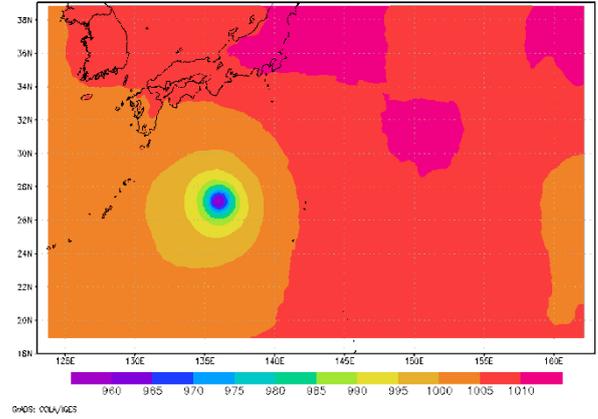
Sea level pressure, hPa 03Z02AUG2017



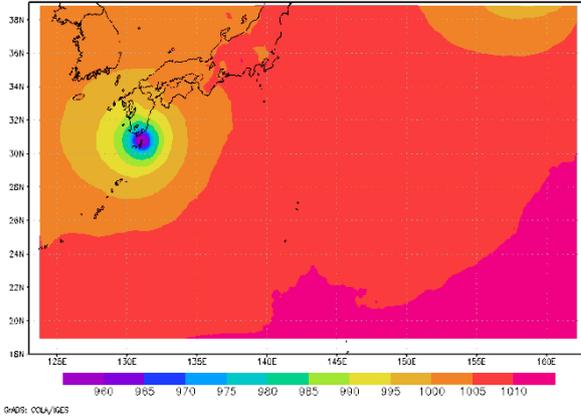
Sea level pressure, hPa 12Z02AUG2017



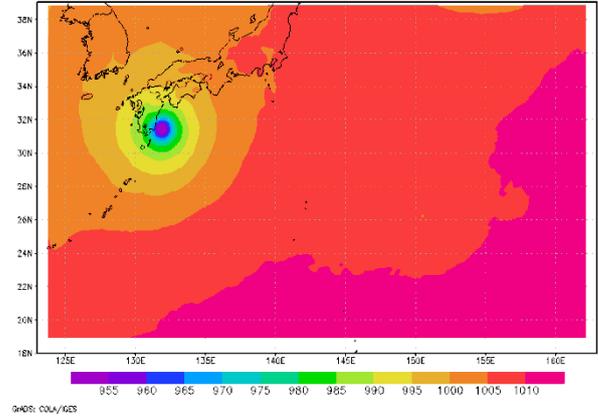
Sea level pressure, hPa 21Z02AUG2017

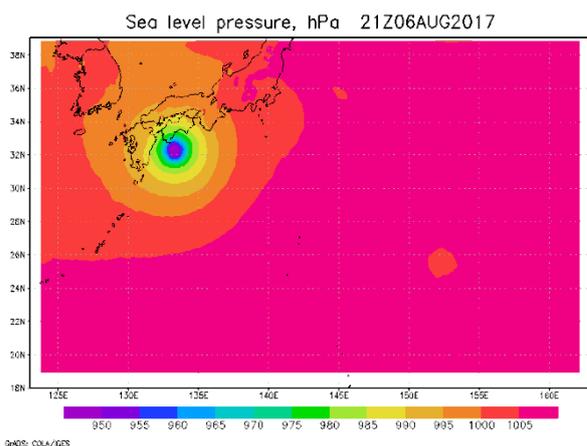


Sea level pressure, hPa 03Z06AUG2017



Sea level pressure, hPa 12Z06AUG2017





Во второй половине дня 20 июля 2017 года зарождается атмосферное образование с низким давлением в центре. К 21 июля тропический циклон углубляется, минимальное атмосферное давление составляет 999 гПа,

В точке с координатами 32 °с.ш 135 °в.д 21 июля в срок 00 ч появляется другая атмосферная депрессия, продолжительность её жизни около 18 ч. В срок 21 ч 21 июля растёт радиус тропического циклона Нору. За первый исследуемый период перемещение тайфуна составило 3° на восток и 2° на север.

25 июля минимальное атмосферное давление в Нору составило 965 гПа, данное значение сохранилось на все три срока, как видно из данных таблицы 3.16. За 5 дней атмосферное давление в центре тропического циклона Нору уменьшилось на 39 гПа. Из таблицы 3.17 видно увеличение значения минимального атмосферного давления, вероятно, это связано с траекторией движения (глава 3.5.2). Модель описывает «крюк» в траектории циклона с ошибкой всего в 1° широты. Далее циклон продолжал перемещаться вдоль 157 °в.д, на юг – переместился на 2° за 9 часов.

В течение 29 июля атмосферное давление понижается (минимальное наблюдается в 21 ч и составляет 960 гПа) на 15 гПа, тропический циклон Нору продолжает углубляться, спустя 2 суток будет наблюдаться максимальное развитие Нору (реальные данные таблицы 3.17). Амплитуда изменения минимального атмосферного давления за четверо суток (25 июля-

29 июля) составила 15 гПа, что гораздо меньше, чем в предыдущий период. Траекторию движения с 27 июля можно назвать типичной – циклом перемещается в западном направлении. За 29 июля Нору переместился по долготе на 1° на восток, а по широте - 2° на юг.

31 августа модель показала минимальное атмосферное давление (955 гПа), поэтому можно сделать вывод, что Нору достиг максимального развития.

2 августа в тайфуне давление стало расти (965 гПа) и вновь уменьшаться на 5 гПа к последнему сроку в данные сутки. Амплитуду изменения минимального атмосферного давления в период с 29 июля по 2 августа составила 25 гПа. Согласно, представленных в таблице 3.17 данных моделирования, 2 августа перемещение Нору было минимальным – тропический циклон оставался на месте.

6 августа тропический циклон достиг побережья Японии и атмосферное давление к 21 UTC достигло второго минимума –950 гПа, что вероятно связано с территориальным перемещением центра ТЦ, так как в течение четырёх дней по долготе тайфун сместился на 5° на запад, по широте на 6° на север. Амплитуда изменения атмосферного давления в период с 2 августа по 6 составила 15 гПа. В последующие дни давление Нору увеличивается, тропический циклон переходит в стадию разрушения, переходя на территорию суши, выходит за границы исследования.

Таблица 3.17–Характеристики тропического циклона Нору

Дата	Реальные координаты центра циклона	Модельные координаты центра циклона	Реальное минимальное давление (гПа)	Модельное минимальное давление (гПа)	Реальная скорость ветра (м/с)	Модельная скорость ветра (м/с)
20.07	27 с.ш 160 в.д	28 с.ш 157 в.д	1009	1004	18	18
21.07	28 с.ш	29 с.ш	1006	999	19	20

	158 в.д	156 в.д				
22.07	29 с.ш 153 в.д	29 с.ш 152 в.д	1000	990	23	27
23.07	28 с.ш 151 в.д	28 с.ш 152 в.д	985	970	32	33
24.07	27 с.ш 152 в.д	28 с.ш 155 в.д	970	965	36	40
25.07	25 с.ш 157 в.д	26 с.ш 157 в.д	965	965	35	40
26.07	28 с.ш 158 в.д	29 с.ш 156 в.д	975	980	33	35
27.07	31 с.ш 152 в.д	31 с.ш 151 в.д	975	980	33	30
28.07	30 с.ш 145 в.д	27 с.ш 144 в.д	975	980	31	27
29.07	27 с.ш 143 в.д	25 с.ш 142 в.д	960	980	31	35
30.07	24 с.ш 141 в.д	23 с.ш 141 в.д	975	970	38	40
31.07	22 с.ш 140 в.д	24 с.ш 139 в.д	940	955	49	45
01.08	24 с.ш 138 в.д	25 с.ш 136 в.д	940	960	47	45
02.08	25 с.ш 136 в.д	27 с.ш 136 в.д	940	960	46	45
03.08	27 с.ш 135 в.д	28 с.ш 132 в.д	945	965	41	40
04.08	28 с.ш 132 в.д	29 с.ш 130 в.д	955	960	37	45
05.08	30 с.ш 130 в.д	31 с.ш 131 в.д	966	960	32	40
06.08	31 с.ш 131 в.д	32 с.ш 132 в.д	970	950	31	55
07.08	33 с.ш 134 в.д	33 с.ш 134 в.д	970	987	26	20
08.08	37 с.ш 138 в.д	37 с.ш 138 в.д	986	992	12	16

Траектория движения тропического циклона Нору можно назвать самой необычной и интересной для подробного анализа, так как в первую неделю жизни тайфун в своём перемещении делает «крюк». Модель-WRF отлично справилась с прогнозом траектории перемещения, погрешность по

долготе составила 3° (24 июля и 3 августа), а по широте- 2° (29, 31 июля и 2 августа).



Рисунок 3.31– График модельного и фактического атмосферного давления в тропическом циклоне Нору

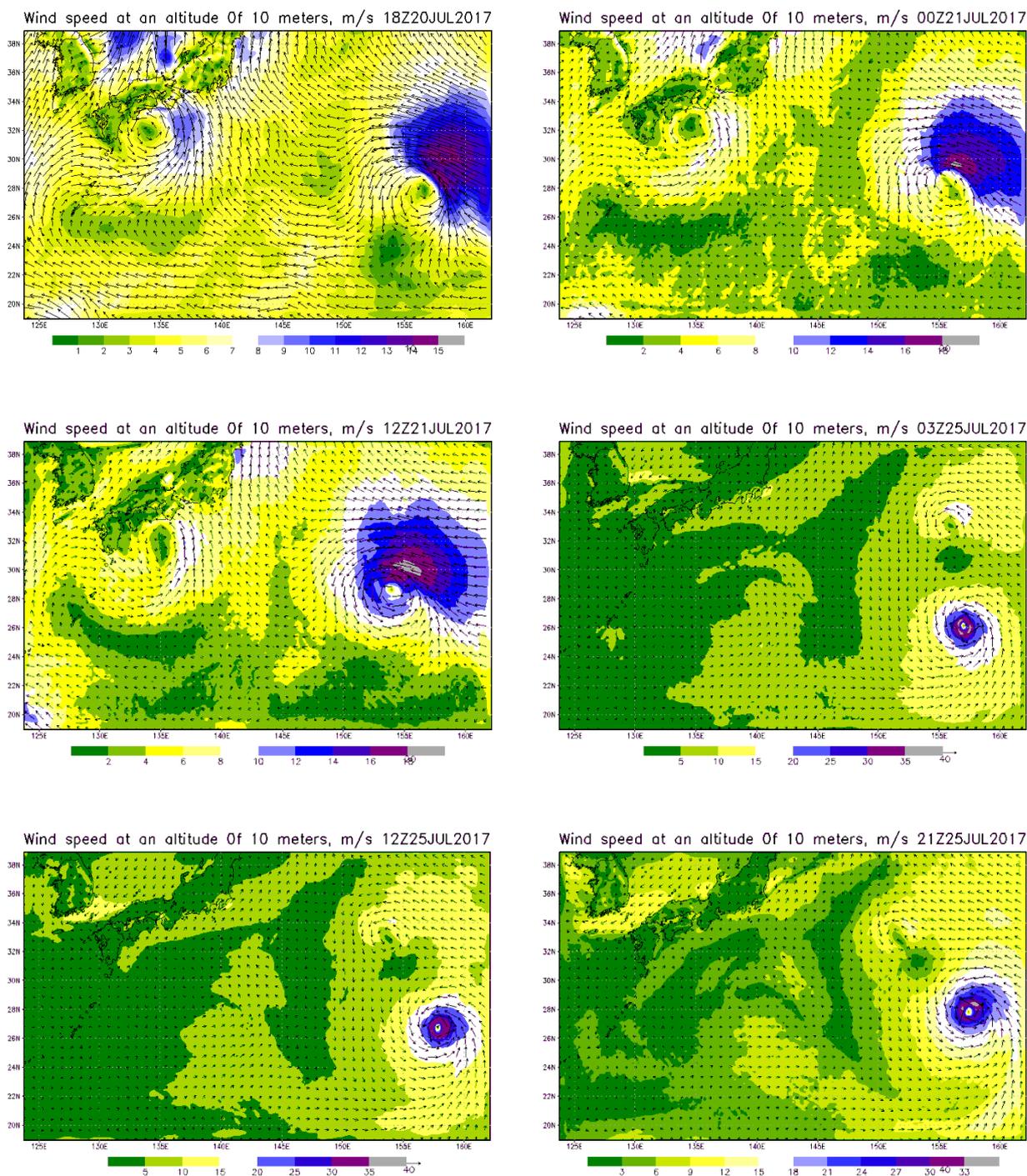
График изменения фактического и модельного давления в центре циклона Нору, представленный на рисунке 3.31,1 показывает качество моделирования атмосферного давления. Модель ошибается в дни максимального развития тайфуна 30-31 августа, вероятно, это связано с тем, что модели трудно определить экстремумы. Так же ошибкой являются значения 6-7 августа, что можно объяснить выходом тропического циклона за пределы исследуемой области на стадии разрушения.

3.5.4 Исследование скорости ветра в ТЦ Нору

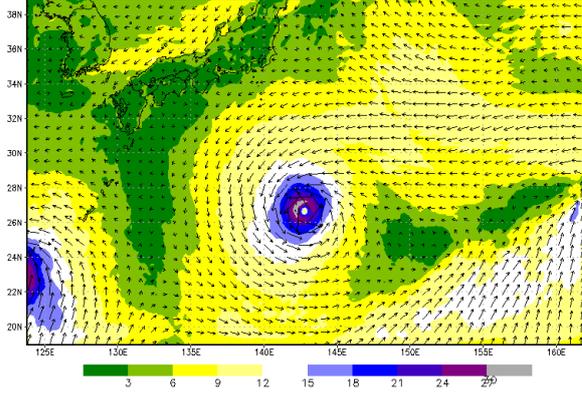
Анализ скорости ветра в тропическом циклоне Норму будет основан на данных, приведённых в таблицах 3.17 и 3.18, которая состоит из иллюстративного ряда, созданного с использованием OpenGrADS. На

изображениях ось абсцисс обозначает долготу исследуемой области, ось ординат – широту. Фиолетовый и серый цвет отражает максимальную скорость ветра, стрелки черного цвета задают направление движения ветра и их длина пропорциональна модулю скорости ветра

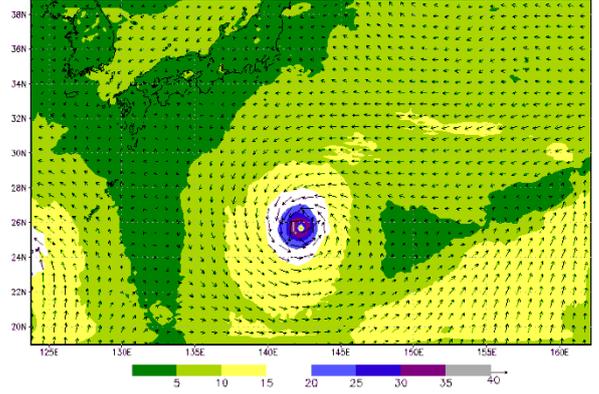
Таблица 3.18– Скорость ветра в области развития ТЦ Нору



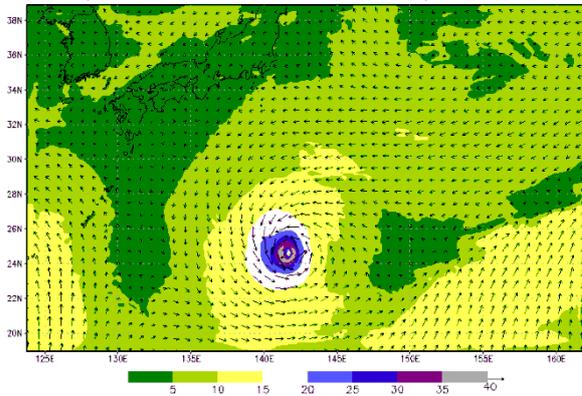
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 03Z29JUL2017



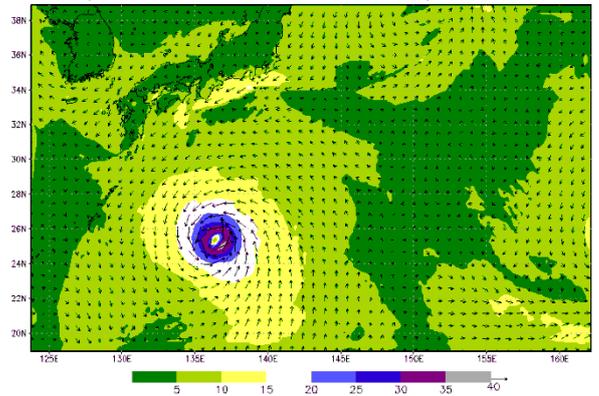
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 12Z29JUL2017



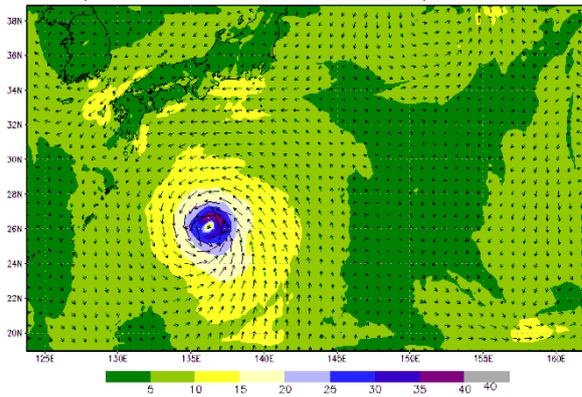
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 21Z29JUL2017



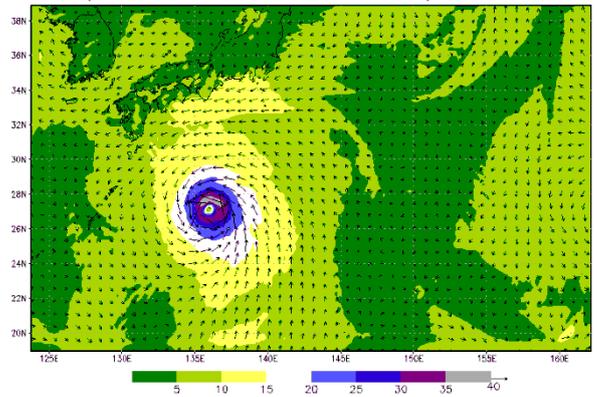
Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 03Z02AUG2017

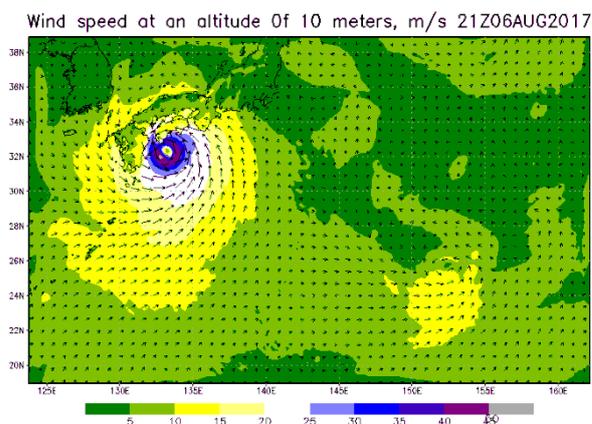
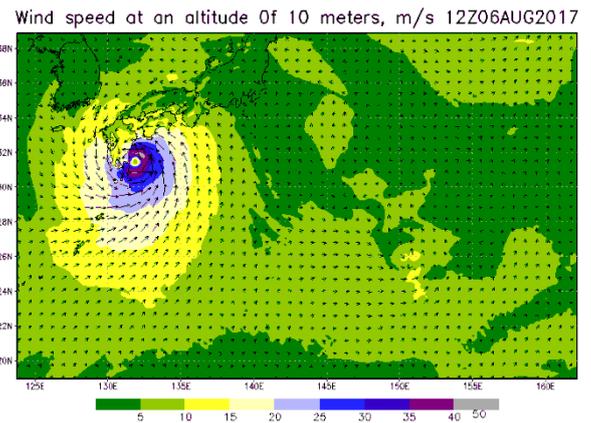
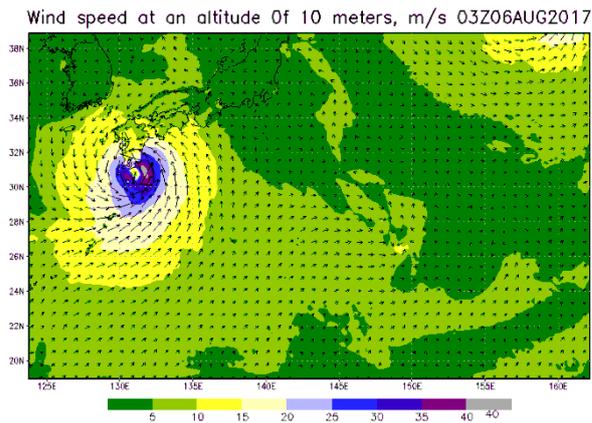


Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 12Z02AUG2017



Wind speed at an altitude Of 10 meters, m/s 21Z02AUG2017





20 июля 2017 года появляется область с повышенным значением скорости ветра, которая сконцентрирована на северо-востоке от центра. У побережья Японии (32° с.ш и 135° в.д) так же замечен циклон с относительно коротким жизненным циклом, анализ которого далее не будет произведен.

К 21 UTC 21 июля зона образуется область с высокими скоростями ветра – 18 м/с. Так же можно увидеть глаз бури в центре тропического циклона на – последнем сроке 21 июля появляется область со скоростью ветра 4 м/с

25 июля скорость ветра достигает 40 м/с, но уменьшается к 21 UTC до 33 м/с, глаз бури уменьшается территориально, скорость ветра в нем составляет 10 м/с. За период 20-25 июля скорость ветра увеличилась на 22 м/с, что говорит о стремительном развитии тропического циклона.

Утром 29 июля на юго-западе исследуемой области появляется ещё один тропический циклон.

Скорость ветра в Нору увеличивается за сутки с 27 м/с до 40 м/с, глаз бури уменьшается – 12 UTC 2 августа максимальная скорость составляет 45 м/с, за 4 дня скорость ветра менялась незначительно.

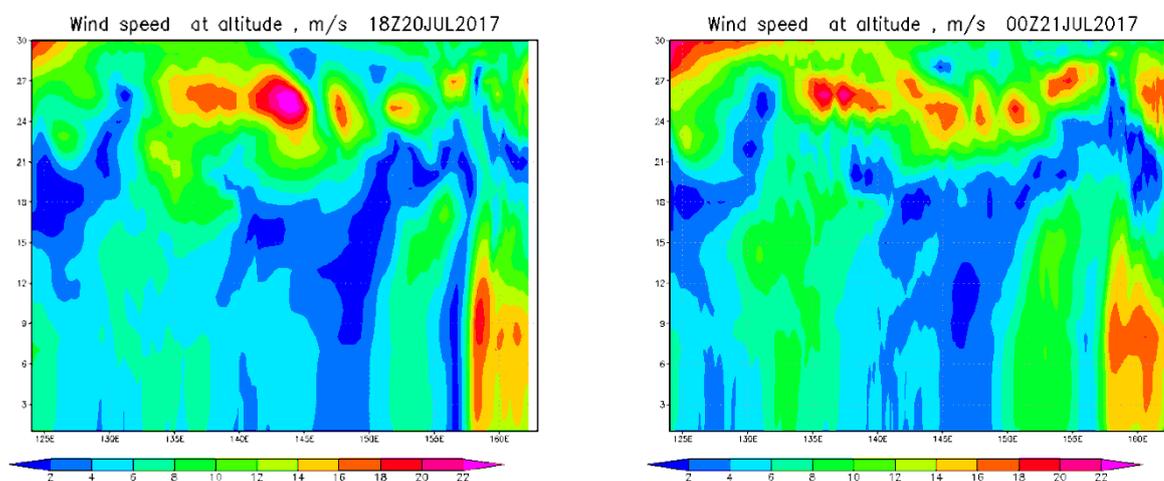
6 августа зона с высокими скоростями ветра перемещается к побережью японского архипелага с юго-восточной стороны. Скорость ветра усиливается до 55 м/с.

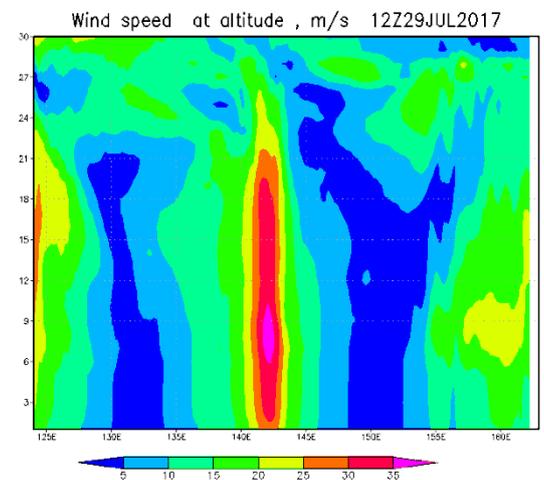
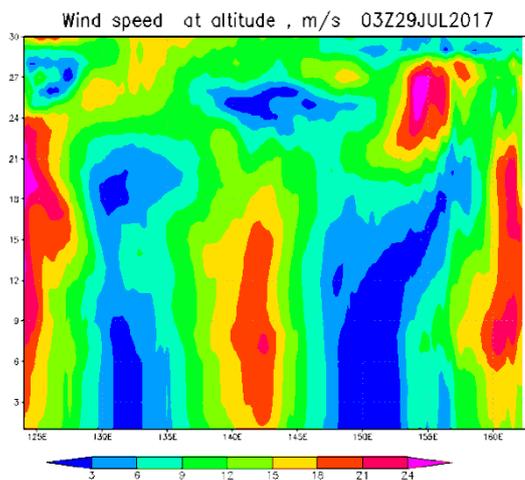
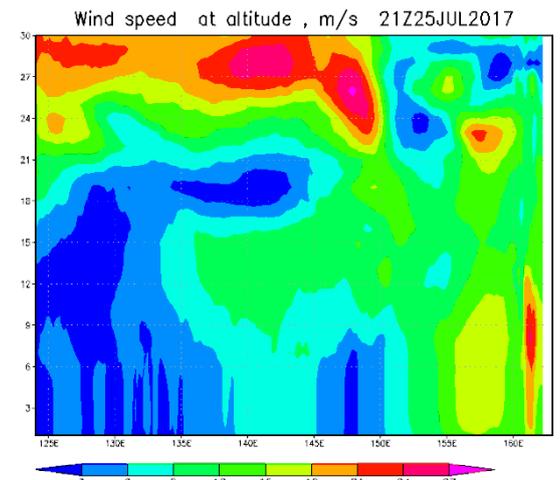
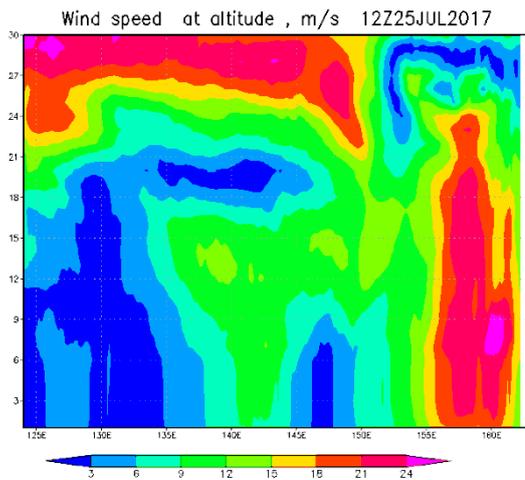
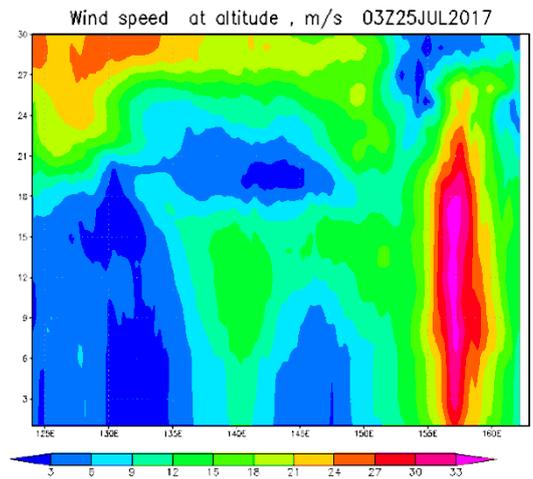
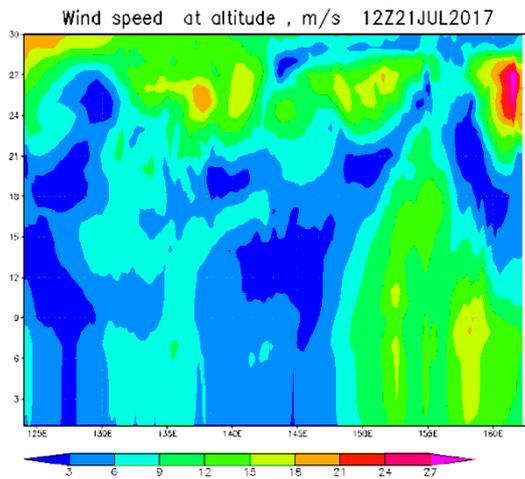
Моделирование показало, что Нору имеет четвёртую категорию по шкале ураганных ветров Саффира-Симпсона (таблица 1.1) – тропический циклон Нору приобретает статус супертайфуна.

3.5.5 Исследование вертикальной структуры супертайфуна Нору

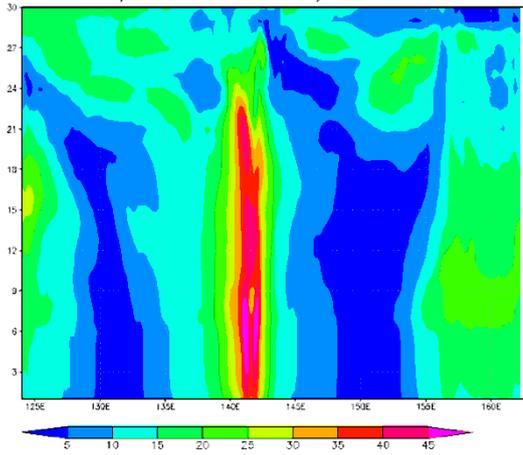
В основу анализа вертикального разреза скорости ветра в тропическом циклоне Нору взят иллюстративный ряд, созданный с помощью графической программы OpenGrADS. Эти рисунки представлены в таблице 3.19. В рисунках на оси абсцисс – долгота (шаг 5°), ось ординат показывает высоту в километрах от 1 км до 30 км (шаг 3 км). Вертикальный разрез сделан вдоль параллели 25 °с.ш. Оттенки красного и розового цветов показывают высокие скорости ветра.

Таблица 3.19– Вертикальный разрез скорости ветра в супертайфуне Нору

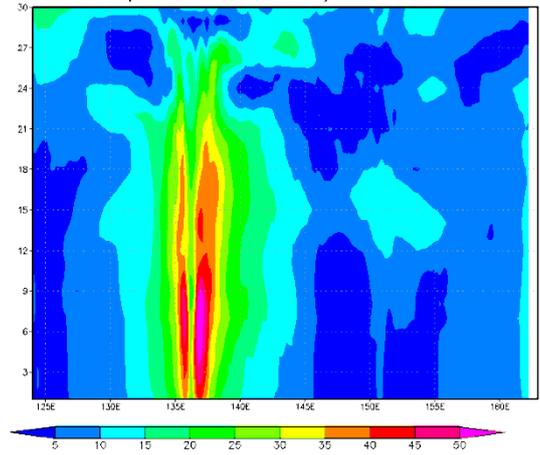




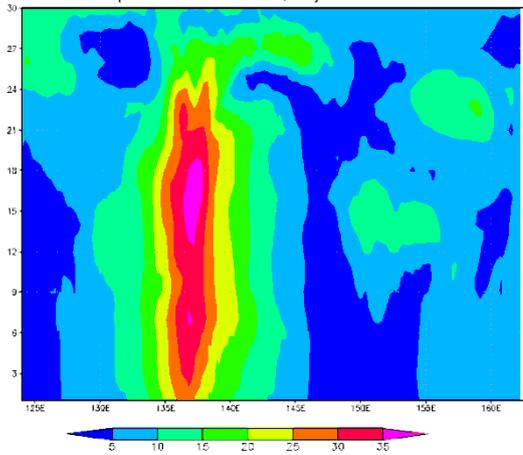
Wind speed at altitude , m/s 21Z29JUL2017



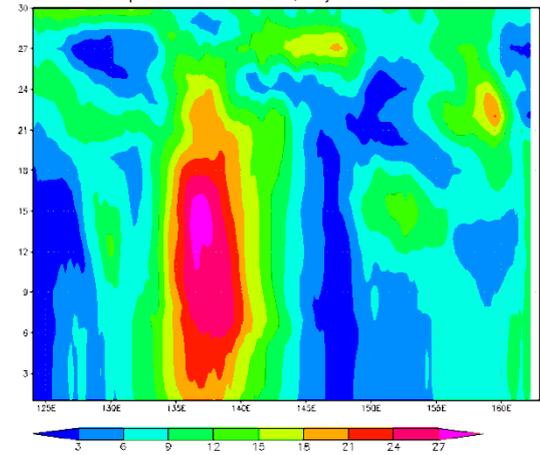
Wind speed at altitude , m/s 03Z02AUG2017



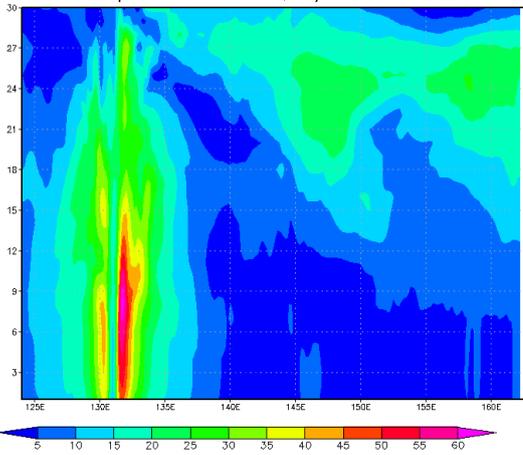
Wind speed at altitude , m/s 12Z02AUG2017



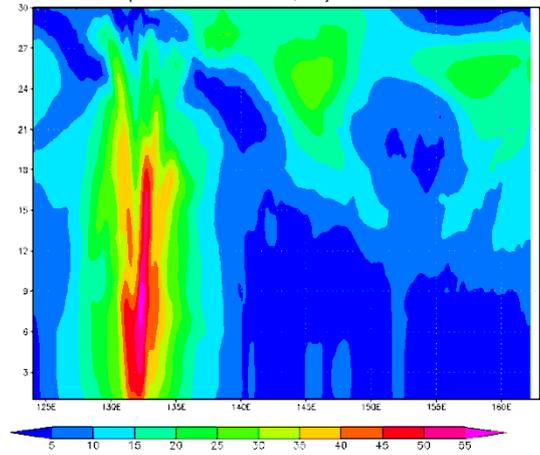
Wind speed at altitude , m/s 21Z02AUG2017

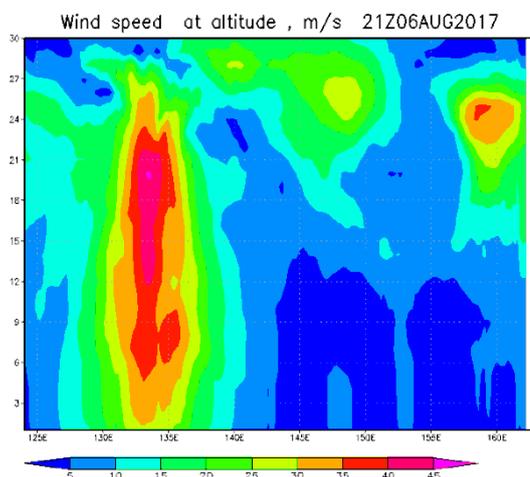


Wind speed at altitude , m/s 03Z06AUG2017



Wind speed at altitude , m/s 12Z06AUG2017





20 июля тропический циклон Нору зарождается – на 155-165 °в.д видно увеличение скорости ветра, появляется вертикальная область (до 13 км) с повышенной скоростью ветра – максимальная скорость ветра в молодом атмосферном образовании 18 м/с.

21 июля в 18 UTC в слое 23-27 км видны небольшие зоны с высокими скоростями до 27 м/с. Это говорит о том, что тропический циклон Нору развивается и с увеличением зон высоких скоростей ветра увеличивается вертикальная мощность циклона.

Спустя 5 дней (25 июля 03 UTC) видно устойчивое образование с максимальной скоростью ветра в центре 33 м/с и высотой 25 км на 157 °в.д.. К 12 ч 25 июля появляется вытянутая зона (120 °в.д-150 °в.д) с высокими скоростями ветра 24 м/с толщиной в 7 км на высоте 23 км. К 18 UTC скорость внутри протяженной по долготе зоны уменьшается, так же как и в самом тропическом циклоне Нору. Вероятно, это связано с нетипичным перемещением супертайфуна в эти дни.

03 UTC 29 июля 2017 года в поле ветра видно несколько циклонов: на долготе 119 °в.д (наличие данного циклона подтверждает таблица 3.18), 142 °в.д тропический циклон Нору, на 162 °в.д еще одно атмосферное образование, которое так же видно в таблице 3.18. Максимальная скорость ветра в Нору составила 21 м/с, высота – 17 км.

03 UTC 2 августа (в дни максимального развития тропического циклона Нору) появляется глаз бури. В узкой зоне в долготном направлении (136 °в.д) скорость ветра в центре не превышает 20 м/с, в свою очередь с восточной стороны этой «зоны тишины» скорость ветра достигает 50 м/с на высоте 4-10 км, а с западной – 45 м/с. Далее к 12 ч глаз бури пропадает и скорость снижается до 35 м/с, а к 21 ч до 27 м/с.

К 6 августа тропический циклон набирает силу в связи с приближением к побережью юго-восточных островов Японии. В)) UTC вновь наблюдается глаз бури, максимальная скорость ветра сконцентрирована на высоте 6 км и составляет 60 км/ч (является экстремумом для всего жизненного цикла Нору). Далее скорость ветра падает до 50 м/с (12ч) и до 45 (21ч), но относительно первого срока высота атмосферного образования в последующие часы увеличивалась до 21 км (12ч), к 21 ч до 24 км.

Модель-WRF создала прогноз жизненного цикла тропического циклона Нору и показала все стадии развития тайфуна, отразила характерное глаза бури, полностью воспроизвела траекторию движения Нору в долготном направлении на всех сроках исследуемого периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрены характеристики тропических циклонов Тихого океана, которые могут оказывать влияние и на Дальний Восток Российской Федерации.

Создан архив тропических циклонов аз 2013-2018 года.

Проанализированы условия образования и особенности развития тропических циклонов на территории Дальнего Востока.

Произведён анализ количества тропических циклонов, приходящихся на каждый год исследуемого периода.

С использованием мезомасштабной гидродинамической модели WRF-ARW разработан прогноз развития шести тропических циклонов и подробно проанализированы поля атмосферного давления, скорости ветра и вертикальной структуры в тропических циклонах.

Построение иллюстративного ряда для метеорологических параметров с помощью OpenGrADS.

Проведён сравнительный анализ реальных и смоделированных данных метеорологических параметров выбранных тропических циклонов на Дальнем Востоке

Оценено качество прогнозов, созданных с помощью модели WRF-ARW.

На основе проведённых исследований можно сделать вывод о том, что разработанная модель WRF-ARW позволяет с достаточным качеством прогнозировать тропические циклоны. Даже с такой сложной петлеобразной траекторией, как супертайфун Нору.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тараканов Г.Г Тропическая метеорология: учебное пособие для вузов изд. – Л.: Гидрометиздат, 1980-С.128-132
2. Национальный институт информатики. Цифровой тайфун [Электронный ресурс].: KITAMOTO Asanobu. – Режим доступа: <http://agora.ex.nii.ac.jp/cgibin/dt/single2.pl?prefix=GOE904120203&id=200427&basin=wnp&lang=en>
3. Гипотетические ураганы Wiki. [Электронный ресурс].: Hypothetical Hurricanes Wiki. – Режим доступа: [https://hypotheticalhurricanes.fandom.com/wiki/2022_Okhotsk_Subtropical_Cyclone_\(Tesseract3821\)](https://hypotheticalhurricanes.fandom.com/wiki/2022_Okhotsk_Subtropical_Cyclone_(Tesseract3821))
4. Рамедж К. Метеорология муссонов [Текст] ; Пер. с англ. И. М. Шейниса; Под ред. С. П. Хромова. – Л.: Гидрометиздат.– 1976. – 335 с.
5. ГИДРОМЕТЦЕНТР РОССИИ. [Электронный ресурс].: Тропические циклоны в 2013-2016 году – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/categories/33-climate-cat/monitoring-klimata/tropcyclones/8444>
6. Национальный Центр Ураганов и Центрально-Тихоокеанский Центр Ураганов. [Электронный ресурс].: Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale (Шкала ураганного ветра Саффира-Симпсона) – Режим доступа: <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>
7. Сайт японского метеорологического агентства Japan Meteorological Agency, CC BY 4.0 [Электронный ресурс].: via Wikimedia Commons – Режим доступа: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>
8. Тропические циклоны и тропические возмущения Мирового океана: хронология и эволюция (2006–2010). Версия 4.1 / И.В. Покровская, Е.А. Шарков. — М. : КДУ, 2011. — 212 с
9. Зленко В.А. Гидродинамическая схема расчета траекторий тропических циклонов // Метеорология и гидрология. 1987. № 5. С. 56-61.

10. Похил А.Э. О взаимодействии ТЦ в Тихом океане // Метеорология и гидрология. 1990. № 6. С. 60-67.
11. Добрышман Е.М. Динамика экваториальной атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1980, 286 с.