



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной океанологии и комплексного управления  
прибрежными зонами

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

Изменчивость характеристик атмосферы и океана в  
тихоокеанских тайфунах

Исполнитель: Глухов Евгений Юрьевич

Руководитель: к. г. н., доцент, Гордеева Светлана Михайловна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

кандидат географических наук

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

«27» 06 2025г.

г. Санкт-Петербург

2025

# Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Физико-географическое описание района исследования .....	5
1.1. Географическое положение и размеры Тихого океана .....	5
1.2. Описание тропической зоны Тихого океана .....	6
1.3. Тропические циклоны. Общие сведения. ....	8
1.3.1. Районы возникновения ТЦ.....	8
1.3.2. Структура ТЦ. ....	10
1.3.3. Эволюция ТЦ.....	11
1.3.4. Ущерб от тропических циклонов. ....	12
1.3.5. Влияние тропических циклонов на океан. ....	13
2. Исходные данные и методы исследования. ....	15
3. Основные характеристики отдельных тайфунов.....	20
3.1 Тайфун «Нанмадол» .....	20
3.2. Тайфун «Вутип».....	34
3.3. Тайфун «Хагибис» .....	46
3.4. Статистические характеристики исследуемых ТЦ. ....	58
Заключение .....	60
Список использованной литературы .....	62

## ВВЕДЕНИЕ

Возникающие в тропических широтах циклоны, имеющие разрушительную скорость ветра, называются тропическими циклонами. В северной части Тихого океана они именуется тайфунами, что на китайском и японском языках означает «очень сильный ветер».

Тропические циклоны обладают огромной разрушительной силой, которая является угрозой для многих районов Мирового океана и его побережья.

Тайфуны оказывают существенное воздействие как на берег и на прибрежную полосу, так и на открытый океан, где под их влиянием происходят весьма значительные изменения динамических и термодинамических процессов.

В данной работе проводились исследования изменения основных характеристик океана и атмосферы в условиях тайфуна.

Актуальность работы обоснована тем, что тропические циклоны являются одним из источников катастрофических последствий. Понимание процессов, происходящих в период действия тайфунов, поможет впоследствии с прогнозированием тайфунов, а вследствие этого, более быстром оповещении населения, проживающих на территориях, подвергающихся действию ТЦ.

Объектом исследования является тропическая зона Тихого океана,.

Предметом исследования являются тропические циклоны Нанмадол, Вутип и Хагибис и их характеристики, такие как атмосферное давление в центре ТЦ, максимальная скорость ветра, скорость перемещения ТЦ, ТПО и температура воды до глубины 100 м, высота волн, компоненты теплового баланса на границе океан-атмосфера, концентрация хлорофилла. Также рассмотрен эффект апвеллинга, возникающий после прохождения тайфуна.

Целью данной работы является изучение изменений представленных выше характеристик в условиях тихоокеанских тайфунов.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) Выбрать катастрофические тайфуны из исторических данных.
- 2) Найти и получить гидрометеорологические данные из баз данных, соответствующие времени и местоположению исследуемых тайфунов.
- 3) Провести анализ основных гидрометеорологических характеристик в центре тайфунов. Сделать сравнительный анализ.
- 4) По глубоководным данным вдоль траектории тайфуна оценить следствия его влияния в толще океана. Сравнить карты вертикального распределения ТПО и карты поверхностной концентрации хлорофилла.
- 5) Оценить теплоотдачу в атмосферу при прохождении тайфуна.

# 1. Физико-географическое описание района исследования

## 1.1. Географическое положение и размеры Тихого океана

Тихий океан (ТО)— самый крупный из океанов. Он занимает 49,5 % по площади и 53,0 % по объему воды Мирового океана, более 1/3 всей земной поверхности. Он разделяет (и вместе с тем связывает) пять континентов, что определяет его огромное общее физико-географическое и экономико-географическое значение. [1]

Площадь ТО составляет 165250000 км<sup>2</sup>. Протяженность с севера на юг составляет около 15 000 км, а ширина с запада на восток достигает около 19 800 км в самой широкой части между Филиппинами и западным побережьем Южной Америки. Средняя глубина Тихого океана составляет около 4280 метров, а самая глубокая точка, находящаяся в Марианской впадине, достигает 11 011 метров (Рисунок 1).

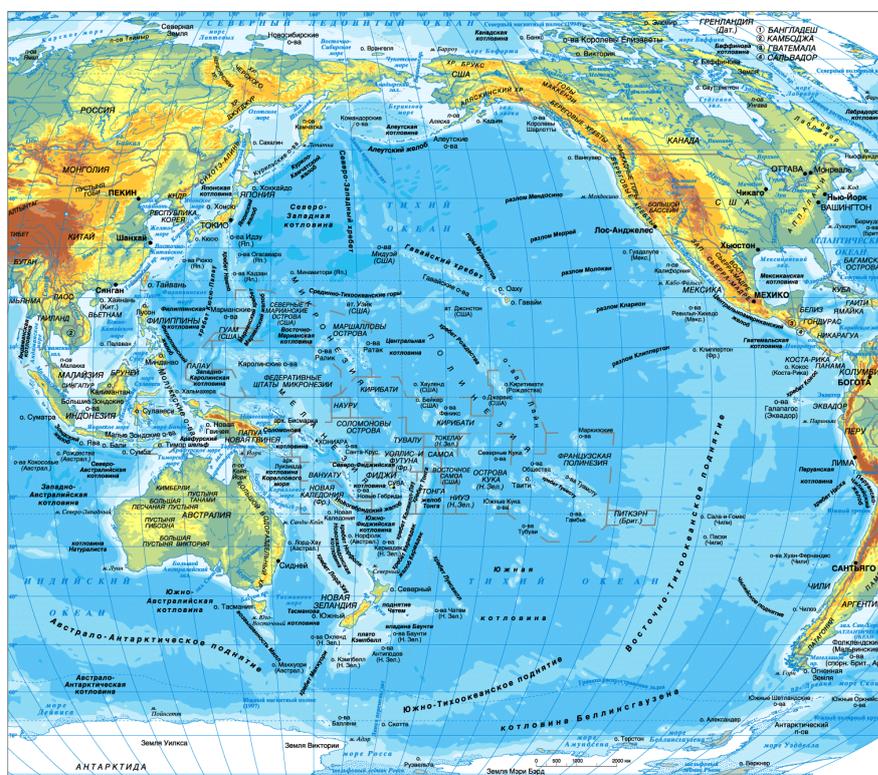


Рисунок 1 – Карта Тихого океана.

Границы ТО определяются следующим образом: на севере он ограничен Беринговым проливом, отделяющим его от Северного Ледовитого океана; на юге его воды сливаются с Южным океаном у берегов Антарктиды; на западе он граничит с Евразией и Австралией. На востоке океан омывает берега Северной и Южной Америки, формируя крупные заливы, такие как Аляскинский, Калифорнийский и Панамский.

Дно Тихого океана имеет сложный рельеф, включающий обширные абиссальные равнины, подводные хребты и глубоководные желоба. Среди глубоководных желобов наиболее известны Марианский, Тонга, Кермадек и Перуанско-Чилийский.

## 1.2. Описание тропической зоны Тихого океана.

В данной работе будут рассматриваться ТЦ тропической части Тихого океана, как одной из самых «продуктивных» зон, в которых образуются ТЦ. Это видно на рисунке 2, на котором представлена карта следов всех тропических штормов и циклонов за последние сто лет. Районы существования тропических циклонов включают семь непрерывных зон, которые имеют название бассейнов. Эти бассейны включают северную часть Атлантического океана (в среднем 11 ТЦ в год), северо-восточную (в среднем 9 ТЦ в год), северо-западную (в среднем 25,7 ТЦ в год) и южную части (4-5 ТЦ в год) Тихого океана, северную, северо-восточную и юго-западную части Индийского океана[13].

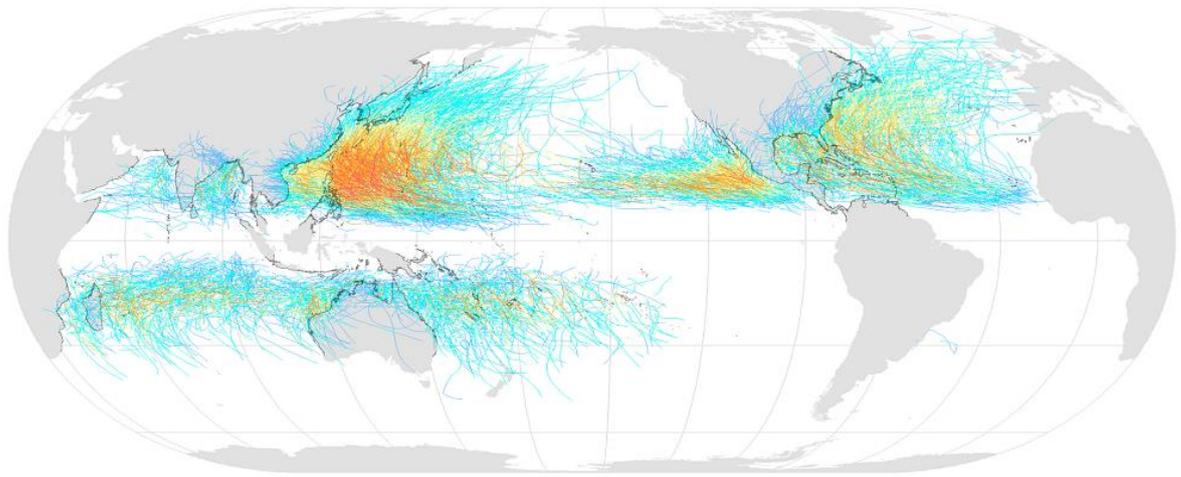


Рисунок 2 – Карта следов всех тропических циклонов и тропических штормов за последние сто лет[2].

Тропическая зона Тихого океана имеет самую высокую температуру поверхности, обычно выше 26,5 °С, что видно на рисунке 3, в сочетании с высокой влажностью в этой зоне, эти условия делают эту зону самым активным бассейном тропических циклонов в мире[3].

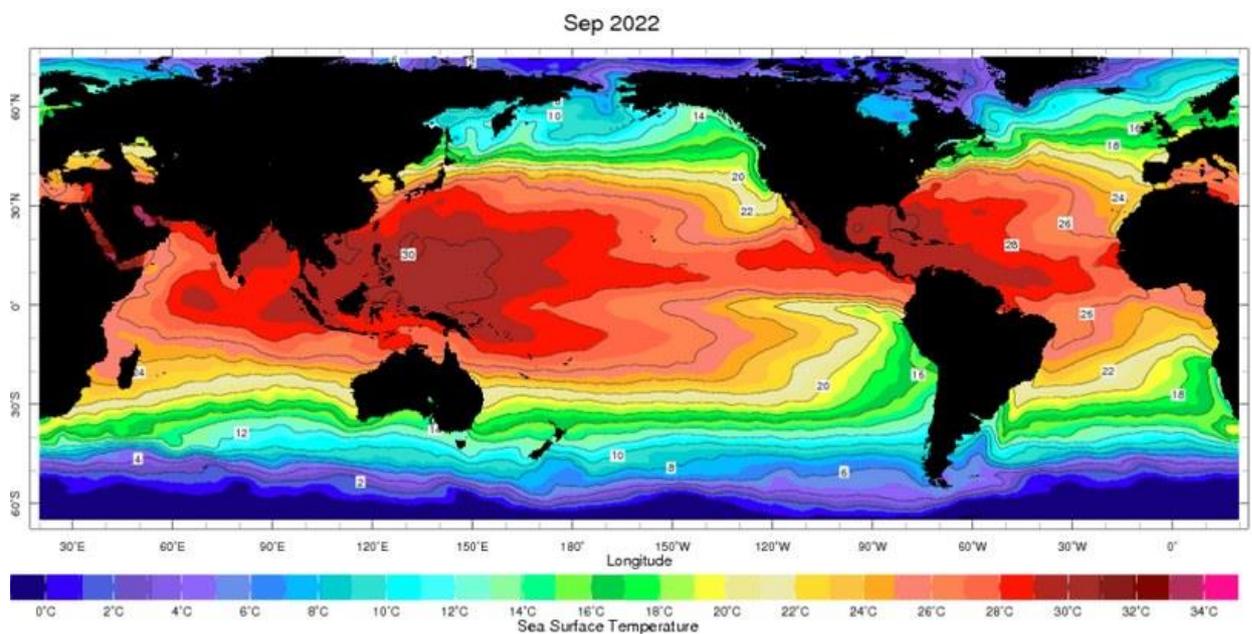


Рисунок 3 –Распределение ТПО в сентябре 2022 года.

На рисунках 2 и 3 видно, что зоны высоких температур совпадают с зонами возникновения ТЦ. Можно выделить три самые активные зоны

возникновения, - это западная часть ТО выше экватора, это Калифорнийское побережье, северо-западная часть Атлантики.

### 1.3. Тропические циклоны. Общие сведения.

По определению В. И. Воробьева в учебнике [4], тропический циклон — область пониженного давления в тропиках, с которой связана вихреобразная система движения масстеплого влажного воздуха. В пособии [5], ТЦ – глубокий циклонический вихрь большой интенсивности и малого диаметра без фронтальной системы. Ежегодно (по данным оперативного мониторинга в отделе глобального анализа и прогноза погоды – «Тропические циклоны Мирового океана за период 1970-1999 гг. (ТЦМО 1970-1999 гг.)») на земном шарев среднем наблюдается около 82 ТЦ [15].

Зарождение ТЦ происходит над океаном, преимущественно между широтами 5-20° обоих полушарий[6]. Исключение составляют юго-восточные части Тихого океана и южная Атлантика.

Тропические циклоны имеют разные названия, в зависимости от района, в котором образовался ТЦ: в тропической зоне Тихого океана – тайфуны, в Атлантике – ураганы, в Австралии – вили-вилли.

В зависимости от скорости ветра, максимально зафиксированной в ТЦ, их подразделяют на три типа:

- тропические депрессии, в которых скорость ветра менее 17 м/с
- тропические штормы, со скоростью ветра 17 – 33 м/с
- ураган, скорость ветра в котором превышает 33 м/с

Эта классификация, как указано в работе [5], весьма условна. Некоторые ТЦ могут пройти все вышеперечисленные стадии.

#### 1.3.1. Районы возникновения ТЦ.

В работе [7] выделяются шесть основных зон возникновения ТЦ, представленные на рисунке 4:

- 1). Северная часть тропической зоны Атлантического океана с июня по ноябрь.
- 2). Северная часть тропической зоны Тихого океана к западу от Центральной Америки с июня по октябрь.
- 3). Запад северной части тропической зоны Тихого океана с мая по ноябрь. За исключением редких ТЦ, которые возникают в течении всего года.
- 4). Бенгальский залив и Аравийское море с мая по июнь и с октября по ноябрь.
- 5). Южная часть тропической зоны Тихого океана, западнее  $140^{\circ}$  з. д. с декабря по апрель.
- 6). Южная часть Индийского океана с ноября по май.

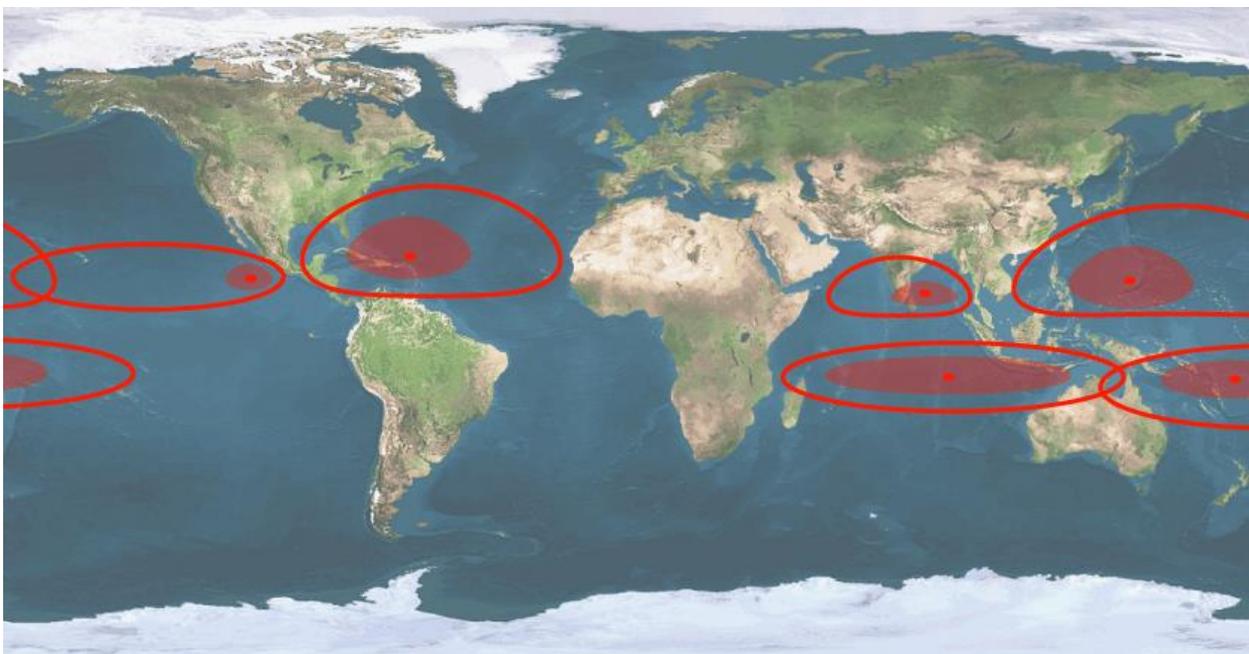


Рисунок 4 – Районы зарождения тропических циклонов[по 7]

### 1.3.2. Структура ТЦ.

Тропические циклоны – это относительно небольшие (по сравнению с внетропическими вихрями) круглые штормы, диаметром около 320 километров, с ветрами, закручивающимися вокруг центральной области низкого атмосферного давления. За счет силы Кориолиса происходит отклонение ветра от направления барического градиента. В Северном полушарии движение ветра происходит против движения часовой стрелки, а в Южном – по часовой стрелке.

Структуру ТЦ можно разделить на три области концентрической формы – глаз, стена глаза и внешняя зона. Это видно на рисунке 5, на котором представлена схема ТЦ.

Глаз ТЦ – центральная часть циклона, диаметром 30-60 км у средних и крупных ТЦ. В разрушительных тайфунах Тихого океана он может составлять 60 – 70 км [7]. Когда Глаз хорошо выражен, на его границе осадки прекращаются, небо проясняется, ветер ослабевает. Глаз тропического циклона имеет очень низкое атмосферное давление. Рекордно низкое атмосферное давление, которое было зафиксировано, составило 870 гПа, во время тайфуна «Тип» в 1979 году [11].

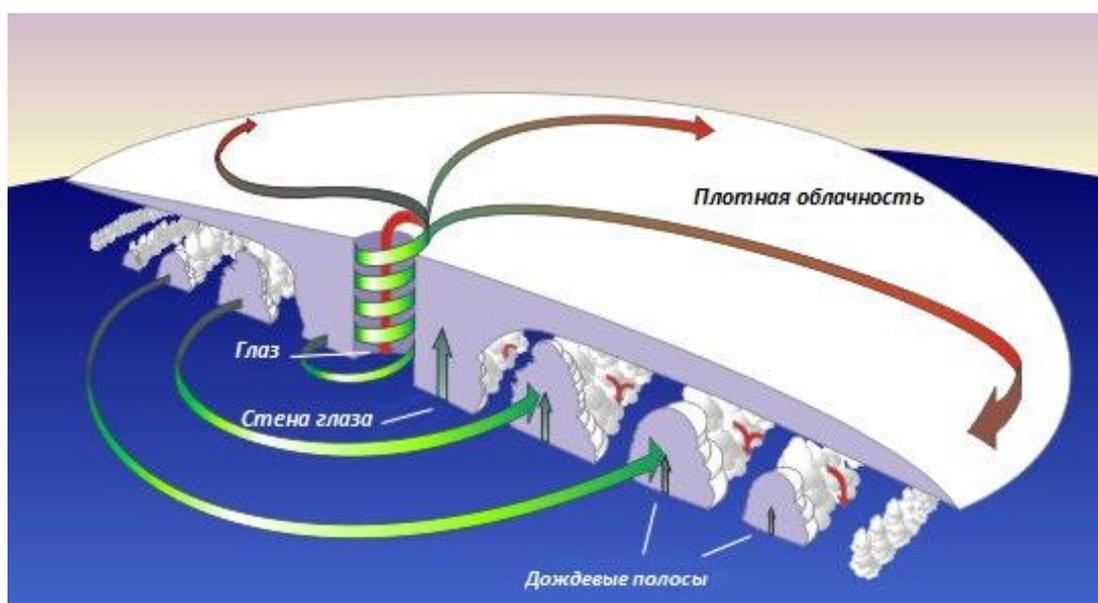


Рисунок 5 – Схема Тропического циклона [13].

Далее идет Стена глаза, - это кольцо плотных грозовых кучевых облаков, окружающих Глаз. Она является самой опасной и разрушительной частью тропического циклона. В этой зоне самые сильные ветры, самые обильные осадки, происходит подъем глубоких конвективных облаков до высоты 15 километров от поверхности Земли[10].

Как видно на рисунке 5, внешняя часть циклона состоит из дождевых полос, которые медленно движутся к центру и сливаются со Стеной глаза. Внутри дождевых полос воздух поднимается вверх, а в пространстве между ними – опускается[10].

### 1.3.3. Эволюция ТЦ.

Главный фактор возникновения тропического циклона – наличие энергии испарения, которая освобождается при конденсации водяных паров. Испарение океанской воды протекает под действием солнечной радиации. По метеорологическому определению ТЦ это тип конвекционной системы, развивающийся, когда есть мощный источник тепла и влаги. Для жизни ТЦ необходимо, чтобы он находился над теплой океанской поверхностью, которая дает ему влагу.

В пособии [7] выделяется четыре стадии развития тропических циклонов.

#### 1). Стадия формирования.

Температура поверхности океана, необходимая для формирования ТЦ, должна быть не менее 26,5 °С. Это минимальная температура, которая способна вызвать нестабильность в атмосфере и поддерживать существование грозовой системы. В этой стадии давление в центре циклона на уровне моря еще не опускается ниже 1000 мбар. Циклон перемещается с востока на запад.

2). Стадия молодого циклона, началом которой считается момент, когда давление в центре падает ниже 1000 мбар. Также хотя бы в одном месте

в пределах циклона ветер достигает ураганной силы. Возможны два типа развития – быстрое и медленное. При первом типе циклон начинает быстро заполняться, и затем длительное время существует в виде слабой депрессии. При втором типе давление в центре быстро падает. Вокруг центра образуется плотное кольцо и образуется система, состоящая из сходящихся у центра узких спиральных полос.

3). Стадия зрелости, начало которой характеризуется прекращением падения давления. Зона ураганных ветров распространяется вширь. К концу этой стадии площадь ураганных ветров может иметь радиус 300 – 350 километров. Продолжительность стадии составляет несколько дней, реже – около недели.

4). Стадия затухания, в которой происходит начало заполнения циклона. В большинстве случаев она начинается, когда ТЦ покидает тропические широты и попадает в зону западных ветров. Происходит заполнение циклона, и он затухает.

#### 1.3.4. Ущерб от тропических циклонов.

При выходе ТЦ на материк они обычно быстро затухают, однако успевают произвести значительные разрушения. Ущерб от воздействия ТЦ на территорию США оценивается в 100 миллионов долларов ежегодно, а в годы наибольшей активности превышает несколько миллиардов долларов [5]. Один из самых сильных по числу жертв, считается циклон Бхола 1970 года, который прошел по дельте Ганга. Под штормовой волной погибло более 300 тыс. человек. Этот ТЦ считается самой страшной природной катастрофой 20го века.

По экономическим последствиям рекордсменами являются ураган Катрина 2005 года и ураган Харви 2017 года. Убытки, в результате разрушения имущества, составили около 125 миллиардов долларов от каждого. На третьем месте ураган Иэн с ущербом 113 миллиардов долларов.

### 1.3.5. Влияние тропических циклонов на океан.

Воздействие тайфунов на открытый океан, где под их влиянием происходят весьма значительные изменения динамических и термодинамических процессов, очень существенно.

Помимо очевидных динамических изменений в виде больших волн, нагонных явлений на берег, течений, особый интерес представляю вертикальные перемещения водных масс. В работе [15] Асаро в 2011 году пришел к выводу, что ТЦ смешивают более глубокие воды с поверхностными слоями за счет течений, поверхностных волн и волн внутри океана. Теплый океанская вода, которая питает тайфуны – это всего лишь тонкий слой поверх глубоко, холодного океана. Ветры и волны тайфуна перемешивают эти слои, выталкивая холодную воду на поверхность. После прохождения шторма образуется холодный след.

Программа «Влияние тайфунов на океан в Тихом океане» (ИТОР) провела подробные измерения трех различных тайфунов и их взаимодействия с океаном в западной части Тихого океана. ИТОР координировала метеорологические и океанические наблюдения с самолетов и спутников с развертыванием автономных океанографических приборов с самолетов и с кораблей. Эти платформы и приборы измеряли характеристики тайфунов, характеристики океана и восстановление океана от последствий штормов, уделяя особое внимание охлаждению океана и возникновению холодного следа. Первоначальные результаты показали, как различные ТЦ создают очень разные следы, сила и свойства которых в наибольшей степени зависят от скорости шторма. Теплый слой образовался над холодными следами и покрыл их в течение нескольких дней, но остаточный холодный подповерхностный слой сохранялся в течение 10–30 дней.

Если проследить история, то, одним из первых на образование пятен холодной воды указал Фишер[16].Он обнаружил такие следы, оставленные

несколькими ураганами в Мексиканском заливе. Особенно хорошо был виден след, оставленный ураганами Кэрол и Флора.

Стивенсон и Армстронг[17], измерявшие температуру воды в части Мексиканского залива после прохождения урагана Карла, обнаружили опускания температуры на 2,5 °С.

В книге [6] приведены исследования апвеллинга после прохождения тайфунов. Из них можно сделать вывод, что изменения температуры поверхности, после прохождения ТЦ равнялись от 1,9 °С до 4 °С. В данной работе исследован этот эффект на примере четырех ТЦ.

## 2. Исходные данные и методы исследования.

Для анализа выбраны тропических циклона (ТЦ), которые образовались на западе северной части тропической зоны Тихого океана. На рисунке 6 представлены траектории исследуемых тайфунов – Вутип(19.02.2019 – 01.03.2019), Хагибис(05.10.2019 – 13.10.2019) и Нанмадол(11.09.2022 – 19.09.2022).

Траектории ТЦ были получены с сайта IBTrACS. Проект International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS) [18] содержит глобальные данные о траекториях тропических циклонов, собранные агентствами в каждом океаническом бассейне. Данные были собраны и обработаны группой IBTrACS в Национальных центрах экологической информации NOAA (NCEI) в Эшвилле, Северная Каролина.

Далее, вдоль траектории каждого конкретного ТЦ от зарождения до разрушения с разной дискретностью по времени рассматривались характеристики ТЦ:

- атмосферное давление в центре,
- максимальная скорость ветра,
- скорость перемещения,

а также океанологические характеристики:

- ТПО и температура воды до глубины 100 м,
- высота волн,
- компоненты теплового баланса на границе океан-атмосфера,
- концентрация хлорофилла.

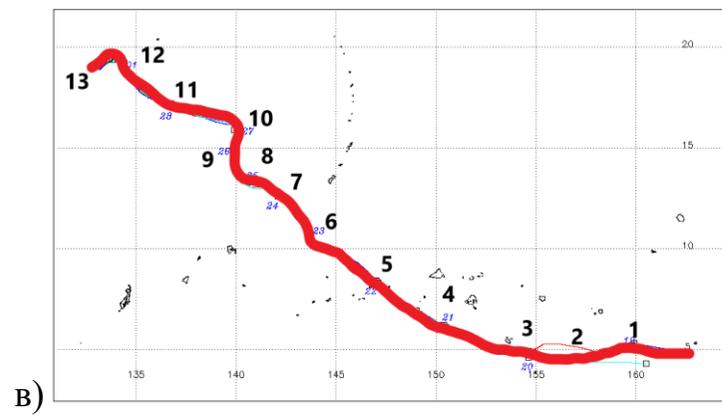
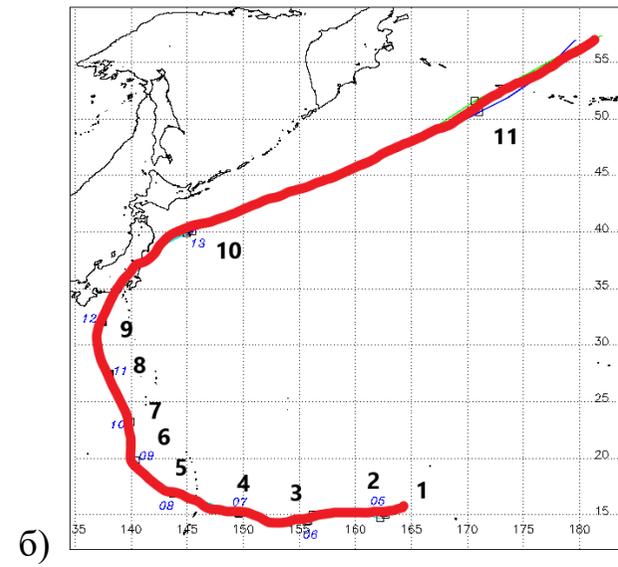
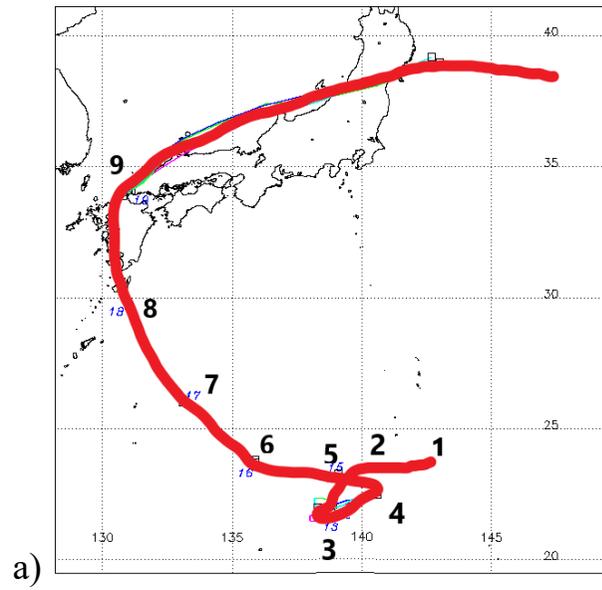


Рисунок 6 – Траектории исследуемых ТЦ,  
 а) – Нанмадол, б) – Хагибис, в) – Вутип.

Атмосферное давление в центре и максимальная скорость ветра циклона были получены визуально из ГИС Ventusky[19]. Ventusky – это приложение, созданное одноименной метеорологической компанией, которая занимается прогнозированием погоды и визуализацией метеорологических данных. Приложение Ventusky позволяет проиллюстрировать взаимозависимость всей системы, отображая на карте развитие давления, ветра, облачности, осадков и температуры по разным моделям атмосферного реанализа. В данной работе используются данные глобальной модели атмосферы ICON (GME до 2015 г.). ICON — это совместный проект Немецкой метеорологической службы (DWD) и Института метеорологии Макса Планка (MPI-M), нацеленный на единую систему моделирования для глобального численного прогноза погоды (NWP) и моделирования климата[23].

Данные температуры поверхности океана и температуры воды до глубины 100 метров были взяты из базы данных HYCOM. HYCOM – это проект, который включает работу многих институтов, спонсируемых Национальной программой океанического партнерства (NOPP). Результат работы – это разработка и оценка обобщенной координатной модели океана с ассимиляцией данных (называемой HYbrid Coordinate Ocean Model или HYCOM). Температура воды бралась из модели HYCOM gofs3.1. Модель использует 24-часовой прогноз в трехмерной вариационной схеме и усваивает доступные спутниковые наблюдения альтиметра, спутниковую и местную температуру поверхности моря, а также вертикальные профили температуры и солености.

Данные о температуре воздуха брались из модели NCEP/NCAR Reanalysis 1. Модель NCEP/NCAR Reanalysis 1 использует современную систему анализа/прогноза для выполнения ассимиляции данных с использованием прошлых данных с 1948 года по настоящее время. Модель выдает данные за каждые 6 часов.

Для анализа использовались данные в формате .txt и NetCDF4, далее обрабатывались в программе GoldenSoftwareSurfer 25 [22].

Данные о высоте волн были взяты в интернет-приложении earth.nullschool.net [24]. Это ресурс визуализации глобальных погодных условий, спрогнозированных с помощью суперкомпьютеров, с обновлением каждые три часа. Для анализа были взяты данные модели WAVEWATCH III. WAVEWATCH III — это волновая модель третьего поколения, разработанная в NOAA/NCEP. Это следующее поколение модели WAVEWATCH, разработанной в Делфтском технологическом университете и WAVEWATCH II, разработанной в NASA. WAVEWATCH III, однако, отличается от своих предшественников во многих важных моментах, таких как управляющие уравнения, структура модели, численные методы и физические параметризации. Кроме того, с появлением версии модели 3.14 WAVEWATCH III превращается из волновой модели в среду волнового моделирования, которая позволяет легко разрабатывать дополнительные физические и численные подходы к волновому моделированию [25].

Данные о восходящем потоке длинноволнового излучения, явном потоке тепла и скрытом потоке тепла были получены из модели NCEP/DOE Reanalysis II. Модель NCEP/DOE Reanalysis II [20] - это улучшенная версия модели NCEP Reanalysis I. Проект NCEP-DOE Reanalysis 2 использует современную систему анализа/прогноза для выполнения ассимиляции данных с использованием прошлых данных с 1979 года по настоящее время [20].

Для анализа процесса апвеллинга были привлечены карты концентрации хлорофилла, которые были получены в системе Giovanni. Система Giovanni (The Geospatial Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure) – это веб-приложение, разработанное NASA для упрощения доступа визуализации и анализа данных дистанционного зондирования Земли, полученных со спутников. Оно предоставляет пользователям возможность работать с различными наборами данных без необходимости загрузки и хранения больших объемов информации на локальных устройствах. [21].

Для вычисления скорости перемещения ТЦ была использована формула

$$U = \frac{S}{t},$$

Где  $S$  – путь пройденный тайфуном за 6 часов,  $t$ – соответственно время, равное 6 часам, за которое этот путь пройден.

В связи с возможностью моделей данные атмосферного давления, температуре воздуха, максимальной скорости ветра, скорости перемещения и пройденного расстояния представлены с дискретностью каждые 6 часов.

Данные ТПО, температуры воды и высоте волн с дискретностью раз в сутки.

Все характеристики, кроме ТПО и температуры воды, брались за период жизни тайфуна. ТПО и температура воды брались за период жизни тайфуна плюс 7-10 дней после, чтобы проследить до какого времени сохраняется процесс апвеллинга.

### 3. Основные характеристики отдельных тайфунов

#### 3.1 Тайфун «Нанмадол»

Тайфун «Нанмадол», на Филиппинах получивший имя «Джози», был мощным тропическим циклоном, обрушившимся на Японию в 2022 году. Большой и мощный ТЦ получил высшую классификацию Метеорологического агентства как «Супер тайфун».

По данным метеорологического агентства, по состоянию на полдень 10 сентября 2022 года, Нанмадол находился примерно в 170 км к востоку-северо-востоку от острова Минами-Дайто и двигался на северо-запад со скоростью 20 км/ч. К вечеру 10 сентября шторм приблизился к островам Амами, а затем к Кюсю, оставаясь в этом районе до 11 сентября. Далее повернул на северо-восток и обрушился на острова Японии Хонсю 18 сентября 2022 года (Рисунок 7) [26].

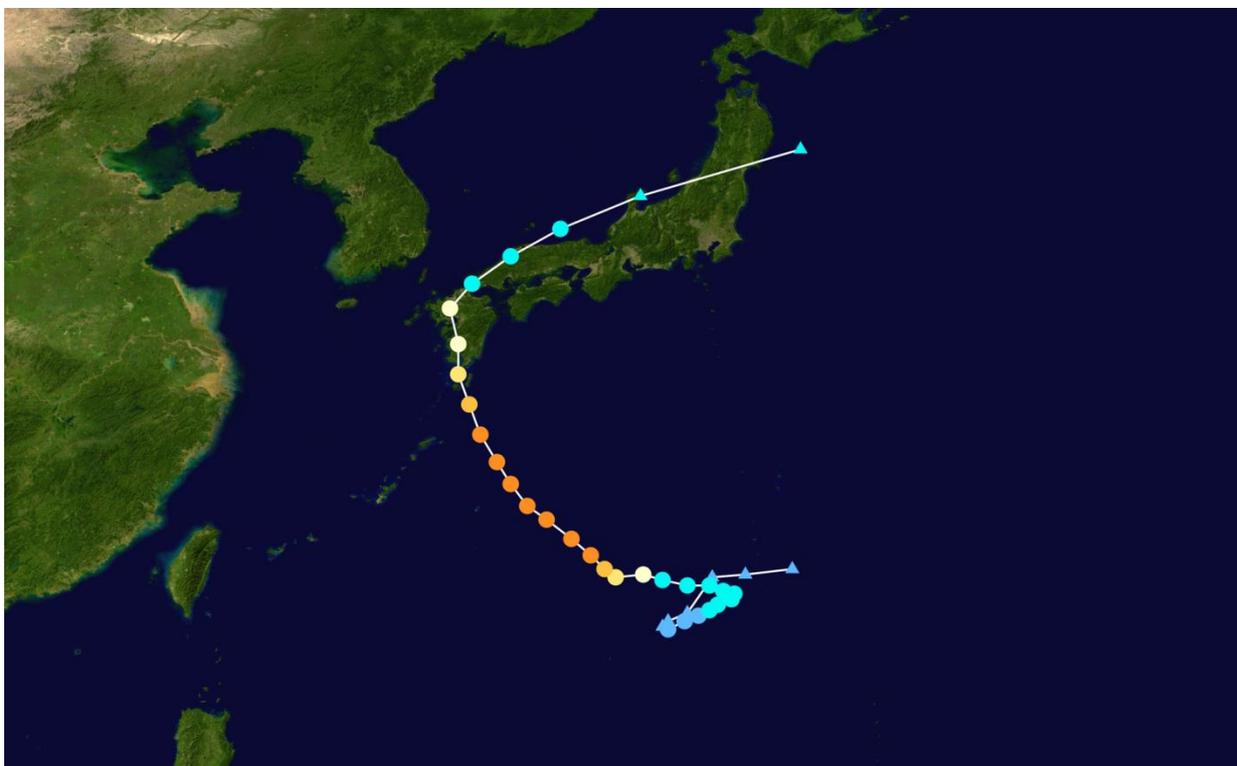


Рисунок 7– Траектория ТЦ Нанмадол.

На рисунке 8 представлена ТПО на момент начала ТЦ 11 сентября 2022 года и траектория движения тайфуна. Цифрами обозначены точки, в которых в дальнейшем выбирались характеристики для исследования (Таблица 1).

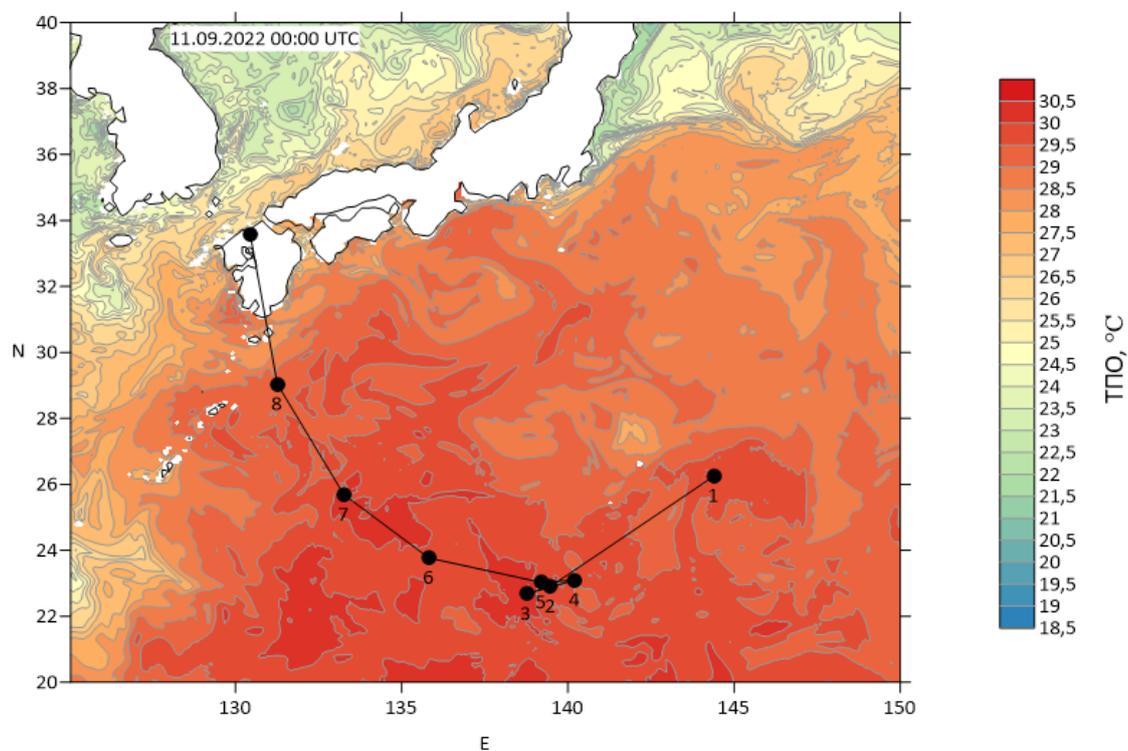


Рисунок 8 – ТПО в момент начала ТЦ 11 сентября 2022 года с траекторией движения тайфуна. Цифрами обозначены точки, в которых выбирались характеристики для исследования

Таблица 1 – Точки нахождения ТЦ Нанмадол и их координаты.

Точка нахождения	Дата	Широта, сев	Долгота, вост
1	11.09.2022	26,25	144,39
2	12.09.2022	22,91	139,48
3	13.09.2022	22,68	138,75
4	14.09.2022	23,1	140,21
5	15.09.2022	23,03	139,2
6	16.09.2022	23,77	135,82
7	17.09.2022	25,69	133,26
8	18.09.2022	29,04	131,26
9	19.09.2022	33,59	130,44

### 3.1.1. Основные характеристики ТЦНанмадол.

В Таблице 2 представлены основные характеристики ТЦ Нанмадол с начала зарождения 11 сентября 2022 г. до разрушения 19 сентября 2022 г. через каждые 6 часов.

В период прохождения циклона «Нанмадол» можно наблюдать, что ТПО в центре ТЦ всегда выше температуры воздуха (Рисунок 9), максимальная ТПО равняется 29,9 °С, она была зафиксирована 12 сентября 2022 года, а максимальная температура воздуха – 28,8 °С и зафиксирована 13 сентября. Оба максимума были зарегистрированы в начале развития циклона, что говорит о том, что циклоны образуются и набирают свою силу при высокой ТПО. Минимумы зафиксированы на поздней стадии, ТПО – 25,6 °С, температура воздуха – 24,6 °С. Также небольшое снижение ТПО и температуры воздуха наблюдается в стадии СуперТайфуна, ТПО до 28,9 °С, температура воздуха до 27,3 °С.

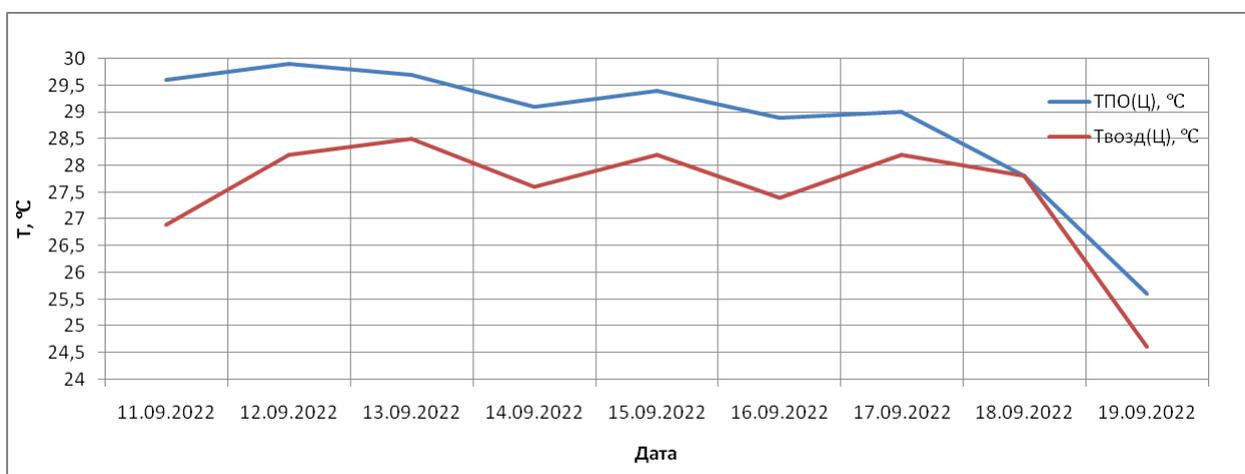


Рисунок 9 – Изменение ТПО и температуры воздуха в центре ТЦНанмадол.

Таблица 2. Известные и рассчитанные характеристики циклона «Нанмадол».

Точка нахождения	Дата	Время	Тип ТЦ	Широта, сев	Долгота, вост	Атм. Давление в центре, гПа	ТПО в центре, °С	Твозд в центре, °С	Максимум скорости ветра, км/ч	Максимум высоты волн, м	Пройденное расстояние, км	Скорость перемещения, км/ч
1	11.09.2022	0:00	ТД	26,25	144,39	1003	29,6	26,9	40	1,8		
		6:00		23,51	143,62	1003		27,3	38		317	52,8
		12:00		23,54	142,53	1003		27,9	42		110	18,3
		18:00		22,49	139,75	1000		28,1	43		308	51,3
2	12.09.2022	0:00	ТД	22,91	139,48	1000	29,9	28,2	41	2,4	54,2	9,0
		6:00		22,66	138,9	1000		27,8	45		65,4	10,9
		12:00		22,57	138,19	1000		27,7	47		73,6	12,3
		18:00		22,16	137,97	1000		28,4	45		49,4	8,2
3	13.09.2022	0:00	ТД	22,68	138,75	999	29,7	28,5	45	3,1	98,8	16,5
		6:00		22,02	138,71	997		28,8	45		73,8	12,3
		12:00		22,57	139,42	996		28,2	55		96,6	16,1
		18:00		22,7	140,21	999		27,3	65		82,8	13,8
4	14.09.2022	0:00	ТШ	23,1	140,21	996	29,1	27,6	70	4,2	44,9	7,5
		6:00		22,92	140,29	993		27,7	85		20,3	3,4
		12:00		23,25	140,68	991		27,9	85		54,4	9,1
		18:00		23,26	139,89	989		28	95		80,7	13,5
5	15.09.2022	0:00	ТШ	23,03	139,2	980	29,4	28,2	100	6,5	74,5	12,4
		6:00		23,27	138,59	975		27,8	120		68,7	11,5
		12:00		23,45	137,59	970		27,6	130		105	17,5
		18:00		23,61	136,75	962		27,6	155		88,2	14,7

Продолжение Таблицы 2.

6	16.09.2022	0:00	СТ	23,77	135,82	950	28,9	27,4	200	9,4	96,9	16,2
		6:00		23,95	135,63	935		27,3	215		28,3	4,7
		12:00	Супе рТ	24,48	135,12	920	29	28	235	11,2	79,9	13,3
		18:00		25,09	134,16	917		28,3	250		120	20,0
7	17.09.2022	0:00	25,69	133,26	917	28,2		235	113		18,8	
		6:00	26,48	132,68	919	28,5		235	106		17,7	
		12:00	27,13	132,24	923	28,2	230	85,1	14,2			
		18:00	СТ	27,98	131,43	930	27,8	28,1	215	12,2	124	20,7
8	18.09.2022	0:00		29,04	131,26	939		27,8	195		120	20,0
		6:00	30,13	130,63	947	27,1		170	135		22,5	
		12:00	Т	31,33	130,36	958		26,9	150		137	22,8
		18:00		32,53	130,25	965	26,3	130	134	22,3		
9	19.09.2022	0:00	33,59	130,44	975	25,6	24,6	110	8,2	121	20,2	
		6:00	ТШ	34,54	131,48		971	25,4		105	144	24,0
		12:00		36,22	133,41		971	25,3		101	257	42,8
		18:00		36,41	135,03		978	24,8		97	147	24,5

Атмосферное давление в центре ТЦ после начала тайфуна постепенно падало до минимального значения 917 гПа, таким оно было при максимальной скорости ветра 250 км/ч. Эти показатели зафиксированы в середине самой мощной стадии – СуперТайфун в 18:00 16.09.2022 года. После этого давление начало подниматься, а скорость ветра ослабевать (Рисунок 10).

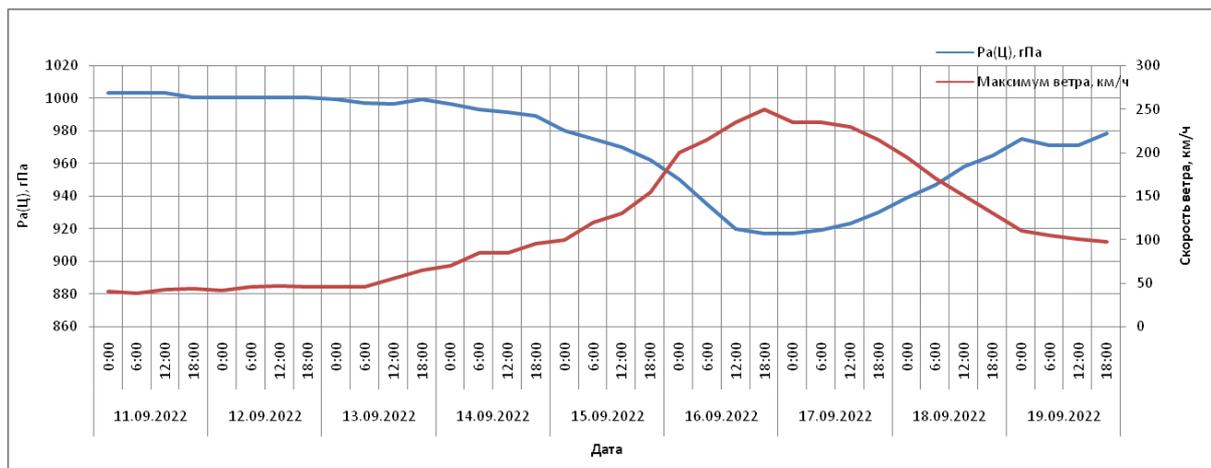


Рисунок 10 – Изменение атмосферного давления и скорости ветров ТЦ Нанмадол.

Максимальная скорость перемещения тайфуна была на начальных стадиях и составила 52,8 км/ч, минимальная скорость перемещения – 3,4 км/ч, также можно наблюдать заметное снижение скорости перемещения перед стадией СуперТайфун, до 4,7 км/ч (Рисунок 11). Средняя скорость перемещения составила 18,2 км/ч. Суммарно циклон прошел 3814,5 км.

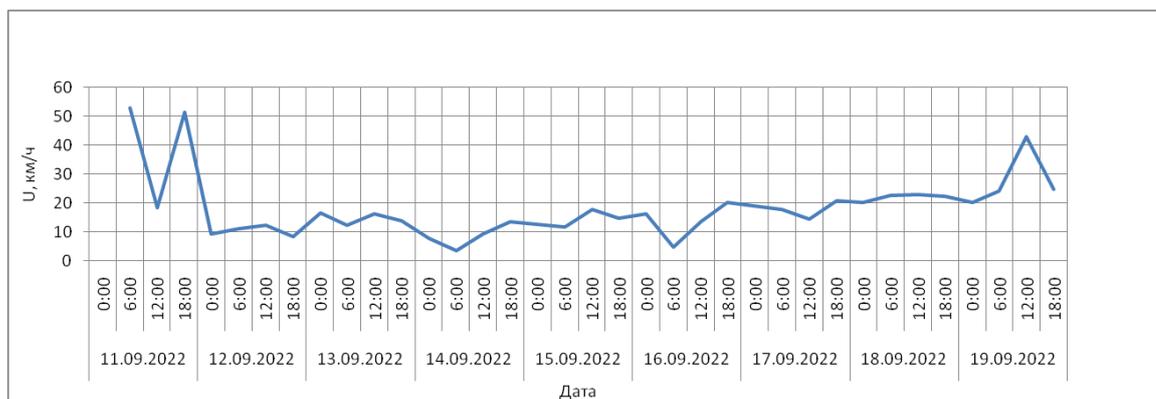


Рисунок 11 – Скорость перемещения ТЦ Нанмадол

Максимальная высота волны наблюдалась 18 сентября 2022 г., при приближении тайфуна к берегам Японии, она составила 12,2 метра (Рисунок 12).

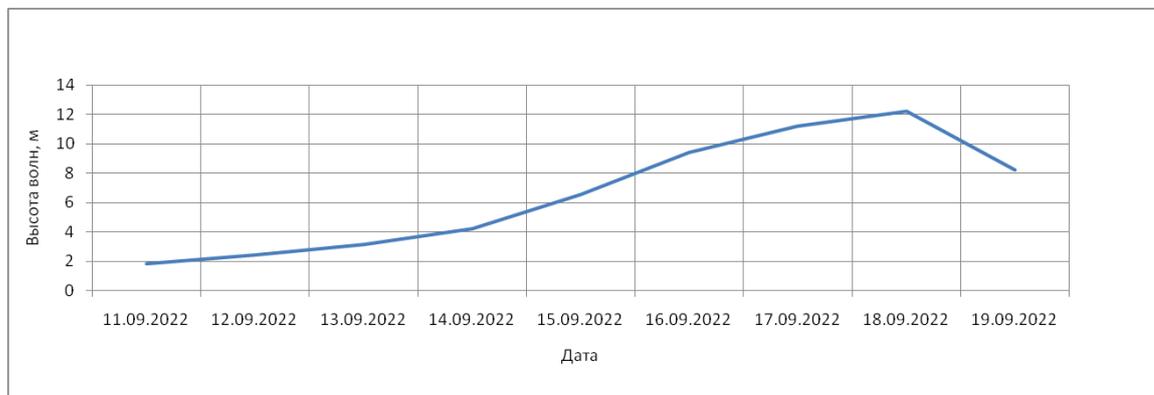


Рисунок 12 – Максимальная высота волн в окрестности ТЦ Нанмадол.

### 3.1.2. Апвеллинг

В данной работе рассматривается гипотеза образования апвеллинга во время и после прохождения тайфуна. По данным о ТПО, а также температуры воды на глубинах до 100 метров были сделаны карты распределения ТПО и разрезы вдоль всей траектории движения ТЦ на 20 суток после начала тайфуна (Приложение А).

На рисунках 13 и 14 показана ТПО в начале образования ТЦ 11 сентября 2022 г (точка 1) и после его разрушения 18 сентября 2022 (точка 8). Можно наблюдать, что до прохождения тайфуна ТПО была относительно равномерно прогрета, а после его прохождения по траектории образовались пятна более холодной воды, что говорит об эффекте апвеллинга. Апвеллинг наблюдается в стадии СуперТайфуна, где скорость ветра была максимальной, также тайфун имел небольшую скорость перемещения.

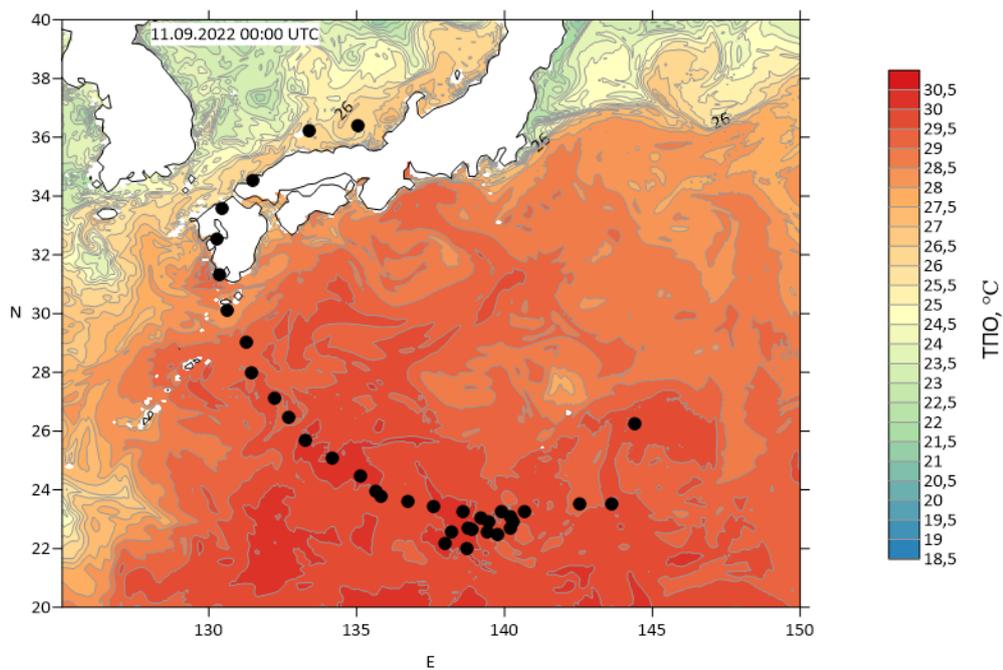


Рисунок 13 – ТПО 11 сентября 2022 года.

точками показана траектория движения ТЦ Нанмадол.

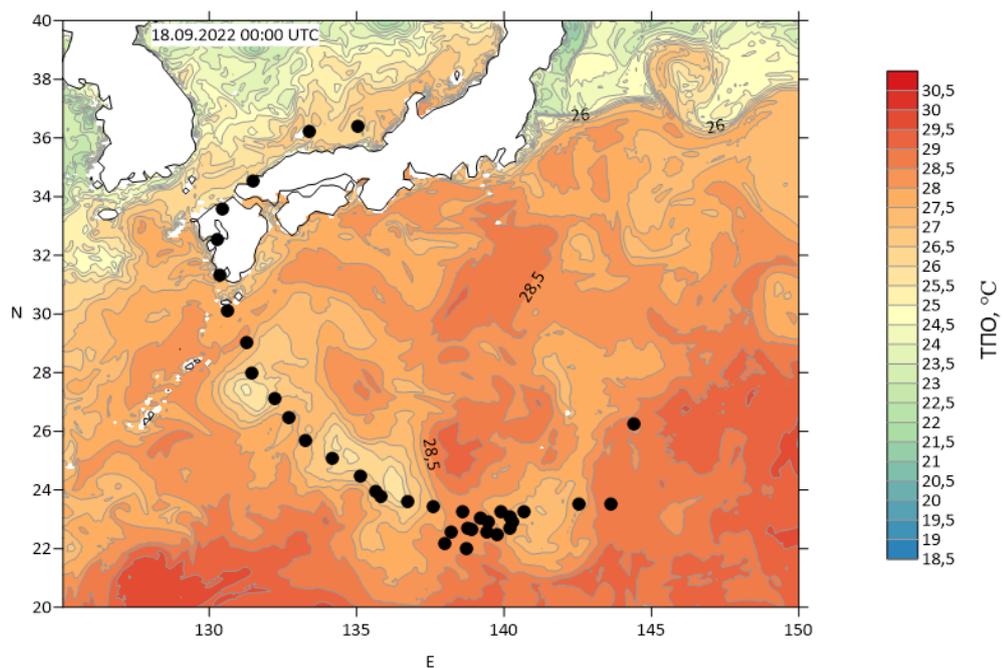
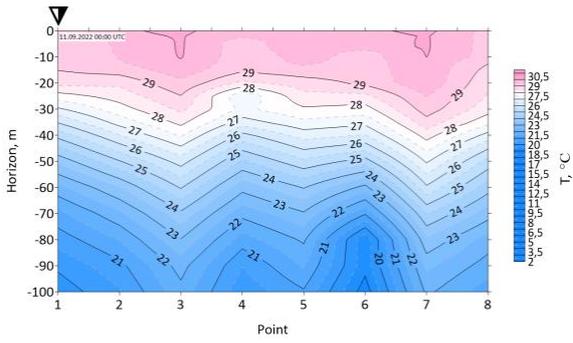


Рисунок 14 – ТПО 18 сентября 2022 года

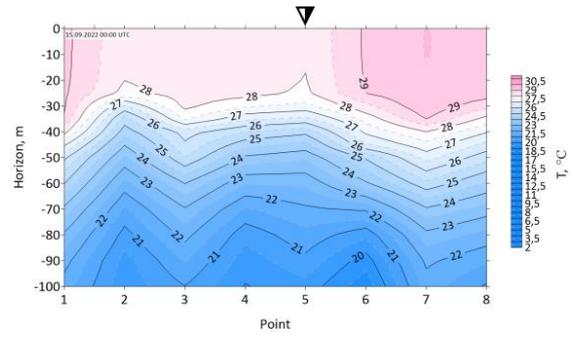
(точками показана траектория движения ТЦ Нанмадол).

Рисунок 15 демонстрирует вертикальное распределение температуры воды на разрезе вдоль траектории движения ТЦ на каждые сутки. Стрелка показывает текущее место нахождения тайфуна.

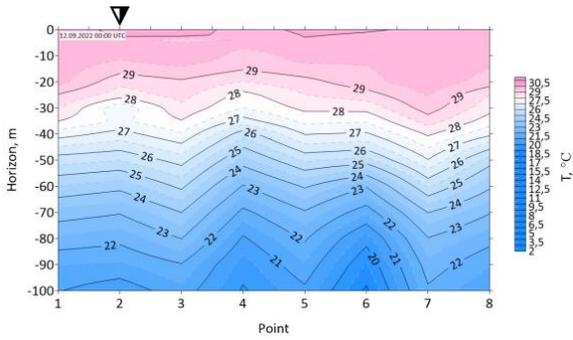
а) 11 сентября 2022 г.



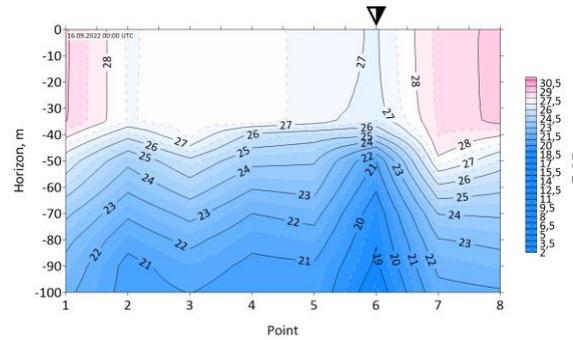
д) 15 сентября 2022 г.



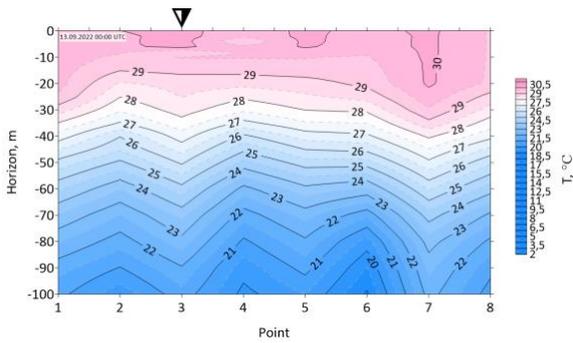
б) 12 сентября 2022 г.



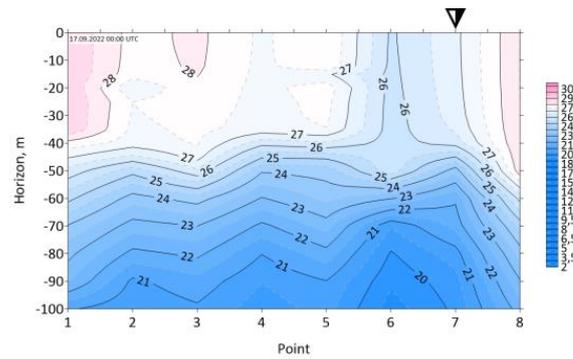
е) 16 сентября 2022 г.



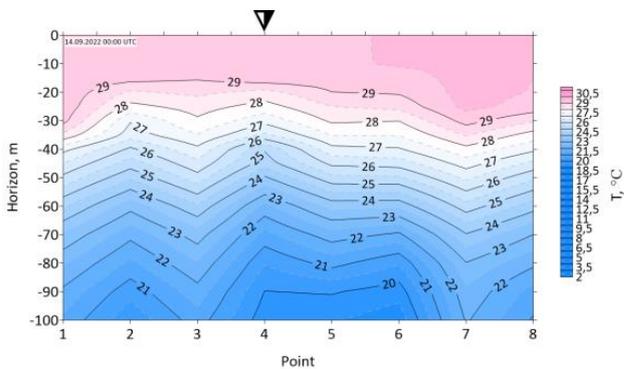
в) 13 сентября 2022 г.



ж) 17 сентября 2022 г.



г) 14 сентября 2022 г.



з) 18 сентября 2022 г.

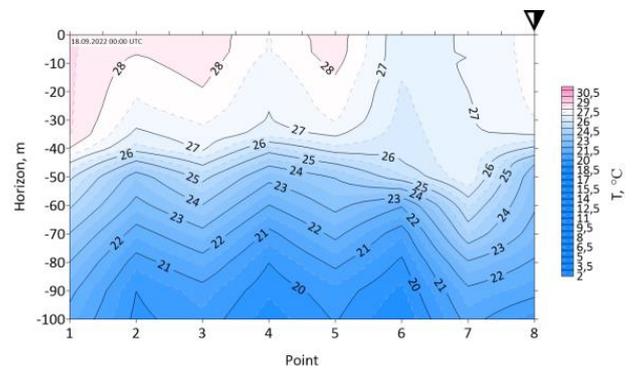


Рисунок 15 – Вертикальное распределение температуры воды на разрезе по траектории ТЦНанмадол.

Стрелка показывает текущее место нахождения тайфуна.

На рисунках 15а-15г видно, что в начале пути ТЦ температура воды у поверхности имеет ровное распределение, не наблюдается никаких отклонений от нормы, температура поверхности 29 – 30 °С.

15 сентября 2022 года, когда ТЦ был в точке 5 (рисунок 15д) видно, что позади тайфуна, после его прохождения, у поверхности отмечаются более холодные воды, что, вероятно обусловлено значительной теплоотдачей из океана в атмосферу.

На рисунке 15е видно, что этот эффект усиливается, и в точке 6 наблюдается даже «воронка» холодной воды, устремленная к поверхности. В этой точке тайфун уже имел стадию СуперТайфун с максимальной скоростью ветра.

По вертикальному распределению температуры воды по траектории видно, что после прохождения тайфуна, 18 сентября 2022 г. в точках 4 и 6 с глубины 30-40 метров произошло поднятие вод температурой 27,5 °С, при начальной температуре 29,5-30 °С. Этот эффект наблюдался до 27 сентября и после этого произошло опускание холодных вод.

Известно, что при апвеллинге всегда наблюдается увеличение концентрации хлорофилла на поверхности, так как воды с глубины – это лучшая среда для жизнедеятельности фитопланктона. При сравнении карт распределения ТПО (рисунки 13 и 14) и карт распределения хлорофилла (рисунки 16 и 17) видно, что в зонах апвеллинга наблюдается увеличение концентрации хлорофилла, причем зона увеличения концентрации совпадает с зоной подъема холодной воды.

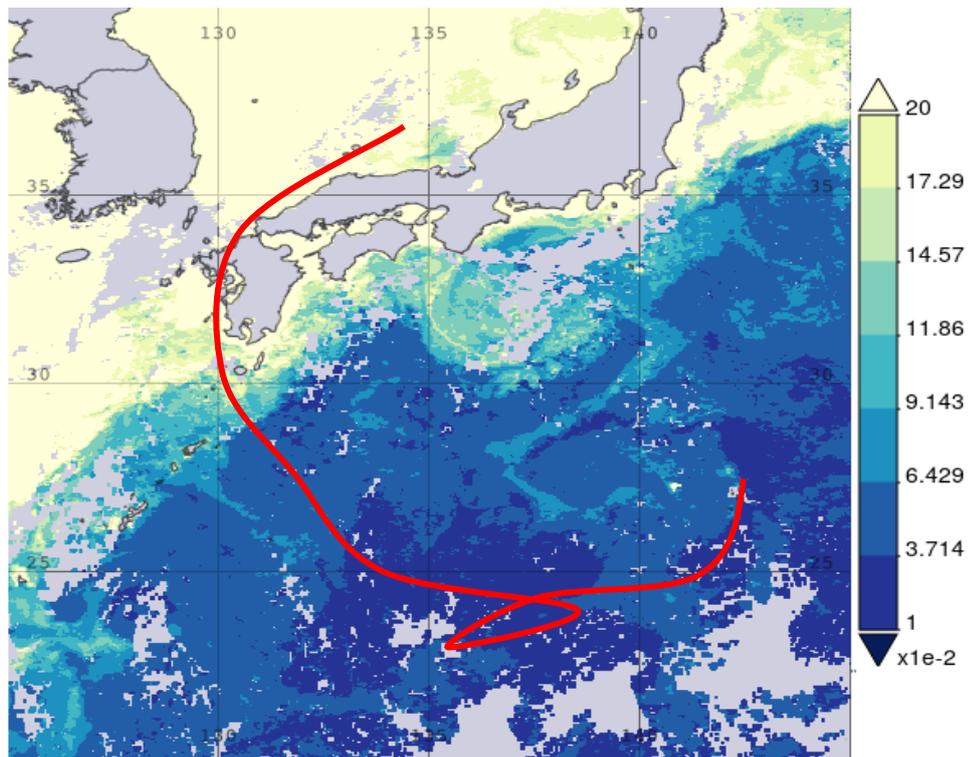


Рисунок 16– Концентрация хлорофилла ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) 11 сентября 2022 года  
(красным показана траектория движения ТЦ Нанмадол)

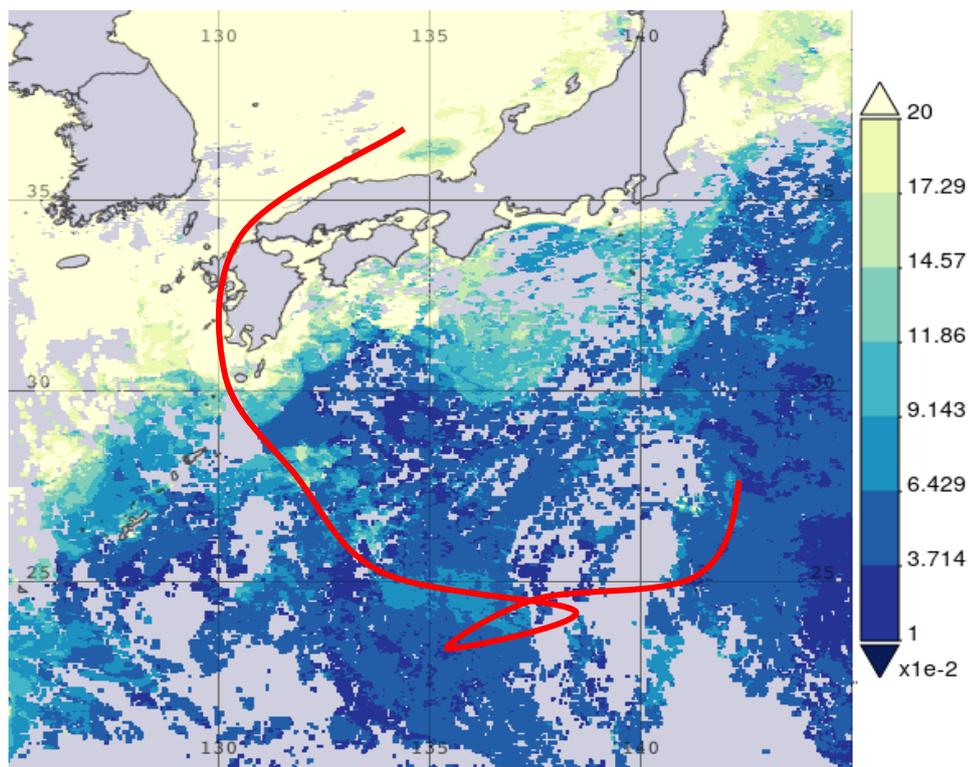
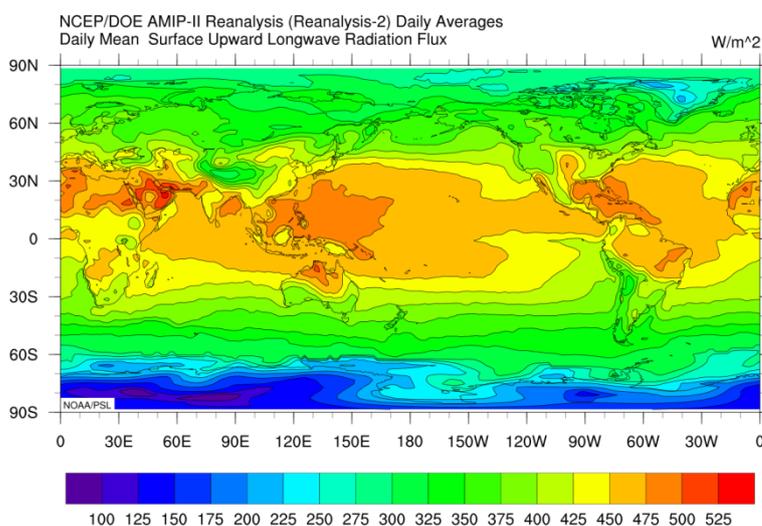


Рисунок 17 – Концентрация хлорофилла ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) 18 сентября 2022 года  
(красным показана траектория движения ТЦ Нанмадол).

### 3.1.3. Тепловой баланс ТЦ Нанмадол.

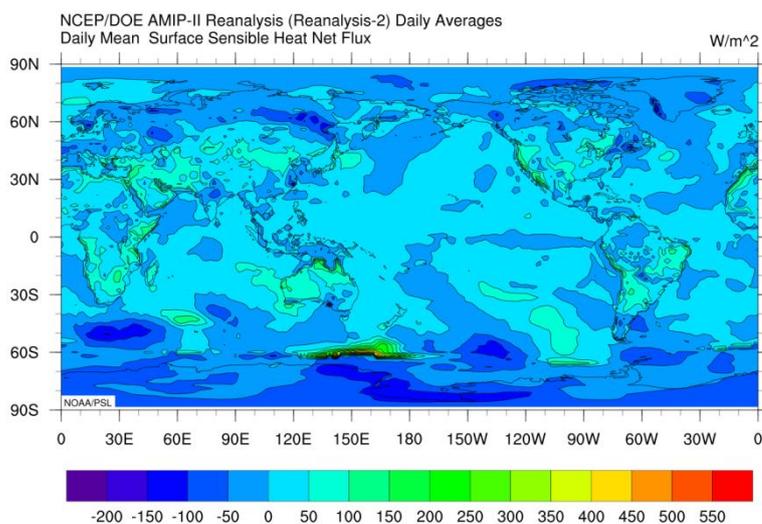
В таблице 3 представлены данные тепловых потоков в центре ТЦ Нанмадол. На рисунке 18 показано распределение тепловых потоков в пик жизни тайфуна. Восходящий длинноволновый поток хоть и имеет большие значения, что видно в таблице 3, определяется тропическим положением траектории и ТЦ в нем не выделяется. Турбулентный поток тепла мал и его практически можно не учитывать при анализе. Определяющим является скрытый поток на периферии ТЦ.

**SEP 14, 2022**



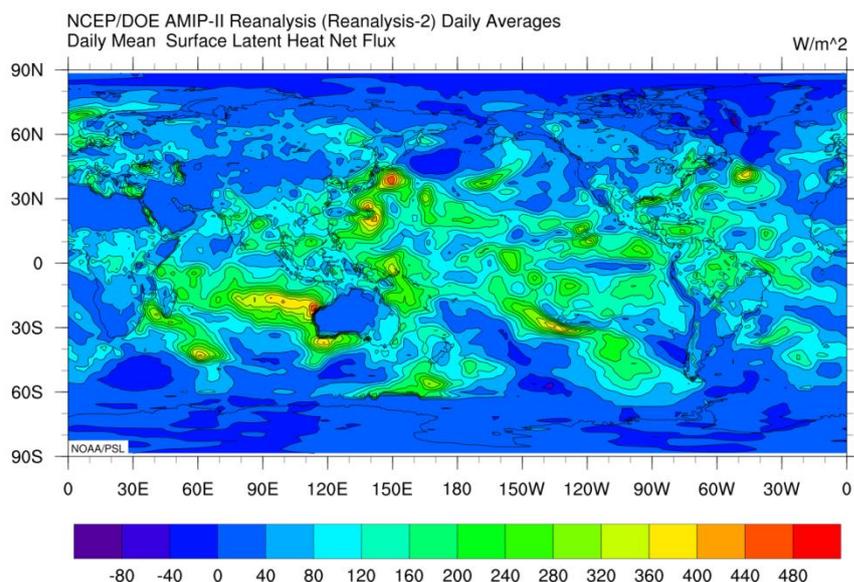
а) Восходящий длинноволновый поток ТЦ Нанмадол.

**SEP 14, 2022**



б) Турбулентный явный поток тепла ТЦ Нанмадол.

SEP 14, 2022



в) Скрытый поток тепла (затраты на испарение) ТЦ Нанмадол.

Рисунок 18 – Карты распределения тепловых потоков.

На рисунке 19 представлены графики изменения тепловых потоков ТЦ Нанмадол. На графике изменения затрат на испарение видно, что они значение постепенно увеличивалось к концу тайфуна, максимальное значение наблюдалось 17 сентября 2022 года, и составило 492,7 Вт/м<sup>2</sup>. Минимальное значение зафиксировано 12 сентября 2022 года и составило 70,3 Вт/м<sup>2</sup>.

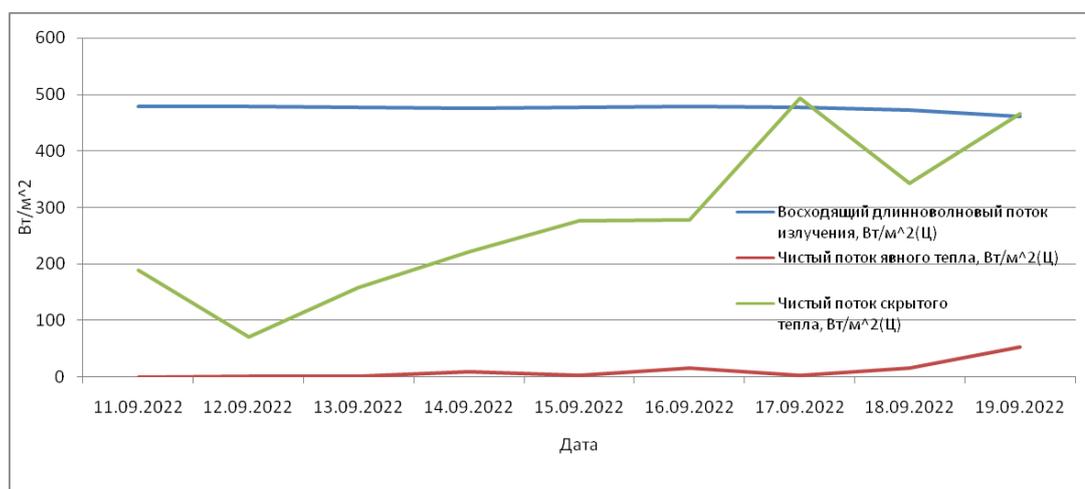


Рисунок 19 – Изменения значение тепловых потоков ТЦ Нанмадол.

На рисунке 20 видно, как распределяется скрытый поток в зоне действия тайфуна. Максимальные значения находятся на периферии ТЦ.

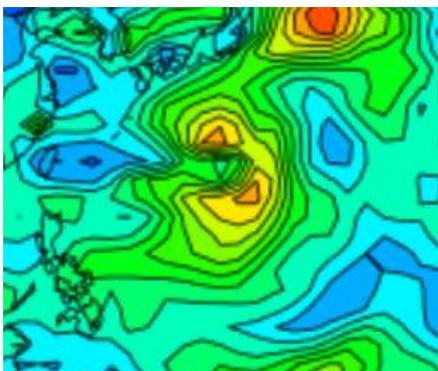


Рисунок 20 – Распределение скрытого чистого потока скрытого тепла ТЦ Нанмадол 14 сентября 2022 года.

Таблица 3 – Компоненты теплового баланса ТЦ Нанмадол.

Точка нахождения	Дата	С.Ш.	В.Д.	Восходящий длинноволновый поток излучения, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)	Чистый поток явного тепла, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)	Чистый поток скрытого тепла, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)
1	11.09.2022	26,25	144,39	479	0,2	187,7
2	12.09.2022	22,91	139,48	478,5	1,8	70,3
3	13.09.2022	22,68	138,75	478	2,4	158,5
4	14.09.2022	23,1	140,21	476,1	9,3	220,9
5	15.09.2022	23,03	139,2	476,6	3,3	276,6
6	16.09.2022	23,77	135,82	478,6	15,6	276,8
7	17.09.2022	25,69	133,26	477,2	3,2	492,7
8	18.09.2022	29,04	131,26	472,2	16,2	342,4
9	19.09.2022	33,59	130,44	460,3	53,3	465,5

### 3.2. Тайфун «Вутип»

Тайфун Вутип, известный на Филиппинах как Бетти – третий тропический циклон, второй тропический шторм и первый тайфун сезона тихоокеанских тайфунов 2019 года[27]. Вутип возник из области низкого давления 16 февраля 2019 года и затем преобразовался в тропическую депрессию 18 февраля. Днем позже депрессия была классифицирована как тропический шторм, получив название Вутип от Японского метеорологического агентства. Далее шторм постепенно усиливался, поворачивая на северо-запад, и 23 февраля 2019 года достиг своей первой пиковой интенсивности. После этого шторм ослабел, но, 25 февраля достиг своего второго пика. После этого Вутип быстро ослабел и рассеялся над Филиппинским морем 2 марта, что видно на рисунке 21[27].

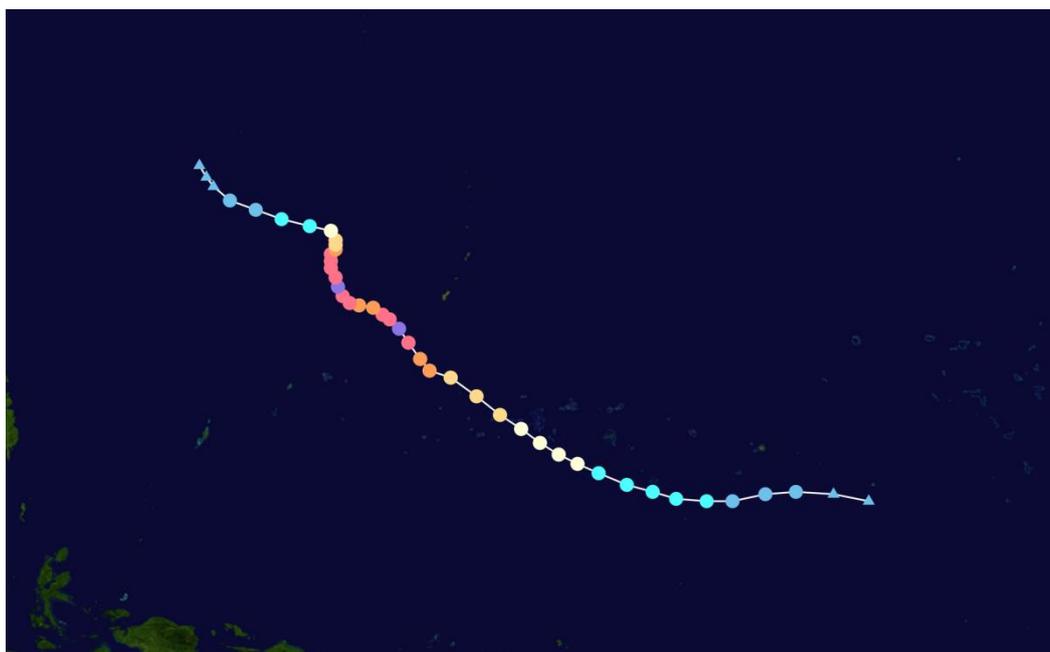


Рисунок 21 – Траектория движения ТЦ Вутип.

На рисунке 22 представлена ТПО на момент начала ТЦ 18 февраля 2019 года, траектория движения ТЦ и точки, в которых находился тайфун. Координаты точек и даты, когда в них находился ТЦ, представлены в таблице 4.

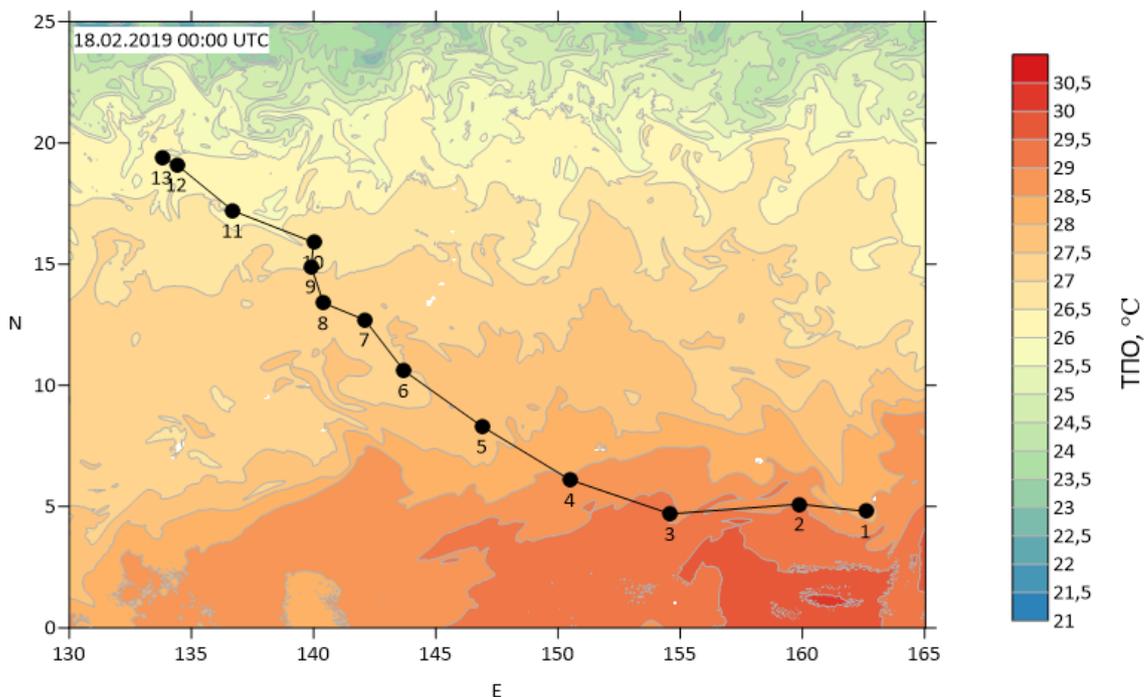


Рисунок 22 – Карта ТПО в момент начала ТЦ 18 февраля 2019 года с траекторией движения тайфуна. Цифрами обозначены точки, в которых выбирались характеристики для исследования.

Таблица 4 – Точки нахождения ТЦ Вутип и их координаты.

Точка нахождения	Дата	Широта, сев.	Долгота, вост.
1	18.02.2019	4,80	162,60
2	19.02.2019	5,10	159,90
3	20.02.2019	4,70	154,60
4	21.02.2019	6,10	150,50
5	22.02.2019	8,30	146,90
6	23.02.2019	10,60	143,70
7	24.02.2019	12,70	142,10
8	25.02.2019	13,40	140,40
9	26.02.2019	14,90	139,90
10	27.02.2019	15,90	140,00
11	28.02.2019	17,20	136,70
12	01.03.2019	19,10	134,40
13	02.03.2019	19,40	133,80

### 3.2.1. Основные характеристики ТЦ Вутип.

Из таблицы 5, в которой представлены основные характеристики ТЦ Вутип с начала зарождения 18 февраля 2019 года до разрушения 02 марта 2019 г., видно, что в момент зарождения ТЦ ТПО была выше температуры

воздуха. Это видно на рисунке 23. Максимум ТПО наблюдается в начале развития ТЦ 19 февраля 2019 года и составляет 28,78 °С. Минимум ТПО 25,12 °С наблюдается перед разрушением тайфуна 1 марта 2019 года. Максимальная температура воздуха наблюдается также в начале зарождения ТЦ, она составляет 26,95 °С. До 25 февраля 2019 г. температура воздуха почти не изменяется и находится в диапазоне от 26 °С до 27 °С, а после второй стадии Супертайфуна начинает опускаться, вместе с ТПО.



Рисунок 23 - Изменение ТПО и температуры воздуха в центре ТЦВутип.

На рисунке 24 представлено изменение атмосферного давления и максимальной скорости ветра. Можно наблюдать, что атмосферное давление и максимальная скорость ветра изменялись симметрично, - в начале тайфуна давление было высоким и составляло 1007 гПа, скорость ветра же наоборот была небольшой и составляла 36 км/ч. По мере усиления ТЦ давление резко падало и, в первый пик тайфуна, где была зафиксирована стадия Супертайфуна составило 905 гПа. Этот показатель, который зафиксирован 23 февраля 2019 года, является минимумом для всей жизни тайфуна. Скорость ветра наоборот усиливалась и с минимальным атмосферным давлением была зафиксирована максимальная скорость ветра – 252 км/ч.

Таблица 5 - Известные и рассчитанные характеристики циклона «Вутип»

Точка нахождения	Дата	Время	Тип ТЦ	Широта, сев	Долгота, вост	Атм. Давление в центре, гПа	ТПО в центре, °С	Твозд в центре, °С	Максимум скорости ветра, км/ч	Максимум высоты волн, м	Пройденное расстояние, км	Скорость перемещения, км/ч	
1	18.02.2019	12:00:00	ТД	4,80	162,60	1007	28,33	26,85	36	4,5			
		18:00:00		4,90	161,20	1007		25,85	36		155,51	25,9	
2	19.02.2019	0:00:00		5,10	159,90	1004	28,78	25,85	45	4,8	145,70	24,3	
		6:00:00		4,80	158,40	1001		26,95	45		169,48	28,2	
		12:00:00		4,60	156,70	1001		25,95	54		189,69	31,6	
3	20.02.2019	18:00:00	ТШ	4,70	155,60	993		26,85	72		122,41	20,4	
		0:00:00		4,70	154,60	995	28,78	26,55	81	6	110,82	18,5	
		6:00:00	4,90	153,80	985		26,44	90		91,39	15,2		
4	21.02.2019	12:00:00	СТШ	5,10	152,60	991		26,54	99		134,77	22,5	
		18:00:00		5,70	151,50	987		26,85	108		138,84	23,1	
		0:00:00	Т	6,10	150,50	984	28,42	26,05	117	6,4	119,21	19,9	
6:00:00	6,60	149,60		979		26,34	135		113,94	19,0			
12:00:00	7,00	148,70		973		26,55	144		108,87	18,1			
18:00:00	7,50	148,00		973		26,45	144		95,14	15,9			
5	22.02.2019	0:00:00	Т	8,30	146,90	970	27,47	26,24	153	8,3	150,30	25,1	
		6:00:00		9,20	146,10	967		26,15	162		133,20	22,2	
		12:00:00		9,90	145,00	962		26,55	171		143,55	23,9	
		18:00:00		10,20	144,10	958		26,44	180		104,03	17,3	
6	23.02.2019	0:00:00		Т	10,60	143,70	953	27,22	26,15	189	9,1	62,38	10,4
		6:00:00			11,40	143,20	943		26,84	207		104,36	17,4
		12:00:00		СуперТ	12,00	142,80	905		26,84	252		79,67	13,3
		18:00:00			12,40	142,40	929		26,15	234		62,19	10,4

Продолжение таблицы 4

7	24.02.2019	0:00:00	СТ	12,70	142,10	939	26,54	26,65	216	11	46,61	7,8
		6:00:00		12,90	141,70	948		26,44	198		48,74	8,1
		12:00:00		13,10	141,20	954		26,55	189		58,56	9,8
		18:00:00		13,10	140,70	944		26,44	207		54,15	9,0
8	25.02.2019	0:00:00	СуперТ	13,40	140,40	935	26,16	26,74	225	10,2	46,55	7,8
		6:00:00		13,80	140,20	918		26,74	252		49,45	8,2
		12:00:00		14,20	140,10	923		26,15	243		45,77	7,6
		18:00:00	14,60	139,90	934		25,34	225		49,42	8,2	
9	26.02.2019	0:00:00	СТ	14,90	139,90	940	26,5	25,85	216	7	33,36	5,6
		6:00:00		15,20	139,90	945		25,94	207		33,36	5,6
		12:00:00		15,40	140,10	955		25,74	189		30,09	5,0
		18:00:00		15,70	140,10	966		24,74	162		33,36	5,6
10	27.02.2019	0:00:00	Т	15,90	140,00	971	26,54	25,45	153	3,5	24,68	4,1
		6:00:00		16,30	139,90	980		25,44	135		45,74	7,6
		12:00:00	ТШ	16,40	139,10	996		25,24	90		86,08	14,3
		18:00:00		16,70	137,80	1003		24,95	63		142,52	23,8
11	28.02.2019	0:00:00		17,20	136,70	1007	25,8	25,54	54	3	129,53	21,6
		6:00:00	ТД	17,60	135,60	1008		25,55	45		124,90	20,8
		12:00:00		18,20	135,00	1011		25,35	36		92,09	15,3
		18:00:00		18,60	134,60	1008		25,25	36		61,31	10,2
12	01.03.2019	0:00:00	ТВ	19,10	134,40	1010	25,12	24,25	36	2,8	59,44	9,9
		6:00:00		19,40	134,20	1010		24,34	36		39,41	6,6
		12:00:00		19,70	134,00	1012		24,55	34,2		39,39	6,6
		18:00:00		19,60	134,00	1010		24,34	34,2		11,12	1,9
13	02.03.2019	0:00:00	ТВ	19,40	133,80	1010	25,68	24,15	36	3,5	30,56	5,1
		6:00:00		18,90	133,20	1008		24,54	34,2		84,04	14,0

На рисунке 24 видна интересная особенность, после начала стадии Супертайфуна атмосферное давление выросло до 954 гПа и затем вновь упало до 918 гПа, а скорость ветра наоборот немного ослабла до 189 км/ч, а затем увеличилась до 252 км/ч. Поэтому наблюдается два пика мощности ТЦ, разделенные стадией Сильного Тайфуна.



Рисунок 24 – Изменение давления и скорости ветра ТЦ Вутип.

На рисунке 25 можно наблюдать, что тайфун перемещался с максимальной скоростью в начале своего существования. Максимальная скорость составила 31,6 км/ч, а минимальная 1,9 км/ч. Также можно заметить, что скорость перемещения сильно снизилась в первую стадию Супертайфуна. Средняя скорость перемещения – 14,3 км/ч, пройденный путь – 4035 км.

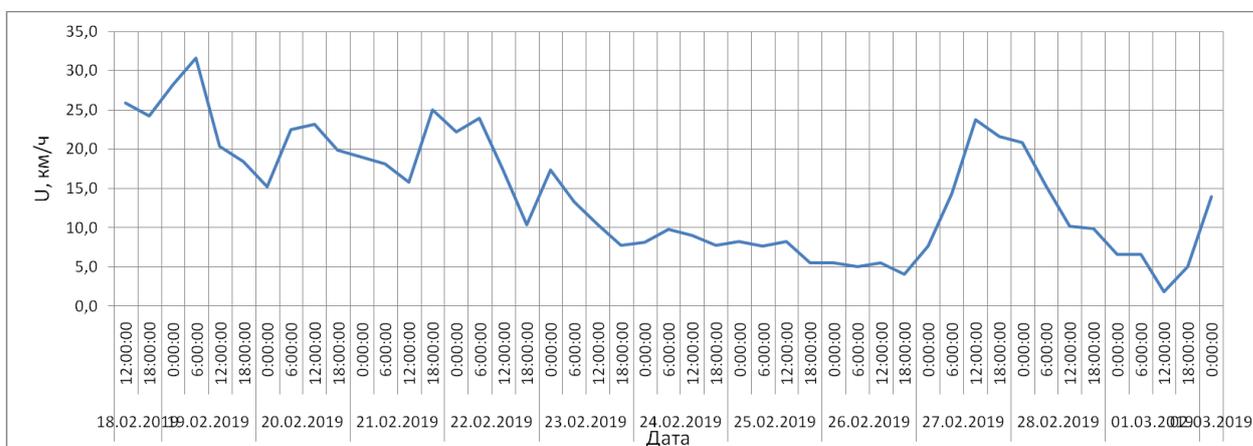


Рисунок 25 – Скорость перемещения ТЦ Вутип

На рисунке 26 видно, что максимальная высота волны наблюдалась 24 февраля 2019 года, после первой стадии Супертайфуна и равняется 11 метрам.

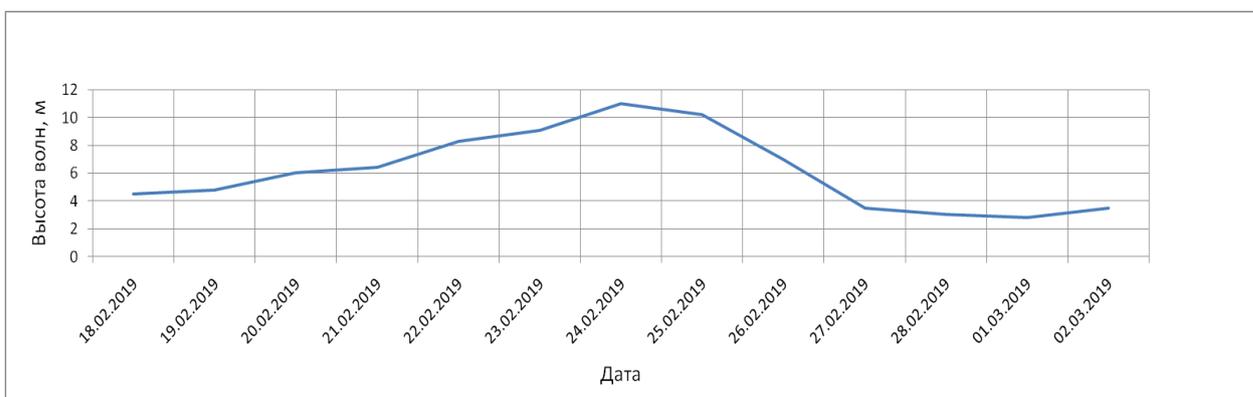


Рисунок 26 – Максимальная высота волн.

### 3.2.2. Апвеллинг

На картах распределения ТПО в начале и в конце ТЦ (рисунки 27 и 28) видно, что после прохождения тайфуна оставил заметный след более холодной воды. Апвеллинг наблюдается в точках, в которых тайфун находился в стадии Супертайфун и имел небольшую скорость перемещения.

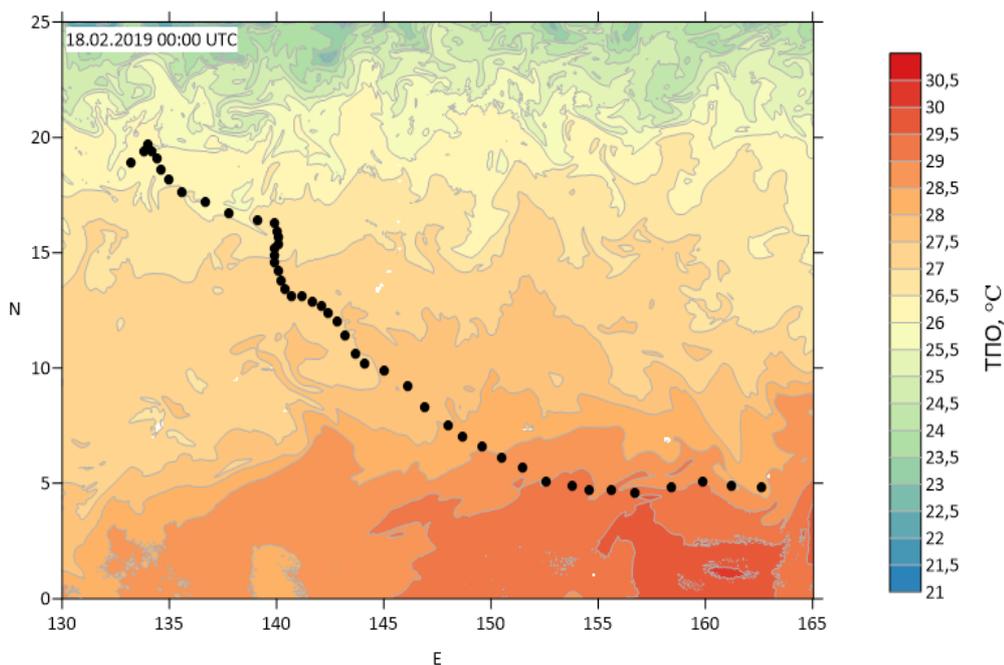


Рисунок 27 – ТПО 18 февраля 2019 года (точками показана траектория движения ТЦ Вutip).

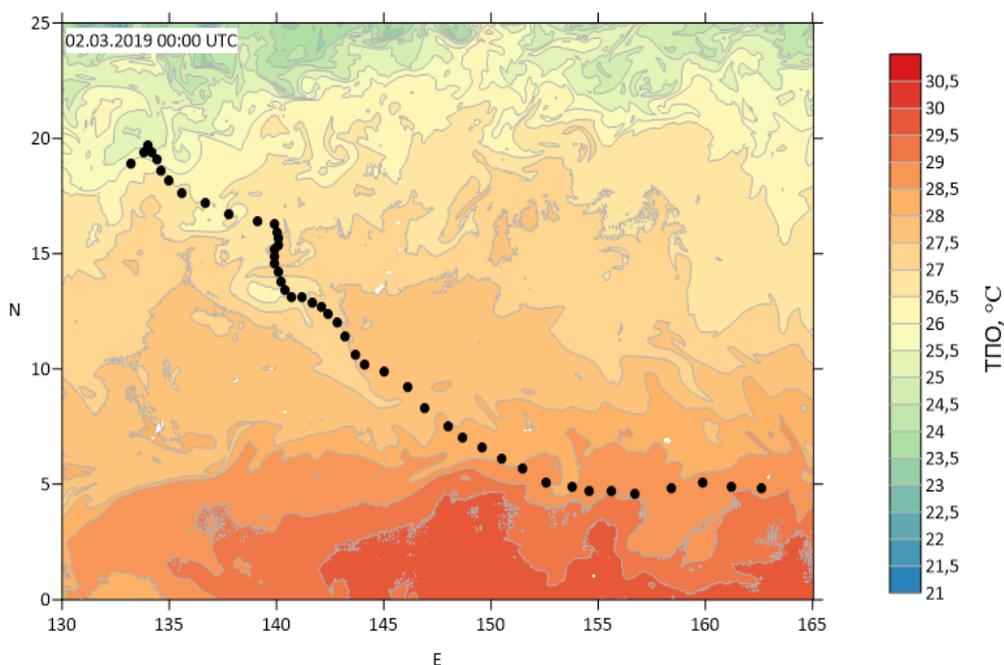


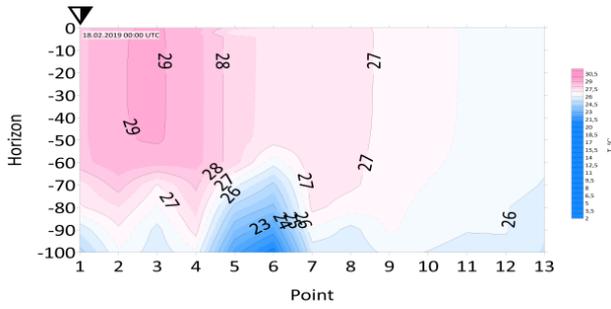
Рисунок 28 – ТПО 2марта 2019 года  
(точками показана траектория движения ТЦ Вутип).

В приложении Б представлены карты распределения ТПО от начала тайфуна до его разрушения и плюс 7 дней. На них видно, что след холодной воды держался еще несколько дней и затем рассеялся.

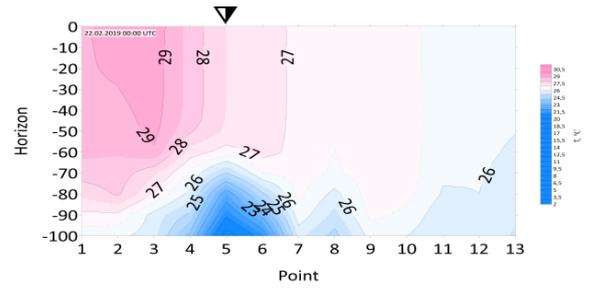
На рисунке 29 представлено вертикальное распределение температуры воды на разрезе вдоль траектории движения ТЦ на каждые сутки. Стрелкой показано текущее место нахождения тайфуна. Через 7 дней после начала тайфуна 24 февраля 2019 года можно заметить небольшое понижение температуры в точке 2 с 29 °С до 27 °С, что, вероятно обусловлено значительной теплоотдачей из океана в атмосферу. Также можно отметить, что с 23 февраля с глубины 70 метров начала подниматься холодная вода.

При сравнении карт концентрации хлорофилла (Рисунки 30 и 31) с картами распределения ТПО (Рисунки 27 и 28), также можно заметить, что произошел подъем холодной воды, так как концентрация хлорофилла по пути следования тайфуна увеличилась.

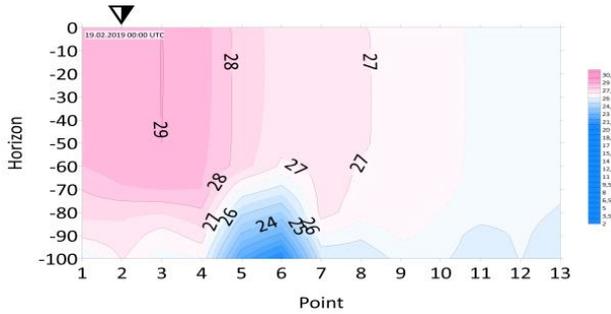
а) 18 февраля 2019 г.



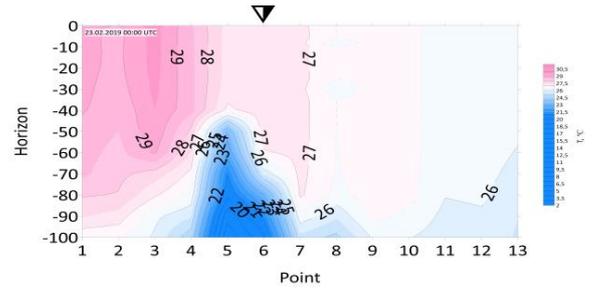
д) 22 февраля 2019 г.



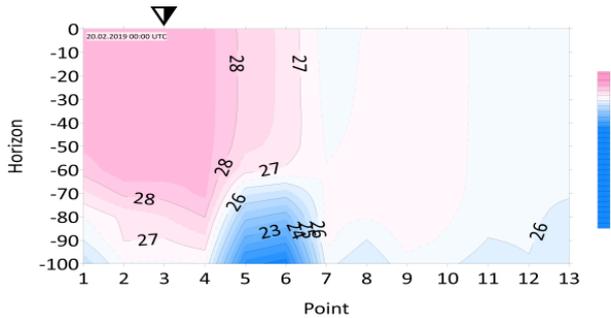
б) 19 февраля 2019 г.



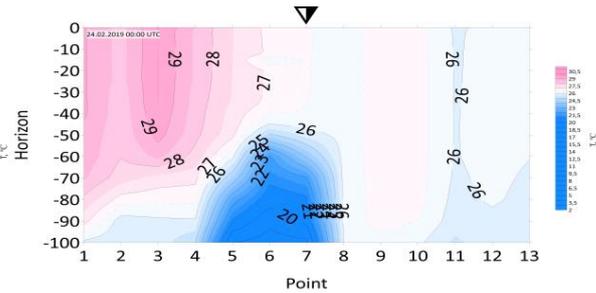
е) 23 февраля 2019 г.



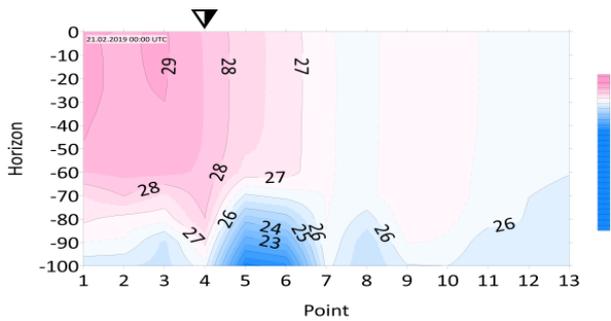
в) 20 февраля 2019 г.



ж) 24 февраля 2019 г.



г) 21 февраля 2019 г.



з) 25 февраля 2019 г.

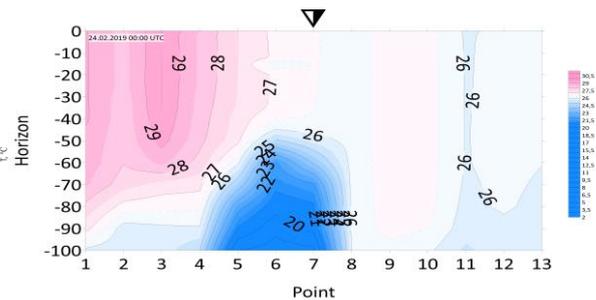
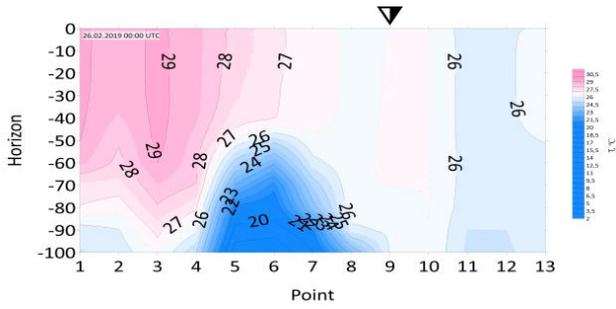
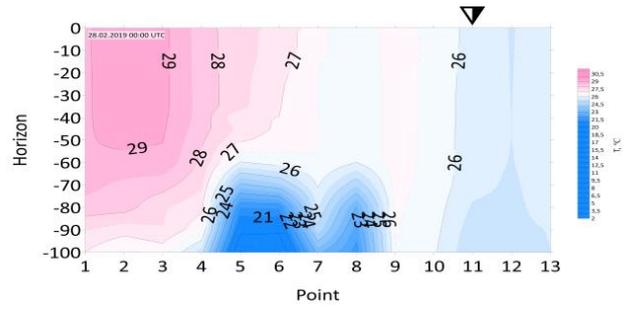


Рисунок 29 - Вертикальное распределение температуры воды на разрезе по траектории ТЦ Вутип. Стрелка показывает текущее место нахождения тайфуна.

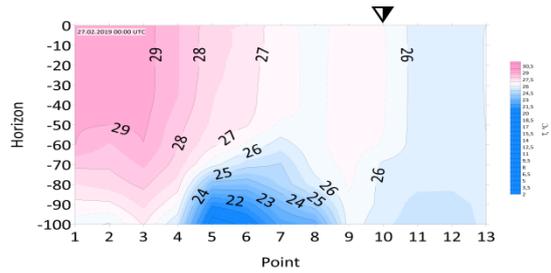
и) 26 февраля 2019 г.



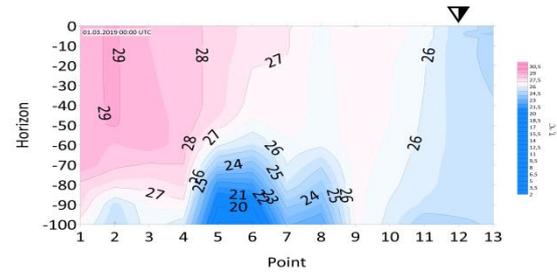
л) 28 февраля 2019 г.



к) 27 февраля 2019 г.



м) 1 марта 2019 г.



Продолжение рисунка 29.

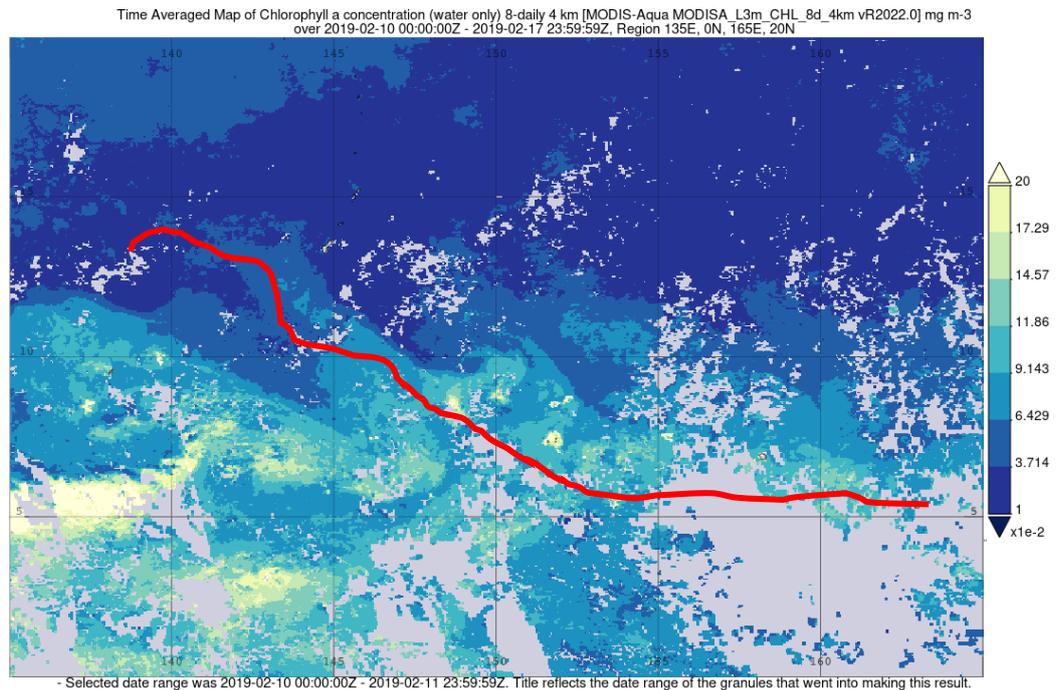


Рисунок 30 - Концентрация хлорофилла (мг/м<sup>3</sup>) 17 сентября 2019 года (красным показана траектория движения ТЦ Вуйтип)

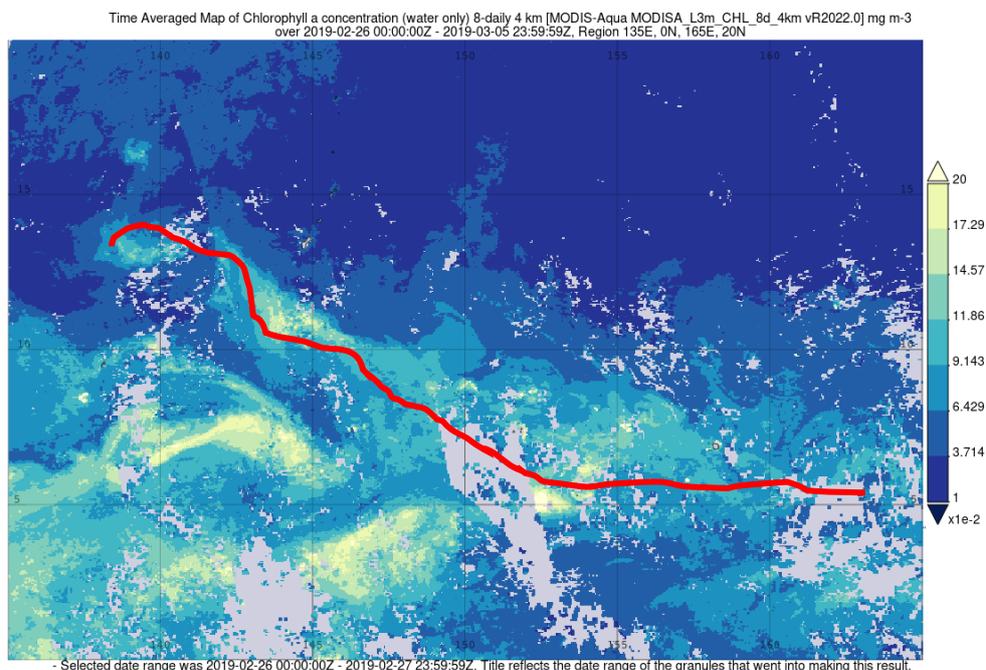


Рисунок 31 - Концентрация хлорофилла (мг/м<sup>3</sup>) 5 марта 2019 года (красным показана траектория движения ТЦ Вutip)

### 3.2.3. Тепловой баланс ТЦ Вutip.

В таблице 6 представлены данные компонентов теплового баланса ТЦ Вutip в центре тайфуна. На рисунке 32 можно наблюдать графики изменения значений компонентов теплового баланса.

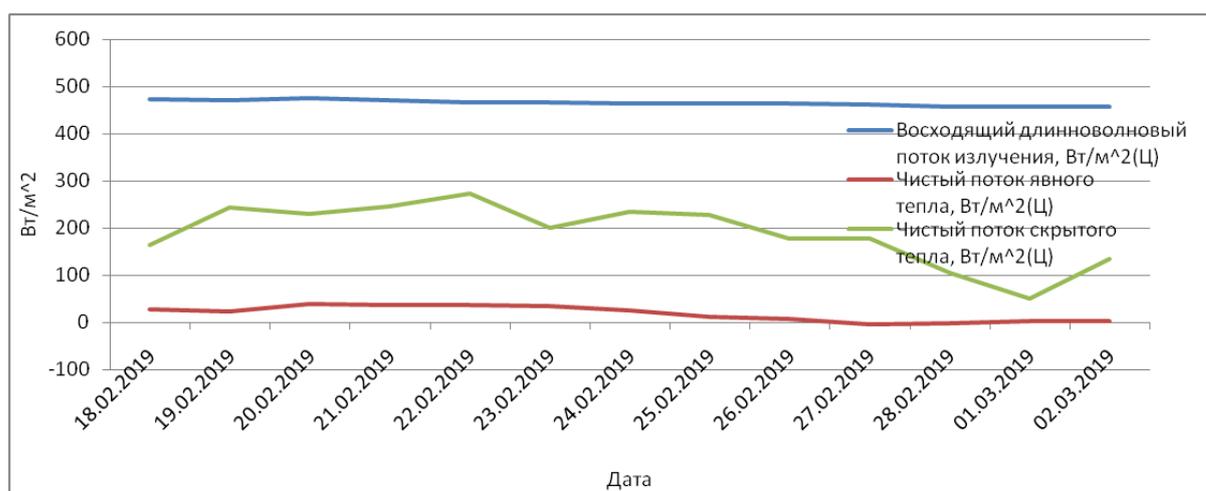


Рисунок 32 – Изменения компонентов теплового баланса в ТЦ Вutip.

Чистый поток скрытого тепла, в отличии от ТЦ Нанмадол, постепенно уменьшается к концу ТЦ и достигает минимально значения 49,5 Вт/м<sup>2</sup> 1 марта 2019 года. Максимальное значение зафиксировано 22 февраля 2019 года и составило 272,7 Вт/м<sup>2</sup>.

Таблица 6 – Компоненты теплового баланса ТЦ Вутип.

Точка нахождения	Дата	С.Ш.	В.Д.	Восходящий длинноволновый поток излучения, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)	Чистый поток явного тепла, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)	Чистый поток скрытого тепла, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)
1	18.02.2019	4,80	162,60	473,9	26,6	163,8
2	19.02.2019	5,10	159,90	472,5	24,2	242,7
3	20.02.2019	4,70	154,60	476,6	38,6	229,5
4	21.02.2019	6,10	150,50	472,1	36,3	244,5
5	22.02.2019	8,30	146,90	467,8	37,4	272,7
6	23.02.2019	10,60	143,70	466,1	34,7	199
7	24.02.2019	12,70	142,10	465,4	25,2	233,3
8	25.02.2019	13,40	140,40	463,8	12	228
9	26.02.2019	14,90	139,90	463,4	7,9	177,3
10	27.02.2019	15,90	140,00	461,3	-3,3	177,2
11	28.02.2019	17,20	136,70	458,1	0	104
12	01.03.2019	19,10	134,40	457,2	3,4	49,5
13	02.03.2019	19,40	133,80	458,3	2,7	133,7

### 3.3. Тайфун «Хагибис»

Тайфун Хагибис - чрезвычайно сильный и крупный ТЦ, вызвавший ширококомасштабные разрушения в Японии[28]. Тридцать восьмая депрессия, девятый тайфун и третий Супертайфун сезона тихоокеанских тайфунов 2019 года, это был самый сильный тайфун, обрушившийся на материковую часть Японии за последние десятилетия, и один из крупнейших тайфунов, когда-либо зарегистрированных.

Хагибис развился из тропического возмущения, расположенного в паре сотен миль к северу от Маршалловых островов 2 октября 2019 года. На следующий день, 3 октября, как Японское метеорологическое агентство, так и Объединенный центр предупреждения о тайфунах начали выпускать рекомендации о тропической депрессии 20W[28]. Депрессия оставалась такой же интенсивной, когда она двигалась на запад к Марианским островам 4 октября, но 5 октября тайфун начал быстро усиливаться, и рано утром того же дня тайфун получил название Хагибис от JMA, что означает «скорость» на филиппинском языке. На рисунке 33 представлена траектория движения ТЦ Хагибис.

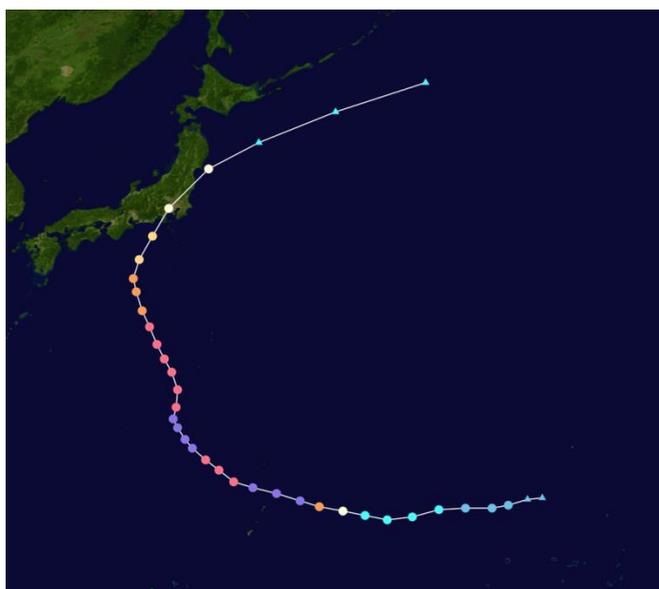


Рисунок 33– Траектория ТЦ Хагибис.

На рисунке 34 представлена ТПО на момент начала ТЦ 4 сентября 2019 года и его траектория движения. Цифрами обозначены точки, в которых выбирались характеристики для исследования (таблица 7).

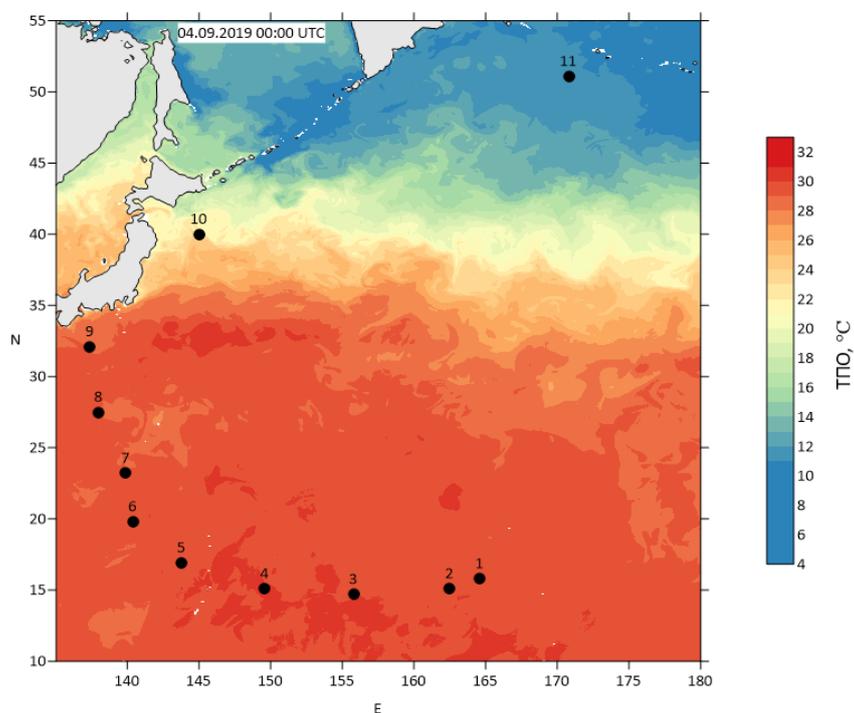


Рисунок 34– Карта ТПО в момент начала ТЦ 4 сентября 2019 года с траекторией движения тайфуна. Цифрами обозначены точки, в которых выбирались характеристики для исследования

Таблица 7 – Точки нахождения ТЦ Хагибис и их координаты.

Точка нахождения	Дата	Широта, сев	Долгота, вост
1	04.10.2019	15,80	164,60
2	05.10.2019	15,10	162,50
3	06.10.2019	14,70	155,80
4	07.10.2019	15,10	149,60
5	08.10.2019	16,90	143,80
6	09.10.2019	19,80	140,40
7	10.10.2019	23,20	139,90
8	11.10.2019	27,50	138,00
9	12.10.2019	32,10	137,40
10	13.10.2019	40,00	145,00
11	14.10.2019	51,10	170,80

### 3.3.1. Основные характеристики ТЦ.

В таблице 8 представлены известные и рассчитанные характеристики ТЦ Хагибис с начала его зарождения 4 сентября 2019 года до разрушения 14 сентября 2019 года.

На рисунке 38 представлены графики изменения ТПО и температуры воздуха, по которым видно, что температура воздуха с момента образования и до момента, когда тайфун начал терять свою силу - 11 сентября 2019 года была ниже ТПО. Максимальная ТПО была зафиксирована 6 сентября перед первой стадией Супертайфун и равнялась 30,3 °С. Далее она постепенно опускалась и пришла к своему минимальному значению 13 °С в самом конце жизни ТЦ. После того как температура воздуха превысила ТПО тайфун начал терять свою силу, это произошло 11 сентября и ТЦ перешел в стадию Сильный тайфун.

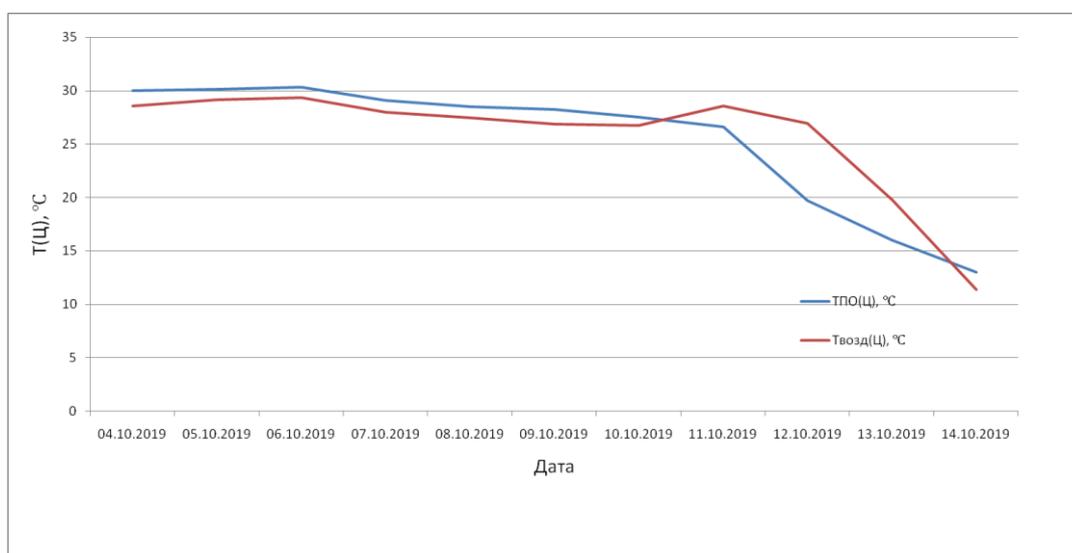


Рисунок 38 – Изменение ТПО и температуры воздуха в центре ТЦ Хагибис.

Таблица 8 - Известные и рассчитанные характеристики циклона «Хагибис»

Точка нахождения	Дата	Время	Тип ТЦ	Широта, сев	Долгота, вост	Атм. Давление в центре, гПа	ТПО в центре, °С	Твозд в центре, °С	Максимум скорости ветра, км/ч	Максимум высоты волн, м	Пройденное расстояние, км	Скорость перемещения, км/ч
1	04.10.2019	12:00:00	ТД	15,80	164,60	1010	30	28,55	27	1,5		
		18:00:00		15,70	163,80	1006		28,25	36	86,3	14,39	
2	05.10.2019	0:00:00	ТД	15,10	162,50	1005	30,08	29,15	45	2,6	154,5	25,75
		6:00:00		15,20	161,10	1005		28,35	45	150,7	25,11	
		12:00:00		15,20	159,70	1004		28,25	54	150,2	25,04	
3	06.10.2019	18:00:00	ТШ	15,10	157,80	1003	30,3	28,25	63		204,2	34,04
		0:00:00		14,70	155,80	998		29,35	81	4,5	219,5	36,58
		6:00:00		14,40	154,10	995		29,35	90	186,0	31,00	
4	07.10.2019	12:00:00	СТ	14,50	152,70	988	29,04	28,15	108		151,2	25,19
		18:00:00		14,90	151,10	982		28,05	126	177,7	29,62	
		0:00:00		15,10	149,60	953		27,95	189	8,5	162,6	27,11
5	08.10.2019	6:00:00	СуперТайфун	15,50	148,20	921	28,5	28,15	252		156,6	26,10
		12:00:00		16,10	146,60	890		27,85	288	183,7	30,62	
		18:00:00		16,50	144,90	909		27,15	261	186,8	31,13	
6	09.10.2019	0:00:00	СТ	16,90	143,80	926	28,2	27,45	234	14,4	125,3	20,89
		6:00:00		17,70	142,70	936		28,65	216	146,8	24,47	
		12:00:00		18,40	141,80	928		27,75	225	122,9	20,49	
6	09.10.2019	18:00:00	СуперТайфун	19,20	140,80	909	28,2	26,85	252		137,8	22,97
		0:00:00		19,80	140,40	902		26,85	261	14,8	78,8	13,13
		6:00:00		20,60	139,90	904		27,95	261	103,1	17,19	
		12:00:00		21,20	139,60	910		26,85	252	73,6	12,27	
		18:00:00		22,00	139,80	911		26,95	243	91,3	15,22	

Продолжение таблицы 5												
7	10.10.2019	0:00:00		23,20	139,90	916	27,5	26,75	234	14,4	133,8	22,30
		6:00:00		24,40	139,40	917		27,55	234		142,8	23,80
		12:00:00		25,30	139,00	920		27,75	225		107,9	17,98
		18:00:00		26,30	138,50	923		27,35	216		121,9	20,32
8	11.10.2019	0:00:00		27,50	138,00	933	26,6	28,55	207	15,3	142,3	23,72
		6:00:00	СТ	28,80	137,50	933		28,95	198		152,6	25,44
		12:00:00		29,90	137,10	935		27,55	189		128,3	21,38
		18:00:00		30,80	137,00	942		27,95	180		100,5	16,76
9	12.10.2019	0:00:00		32,10	137,40	948	19,7	26,95	171	12,1	149,4	24,91
		6:00:00		33,70	138,20	951		28,75	153		192,9	32,16
		12:00:00	Т	35,60	139,40	960		26,05	135		238,1	39,68
		18:00:00		38,20	141,80	970		23,05	117		359,3	59,88
10	13.10.2019	0:00:00		40,00	145,00	976	16	19,75	99	8,2	341,0	56,83
		6:00:00		42,00	149,90	980		16,25	90		467,4	77,89
		12:00:00	ВЦ	44,20	156,10	983		12,55	81		559,4	93,24
		18:00:00		47,10	163,60	984		11,85	68		665,8	110,96
11	14.10.2019	0:00:00		51,10	170,80	980	13	11,35	68	7	686,9	114,48
		6:00:00		53,90	175,90	970		10,75	68		464,7	77,44
		12:00:00		56,60	179,70	956		9,95	68		384,8	64,13
		18:00:00		57,40	180,00	954		9,45	68		90,8	15,13

На рисунке 39 представлено изменение атмосферного давления в центре тайфуна и максимальная скорость ветра. Характер изменений схож с предыдущим ТЦ Вутип, также стадия Супертайфун разбита на две части стадией Сильный тайфун, что обуславливается повышением атмосферного давления 8 сентября 2019 года, а также уменьшением скорости ветра. Максимальное атмосферное давление зафиксировано 4 сентября, в самом начале ТЦ и равнялось 1010 гПа, минимальное атмосферное давление было 890 гПа, оно зафиксировано 7 сентября, перед началом самой разрушительной стадии Супертайфун. В это же время зафиксирована максимальная скорость ветра, которая равнялась 288 км/ч.

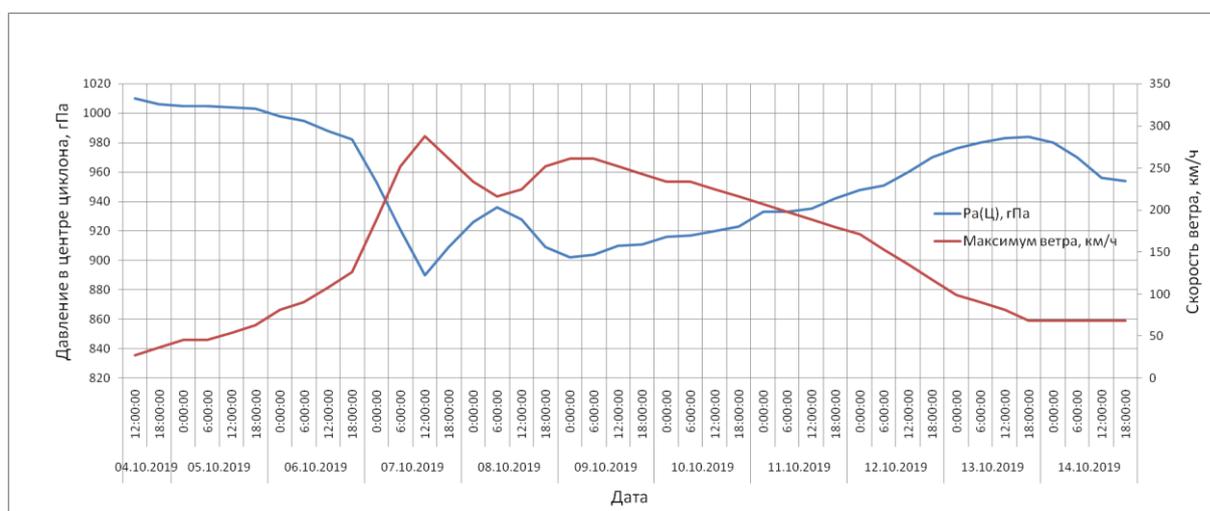


Рисунок 39 – Изменение атмосферного давления и скорости ветра ТЦ Хагибис.

Скорость перемещения ТЦ, представленная на рисунке 40, отличается от характера перемещения предыдущих тайфунов, в самом начале она небольшая и, своего максимума достигла в конце жизни тайфуна. Максимальная скорость перемещения равняется 114,48 км/ч, средняя скорость перемещения 35,29 км/ч. Пройденный путь ТЦ равен 8680,3 километра.

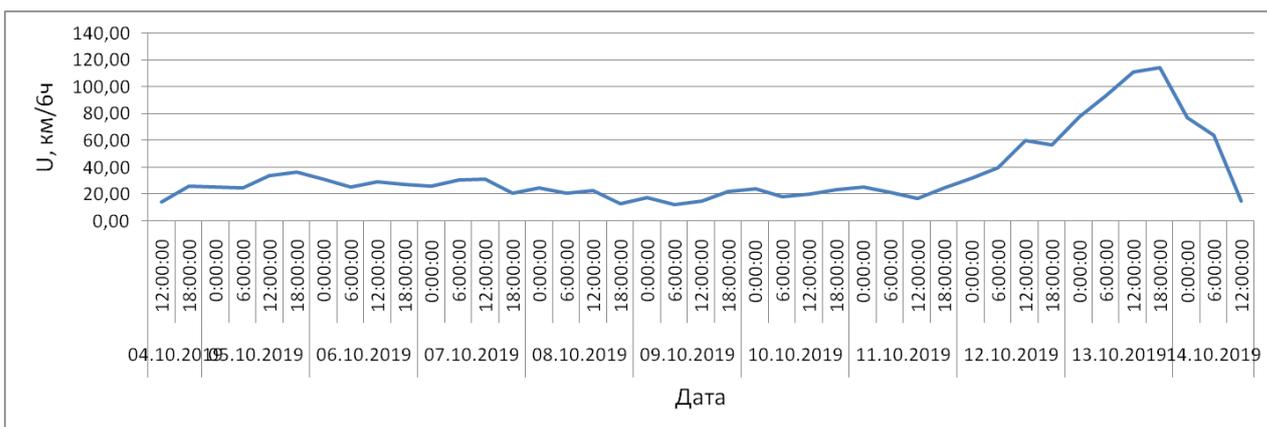


Рисунок 40 – Скорость перемещения ТЦ Хагибис.

Максимальная высота волн, представленная на рисунке 41, так же как и в предыдущих тайфунах увеличивалась с небольшим запозданием относительно увеличения скорости ветра. Максимум зафиксирован 11 сентября 2019 года и был равен 15,3 метра.

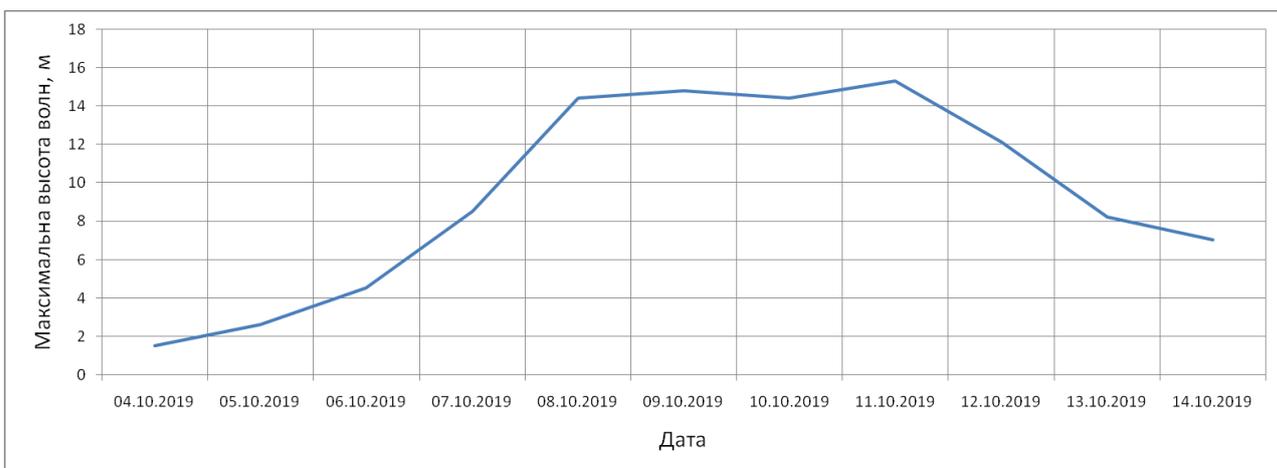


Рисунок 41 – Максимальная высота волн в ТЦ Хагибис..

### 3.3.2. Апвеллинг

На рисунках 42 и 43 представлена ТПО в начале и в конце ТЦ. По ним видно, что тайфун, так же как и предыдущие оставляет после прохождения след холодной воды. В приложении В можно наблюдать карты распределения ТПО за 20 дней после начала тайфуна.

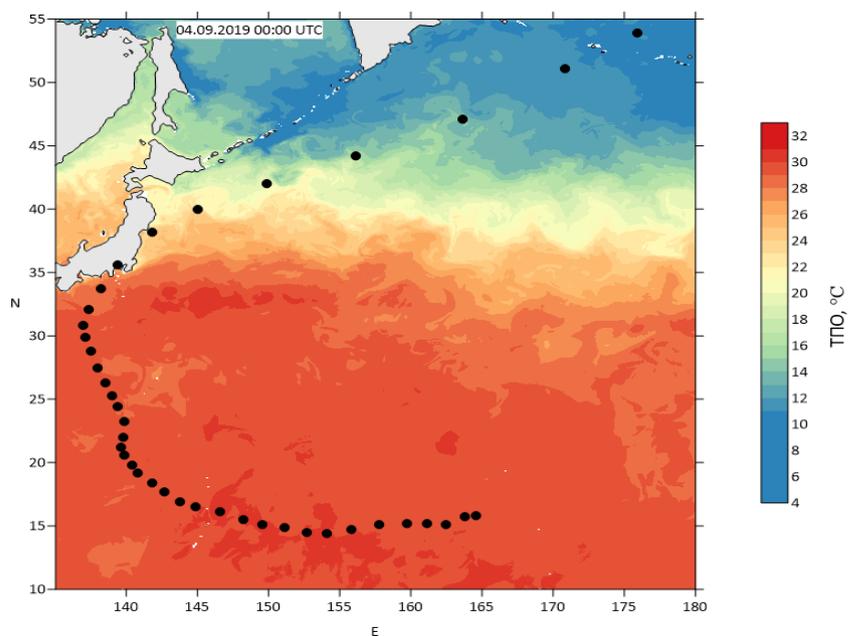


Рисунок 42 – ТПО 4 сентября 2019 года  
(точками показана траектория движения ТЦ Хагибис).

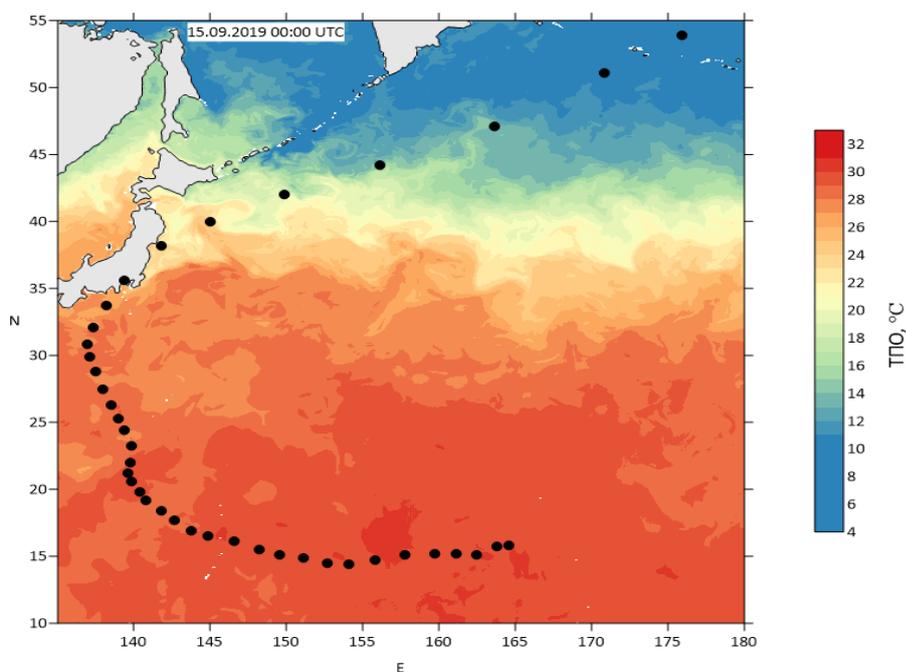


Рисунок 43 – ТПО 15 сентября 2019 года  
(точками показана траектория движения ТЦ Хагибис).

Рисунок 44 демонстрирует вертикальное распределение температуры воды вдоль траектории движения ТЦ на каждые сутки. Стрелкой отмечено текущее место нахождения тайфуна. По разрезам видно, что 9 сентября 2019 года, в точке 5, когда тайфун заметно усилился, образовалась воронка более холодной воды температурой 25 °С, которая поднялась с глубины 60 метров.

Затем 11 сентября, после второй стадии Супертайфун, в точке 7 произошло еще одно поднятие более холодных вод с глубины 50 метров температурой 25 °С. Этот эффект сохранялся до 19 сентября, после чего происходит опускание холодных вод.

Также на картах концентрации хлорофилла, которые представлены на рисунках 44 и 46, видно, что после прохождения тайфуна, концентрация хлорофилла увеличилась, что говорит о поднятии холодных вод, так как более холодная вода является благоприятной средой для фитопланктона.

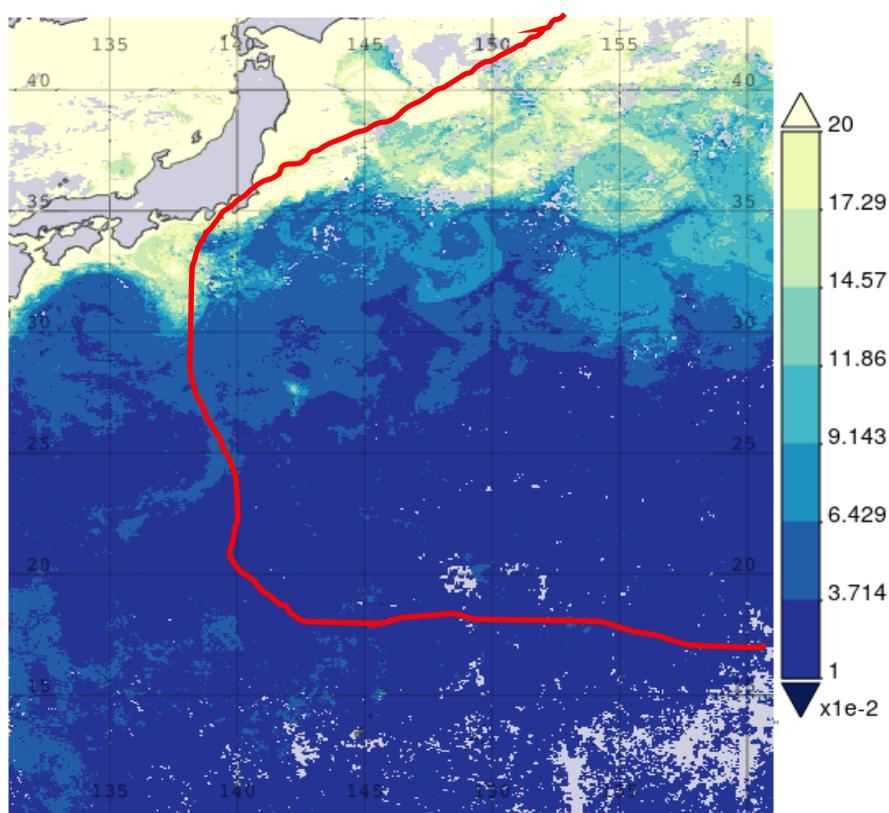
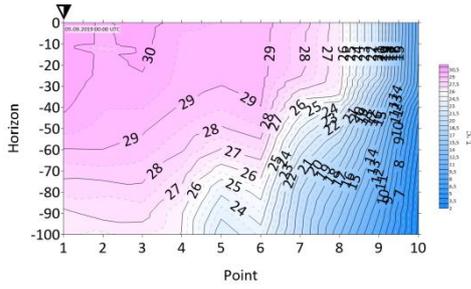
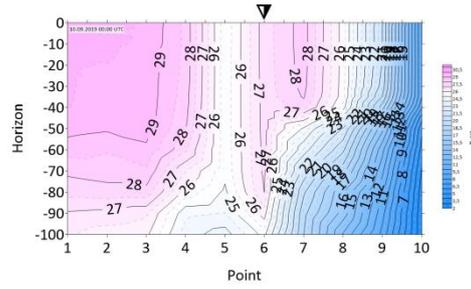


Рисунок 45 - Концентрация хлорофилла ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) 4 сентября 2019 года  
(красным показана траектория движения ТЦ Хагибис)

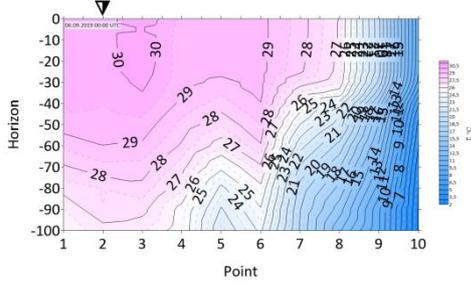
а) 5 сентября 2019г



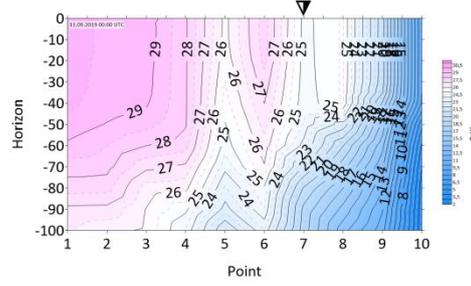
е) 10 сентября 2019г



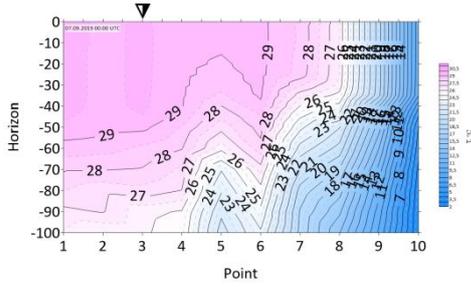
б) 6 сентября 2019г



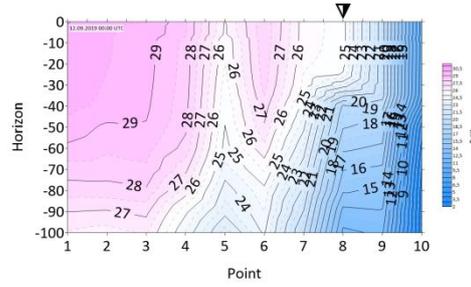
ж) 11 сентября 2019г



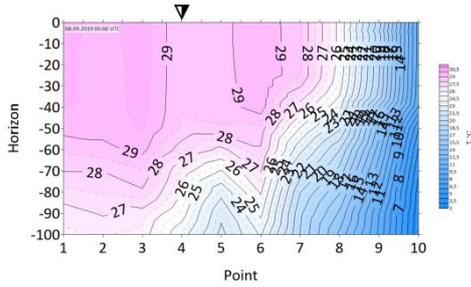
в) 7 сентября 2019г



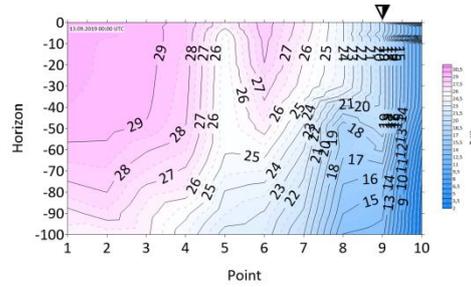
з) 12 сентября 2019г



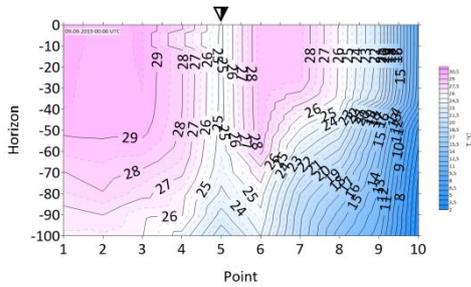
г) 8 сентября 2019г



и) 13 сентября 2019г



д) 9 сентября 2019г



к) 14 сентября 2019г

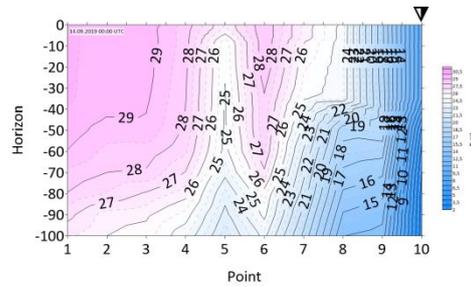


Рисунок 44 – Вертикальное распределение температуры воды на разрезах по траектории ТЦХагибис. Стрелка показывает текущее место нахождения тайфуна.

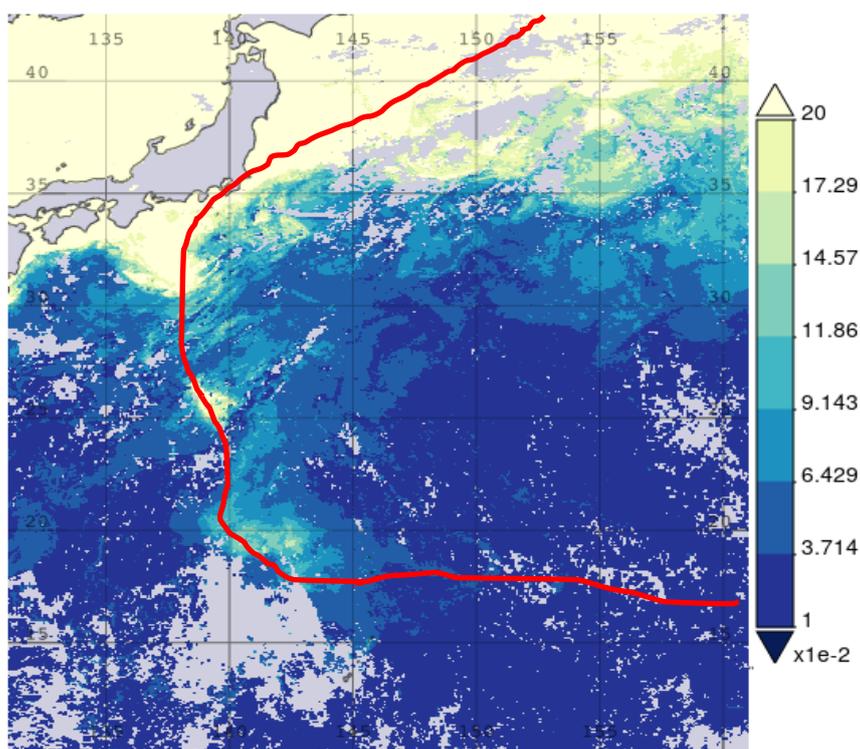


Рисунок 46 – Концентрация хлорофилла ( $\text{mg/m}^3$ ) 15 сентября 2019 года (красным показана траектория движения ТЦ Хагибис).

### 3.3.3. Тепловой баланс ТЦ Хагибис.

В таблице 9 представлены значения компонентов теплового баланса ТЦ Хагибис. Как видно из рисунка 47, значения чистого потока скрытого тепла в этом тайфуне достигают очень больших значений, что, вероятно, связано с силой этого ТЦ.

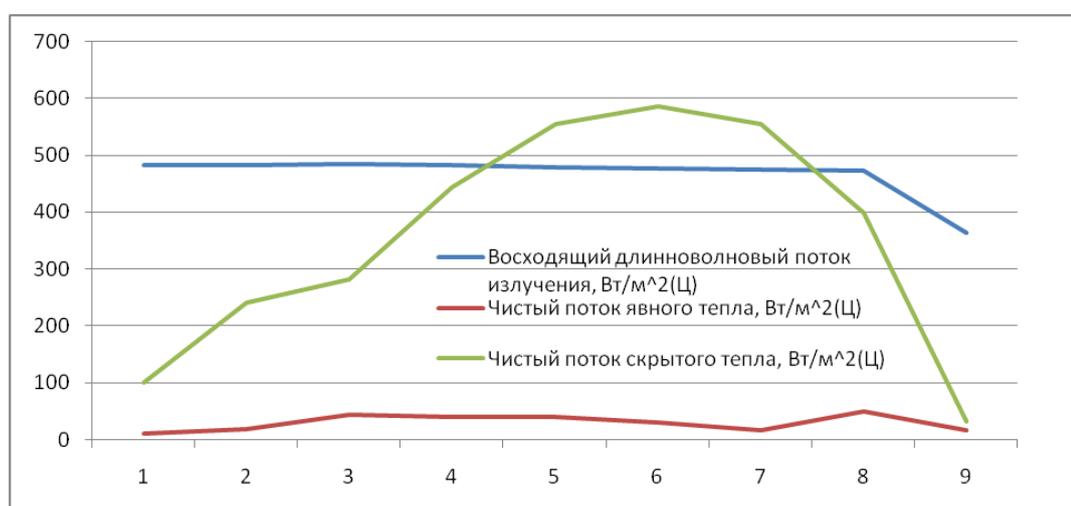


Рисунок 47 – Изменения компонентов теплового баланса ТЦ Хагибис.

Максимальное значение – 586,5 Вт/м<sup>2</sup> было зафиксировано 9 сентября 2019 года. Минимальное – в самом конце ТЦ, когда он ушел на север 12 сентября 20219 года. Оно составило 32,5 Вт/м<sup>2</sup>.

Таблица 9 – Компоненты теплового баланса ТЦ Хагибис.

Дата	С.Ш.	В.Д.	Восходящий длинноволновый поток излучения, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)	Чистый поток явного тепла, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)	Чистый поток скрытого тепла, Вт/м <sup>2</sup> (Ц)
04.10.2019	15,80	164,60	481,5	10,82	101,7
05.10.2019	15,10	162,50	481,7	18,095	242
06.10.2019	14,70	155,80	483,5	43,02	282,6
07.10.2019	15,10	149,60	482,3	39,63	444,4
08.10.2019	16,90	143,80	476,8	39,14	555,01
09.10.2019	19,80	140,40	475,2	29,12	586,5
10.10.2019	23,20	139,90	473,9	17,362	555,5
11.10.2019	27,50	138,00	471,6	49,198	399,52
12.10.2019	51,10	170,80	364,5	15,9	32,5

### 3.4. Статистические характеристики исследуемых ТЦ.

Для исследуемых ТЦ были рассчитаны стандартные статистические характеристики следующих параметров: ТПО, температуры воздуха, атмосферного давления, максимальной скорости ветра и компонентов теплового баланса на границе океан-атмосфера. Расчеты представлены в таблице 10, в которую также добавлены суммы ущерба, нанесенные исследуемыми тайфунами.

Как видно самый разрушительный ТЦ был ТЦ Хагибис, нанесенный им ущерб составил 17,3 млрд.долларов США. ТЦ имел самое низкое среднее и минимальное давление в центре, она составили 953 гПа и 890 гПа соответственно. Тайфун имел самую большую скорость ветра, максимум составил 288 км/ч, а среднее значение – 154,3 км/ч. Скорость перемещения у него также выше, чем у других ТЦ, средняя – 35,3 км/ч, максимальная – 114,5 км/ч.

ТЦ Вутип был одним из самых мощных ТЦ года, но нанес наименьший ущерб, так как действие тайфуна было в открытом океане, и он затронул лишь небольшие острова, такие как Федеративные штаты Микронезии, Гуам и Северные Марианские острова. Минимальное атмосферное давление в центре составило 905 гПа, Максимум скоростиветра составил 252 км/ч. Двигался тайфун, по сравнению с Хагибис с небольшой скоростью, максимум – 31,6 км/ч.

ТЦ Нанмадол нанес ущерб на 2 млрд. долларов США, его показатели также очень велики. Максимальная скорость ветра составила 250 км/ч, минимальное давление 917 гПа. Скорость перемещения была небольшой, максимальная – 52,8 км/ч.

Из общего можно отметить, что средняя ТПО у всех тайфунов выше Твозд, что является условием возникновения и существования ТЦ.

Таблица 10 – Суммы ущерба и рассчитанные стандартные статистические характеристики исследуемых ТЦ.

Название ТЦ	Ущерб	Хар-ка	Средне е	СКО	Макс	Мин	Разма х
ТЦ Нанмадо л	2 млрд. долларо в США	ТПО (Ц), °С	28,8	1,3	29,9	25,6	4,3
		Твозд (Ц), °С	27,5	1,0	28,8	24,6	4,2
		Ра (Ц), гПа	971,4	29,7	1003	917	86
		Максимум ветра, км/ч	118,4	71,1	250	38	212
		Скорость перемещения, км/ч	18,2	11	52,8	3,4	49,5
		Длинноволновая радиация (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	475,2	5,9	479,0	460,3	18,7
		Явное тепло (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	11,7	16,7	53,3	0,2	53,1
		Испарение (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	276,8	138,8	492,7	70,3	422,4
ТЦ Вутип	>3,3 млн. долларо в США	ТПО (Ц), °С	27,0	1,2	28,8	25,1	3,7
		Твозд (Ц), °С	25,9	0,8	27,0	24,2	2,8
		Ра (Ц), гПа	975,3	30,3	1012, 0	905,0	107,0
		Максимум ветра, км/ч	127,2	75,0	252,0	34,2	217,8
		Скорость перемещения, км/ч	14,3	7,6	31,6	1,9	29,8
		Длинноволновая радиация (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	462,4	3,8	467,8	457,2	10,6
		Явное тепло (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	13,3	15,3	37,4	-3,3	40,7
		Испарение (Ц), Вт/ м <sup>2</sup>	175,0	69,7	272,7	49,5	223,2
ТЦ Хагибис	17,3 млрд. долларо в США	ТПО (Ц), °С	25,4	6,1	30,3	13,0	17,3
		Твозд (Ц), °С	24,9	6,2	29,4	9,5	19,9
		Ра (Ц), гПа	953,0	35,6	1010, 0	890,0	120,0
		Максимум ветра, км/ч	154,3	81,1	288,0	27,0	261,0
		Скорость перемещения, км/ч	35,3	25,7	114,5	12,3	102,2
		Длинноволновая радиация (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	465,7	38,2	483,5	364,5	119,0
		Явное тепло (Ц), Вт/м <sup>2</sup>	29,1	14,0	49,2	10,8	38,4
		Испарение (Ц), Вт/ м <sup>2</sup>	355,5	203,1	586,5	32,5	554,0

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была выполнена поставленная цель – были исследованы изменения характеристик атмосферы и океана в тихоокеанских тайфунах.

На основании исследования можно сделать следующие выводы:

1. На момент начала ТЦТПО всегда выше температуры воздуха, что является необходимым условием для образования тайфуна. При движении на север ТПО и температура воздуха снижаются, происходит угасание ТЦ и его завершение. Атмосферное давление в центре ТЦ и скорость ветра изменяются согласованно – с уменьшением атмосферного давления происходит увеличение скорости ветра и наоборот. Когда атмосферное давление становится минимальным, а скорость ветра максимальной, тайфун находится в своей самой сильной стадии, в данной работе все исследуемые тайфуны достигали стадии Супертайфун. Высота волн в условиях ТЦ изменяется с небольшим запозданием после изменения скорости ветра. Во всех тайфунах максимальная высота волн зафиксирована в конце стадии Супертайфун. Максимальную скорость перемещения на начальных стадиях имели два тайфуна – Нанмадол и Вутип. Хагибис имел максимальную скорость перемещения на завершающих стадиях.

2. Во всех ТЦ после прохождения в некоторых точках наблюдения наблюдался апвеллинг: в тайфунах Нанмадол и Вутип зафиксировано охлаждение поверхности на 2 – 2,5 °С, в тайфуне Хагибис зафиксирован подъем холодной воды на 5 °С ниже, чем был до этого на поверхности. Апвеллинг после прохождения ТЦ сопровождается усилением жизнедеятельности фитопланктона по траектории движения ТЦ. Пятна холодной воды остаются на поверхности около недели после завершения ТЦ, а затем происходит опускание холодной воды и её рассеивание на поверхности.

3. Исходящая длинноволновая радиация и поток явного тепла особо не меняются в период прохождения тайфуна, основная теплоотдача происходит

благодаря скрытому потоку тепла – испарению, причем, чем мощнее тайфун, тем сильнее теплоотдача.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая география материков и океанов / ред. А. М. Рябчикова. — М.: Высшая школа, 1988
2. Тропические циклоны / Маглипогода: сайт. URL: <https://maglipogoda.ru/tropicheskie-ciklony/> (дата обращения 25.05.2025)
3. Storms in the Western Pacific / Ocean Geography Realm: сайт <https://www.geographyrealm.com/storms-western-pacific-ocean/> (дата обращения 24.05.2025)
4. Воробьев В. И., Синоптическая метеорология – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616 с.
5. Иванов В.А, Показеев К.В., Шрейдер А.А. Основы океанологии: учебное пособие. – СПб: Издательство «Лань», 2008. – 576 с.
6. Григоркина Р.Г., Фукс В.Р. Воздействие тайфунов на океан - Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 243 с.
7. Дашко Н. А. Лекции по синоптической метеорологии. – <http://sites.google.com/site/dashkonina> (сайт проф. Н. А. Дашко), URL: [www.dvgu.ru/meteo/book/Synoptic.htm](http://www.dvgu.ru/meteo/book/Synoptic.htm) (дата обращения 26.05.2025)
8. Тараканов, Г. Г. Тропическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 176 с.
9. Риль Г. Тропическая метеорология - М., Издательство иностранной литературы, 1963. – 365-366 с.
10. Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. - Л.: Наука, 1969. - 487 с.
11. Tropical cyclone / Encyclopedia Britannica: сайт. URL: <https://www.britannica.com/science/tropical-cyclone/> (дата обращения 20.05.2025).
12. Гидрометцентр России / Банк данных о тропических циклонах: сайт. URL: <https://meteoinfo.ru/categ-articles/33-climate-cat/monitoring-klimata/tropcyclones?start=32/> (дата обращения 20.05.2025).

13. Тропические циклоны / Википедия: свободная энциклопедия: сайт.  
URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/тропический\\_циклон/](https://ru.wikipedia.org/wiki/тропический_циклон/) (дата обращения 20.05.2025).

14. Кружкова Т.С., Иванидзе Т.Г. Некоторые статистические характеристики тропических циклонов за период с 1970 по 1999г. // Метеорология и гидрология.- 2000.- № 11.- С. 21-30.

15. D'Asaro E. A. Impact of Typhoons on the Ocean in the Pacific // American Meteorological Society. – 2014. – Vol. 95: Issue 9. 1405–1418 с.

16. Fisher E.L. The exchange of energy between the sea and the atmosphere in relation to hurricane behavior // J. Met. 1958. Vol. 15, N. 2. Pp. 164-171.

17. Stevenson P.E., Armstrong R.S. Heat losses from the waters of the northwestern Gulf of Mexico during hurricane Carla // Geophys. Intern. 1965. Vol. 5, N. 2. Pp. 49-57.

18. International Best Track Archive for Climate Stewardship / NSICS: сайт. – URL: <https://ncics.org/ibtracs/> (дата обращения 08.04.2025).

19. About Ventusky: сайт. – URL: <https://my.ventusky.com/about/> (дата обращения 10.04.2025).

20. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)/ M. Kanamitsu, W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J.J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter // Bulletin of the American Meteorological Society, Nov. 2002. Pp. 1631-1643

21. Giovanni: the Bridge Between Data and Science v.4.40/EarthData NASA: сайт. – URL: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (дата обращения 07.04.2025).

22. Surfer / Golden Software: сайт. – URL: <https://www.goldensoftware.com/products/surfer/> (дата обращения 02.04.2025).

23. Zängl G., Reinert D., Ripodas P., Baldauf M. The ICON (ICOsahedral Non-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2015. Vol. 141. P. 563-579.

24. Earth/Nullschool.net: сайт. – URL: <https://earth.nullschool.net/ru/about.html> (дата обращения 03.04.2025).

25. WAVEWATCH III Model Description /NOAA NWS Environmental Modeling Center: сайт.– URL:<https://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/> (дата обращения 15.04.2025).

26. Traylor D. Japan issues rare special warning as 'violent' Typhoon Nanmadol approaches Kyushu. // The Japan time: Новостное интернет-издание. 17.09.2022 г. URL: <https://www.japantimes.co.jp/news/2022/09/17/national/typhoon-nanmadol-rapid-intensification/> (Дата обращения: 10.04.2025).

27. The strongest February typhoon on record packs 180 mph gusts, sideswiping Guam // The Washington Post: Новостное интернет-издание 25.02.2025 г. URL: <https://www.washingtonpost.com/weather/2019/02/25/strongest-february-super-typhoon-record-packs-mph-gusts-sideswiping-guam/> (Дата обращения: 20.04.2025).

28. Digital Typhoon: Typhoon 201919 (HAGIBIS) [Reiwa First Year East Japan Typhoon] - Detailed Track Information // Tokyo, Japan: National Institute of Informatics. 15.10.2019. URL: <https://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/1/201919.html.en/> (Дата обращения: 22.04.2025).