

СОДЕРЖАНИЕ

<u>ВВЕДЕНИЕ</u>	3
<u>ГЛАВА 1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ</u>	5
<u>ГЛАВА 2 СТРОЕНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ</u>	13
<u>ГЛАВА 3 ПОГОДА В ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ</u>	19
<u>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</u>	24
<u>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</u>	26

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономические факторы требуют целенаправленного совершенствования информации и обслуживания в таких областях, как погода, климат, водные ресурсы, океан и связанная с ними среда. Изменчивость и изменение климата, а также экстремальные природные явления представляют риск для социально-экономического развития.

Для смягчения таких рисков требуется более высококачественное и более своевременное метеорологическое, гидрологическое, океанографическое и климатическое обслуживание для обеспечения безопасности и защищенности населения и развития экономических стратегий адаптации.

Реагирование на такие риски особенно важно в связи с ростом населения в уязвимых регионах, а также с очевидным нарастанием интенсивности и частоты экстремальных природных явлений в последние годы. В то же самое время нам необходимо обеспечить более высокий уровень информированности общества и политических руководителей в вопросах влияния океанов на человечество и наоборот, с учетом того что состояние океанов в будущем остается неопределенным по причине изменения климата.

Тропические циклоны являются одновременно и важным элементом циркуляции атмосферы в тропиках, и одним из наиболее опасных стихийных бедствий. В связи с катастрофическими последствиями прохождения ураганов в последние годы, проблема их изучения становится особенно актуальной.

Тропические циклоны представляют собой одну из самых серьезных угроз для жизни и имущества даже на этапе своего формирования. Они сопряжены со множеством опасностей, таких как штормовые нагоны, наводнения, экстремально сильные ветры, торнадо и молнии, которые сами по себе могут вызвать неблагоприятные последствия для жизни и имущества.

А в совокупности эти опасности взаимодействуют друг с другом и существенно увеличивают вероятность гибели людей и причинения материального ущерба. За последние 50 лет тропические циклоны стали причиной 1942 бедствий, в результате которых погибли 779324 человека и был причинен экономический ущерб в размере 1407,6 млрд долл. США, что в среднем равняется 43 смертельным случаям и 78 млн долл. США в день [7].

В связи с этим на первый план выходит необходимость своевременного и детализированного прогноза траектории тропического циклона, что позволило бы проводить точечную, а не повсеместную эвакуацию населения и подготовку объектов инфраструктуры, более выгодную, с экономической точки зрения. Снижение рисков, повышение устойчивости, подготовка населения и обеспечение раннего предупреждения – ключевые задачи для метеорологов, гидрологов, океанографов, специалистов по управлению чрезвычайными ситуациями и лиц, разрабатывающих политические меры.

Таким образом, тема курсовой работы «Тропические циклоны: физические основы возникновения, строение и погода в них» является актуальной.

Цель курсовой работы – исследовать физические основы возникновения, строение и погоду в тропических циклонах.

Достижение цели курсовой работы потребовало постановки и последовательного решения следующих задач:

- рассмотреть физические основы возникновения тропических циклонов;
- провести анализ строения тропических циклонов;
- выявить особенности погоды в тропических циклонах.

Объект исследования – тропические циклоны.

Предмет исследования – физические основы возникновения, строение и погода в тропических циклонах.

При написании курсовой работы использовались методы анализа, синтеза, группировок, сравнения.

Основополагающими источниками при написании курсовой работы послужили публикации современных авторов, в т.ч. ресурсы удалённого доступа.

ГЛАВА 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

Тропический циклон – это быстро вращающийся вихрь, возникающий в тропических широтах над поверхностью океанов, из которых он получает энергию для развития.

В целом по земному шару отношение числа тропических циклонов в северном полушарии к их числу в южном колеблется от 1,5, до 4. В 65 % случаев тропические циклоны возникают между широтами 10 и 20°. В более высоких широтах они возникают лишь в 13 % случаев. Не отмечалось возникновение циклонов севернее 35° с.ш. и южнее 22° ю.ш.

В зоне 3-10° широты в обоих полушариях тропические циклоны возникают в 22 % случаев. На широтах 2-3° отмечались только единичные случаи возникновения тропических циклонов. Таким образом, 87 % тропических циклонов возникают в зоне, ограниченной 3° и 20° северной и южной широты, что подтверждается также данными космического мониторинга тропических циклонов.

Возникновение тропических циклонов в значительной степени зависит от циклонической циркуляции на нижних уровнях и антициклонической циркуляции на верхних уровнях в зоне, окружающей возмущение. Такая циркуляция приводит к большому входу момента количества движения через боковые границы возмущения и, следовательно, к росту завихренности.

Генезис тропических циклонов также зависит от структуры крупномасштабного потока, в который погружено возмущение. В частности, подчеркивается важная роль в развитии тропических циклонов верхнетропосферной ложбины к северо-западу от циклонического возмущения. В то же время западный верхнетропический перенос является неблагоприятным для образования тропических циклонов [20, с. 347].

Наличие крупномасштабного вихря концентрирует конвекцию (следовательно, и выделение теплоты конденсации) в центре вихря, крупномасштабная циркуляция снабжает эту область влагой, способствует большему развитию конвекции. Это позволяет системе развиваться при начальной сравнительно небольшой относительной влажности в нижней тропосфере (80-85 %).

С другой стороны, при концентрации конвекции в достаточно узкой зоне при высокой относительной влажности конвекция сама способна развить (или усилить) крупномасштабный вихрь. Образование теплого ядра является первым основным признаком формирования тропических циклонов [21, с. 188].

При этом поднимающийся воздух должен оставаться все время теплее окружающей невозмущенной среды. Из [19] следует, что даже при высокой температуре воды в зоне, расположенной в непосредственной близости к экватору, тропические циклоны не образуются. Подавляющее большинство

циклонов в северных тропиках Тихого океана образуется южнее 6° с. ш., но интенсивно развивается только в зоне от 6° до 15° с.ш. Это связано с тем, что быстрое вращательное движение может наблюдаться лишь в районах, где параметр Кориолиса превышает некоторую минимальную величину [18, с. 128].

Значительную роль в формировании тропических циклонов играет неустойчивость тропической атмосферы. Она является стимулирующим фактором формирования циклона наряду с другими динамическими и термическими причинами [6, с. 23].

Образование тропических циклонов начинается с углубления слабо выраженной области пониженного давления в зоне встречи пассатов северного и южного полушарий (между субтропическими антициклонами обеих полушарий). Таким образом, пассаты являются основными воздушными потоками, определяющими свойства и интенсивность будущего тропического циклона.

Существуют различные теории возникновения тропических циклонов. Например, по мнению Г. Н. Витвицкого, причиной возникновения тропических циклонов являются волновые возмущения в атмосфере в зоне пассатов, которые при определенных условиях прорывают слой инверсии и дают начало возникновения тропического циклона. Как показано в [2], 80-85 % всех тропических циклонов возникает на обращенной к полюсу стороне внутритропической зоны конвергенции.

Большой популярностью пользуется теория восточной волны. Согласно этой теории, тропические циклоны чаще всего зарождаются тогда, когда в средней тропосфере в тропиках появляется волна атмосферного давления, охватывающая большие пространства. Перемещаясь с востока на запад, волна теряет свою устойчивость и превращается в вихрь.

Авторы фронтологической теории возникновения тропических циклонов придают большое значение воздухообмену между полушариями, а также между высокими и низкими широтами одного полушария [1, с. 26].

Неблагоприятные последствия, вызванные прохождением тропических циклонов, обусловлены преимущественно ветром ураганной силы и обильными осадками, приводящими к наводнениям, оползням и разрушениям построек, а также комплексом сопутствующих явлений (нагоном воды, засолением прибрежных территорий, опустошением сельскохозяйственных угодий). Тропические циклоны представляют собой угрозу жизни и здоровью людей, однако их социальное влияние не сводится только к непосредственным жертвам прохождения вихря.

Уничтожение жилых домов, предприятий, посевов, скота и дорог приводит к голоду, безработице, утрате крова над головой и привычного уклада жизни тысяч местных жителей. В интересах общественной безопасности тропическим циклонам сильнее определенной интенсивности присваиваются личные имена.

Для каждого бассейна, в котором образуются тропические циклоны, ВМО ведет перечень имен, которые присваиваются циклонам на основе ротации.

Если циклон особенно смертоносный или разорительный, то его имя удаляется из перечня и заменяется на другое.

Тропические циклоны могут быть активны в течение недели и дольше, поэтому одновременно могут действовать несколько циклонов. Синоптики дают имена всем тропическим циклонам, чтобы избежать путаницы. Каждый год тропическим циклонам присваиваются имена по порядку латинского алфавита. Женские и мужские имена чередуются.

Перечень имен предлагается национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС) Членов ВМО конкретного региона и утверждается соответствующими региональными органами по тропическим циклонам на их сессиях, созываемых ежегодно либо два раза в год. Страны северно-западной части Тихого океана начали использовать новую систему именования тропических циклонов в 2000 г.

Традиция присваивания имен штормам (тропическим циклонам) зародилась много лет назад, с тем чтобы помочь быстро идентифицировать штормы в предупреждающих сообщениях, поскольку предполагается, что имена запоминаются намного легче, чем цифры или технические термины. Многие сходятся во мнении, что благодаря личным именам штормов, средствам массовой информации проще освещать тропические циклоны, повышается внимание к предупреждениям и укрепляется подготовленность населения.

Опыт показывает, что использование коротких уникальных имен в письменной и устной речи ускоряет коммуникацию и сокращает количество ошибок в отличие от старого метода с использованием громоздких обозначений широты и долготы. Эти преимущества особенно важны при обмене подробной информацией о штормах между сотнями удаленных друг от друга станций, береговых баз и кораблей в море.

Вначале штормы называли произвольно. Атлантический шторм, оторвавший мачту лодки «Антъе», получил название Антъе. Затем в середине 1900-х гг. штормам стали присваивать женские имена. Чтобы упорядочить систему именования и повысить ее эффективность, синоптики вскоре решили присваивать штормам имена из списка по порядку латинского алфавита. Таким образом, если шторму присваивали имя на букву А, например Анна, значит, этот шторм был первым в году.

К концу 1900-х гг. синоптики начали использовать мужские имена для штормов, формирующихся в Южном полушарии. С 1953 г. Атлантические тропические штормы стали называться согласно перечням, составленным Национальным центром по ураганам.

В настоящее время их ведет и обновляет международный комитет Всемирной метеорологической организации. Изначально в перечни входили только женские имена. В 1979 г. наряду с женскими именами попеременно стали использоваться и мужские. В настоящее время поочередно используются шесть перечней.

Таким образом, список 2019 г. будет повторно использован в 2025 г. Изменения вносятся в перечни только в том случае, если последствия шторма были настолько губительны или разрушительны, что дальнейшее

использование этого имени для другого шторма было бы неуместным и нетактичным.

В таком случае на ежегодном совещании комитетов ВМО по тропическим циклонам (созываемом в первую очередь для обсуждения целого ряда других вопросов) из перечня исключается имя, которое может оскорбить чьи-то чувства, и заменяется на другое. Примерами таких печально известных имен штормов являются Мангхут (Филиппины, 2018 г.), Ирма и Мария (Карибский регион, 2017 г.), Хайян (Филиппины, 2013 г.), Сэнди (США, 2012 г.), Катрина (США, 2005 г.), Митч (Гондурас, 1998 г.) и Трейси (Дарвин, Австралия 1974 г.) [5].

В зависимости от места образования такое погодное явление называется по-разному:

- в Карибском море, Мексиканском заливе, северной части Атлантического океана, восточном и центральном районах северной части Тихого океана его называют «ураганом»;
- в северо-западной части Тихого океана его называют «тайфуном»;
- в Бенгальском заливе и Аравийском море его называют «циклоном»;
- в юго-западной части Тихого океана и юго-восточной части Индийского океана его называют «сильным тропическим циклоном»;
- в юго-западной части Индийского океана его называют «тропическим циклоном».

По всему миру метеорологи используют современные технологии, такие как спутники, метеорологические радиолокаторы и компьютеры, для отслеживания тропических циклонов по мере их развития. Тропические циклоны могут быть трудно прогнозируемыми, поскольку они могут внезапно ослабеть или изменить траекторию.

Однако метеорологи используют передовые технологии и разрабатывают современные методы, например модели численного прогноза погоды, для прогнозирования динамики развития тропического циклона, включая его движение и изменение интенсивности, а также места, времени и скорости выхода на сушу. После этого национальные метеорологические службы соответствующих стран объявляют официальные предупреждения.

Ежегодно образуется порядка 80 тропических циклонов. Программа по тропическим циклонам ВМО предоставляет информацию об этих опасных явлениях, а Центр информации о суровой погоде ВМО дает рекомендации по тропическим циклонам в реальном времени [14].

Программа тропических циклонов (ТСР) позволяет прогнозистам тропических циклонов получать доступ к различным источникам, которые предоставляют обычные и специализированные данные / продукцию, в том числе полученные из численных прогнозов погоды (ЧПП) и данных дистанционного зондирования, а также инструменты прогнозирования развития, движения, усиления и распределения ветра. В рамках Департамента обслуживания погоды и снижения риска бедствий (СРБ) Программе поручено создать национальные и регионально скоординированные системы, чтобы

свести к минимуму гибель людей и ущерб, причиняемый тропическими циклонами.

ПТС осуществляется как на национальном, так и на региональном уровнях посредством совместных действий и охватывает деятельность стран-членов, региональных ассоциаций ВМО, других международных и региональных органов и Секретариата ВМО [9].

Структура ВМО позволяет своевременно и широко распространять информацию о тропических циклонах. Благодаря международному сотрудничеству и координации, мониторинг тропических циклонов происходит все чаще, начиная с ранних стадий их образования.

Координация деятельности на глобальном и региональном уровнях осуществляется ВМО через ее Программу по тропическим циклонам. Региональные специализированные метеорологические центры, чья деятельность сконцентрирована на тропических циклонах, и центры предупреждений о тропических циклонах, официально назначенные ВМО в качестве таковых, функционируют в рамках Программы по тропическим циклонам Организации.

Их роль заключается в обнаружении, мониторинге, отслеживании и прогнозировании всех тропических циклонов в их соответствующих регионах. Эти центры в режиме реального времени предоставляют консультативную информацию и рекомендации национальным метеорологическим и гидрологическим службам.

Большинство научных климатических моделей прогнозируют сокращение числа тропических циклонов в мире в будущем, однако прогнозируется увеличение интенсивности сильнейших циклонов (во всем мире доля штормов категории 4 и 5 может вырасти на 0-25 %) и количества связанных с ними осадков. Модели показывают, что повышение уровня моря, вероятно, будет способствовать образованию штормовых нагонов.

Поэтому ожидается, что по мере повышения уровня моря в результате глобального потепления прибрежные районы будут все более подвержены наводнениям, вызванным штормовыми нагонами тропических циклонов. В результате освоения прибрежных районов увеличится численность подверженного риску населения.

Достоверность других прогнозов тропических циклонов, включая прогнозируемые изменения их траектории и скорости перемещения, обычно ниже. В целом достоверность различных прогнозов тропических циклонов ниже в масштабе отдельного бассейна, чем в среднем по всему миру.

Согласно публикации «Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes 1970-2012» (Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений за 1970-2012 годы), за последние полвека три из десяти самых смертоносных в мире стихийных бедствий были вызваны тропическими циклонами. На долю погибших в результате этих трех явлений приходится 43 % от общего числа погибших в десяти крупнейших бедствиях. Кроме того, по данным Атласа смертности и экономических потерь в

результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений за 1970-2012 годы, семь из десяти крупнейших по величине экономического ущерба бедствий были вызваны тропическими циклонами: на их долю приходится 82 % от общего объема экономического ущерба после десяти крупнейших бедствий. Шесть бедствий из десяти произошли в США.

Тропический циклон Мария, занимающий третье место по величине материального ущерба, в 2017 г. затронул ряд стран, включая Доминику, Доминиканскую Республику, Гваделупу (Фр.), Гаити, Мартинику (Фр.), Пуэрто-Рико, Соединенные Штаты Америки, Американские Виргинские острова и Британские Виргинские острова. В одной лишь Доминике ущерб оценивается в 1,5 млрд долл. США, что по расчетам составляет более 200 % валового внутреннего продукта страны (МВФ, 2019 год).

Десять самых губительных и разрушительных тропических циклонов (1970-2019 гг.) представлены в таблице.

Таблица – Десять самых губительных и разрушительных тропических циклонов (1970-2019 гг.)

Тип бедствия	Год	Страна	Число погибших, тыс.
1	2	3	4
Шторм	1970	Бангладеш	300
Шторм (Горки)	1991	Бангладеш	138,866
Шторм (Наргиз)	2008	Мьянма	138,366
Шторм	1985	Бангладеш	15
Шторм (Митч)	1998	Гондурас	14,6
Шторм	1977	Индия	14,204
Шторм (05В)	1999	Индия	9,843
Шторм	1971	Индия	9,658
Шторм (Фифи)	1974	Гондурас	8
Шторм (Хайян)	2013	Филиппины	7,354
Шторм (Катрина)	2005	Соединенные Штаты Америки	163,61
Шторм (Харви)	2017	Соединенные Штаты Америки	96,94
Шторм (Мария)	2017	Пуэрто-Рико	69,39

Шторм (Ирма)	2017	Соединенные Штаты Америки	58,16
Шторм (Сэнди)	2012	Соединенные Штаты Америки	54,47
Шторм (Эндрю)	1992	Соединенные Штаты Америки	48,27
Шторм (Айк)	2008	Соединенные Штаты Америки	35,63
Шторм (Иван)	2004	Соединенные Штаты Америки	24,36

Продолжение таблицы

1	2	3	4
Шторм (Чарли)	2004	Соединенные Штаты Америки	21,65
Шторм (Рита)	2005	Соединенные Штаты Америки	20,94

Примечание – Источник: собственная разработка на основе [4].

Таким образом, тропический циклон – это быстро вращающийся вихрь, возникающий в тропических широтах над поверхностью океанов, из которых он получает энергию для развития. Возникновение тропических циклонов в значительной степени зависит от циклонической циркуляции на нижних уровнях и антициклонической циркуляции на верхних уровнях в зоне, окружающей возмущение. Такая циркуляция приводит к большому входу момента количества движения через боковые границы возмущения и, следовательно, к росту завихренности. Важная роль в развитии тропических циклонов принадлежит верхнетропосферной ложбине к северо-западу от циклонического возмущения. Наличие крупномасштабного вихря концентрирует конвекцию (следовательно, и выделение теплоты конденсации) в центре вихря, крупномасштабная циркуляция снабжает эту область влагой, способствует большему развитию конвекции. Значительную роль в формировании тропических циклонов играет неустойчивость тропической атмосферы. Пассаты являются основными воздушными потоками, определяющими свойства и интенсивность будущего тропического циклона.

ГЛАВА 2 СТРОЕНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНОВ

В центре циклона образуется область низкого давления с облаками, которые двигаются по спирали по направлению к «стене глаза», окружающей сам «глаз» – центральную часть системы с преимущественно спокойной погодой и чистым небом. Диаметр циклона обычно составляет около 200-500 км, но может достигать и 1000 км.

В Северном полушарии ветры закручиваются против часовой стрелки, а в Южном – по часовой стрелке.

Прохождение тропического циклона приводит к резкому отклонению величин основных радиационных показателей и турбулентных потоков от среднеголетних значений для конкретного месяца. Радиационный баланс в тропическом циклоне ночью достигает слабоотрицательных значений, причем в тропическом циклоне над морем он больше, чем в тропическом циклоне над сушей.

Днем радиационный баланс в зоне тропического циклона очень мал (0-100 Вт/м²), однако к периферии вихря он быстро возрастает в 2-3 раза – до фоновых значений. В течение суток максимальная интенсивность турбулентного теплообмена между атмосферой и океаном наблюдается в районе кольца штормовых ветров, причем наибольшие значения потоков скрытого и явного тепла достигаются в восточной части тропического циклона.

В дневные часы значения потока скрытого тепла возрастают на 200-300 Вт/м² по сравнению с ночными значениями. Поток явного тепла над морем в ночные часы направлен преимущественно от атмосферы к поверхности, а днем – наоборот.

Тропический циклон сильно меняет тепловой баланс участков суши, над которыми он перемещается. В частности, круглосуточно наблюдаются высокие значения потоков явного тепла из атмосферы к поверхности, что связано со слабым прогревом суши в условиях низких значений радиационного баланса и одновременной адвекцией теплого воздуха с моря.

После прохождения тропического циклона отмечается быстрое (в течение суток) выравнивание значений потоков с фоновыми [3, с. 12].

Тропический циклон представляет воронку, диаметр которой с высотой заметно увеличивается. У поверхности земли ширина ее в среднем составляет 20 км, но может достигать 100-200 км, а в отдельных случаях – 300 км, а на высотах 2,6,8,10 км соответственно – 40, 100, 200 и 700 км. Масса воздуха в таких циклонах достигает от 3×10^{11} - 12 до 3×10^{13} тонн.

Тропический циклон вращается с большой скоростью вокруг вертикальной оси. В центре воронки движение воздуха направлено сверху вниз, а на границе воронки – снизу-вверх.

В структуре зрелых тропических циклонов поле горизонтальной циркуляции на нижних уровнях может быть разделено на три различные области:

а) внешняя область, которая простирается внутрь от периферии тропического циклона до зоны максимальных ветров. В этой части тропического циклона скорости ветра возрастают в направлении к центру;

б) область максимальных ветров (достигающих 100 и более м/с), которая окружает центр тропического циклона. Эта зона в ширину составляет 10-20 км, соседствует со стеной облачности, окружающей центр тропического циклона. Наиболее интенсивная конвекция и самые сильные дожди в тропическом циклоне обычно связаны с этой стеной облачности, поскольку низкоуровневая конвергенция и восходящее вертикальное движение здесь самые сильные;

в) центральная область – глаз бури, является самой внутренней частью тропического циклона, в которой скорость ветра быстро снижается с приближением к центру тропического циклона. Размер глаза, определяемый радиусом стены облаков, окружающих глаз бури, изменяется с течением времени.

Фотография тайфуна «VONGFOVG» от 08.10.2014 представлена на рисунке.

Циркуляция в интенсивных тропических циклонах распространяется вверх до высоты примерно 14-15 км (почти до тропической тропопаузы). Поскольку тропические циклоны имеют теплое ядро, циклоническая циркуляция уменьшается с высотой.

Вертикальная циркуляция в тропическом циклоне может быть также разделена на три слоя:

а) самый нижний слой, от поверхности до высоты 3 км – слой притока, поскольку он содержит ярко выраженный компонент движения в направлении к центру тропического циклона. Максимальный приток происходит в пограничном слое на уровне 950 гПа. В этом слое происходит преобразование потенциальной энергии в кинетическую. Приток воздуха к центру тропического циклона, обусловлен силами трения;

б) средний слой, от высоты примерно 3 до 7,6 км – поток в нем является большей частью тангенциальным при небольшом радиальном движении, либо при отсутствии такового;

в) слой оттока простирается от 7,6 км до вершины тропического циклона, при максимальном выходящем потоке в зрелых тропических циклонах, располагающемся примерно на высоте 12-16 км, а циркуляция воздуха становится антициклонической. Слой оттока концентрируется вблизи уровня 150 гПа и распространяется по горизонтали на большие расстояния [13, с. 28].

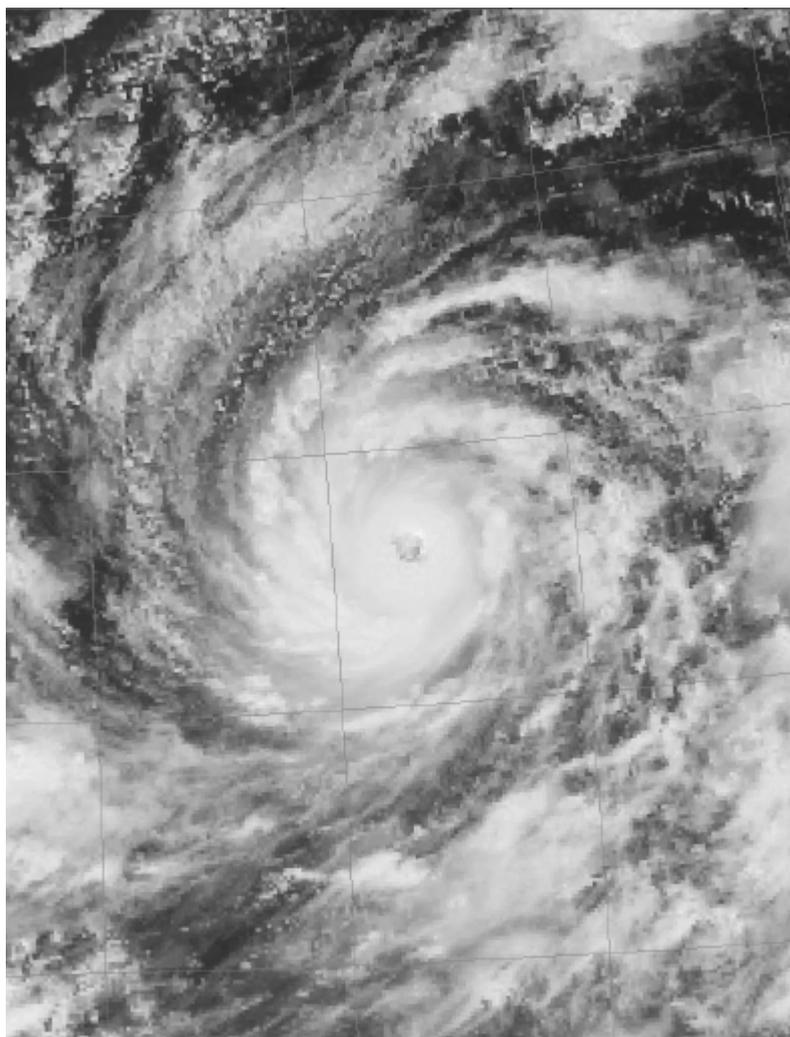


Рисунок – Фотография тайфуна «VONGFOVG» от 08.10.2014

Примечание – Источник: [1, с. 15].

Если также учитывать влияние трения, то тропический циклон может рассматриваться, как состоящий из пяти различных режимов: пограничный слой, режим ядра, режим зоны взаимодействия, режим внешней зоны и антициклонический режим оттока.

Тропические циклоны при своем движении и эволюции могут быть описаны атмосферными характеристиками полей приземного давления, ветра, температуры, влажности, облачности, осадков, изменения которых подвержены определенным закономерностям.

Пространственное изменение давления в тропиках согласно обычно незначительно отличается от среднего давления на уровне моря. Давление же в центре тропического циклона может быть на 5 или даже на 10 % ниже этого значения.

В центре тропического циклона давление обычно составляет 950-960 гПа. В отдельных случаях давление может упасть до 890 гПа. Рекордно низкое давление 870 гПа было отмечено в центре тайфуна «ТИР», наблюдавшегося 12 октября 1979 г. на Северо-западе Тихого океана.

Для тропических циклонов характерны большие градиенты давления: 14-17 гПа/100км (в отдельных тропических циклонах до 60 гПа/100 км, а иногда и 20 гПа на 20 км). Отмечается асимметричность в распределении градиентов давления, которая объясняется наложением барического поля тропического циклона на поле потока, в котором он движется [11, с. 55].

Ураганные скорости ветра обусловлены резким понижением давления в центре тропических циклонов, связанным с формированием теплого ядра в средней тропосфере. Это ядро образуется и поддерживается за счет выделения теплоты конденсации во внутренней части облаков.

На метеорологических станциях отмечались скорости ветра 50 и более м/с. Специальными ураганными анемометрами фиксировалась скорость ветра до 90 м/с, но затем приборы выходили из строя.

Можно предположить, что над морем скорость ветра достигает 110 м/с и более. Наиболее резкое возрастание скорости ветра наблюдается на границе глаза бури, где находится зона резкого перехода от дивергенции к конвергенции.

Интенсивные тропические циклоны являются видами прямой атмосферной циркуляции с теплым ядром, при которой теплый воздух поднимается, а холодный опускается. Тепловая энергия преобразуется в потенциальную энергию, а потенциальная в кинетическую.

Исходным источником энергии тропических циклонов является высвобождение скрытого тепла конденсации, которое происходит в стене облачности вокруг глаза бури циклона и в спиральных полосах дождя, а также повышенные температуры поверхности моря в низких широтах в основных зонах формирования тропических циклонов.

Отмечается симметричное распределение температуры воздуха относительно центра тропического циклона. Вне глаза бури температура примерно одинакова, внутри его – значительно выше. В зоне интенсивных осадков она несколько ниже, чем в окружающих районах.

Области развитой конвекции тропических циклонов (до 450 км от центра) имеют существенно большую относительную влажность по сравнению с соседними областями. В центральной зоне (0-100 км) относительная влажность до уровня 400 гПа превышает 90 %.

На увеличение влажности идет небольшая часть конвергируемого водяного пара, а основная часть водяного пара выпадает в виде дождя. Высокая влажность в нижней и средней тропосфере является необходимым условием для развития и поддержания тропического циклона.

Конвергенция влаги определяет скорость конденсации и выделения скрытой теплоты. Высокая влажность в средней тропосфере означает, что в облака будет вовлекаться влажный воздух, что дает возможность облакам развиваться до верхних уровней.

Тропический циклон собирает влагу с площади радиусом более 1000 км. Однако результаты численных экспериментов показали, что в поддержании интенсивности развитого тропического циклона важнейшую роль играет испарение с центральной области радиусом примерно 300 км.

Из-за направленной к центру радиальной скорости тропический циклон собирает влагу, испарившуюся с огромной площади. Большая часть испарившейся влаги выпадает в виде осадков.

Нередко осадки в зоне тропического циклона приводят к наводнениям. Например, при выходе циклонов на российский Дальний Восток осадков выпадает до 200-280 мм/сут. и выше.

За время прохождения тропического циклона через конкретную точку может выпасть в среднем примерно 500 мм осадков. В экстремальных случаях их количество может достигать 2500 мм.

Количество осадков при прохождении одного тропического циклона равно примерно годовому количеству осадков в большинстве районов умеренной зоны, которое составляет в среднем 600-800 мм, или превышает его в 3-4 раза.

Количество осадков, выпадающие в северном полушарии во всех тропических циклонах за год может достигать 20-30 % от годовой суммы осадков [16, с. 134].

Смена облаков при приближении тропического циклона напоминает смену облаков при приближении теплого фронта в умеренных широтах. В начале появляются перистые облака, за ними перисто-слоистые и высоко-кучевые.

Затем надвигаются мощные кучево-дождевые облака с ливневыми дождями, переходящие в стену грозовых облаков, которую иногда называют «валом» урагана. Вертикальная мощность облаков обычно составляет от 10-12 км до 14-16 км, достигая тропопаузы.

Кучево-дождевые облака сливаются в полосы, они по спирали направлены к центру тропического циклона и конвергируют в районе стены. Облачные полосы в хорошо развитом циклоне могут достигать длины в среднем 300-400 км, а в отдельных случаях – 900 км.

В одном тропическом циклоне их может быть несколько (наблюдались случаи до 7 полос). Средняя ширина – несколько километров [10, с. 22].

Таким образом, в центре циклона образуется область низкого давления с облаками, которые двигаются по спирали по направлению к «стене глаза», окружающей сам «глаз» – центральную часть системы с преимущественно спокойной погодой и чистым небом. В Северном полушарии ветры закручиваются против часовой стрелки, а в Южном – по часовой стрелке. Тропический циклон представляет воронку, диаметр которой с высотой заметно увеличивается. В центре воронки движение воздуха направлено сверху вниз, а на границе воронки – снизу-вверх. Циркуляция в интенсивных тропических циклонах распространяется вверх до высоты примерно 14-15 км.

ГЛАВА 3

ПОГОДА В ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ

Тропические циклоны сопровождаются экстремально сильными дождями, которые могут приводить к затоплению обширных территорий. Циклоны также приносят разрушительные и разорительные ветры: в самых интенсивных системах поверхностные ветры могут достигать скорости более 300 км/ч.

Сочетание вызываемых ветром волн и низкого давления в зоне тропического циклона может спровоцировать прибрежный штормовой нагон – огромный объем воды, выбрасываемой на берег на высокой скорости и с колоссальной силой, которая может смывать на своем пути строения и наносить значительный ущерб прибрежной окружающей среде.

Штормовой нагон является одной из самых серьезных угроз для жизни и имущества во время ураганов и штормов как у береговой линии, так и на километры вглубь суши.

Эвакуация в результате ураганов в первую очередь производится из-за опасности штормовых нагонов, которые за последнее столетие унесли миллионы жизней и нанесли ущерб, оцениваемый в сотни миллиардов долларов.

В 1970 г. мощный штормовой нагон стал причиной гибели 300 тыс. человек в заболоченной местности прибрежного района в Бангладеш. В 2013 г. около 6,3 тыс. человек погибли в результате штормового нагона во время урагана Хайян (Иоланда) в месте его выхода на сушу на Филиппинах.

В последние годы совершенствование систем прогнозирования и предупреждения значительно сократило число погибших в результате штормового нагона. Однако даже при наличии самых эффективных систем предупреждения сохраняется вероятность гибели большого числа людей.

Плотность населения в прибрежных районах увеличивается, уровень моря повышается, а изменение климата, как ожидается, увеличит частоту и интенсивность экстремальных погодных явлений, вызывающих штормовые нагоны, – т.е. жизнь и средства к существованию миллионов людей, живущих в низменных, густонаселенных районах, находятся под угрозой.

Дальнейшие наблюдения показывают, что в целом уровень штормовых нагонов в Европе, согласно прогнозам, возрастет в среднем примерно на 15 % к 2100 г. в рамках сценария с высокими уровнями выбросов и что изменение климата приведет к повышению уровня моря не только в связи с повышением уровня мирового океана, но и в связи с учащением штормовых явлений.

Штормовые нагоны являются важным компонентом прибрежной опасности, и до конца не известно, как они будут развиваться вдоль береговой линии Европы с учетом изменения климата. Исследование [8] было проведено Объединенным исследовательским центром JRC, Эгейским университетом в Греции и Дельтаресом в Нидерландах, и оно предоставляет прогнозы

штормовых нагонов для Европы на 2010-2040 и 2070-2100 гг. в соответствии с выбросами RCP4.5 и RCP8.5.

Согласно полученным данным, на побережье Северного и Балтийского морей наблюдается наибольшее увеличение штормовых нагонов, особенно на востоке.

Высокие штормовые значения уровня моря также прогнозируются вдоль западного побережья Ирландского моря, за которым следуют окраинные районы Балтийского и Норвежского морей.

Напротив, южно-европейское побережье может ожидать минимальных изменений, за исключением Северной Адриатики и некоторых частей Северного Черного моря.

Штормовой нагон – это аномальный подъем уровня воды в результате шторма. Основной причиной нагонов являются сильные ветры тропического циклона или мощные циклоны средних широт.

Однако рельеф дна океана, приливы и отливы, волны и поступление пресной воды из рек также влияют на повышение уровня воды во время штормового нагона. Высота штормового нагона может быстро расти: за считанные минуты уровень воды может вырасти от нескольких сантиметров до метра и выше.

Нагон может преодолевать огромное расстояние вглубь суши. Во время урагана Айк в некоторых местах нагон продвинулся почти на 50 километров (30 миль) вглубь суши.

Штормовой нагон может перемещаться по заливам и вверх по рекам – практически по любому водоему на берегу или вблизи него.

Приказы об эвакуации в связи со штормовыми нагонами должны выполняться незамедлительно. В результате шторма маршруты эвакуации могут быть повреждены, т.е. передвижение на автомобиле становится невозможным, а водоемы зачастую становятся непригодны для судоходства.

Во время штормового нагона уровень затопления домов может быстро повышаться: от нескольких сантиметров до 2-3 метров за несколько минут.

Один кубический метр морской воды (при 20 °С) весит 1024 кг – больше тонны. Поэтому штормовой нагон, несущий тонны воды со средней скоростью от 15 до 25 км/ч, обладает огромной мощностью.

Штормовой нагон высотой 50 см может унести машину с дороги, а в 15сантиметровом нагоне взрослому человеку будет трудно стоять. Разрушительная сила заключается в большом количестве обломков, деревьев и других предметов, обычно переносимых штормовым нагоном. Обломки, подобно тарану, могут рушить здания и сооружения на своем пути.

Ураган Катрина (2005 г.) является ярким примером того, какой ущерб и разрушения может вызвать штормовой нагон. По меньшей мере 1500 человек лишились жизни, а многие из них погибли в результате прямого или косвенного воздействия нагона.

В районе Нового Орлеана и вдоль побережья Миссисипи ураган нанес катастрофический ущерб, оцениваемый в 75 млрд долл. США. Катрина стал