



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ПО ЮНЕСКО-МОК и КУПЗ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Изменчивость опасных морских гидрометеорологических
явлений в последние десятилетия

Исполнитель

Малькова Олеся Владиславовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Малинин Валерий Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«12» исент 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление	
Введение.....	2
ГЛАВА 1 Опасные гидрометеорологические явления (ОГЯ).....	4
1.1 Определение ОГЯ.....	4
1.2. Экономический ущерб, доставляемый опасными гидрометеорологическими явлениями по всему миру.....	6
1.3. Статистика катастрофических явлений.....	12
1.4. Опасные морские гидрометеорологические явления	15
1.4.2. Тропические циклоны (ТЦ).....	20
1.4.3. Штормовые нагоны и наводнения	24
1.5 Статистика тропических циклонов (тайфунов).....	29
ГЛАВА 2 Статистические методы обработки данных.....	34
2.1 Статистические методы обработки данных.....	34
2.2 Исходные данные.....	38
ГЛАВА 3 Изменчивость опасных морских гидрометеорологических явлений за последние десятилетия	40
3.1 Первичный анализ	40
3.2 Корреляционный анализ	42
3.3 Анализ тренда временных рядов.....	43
3.3.1 Тренд по давлению в центре тайфуна	44
3.3.2 Тренд по скорости ветра тайфунов Мирового океана.....	45
3.4 Квантильный анализ.....	46
Заключение	50
Список используемой литературы	51

Введение

Объектом исследования данной работы является изучение изменчивости опасных морских гидрометеорологических явлений (ОГМЯ) в последние десятилетия. В условиях глобального климатического изменения наблюдается учащение случаев возникновения ОГМЯ в ряде районов Земли, что наносит значительный экономический ущерб различным государствам. На данный момент идет активный поиск причин учащения действий ОГМЯ, и в частности, ряд ученых связывают данный феномен с глобальным потеплением. Данное исследование показывает, что опасные метеорологические явления оказывают большой вред человеческой деятельности, включая экономику стран, нанося значительный ущерб устойчивому развитию. Таким образом, эта работа показывает важность в свете необходимости выявления опасных метеорологических явлений для обеспечения безопасности и устойчивого развития сообщества.

Актуальность работы - регулярность проявлений опасных гидрометеорологических явлений приводит к особым негативным последствиям для жизни населения разных территорий и государств. Недостаточная изученность проблемы не даёт в достаточной степени свести экономический ущерб к минимуму и снизить риск воздействия ОГМЯ.

Целью работы является исследование изменчивости опасных гидрометеорологических явлений в последние десятилетия с помощью статистических методов.

Для достижения цели были поставлены определенные задачи:

1. Исследовать особенности опасных морских гидрометеорологических явлений;
2. Описать статистические анализы на основе данных тропических тайфунов (данные количества тайфунов, скорости ветра, давление в центре) с помощью статистических методов (первичный анализ, корреляционный анализ, анализ тренда временных рядов, квантильный анализ)

3. Выявить закономерности межгодовых колебаний основных характеристик мощных тайфунов Тихого океана.

ГЛАВА 1 Опасные гидрометеорологические явления (ОГЯ)

1.1 Определение ОГЯ

Согласно РД 52.04.563-2002:

«Опасное гидрометеорологическое явление (ОГЯ) - метеорологическое, агрометеорологическое, гидрологическое и морское гидрометеорологическое явление и (или) комплекс гидрометеорологических величин, которые по своему значению, интенсивности или продолжительности представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб объектам экономики и населению.

Критерии опасных явлений - качественные характеристики ОГЯ либо значения гидрометеорологических величин, при достижении которых гидрометеорологическое явление считается опасным.

Неблагоприятное гидрометеорологическое явление (НГЯ) - гидрометеорологическое явление, которое значительно затрудняет или препятствует деятельности отдельных предприятий и отраслей экономики и по своим значениям не достигает критериев ОГЯ.

Таблица 1 — Опасные морские гидрометеорологические явления и их критерии.

Название	Определение	Критерии
Цунами*	Морские волны, возникающие при подводных и прибрежных землетрясениях и приводящие к катастрофическим последствиям	-
Шторм на море	Сильный ветер в открытом море	Средняя скорость ветра не менее 20 м /с и порывы не менее 25 м /с
Ураган на море	Чрезвычайно сильный ветер в открытом море	Средняя скорость ветра не менее 30 м /с и порывы не

Название	Определение	Критерии
		менее 35 м /с
Водяной смерч	Атмосферный вихрь в виде вращающегося воздушного столба или воронки, наблюдаемый над поверхностью моря	Скорость ветра не менее 20 м /с
Сильное волнение	Высокие ветровые волны и волны зыби	Высота волн не менее 4 м в прибрежной зоне, не менее 6 м в открытом море, не менее 8 м в открытом океане
Обледенение судов	Быстрое образование корки плотного льда на корпусе, палубе и надстройках судна при замерзании брызг воды	Интенсивность нарастания льда не менее 2 см /ч
Штормовой нагон	Сильное повышение уровня моря в прибрежной зоне моря или морском устье реки под воздействием нагонного ветра	Для каждого пункта устанавливает УГМС
Штормовой сгон	Сильное понижение уровня моря в прибрежной зоне моря или морском устье реки под воздействием сгонного ветра	То же
Сильный тягун в морском порту**	Резонансные длинноволновые колебания массы воды в портовых акваториях	Горизонтальное перемещение судов не менее 1 м
Интенсивный дрейф льда	Опасный дрейф скоростью более 1 км /ч ледяных полей размером более 20 м	Устанавливает УГМС по степени опасности, зонам проявления и возможному ущербу

Название	Определение	Критерии
	и толщиной более 10 см в прибрежной зоне моря	
Раннее появление льда	Необычно раннее появление плавучего льда и припая относительно средних многолетних сроков	Дата раннего появления льда; устанавливается УГМС
Сильное сжатие льдов**	Сжатие льдов в море, препятствующее безопасному проходу судов на трассах ледового плавания	Степень сжатия льдов 3 балла и более
Сильное проникновение морских вод в устье реки	Проникновение соленых (соленостью более 1 ‰) морских вод в устье реки на значительное расстояние, создающее угрозу нормальному водоснабжению	Устанавливает УГМС для конкретных устьев рек

* Места наблюдений за ОЯ «цунами» устанавливают специалисты УГМС (ЦГМС) вне зависимости от интенсивности и площади охвата этими явлениями.

** Перечень портов, в которых следует вести наблюдения за ОЯ «сильный тягун», а также зоны проявления ОЯ «сильное сжатие льдов» устанавливают специалисты УГМС.» [1]

1.2. Экономический ущерб, доставляемый опасными гидрометеорологическими явлениями по всему миру

Самыми распространенными ОГЯ на Земле являются: тропические штормы (тайфуны) – 32 %, наводнения – 32 % (а также в значительной мере относятся землетрясения, засухи и т.д.) [2]

Среди континентов мира наиболее подверженными воздействию опасными природными процессами являются: Азия (38%), Северная и Южная Америка (26%), Африка (14%), Европа (14%), Океания (8%). (рис. 1.0.)

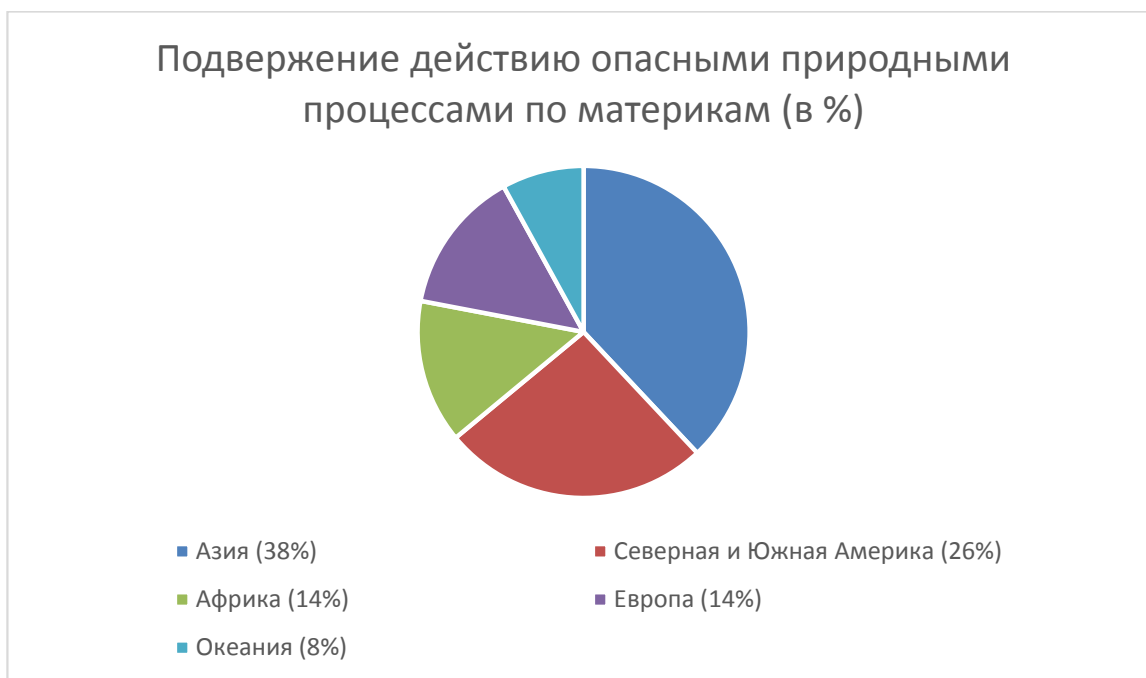


Рис. 1.0. Подвержение воздействию опасных природных процессов по материкам.

За последние 50 лет на Земле наблюдается в 3 раза большее количество природных катастроф. Этой тенденции сопровождается рост экономического ущерба, вызываемым данными катастрофами. В 60-х годах прошлого века потери были на уровне нескольких миллиардов долларов, а к концу уже достигали 85 миллиардов долларов. Суммарный экономический ущерб в мире за 2-ую половину XX столетия составил 895 миллиардов долларов и по прогнозам, к середине нашего века годовые убытки от катастроф могут достигнуть 300 миллиардов долларов. Статистические данные также указывают, что с 1980 по 2018 годы ущерб от стихийных и природных бедствий составил более 5,6 трлн долларов. В течение определенного периода времени, государственные органы претерпевали большие экономические потери, часть которых, около 4 трлн долларов, не была застрахована. Доля убытков, связанных с незастрахованными стихийными бедствиями, причем распределение количества которых представлено в следующем порядке: на метеорологические явления пришлось

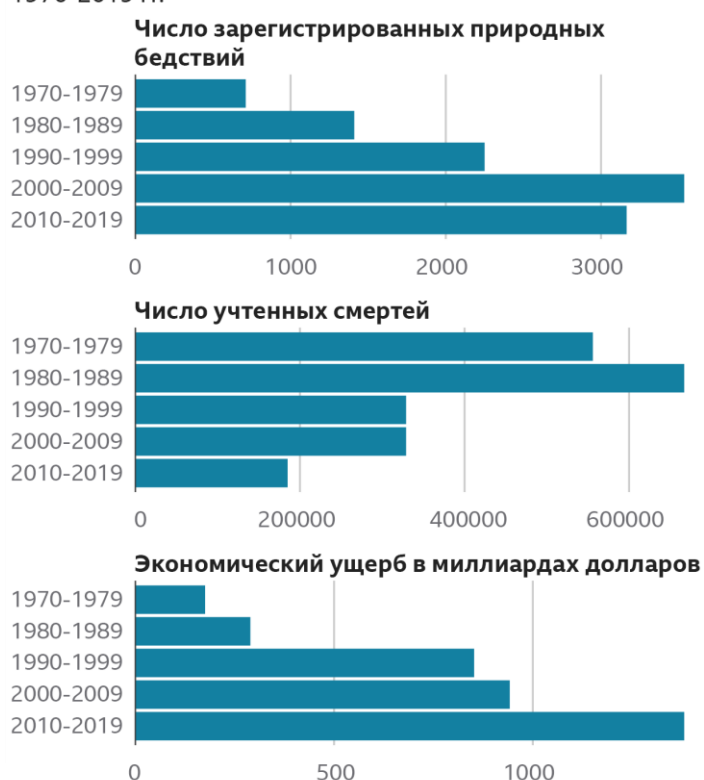
71,2 %, на климатологические – 10%, на геофизические и гидрологические соответственно – 9,4%. Это предоставляет региональным и местным властям основание для всеобъемлющих мер по укреплению системы защиты от стихийных бедствий с учетом частоты, категории и масштаба каждого возможного типа разрушительных явлений. [10].

«За период 2000–2019 гг. на Земле произошло 7348 глобальных природных катаклизмов, которые унесли жизни более 1,23 млн человек. В результате этих катастроф мировая экономика потеряла около 4,17 трлн долларов (1,19 трлн – в период с 2000 по 2009 г. и около 2,98 трлн – в период с 2010 по 2019 г.). В тоже время за предыдущие 20 лет, с 1980 по 1999 г., было зафиксировано почти в два раза меньше природных катастроф – 4212. Они унесли жизни свыше 1,19 млн человек, но мировая экономика потеряла лишь 1,63 трлн долларов. Таким образом, отмечается существенное ускорение глобальных катаклизмов и ущерба от них.» [3]

На рис. 1.1 приводится распределение числа природных катаклизмов, учтенных смертей людей и экономический ущерб для всего мира за отдельные десятилетия в течение 1970-2019 гг. Нетрудно заметить, что идет резкий рост природных бедствий, число которых с 1970-1979 гг. возросло в 4 раза. При этом число зарегистрированных смертей от них значительно (более чем в 3 раза) снизилось. Это значит, что человечество почти научилось с ними бороться в плане сохранения человеческих жизней. К сожалению, ситуация значительно усугубилась в экономическом плане. Так, в связи с интенсивным развитием инфраструктуры и нарушением правил хозяйствования в районах, подверженных ОПЯ (опасные природные явления), экономический ущерб от них вырос примерно в 10 раз. Поэтому минимизация экономического ущерба от ОПЯ является главенствующей задачей современности. [4]

Как менялось число погодных катаклизмов

Число и влияние природных катастроф по декадам,
1970-2019 гг.



Источник: доклад Всемирной метеорологической организации ООН,
2021 год

BBC

Рис. 1.1 Распределение числа природных катаклизмов, учтенных смертей людей и экономический ущерб от них за период 1970-2019 г. по десятилетиям.

[4]

Для территории России только за период 17 лет (1996-2012 гг.) рост ОПЯ происходил со скоростью 188/10 лет, в результате чего их число увеличилось более чем в 2 раза (рис. 1.2). В России по оценкам Всемирного Банка ежегодные экономические потери от воздействия ОГЯ составляют примерно 1 млрд. долларов США. [5]

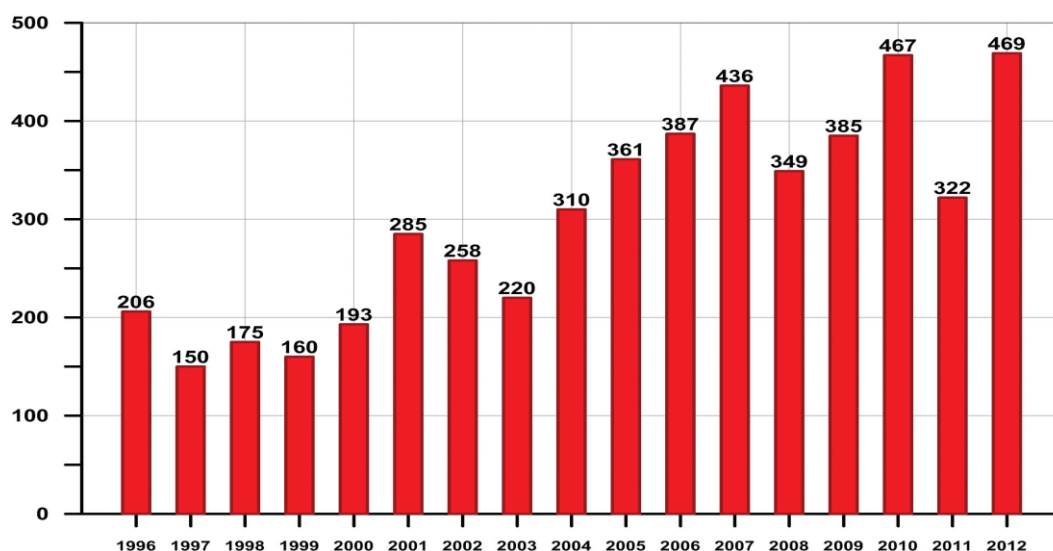


Рис. 1.2. Распределение для территории России за период 17 лет (1996-2012 гг.) опасных гидрометеорологических явлений, наносящих значительный экономический ущерб. [5]

Оценка ущерба наводнений в устьях рек посредством штормовых нагонов.

Нагонные наводнения способны вызывать значительный ущерб на устьевых участках многих рек во всем мире, и к особенно подверженным этому явлению регионам относятся приморские районы. Штормовые циклоны, движущиеся вдоль побережья, могут приводить к нагонасосной волне, которая вызывает подъем уровня воды в реке. Такие наводнения наблюдаются на территории разных стран, включая Россию, Западную Европу, США, Индию, Центральную Америку и Бангладеш. Например, река Нева в Санкт-Петербурге (Россия) является объектом такого типа наводнений. Повышение уровня воды на реке может происходить резко и быстро, от начала подъема до достижения максимальной отметки уровня может пройти всего несколько часов или до 6-12 часов. Это может вызвать значительные потери и привести к разрушению инфраструктуры и жилых объектов, а также привести к потере человеческих жизней. [6]

«Высокие опустошительные нагонные наводнения наблюдаются на северном побережье Мексиканского залива, в Карибском море, на всем

Атлантическом побережье США, от южной оконечности п-ова Флорида и почти до Нью-Йорка. В конце августа — начале сентября 2005 г. катастрофическое наводнение вследствие нагона воды при прохождении урагана Катрина произошло в штате Луизиана, США. В результате наводнения Новый Орлеан с населением в полмиллиона человек был затоплен на 75%, в городе и штате погибло около 1,3 тыс. чел. Материальный ущерб оценивается в десятки млрд долл.» [7]

Нижние течения и устья рек, впадающие в Северное море, являются местами, подверженными наводнениям в Западной Европе. Жители прибрежных территорий Германии, Голландии и Англии подвергаются значительным потерям из-за этого естественного явления. Наиболее катастрофическим считается наводнение, произошедшее на побережье Северного моря в 1953 году. Это было наводнение, которое привело к огромным материальным потерям для Великобритании, Германии, а особенно для Нидерландов.

Одной из причин разрушительного действия наводнения были нарушения в системе защитных дамб. В устьях рек Рейна, Мааса, Шельды и других рек подъём уровня воды навёл наводнение и разрушение дамб. Более 8% территории Нидерландов оказалось под водой, а две тысячи человек погибли.

Наводнения в Западной Европе привели к серьезным последствиям для экономики и жизни людей. Они имеют значительное влияние на территории, расположенные вблизи устьев рек, впадающих в Северное море. [7]

Ветровые нагонные волны, которые являются самыми высокими на Земле, наблюдаются на побережье Индии, а конкретно в окрестностях Калькутты. В 1980 г. во время наводнения затопило более 1 млн га земель, 50% которых составляли с/х угодья. На данной, оказавшейся под затоплением, территории оказались миллионы человек, а ущерб превысил 300 млн долл. Затем, уже в следующем столетии, в августе 2001 г. деревни, расположенные на побережье Бенгальского залива в Бангладеш, испытали крупное нагонное наводнение. Волна прилива по времени пересеклась с нагонным ветром проходившего

циклона и совпала, которая вызвала значительное затопление прибрежных территорий и оторвав от суши порядка 100 тыс. чел. [7]

Оценка ущерба ураганами и тайфунами.

«С 1950 по 1988 гг. на территории Бангладеш произошло 25 сильнейших наводнений. В 1970 г. в районе дельты Ганга и прибрежной полосы под водой оказалась территория в 20 тыс. км². Только по официальным данным, от наводнения погибло 300 тыс. чел., по другим — около 1,5 млн чел. Ущерб составил 63 млн долл. Особенно сильные наводнения наблюдались в 1987 и 1988 гг. По официальной оценке, в 1988 г. из общей площади территории страны (144,8 тыс. км²) было затоплено 82 тыс. км². От наводнения пострадало 7 млн домов, погибло более 2 тыс. чел., 172 тыс. голов крупного рогатого скота, утрачено 2 млн т риса. Материальный ущерб оценен почти в 2 млрд долл.» [9]

В 1999 году на территории Северной Каролины произошло стихийное бедствие - тропический ураган Денис. На расстоянии порядка 100 км от континента образовался эпицентр урагана, который вызвал увеличение высоты морских волн до 10 метров. На прибрежных территориях штата были зарегистрированы серьезные разрушения и нанесен значительный ущерб местным жителям. В результате происшествия убытки оценили в более чем 50 тыс. пострадавших и 2 человека, потерявших жизнь.

По данным исследований за период с 1960 по 1970 года на побережье США было зафиксировано 13 случаев естественных катаклизмов, связанных с тропическими циклонами. [7]

Часто настигают катастрофические нагонные наводнения, которые вызываются тайфунами (местное название тропических циклонов на Дальнем Востоке и в Юго-Восточной Азии) во многих районах Тихого океана — на Гавайских Японских, Филиппинских и на других островных территориях (архипелагах).

1.3. Статистика катастрофических явлений

«С начала века было зарегистрировано 6681 катастроф, связанных с климатом, по сравнению с 3656 в течение предыдущего 20-летнего периода, т.е.

произошел рост в 2 раза. Количество крупных наводнений увеличилось более чем вдвое до 3254, зафиксировано также 2034 крупных штормов по сравнению с 1457 в предыдущем периоде.» [10]

Сегодня самым смертоносным стихийным бедствием за последние 20 лет стало цунами 2004 года в Индийском океане, унесшее жизни 226400 человек, за которым последовало землетрясение на Гаити в 2010 году, унесшее жизни около 222000 человек. [10]



Рис. 1.3. Число природных катастроф и экономические потери населения земного шара за 1950-2002 гг.

Из рис. 1.3. видно, что число природных катастроф на земном шаре росло линейно, в то время как экономический ущерб от них возрастал экспоненциально. Это связано со значительным повышением благосостояния населения Земли.

Самые разрушительные цунами в истории (данные с 1900 по 2004 год)

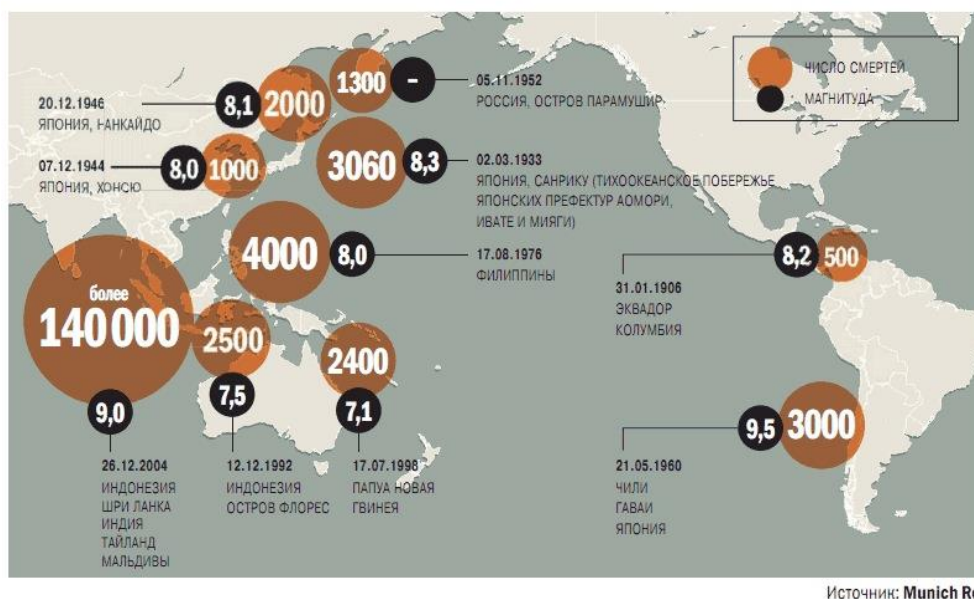


Рис. 1.4. Сведения о самых разрушительных цунами в истории Земли с 1900 года.

Из рис.1.4. следует, что в результате цунами 26.12.2004 г. наибольшее число погибших (более 140 тыс. чел.) приходится на территорию юго-восточной Азии (Индонезия, Шри Ланка, Индия, Таиланд). Хотя эта цифра представляется заниженной.

ВМО (Всемирная метеорологическая организация) в результате исследований разработали концепцию, направленную на смягчение последствий подобных опасных явлений.

Основными мероприятиями, что предлагает данная концепцией, являются:

1. Всесторонняя оценка риска возникновения ОГЯ в конкретной стране;
2. Разработка национальных и местных (локальных) планов по урегулированию последствий стихийных бедствий;
3. Активизация долгосрочных мер по предотвращению негативных последствий;
4. Повышение уровня готовности и информированности населения;
5. Обеспечение быстрого доступа к глобальным системам предупреждения через локальные системы.

Отдельное внимание уделяется созданию комплексной системы мониторинга окружающей природной среды и как можно более широкому распространению предупреждений об предстоящих и возможных угрозах. Очевидно, что реализация всех этих мероприятий потребует значительных усилий со стороны властей и общественности, но лишь при таком подходе можно добиться уменьшения экономического ущерба и числа жертв от стихийных бедствий. [11]

1.4. Опасные морские гидрометеорологические явления

1.4.1. Цунами

Цунами представляет собой природное явление, которое возникает из-за мощных колебаний толщи морской воды. Серия длинных волн, образовавшихся в результате этого явления, может иметь высоту гребня волны в диапазоне от 10 м до 40 м и скорость распространения до 900 км/час.

Это явление может представлять собой череду приливов и отливов, но чаще встречаются несколько волн, наступающих на береговую линию с определенным временным промежутком, в диапазоне от трех минут до двух часов. Более 80% цунами больше возникают на территории Тихого океана. Цунами является одним из наиболее опасных природных явлений, так как может привести к разрушительным последствиям на территории побережья. [12]

«При средней глубине океана 4 км скорость распространения волны цунами равна 200 м/с или 720 км/ч. В открытом океане высота волны обычно не превышает 50 см, и поэтому она не опасна для судоходства. Период волны — от минут до часа, длина волны может быть от десятка до нескольких сот километров, скорость в океане — 600—900 км/ч, на континентальном шельфе — 100—300 км/ч. При выходе волн на мелководье, вблизи береговой черты, их скорость и длина уменьшаются, а высота увеличивается (рис. 1.5.). У берега высота цунами может достигать нескольких десятков метров. Наиболее высокие волны, до 30—40 метров, образуются у крутых берегов.» [12]

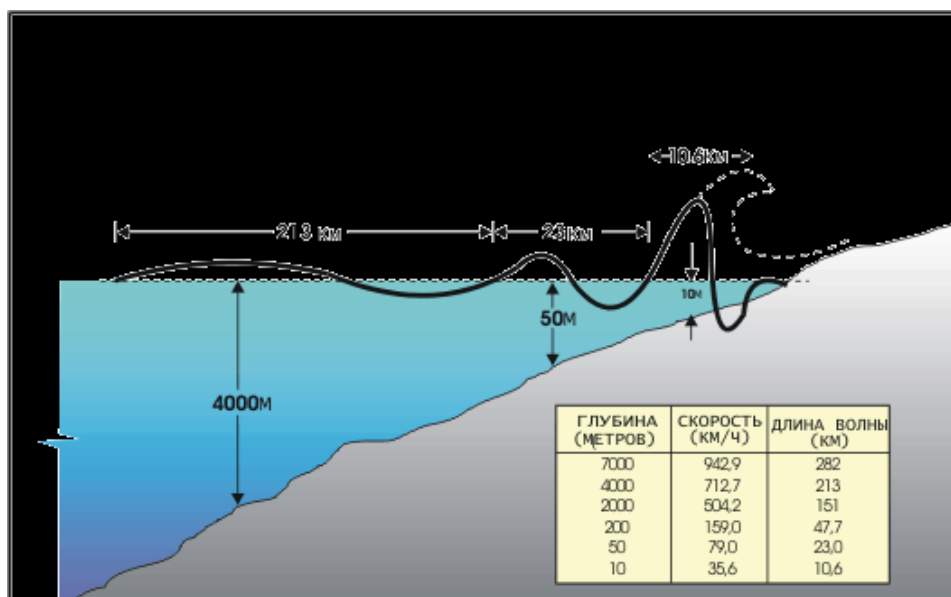


Рис. 1.5. Трансформация волны цунами на мелководье. [13]

Пример выхода на берег гигантской волны цунами приводится на рис. 1.6.

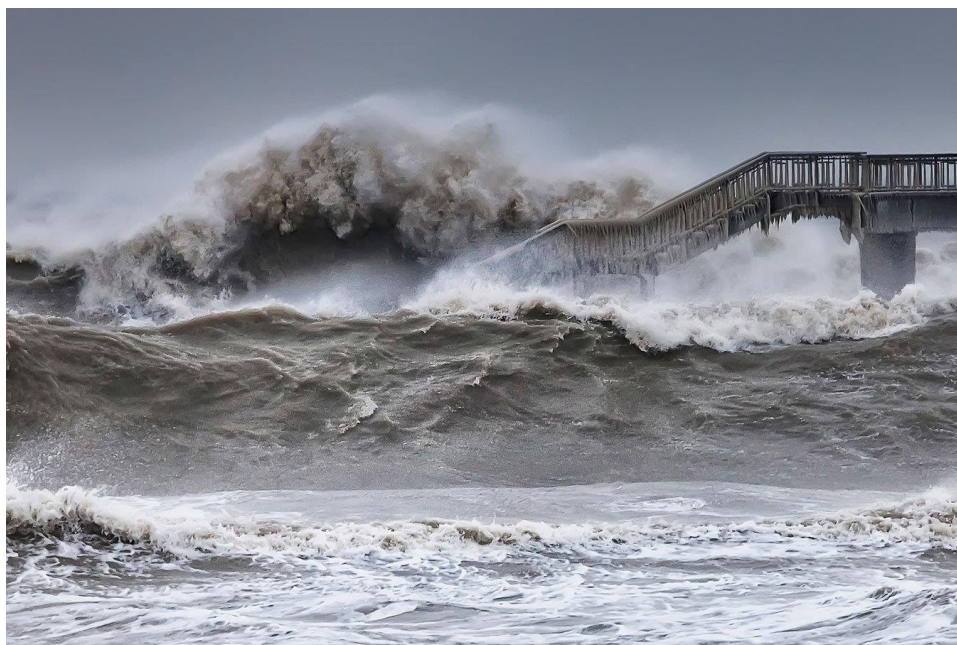


Рис. 1.6. Волна цунами при выходе на берег.

Причины возникновения цунами.

Подводное землетрясение (большая часть всех цунами – около 85%). Причиной возникновения цунами может быть землетрясение на дне океана. Цунами образуются во время резкого вертикального движения литосферных плит вдоль разлома при сильном землетрясении (рис. 1.7.). Поверхность воды

приводится в колебательное движение по вертикали, стремясь вернуться к исходному уровню, — среднему уровню моря, порождая серию волн. [12]

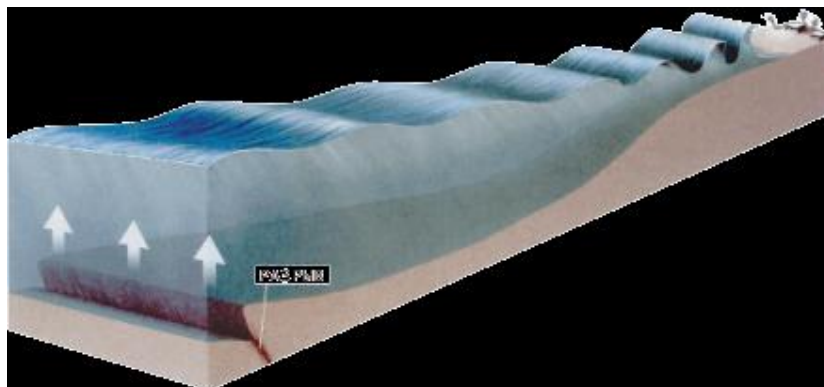


Рис. 1.7. Создание цунами при вертикальном движении океанического дна [13]

При землетрясении, важно помнить о значительном перемещении океанической коры; В результате этого возникают мощные гребни волн, которые могут обрушиться на береговую линию со страшной силой, нанося огромный ущерб городам и поселениям, расположенным вдоль побережья. [13]

В мировой истории нашли отражение многие страшные и разрушительные события. Одним из таких событий является цунами обрушившееся на побережье Чили 22 мая 1960 года. Землетрясение, которое создало цунами, привело к колоссальным разрушениям, которые произошли вдоль побережья. Нужно отметить отметить, что все поселения, находящиеся между широтами 36° и 44° , были полностью или частично разрушены. Высота гигантских волн, вызванных цунами, достигла 13 м. на о. Питкэрн, 12 м. в г. Хило на Гавайях и 7 м. в нескольких районах Японии. В других регионах, выступавших свидетелями этого события, высота волн была не такой значительной. Количество смертей и разрушений, причиненных этим цунами, оказалось настолько высоким, что сложно сосчитать каждый конкретный случай. [12]

Оползни. XXI веке стало очевидно, что цунами подобного типа, генерируемые оползнями, возникают чаще, чем предполагалось ранее. Около 7% всех случаев цунами приходится на этот тип. Оползни, возникающие в результате землетрясений, часто служат причиной формирования цунами. Одним из самых известных случаев цунами, вызванного оползнем, стало

происшествие 9 июля 1958 года на Аляске, в бухте Литуйя, землетрясение привело к падению большой массы льда и горной породы с высоты 1100 м. В результате чего образовалась волна, которая достигла противоположного берега бухты высотой более 524 м. Подобные случаи, к счастью, достаточно редки. Подводные оползни в дельтах рек также представляют опасность, которые происходят намного чаще - землетрясение может стать причиной обрушения оползня. В Индонезии, где значительная степень шельфового осадконакопления, цунами, созданные оползнями, являются особенно опасными, т.к. происходят часто и вызывают локальные волны более 20 м. [12]

Вулканические извержения (5 % от всех цунами). Масштабные подводные извержения вулканов обладают сходным эффектом, как и землетрясения. При самых сильных взрывах от вулкана образуются волны, вода заполняет полости от извергнутого материала, вследствие чего и возникает длинная волна. Цунами, которое образовалось вследствие извержения вулкана Кракатау в 1883 году (рис. 1.8.), обрушившееся на острова Ява и Суматра, волны смели много мелких островов. [12]

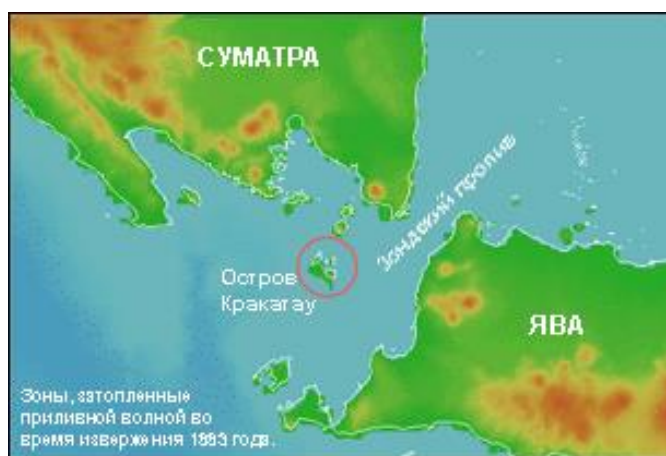


Рис. 1.8. Расположение острова Кракатау.

Искусственные цунами вызывается, прежде всего, ядерным взрывом. Во время испытаний проверялась мощность цунами, которые создаются взрывами разной мощности. [12]

Внезапный быстрый отход воды от берега на большое расстояние и осушка дна. Чем дальше отступило море, тем выше волны цунами. [12]

Классификация волн цунами.

Классификации цунами встречаются по 3 признакам.

1. По происхождению:

- подводные землетрясения;
- береговые землетрясения;
- извержения подводных и островных вулканов;
- оползни на морском дне.

2. Интенсивность цунами оценивается в диапазоне от 1 до 6 баллов. Если волны не представляют опасности и регистрируются только приборами, то это 1 балл. Подтопление берега – это 2 балла. Оценивается средняя интенсивность, когда высота волн до 2 метров, что соответствует 3 баллам. В этом случае цунами могут нанести незначительный ущерб сооружениям береговой линии и выбросить легкие суда на сушу. Если высота волн составляет до 3 метров, то это уже считается сильной интенсивностью – 4 балла. В этом случае цунами могут нанести разрушения средней степени тяжести строениям и возможна гибель людей. Небольшие суда выбрасывает на берег и затем смывает в море. Очень сильная интенсивность цунами оценивается в 5 баллов, когда высота волн достигает от 8 до 23 метров. В этом случае фиксируются человеческие жертвы, разрушения зданий могут быть значительными, а степень их зависит от удаленности прибрежной линии. На суше могут оказаться даже крупные суда. Когда интенсивность цунами достигает максимального значения – 6 баллов, то волны можно назвать "волнами-убийцами". Последствия такого катастрофического события могут быть крайне опасными для населения, а прибрежные территории полностью затопляются.

Цунами имеет разрушительные последствия, возникает в результате землетрясений мощностью от 6 баллов по шкале Рихтера. Высота поднимающейся волны зависит не только от сейсмической активности, но и от удаленности эпицентра от побережья и поверхности моря.

3. По количеству жертв:

Характеристика численности погибших является важной составляющей при оценке последствий цунами. Для классификации степени ущерба на основе количества жертв выделяют несколько категорий. Так, первая группа включает случаи, когда погибших нет. Вторая группа относится к ситуациям, когда число погибших не превышает 50 человек. Группы 3 и 4 включают соответственно случаи с 50-100 и 100-1000 жертвами. Наконец, пятая группа характеризуется наличием более 1000 погибших. Такая классификация помогает оценить степень трагедии и принять соответствующие меры по предотвращению подобных случаев в будущем. [12]

1.4.2. Тропические циклоны (ТЦ)

«Тропические циклоны наиболее мощные, обладающие огромной разрушительной силой и энергией явления природы. Тропический циклон формируется в области с высоким показателем температуры водной поверхности (от 26°C). Разница между температурой воды и воздуха превышает 2°C, что провоцирует усиленное испарение. Влага концентрируется в воздушном пространстве, в атмосферных слоях накапливается тепло, воздух устремляется вертикально вверх. Нагретый увлажненный воздух, поднявшийся в атмосферу, из-за вращения планеты вихреобразно закручивается. Образовавшийся вихрь обладает колоссальным запасом энергии. Циклон за сутки выделяет энергию равную $5 \cdot 10^{16}$ кДж, что эквивалентно 500 тысячам атомных бомб, сброшенных американцами в августе 1945 года на японские города Хиросима и Нагасаки.» [14]

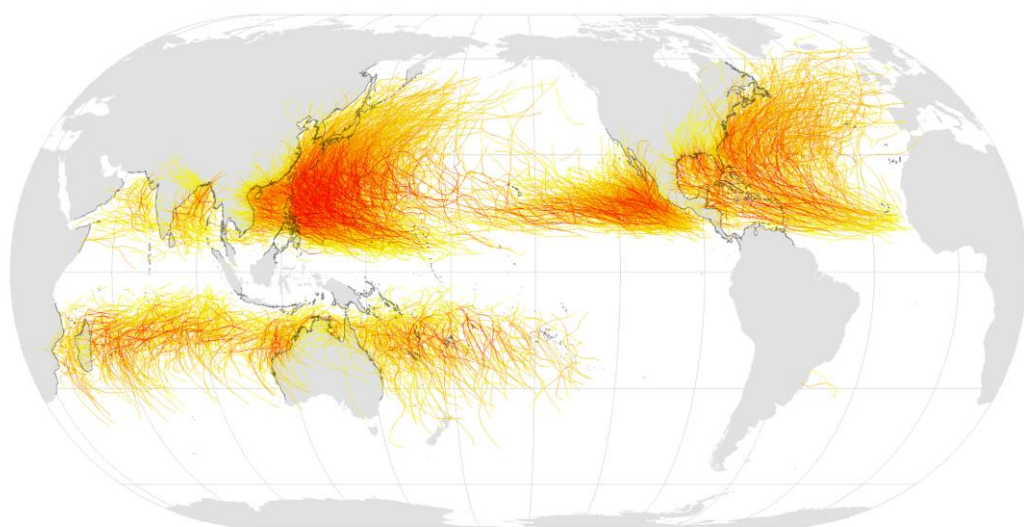
Характерные особенности тропических циклонов:

- Ураганы возникают только при температуре моря на поверхности более +26 градусов;
- В центре урагана наблюдается крайне низкое атмосферное давление;
- Градиенты давления в горизонтальной плоскости достигают очень высоких значений в урагане;
- Скорость ветра в урагане достигает более 180 м/с;

- В зоне урагана на морской поверхности возникают огромные неупорядоченные волны, напоминающие толчею;
- Облака вертикального развития, высотой до 18 км, собираются в облачную стену вокруг центра урагана;
- В урагане наблюдаются мощнейшие ливни и грозы;
- У тропических циклонов горизонтальные размеры меньше, чем внетропические, достигая 500-800 км;
- Ураган передвигается над какой-либо территорией на протяжении 9-12 суток, причиняя огромное количество жертв и разрушений;
- Между центром и периферией тропических циклонов на расстоянии 1 градуса (111 км.) Разность в атмосферном давлении составляет 30-40, а где-то иногда и 100 мбар между центром и периферией тропических циклонов на расстоянии 1 градуса (111 км) составляет 30-40, а иногда более 100 мбар. [14]

Ураганные ветры с помощью штормовых волн вызывают разрушения, сопровождающиеся катастрофическими наводнениями в бухтах, узких заливах и устьевых участках рек высотой 8-10 м. Географическое распределение зон формирования и распространения тропических циклонов над океанической акваторией представлено на рис. 1.9.

Tropical Cyclones, 1945–2006



Saffir-Simpson Hurricane Scale:

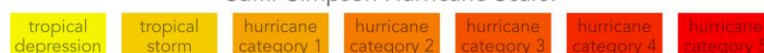


Рис. 1.9. Места зарождения и распространение тропических циклонов.

Как видно на этом рисунке, тропические циклоны возникают преимущественно в Северном полушарии:

- В Тихом океане – к востоку от Филиппинских островов, также в южной части Южно-Китайского моря с мая по ноябрь; к западу от Калифорнии и Мексики с июня по октябрь;
- В Атлантическом океане – к востоку от Малых Антильских островов, а также на востоке Карибского моря с июля по октябрь; на север от Больших Антильских островов с июля по октябрь; западная часть Карибского моря в июне и с конца сентября до начала ноября; в Мексиканском заливе с июня по ноябрь; у островов Зеленого Мыса с июля по октябрь;
- В Индийском океане – в Аравийском море в мае - июне и октябре – ноябре и в Бенгальском заливе с июня по ноябрь.
- В Южном полушарии ТЦ зарождаются в Индийском океане – на восток от Мадагаскара и северо-запад Австралии с ноября по апрель – май; в Тихом – в периферии островов Новые Гебриды и Самоа с декабря по апрель.

«Тропические циклоны могут возникать в любое время года в частях тропического климатического пояса всех океанов, за исключением юго-восточной части Тихого океана и южной части Атлантики. Наиболее часто (в 87% случаев) они возникают между широтами 5° и 20° . В Атлантике тропические циклоны образуются лишь в Северном полушарии, в то время как в Индийском и Тихом океанах они встречаются в обоих полушариях. Причина этого явления – присущие этим акваториям особенности распределения поверхностной температуры воды, обусловленного характерной для них структурой поверхностных течений. В Атлантике значительную часть теплой воды, образующейся на поверхности тропической зоны Южного полушария, уносит в Северное полушарие северная струя Южно-пассатного течения, вследствие чего вода в этой зоне обладает достаточно высокой температурой лишь у восточного побережья Южной Америки.» [15]

Стадии развития тропического циклона.

Стадия формирования. Давление не меньше 1000 гПа в центре циклона и умеренным ветром. Развитие может проходить в 2 вариантах: медленное (продолжительность несколько суток), или быстрое (заканчивается в течение 12 часов).

Стадия молодого циклона. Давление не превышает 1000 гПа, и ветер ураганной силы обнаружен хотя бы в одной его части, то это значит, что циклон на данный момент находится на стадии, когда возможны 2 типа развития:

- 1 тип предполагает короткий период ураганного ветра в одной из частей циклона, после чего он начинает заполняться и длительное время существует в виде тропической депрессии.
- 2 тип развития характеризуется резким углублением циклона и снижением давления в его центре. В этом случае ураганные ветры образуют плотное кольцо облаков вокруг центра циклона.

Стадия зрелости. Здесь давление останавливает своё снижение в центре циклона. Скорость ветра прекращает расти, но зона сильных ветров продолжает распространяться. Если в начале ураганные ветры циклона наблюдаются только в радиусе 30-50 км, то к концу зрелой стадии этот радиус достигает 300-350 км. Этот этап длится несколько дней.

Стадия затухания. Циклон начинает заполняться - он находится в стадии ослабления. Это наиболее часто мы наблюдаем, когда циклон движется из тропических широт в зону западных ветров или когда он достигает континента.
[15]

Тропические циклоны имеют классификацию, соответствующую с максимальной скоростью устойчивого ветра:

- *Тропическая депрессия* — максимальная устойчивая скорость ветра составляет менее 63 км/ч;
- *Тропический шторм* — максимальная устойчивая скорость ветра более 63 км/ч (присваивание имён);

- *Ураган/тайфун/тропический циклон/очень сильный штормовой циклон* — максимальная устойчивая скорость ветра больше 116 км/ч. [16]

«Для идентификации атлантических ураганов главным образом в США и сопредельных странах используется шкала Саффира-Симпсона (табл. 2) При этом за основу берется максимальный устойчивый ветер, дующий в течение 1 минуты. Ураганы делятся на 5 категорий. В наивысшей пятой категории скорость ветра превышает 70 м/с или 252 км/час.» [17]

Таблица 2. - Шкала атлантических ураганных ветров Саффира-Симпсона.

	Шкала ураганных ветров Саффира–Симпсона			
Категория	Максимальный устойчивый ветер продолжительностью 1 минуту			
	м / с	узлы (кн)	миль / ч	km/h
5	≥ 70 м / с	≥ 137 кн	≥ 157 миль / ч	≥ 252 km/h
4	58-70 м / с	113-136 кн	130-156 миль / ч	209–251 km/h
3	50-58 м / с	96-112 кн	111-129 миль в час	178–208 km/h
2	43-49 м / с	83-95 кн	96-110 миль / ч	154–177 km/h
1	33-42 м / с	64-82 кн	74-95 миль в час	119–153 km/h

Согласно этой шкале, основывающаяся на скорости ветра практикуется в Северной Атлантике, прибрежных частях Северной и Центральной Америк, в центре северной части Тихого океана, сила урагана определяется по шкале от 1 до 5. [17]

1.4.3. Штормовые нагоны и наводнения

Штормовые нагоны.

«Термином «штормовой нагон» обозначают подъем морских вод выше среднего уровня океана, который отмечается при приближении циклона к берегу.

В открытом море низкое атмосферное давление в центре шторма вызывает подъем воды выше уровня окружающей поверхности. При приближении шторма к побережью ветер может нагнать и без того высокую воду к берегу в зависимости от конфигурации последнего. Если это совпадает с высоким лунным приливом, подъем уровня моря над его обычным уровнем может достигать 7 метров и более, что приводит к быстрому затоплению низких участков побережья.» [18, 19]

Штормовой нагон чаще всего возникает на участке шириной 15-30 км, а действие ветровых волн и зыби распространяется до 350 км от центра циклона. Единовременное воздействие волновых течений, волн и ветра может приводит к размыванию берегов, что вероятнее всего уничтожит пляжи, с/х земли, постройки и поселения.

Нагон зависит от нескольких факторов (рельеф дна, форма береговой линии, размер, интенсивность, направление и скорость движения циклона). Высокие нагоны происходят в заливах с широким устьевым участком и резким уменьшением его ширины или глубины. Высота нагона может быть от 2 до 5,5 м, а его длительность - от минут до нескольких суток. В Японии много территорий на побережье подвергаются значительным штормовым нагонам, что вызываются тайфунами. В 1959 году тайфун Вера создал мощный нагон в 3,4 высотой, который затопил город Нагоя, где погибло около 5 тыс. человек. [22]

«Наличие низин, выходящих к мелководному побережью, при их затоплении приводило в истории наблюдений за циклонами и к более тяжелым последствиям. Знаменитый Галвестонский ураган (штат Техас, США) в 1900 г. вызвал гибель более 6 тыс. человек. Ураган Камилла 1969 г. вызвал в устье р. Миссисипи штормовую волну высотой более 7 м, погибло более 100 чел.» [19]

Кубический метр морской воды (при 20 °С) имеет вес 1024 кг – это говорит нам о том, что штормовой нагон, который несёт за собой ни одну тонну воды со скоростью от 15 – 25 км/ч обладает колоссальной мощностью. [18]

Ураган Катрина (2005 год) стал причиной наводнения в результате штормового нагона: уровень воды превысил на 25—28 футов (7,5—8,5 метров) -

это пример того, какой ущерб и разрушения может вызвать штормовой нагон, в котором погибло не менее 1500 человек. [19]

Существует 5 процессов, вовлеченные в изменение уровня прилива во время шторма.

1. Эффект прямого ветра.

Спираль Экмана вызывает поверхностные течения под углом 45° к направлению ветра, когда на поверхности воды действует сильный ветер. Также наблюдается явление «установки ветра», при котором уровень воды повышается на наветренном берегу и понижается на подветренном. Это связано с тем, что шторм переносит воду в сторону, куда направлен ветер, что приводит к размыву берега и гибели людей.

2. Влияние атмосферного давления

В океане повышение уровня воды связано с давлением тропического циклона, которое противоположно низкому атмосферному давлению, что приводит к увеличению общего давления в некоторой плоскости под поверхностью воды. Каждый миллибар падения атмосферного давления вызывает повышение уровня моря на 10 мм (0,39 дюйма).

3. Эффект вращения Земли

Эффект Кориолиса, что вызывается вращением Земли вокруг своей оси, поворачивает течения вправо в северном полушарии и влево в южном и когда этот поворот приводит течения к более перпендикулярному контакту с берегом, это усиливает, или может уменьшить нагон.

4. Эффект волн вблизи берега

Воздействие ветра на волны отличается от ветровых штормовых течений. Сильный ветер вызывает образование больших и сильных волн, которые направлены вдоль его движения. Эти поверхностные волны несут мало воды в открытом море, они могут вызывать значительный перенос воды у берега. При обрушении волн на пляжную линию происходит перемещение большого количества воды к берегу. Это вызывает значительный импульс, который

позволяет воде подниматься по наклонному пляжу на высоту, превышающую высоту волны до разрушения в два раза.

5. Эффект дождя.

Эффект дождя проявляется в основном в эстуариях, где ураганы могут сбросить до 12 дюймов (300 мм) осадков за 24 часа на большие территории и с более высокой плотностью в некоторых местах. Это может привести к быстрому затоплению ручьев и рек поверхностным стоком. В результате уровень воды в верхней части приливных устьев может повыситься, когда штормовые воды из океана соединяются с дождями, текущими по течению в устье.

6. Глубина и топография моря.

Высота волн на берегу и штормовые нагоны зависят от топографии дна океана и прибрежной зоны, а именно от формы и глубины. Шельф с глубокой водой, расположенный близко к берегу, обычно имеет более высокие и мощные волны, но ниже штормовые нагоны. В то время как широкий шельф с мелкой водой вызывает сильный штормовой нагон с относительно меньшими волнами.

7. Топография поверхности суши

Когда суша располагается на высоте меньше нескольких метров над уровнем моря – эти территории более подвержены риску затопления посредством штормовых нагонов.

8. Размер шторма

Если диаметр шторма увеличивается вдвое, то его периметр также удваивается, но площадь увеличивается вчетверо. Поскольку периметр волны для рассеивания сокращается пропорционально, высота волны становится больше. Площадь шторма не пропорциональна его периметру [21]

Наводнение.

Наводнения являются наиболее распространенным природным явлением, которое периодически происходит в разных частях мира из-за увеличения уровня воды в реках и озерах. Хотя это не является особенно опасным явлением, оно может причинить значительный материальный ущерб. Жители некоторых

регионов знают, как защитить свое имущество и минимизировать потери, привыкли к периодическому подъему воды и готовы к нему. [18]

«Во многих регионах планеты стихийное бедствие происходит с высокой частотой повторяемости. Часто отмечаются потопа в долинах западноевропейских и североамериканских рек, Янцзы и Хуанхэ в Китае. На территории России нередко затапливаются долины Днепра, Волги, Амура.» [20]

Причинами наводнений являются:

- *Обильные и длительные осадки.* Происходят во влажных климатических условиях в осенние и летние месяцы, выходящие из берегов реки, затапливающие их долины

- *Таяние снегов.* Весной, когда накопившийся за зиму снег тает, образуя водные потоки, которые заливают окружающую территорию.

- *Изменение уровня дна в реках.* Происходит, когда на донных участках водотоков накапливается значительное количество осадочных пород, поднимая дно и уровень воды.

- *Цунами.* На побережье обрушивают огромное количество воды, но это явление кратковременное.

- *Разрушение гидротехнических конструкций.* Из-за чего из прорванной плотины в долину устремляется большой поток воды, затапливая местность на короткое время.

- *Природные стихийные явления.* Такие как землетрясения, оползни, и штормовой ветер, которые могут вызвать сильные приливы, затапливающие прилегающие земли.

- *Человеческая деятельность.* Такая как стеснение движения водного потока инженерными сооружениями, нарушение режима расхода и уровня воды при использовании водохранилищ, и хозяйственное освоение пойменных участков. [18, 20]

Разделение наводнений на категории в зависимости от ущерба:

- Малые наводнения, которые происходят периодически и не причиняют значительного ущерба, затопляют только небольшую часть земель и не требуют эвакуации населения.
- Средние наводнения происходят реже и могут привести к эвакуации части населения, затоплению прибрежных построек и обрабатываемых площадей.
- Крупные наводнения происходят еще реже и могут привести к разрушению населенных пунктов, затоплению большей части сельскохозяйственных угодий, требуют полной эвакуации населения и серьезной помощи государства.
- Катастрофические наводнения происходят очень редко, но могут привести к огромным разрушениям, экологическим изменениям и большому количеству жертв. Они могут уничтожить населенные пункты и ландшафты на глобальном уровне. [20]

1.5 Статистика тропических циклонов (тайфунов)

На рис. 2.0 «отображено количество всех циклонов и ураганов, зафиксированных за последние 100 лет в разных океанских бассейнах. Синей кривой отмечены все тропические циклоны (при скорости приземного ветра более 17 м/с или 34 узлов); затемненная область представляет собой тропические циклоны с интенсивностью, аналогичной стадии урагана (при скорости приземного ветра более 33 м/с или 64 узлов).» [16]

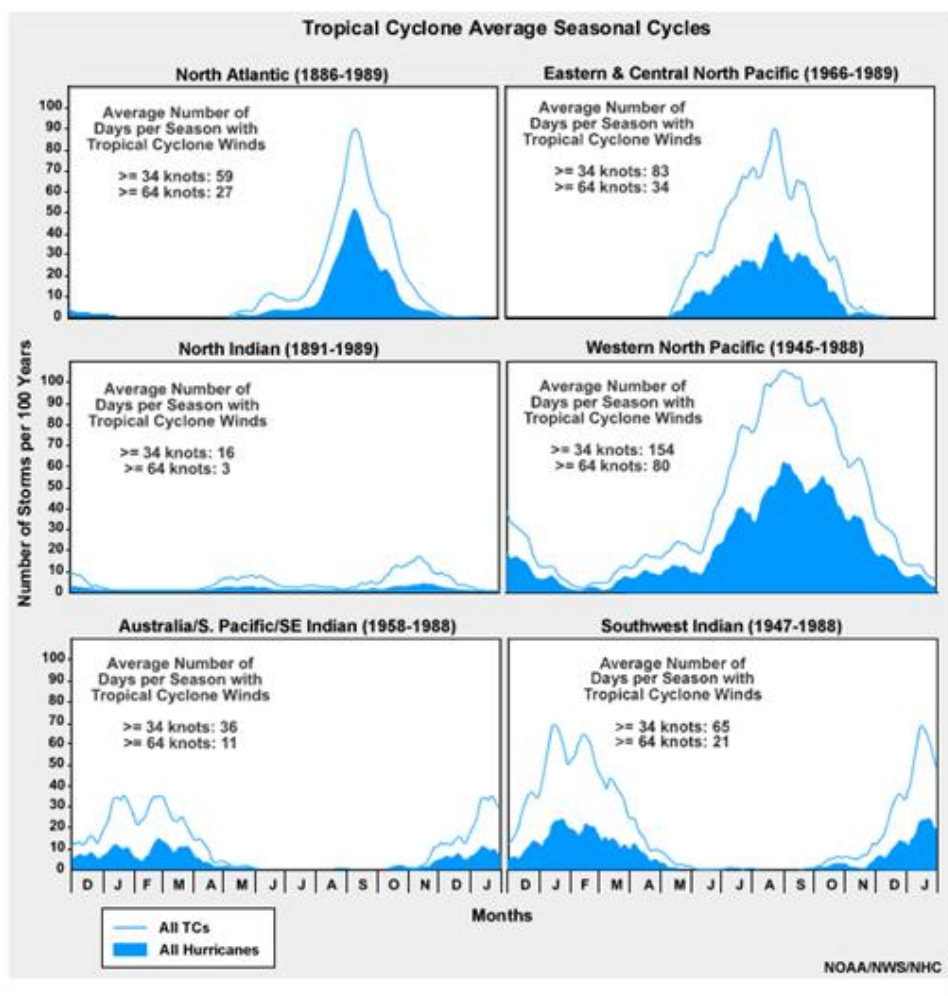


Рис. 2.0. Среднегодовой цикл возникновения тропических циклонов по океаническим бассейнам. По оси абсцисс отложен 13-месячный временной промежуток с декабря по январь следующего года; по оси ординат — количество штормов за сто лет. [16]

Статистика ураганов в мире говорит о том, что за последние 200 лет эта стихия стала причиной гибели почти 2 млн. человек. За сезон в среднем возникает 18–19 штормов и ураганов, иногда в некоторые годы их число превышает 20. С начала 1950-х годов ВМО (Всемирная метеорологическая организация) определяет тропическим штормам и ураганам имена собственные. [16]

Для идентификации мощных тропических циклонов (тайфунов), формирующихся в северо-западной части Тихого океана, в Японии используется шкала, что представлена в виде таблицы 3. Критерием является устойчивый ветер, дующий в течение 10 минут. Тайфуны делятся на 6 категорий. Отметим,

что в этой шкале скорость в самом сильном тайфуне принимается существенно ниже, чем в урагане 5 категории. [22] Сведения о самых мощных тайфунах в северной части Тихого океана за 11-летний период (1961-1971 гг.) приводятся в таблице. 4.

Таблица 3 - Шкала интенсивности тропических циклонов, используемая в Японии. [22]

Шкала интенсивности тропических циклонов RSMC Токио	
Категория	Устойчивые ветры
Очень сильный тайфун	≥ 105 узлов ≥ 194 км/час
Сильный тайфун	85–104 узлов 157–193 км/час
Тайфун	64–84 узлов 118–156 км/час
Сильный тропический шторм	48-63 узлов 89–117 км/час
Тропический шторм	34–47 узлов 62–88 км/час
Тропическая депрессия	≤ 33 узлов ≤ 61 км/час

Таблица 4. - Сведения о самых мощных тайфунах в северной части Тихого океана за 11-летний период (1961-1971 гг.) [23]

Тайфун	Год	Максимальная скорость, км/ч	Минимальное давление, мбар
Нэнси	1961	345	882
Вайолет	1961	335	886
Ида	1958	325	877

Тайфун	Год	Максимальная скорость, км/ч	Минимальное давление, мбар
Джоан	1959	314	885
Кэп	1979	306	870
Джун	1975	288	875
Ирма	1971	286	884
Рита	1978	281	880
Ида	1954	278	890
Эми	1971	277	890

На рис.2.1. приводится межгодовой ход числа ураганов, включая наиболее мощные 3–5 категории. Нетрудно видеть, что общее число ураганов растет, однако число ураганов 5 категории, испытывая значительные изменения год от года, не имеет выраженной тенденции к росту или падению. [23]

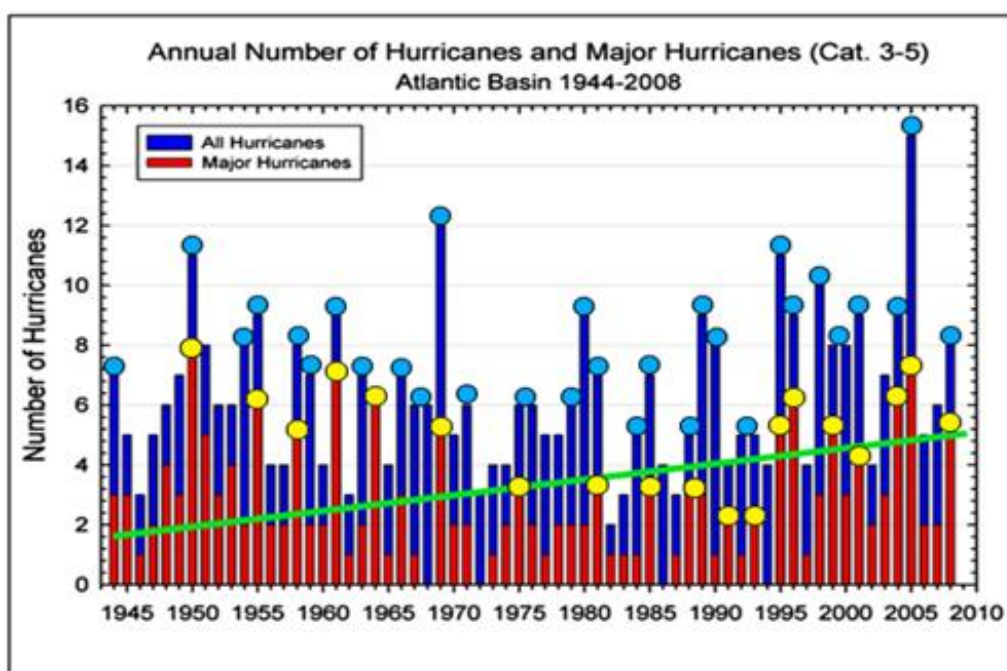


Рис. 2.1. Межгодовой ход числа ураганов в Северной Атлантике, включая наиболее мощные 3-5 категории. [23]

Согласно отчету Японского метеорологического агентства, более 85% тропических циклонов возникают в период тайфунов, который длится с июня по

ноябрь. Большинство циклонов в северо-западной части Тихого океана (51%) имеют давление в центре не менее 970 гПа, а около трети из них (32.4%) - не менее 950 гПа (без учета депрессий). Только 4.04% всех тайфунов достигают глубины 900 гПа и менее. Сильнейшие ветры, превышающие 30 м/с (60 узлов), наблюдаются у 61.7% циклонов, а около 17.1% из них имеют скорость ветра более 50 м/с (100 узлов). Интенсивность супертайфуна (65 м/с или 130 узлов) достигает только 1.3% всех тропических циклонов. [22]

ГЛАВА 2 Статистические методы обработки данных

2.1 Статистические методы обработки данных

Существует большое количество статистической обработки, регулярно использующихся для исследования временных рядов. Статистические методы, которые использовались в данной работе:

- Первичный анализ.
- Корреляционный анализ.
- Анализ тренда временных рядов.
- Квантильный анализ.

Анализ статистических данных начинается с разделения на несколько категорий:

- Показатели положения, включающие среднее арифметическое значение, медиану и моду;
- Показатели рассеивания, такие как дисперсия, стандартное отклонение и размах вариации. [27]

Показатели положения определяют центр тяжести характеристики исследования или точку равновесия при колебаниях, включая среднее арифметическое значение, медиану и моду.

Мода - это наиболее часто встречающееся значение в статистическом ряду. [27]

Показатели рассеивания, такие как дисперсия и стандартное отклонение, описывают среднее расстояние между значениями ряда и средним значением.

Размах вариации показывает максимальный разброс значений ряда и рассчитывается по формуле:

$$R = \max - \min$$

Коэффициент вариации является безразмерным показателем изменчивости характеристики в исследуемом ряде данных и рассчитывается по формуле:

$$C = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

По коэффициенту вариации можно оценить, велика или нет изменчивость ряда: если он составляет более 33% – изменчивость значительна, а если меньше – изменчивость мала, выборка может считаться однородной. Коэффициент вариации также используется для сравнения изменчивости двух выборок с разными единицами измерения. [27]

При анализе гидрометеорологических явлений или процессов необходимо установить связь между ними. Существуют три типа связей: функциональная, стохастическая и случайная. Функциональная связь возникает, когда каждому значению одной переменной соответствует единственное значение другой переменной. Стохастическая связь, с другой стороны, характеризуется тем, что каждому значению одной переменной соответствует значение другой переменной с определенной вероятностью. Случайная связь характеризуется отсутствием связей. [26]

Стохастическая связь является промежуточным звеном. Она характеризуется теснотой связи, если она выше, то связь ближе к функциональной, ниже к случайной. Для описания связи используется корреляционный анализ. Связь между исследуемыми процессами в общем случае может носить как линейный, так и нелинейный характер. Линейные зависимости в свою очередь могут быть прямо пропорциональными и обратно пропорциональными. Любую зависимость двух переменных можно представить на графике, где в поле двух координат, соответствующих значениям двух переменных, проставлены точки. Совокупность точек образует облако точек. В общем случае облако точек представляет собой эллипс рассеяния, большая ось которого расположена под наклоном к осям. Эксцентриситет эллипса (соотношение большой и малой осей) отражает качество зависимости между двумя переменными. Если эллипс вырожден в прямую линию (присутствует только большая ось), связь между переменными является функциональной. Если эллипс вырожден в круг (большая и малая ось эллипса равны), связь между переменными является абсолютно случайной. В остальных случаях связь является стохастической. [26, 27]

Характер связи определяется по соотношению значений двух переменных, за основу берется коэффициент корреляции, который и показывает степень тесноты связей. Если при возрастании одной величины другая имеет тенденцию возрастать – это прямая зависимость, тогда $r > 0$. Если при возрастании одной величины другая имеет тенденцию убывать – это обратная зависимость, тогда $r < 0$. Его можно рассчитать по формуле. [27]

Если необходимо рассчитать коэффициенты корреляции для нескольких переменных (больше двух) во всех сочетаниях друг с другом, то набор получившихся коэффициентов корреляции можно записать в виде матрицы, которая называется корреляционной. [27]

Если связь стохастическая, то рассчитанная величина r может быть большой или маленькой. Чтобы ее оценить, необходимо выполнить проверку коэффициента корреляции на значимость. [27]

Сформулируем нулевую гипотезу $H_0: r = 0$; альтернативную $H_1: r \neq 0$. Для проверки этой гипотезы выбирается критерий Стьюдента, выборочное значение которого рассчитывается по формуле:

$$t^* = \frac{|r|}{\sigma_r}$$

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N - 2}}$$

где σ_r – средняя квадратическая погрешность расчета коэффициента корреляции. Далее определяется критическое значение $t_{кр}(\alpha, \nu)$, где уровень значимости α принимается равным 5%, а число степеней свободы $\nu = N - 2$, где N – длина ряда. Сравниваем t^* с $t_{кр}$. Если $t^* > t_{кр}$ нулевая гипотеза отвергается, коэффициент корреляции значим, т.е. между двумя переменными существует статистически значимая прямая (или обратная, в зависимости от знака) связь. Если $t^* < t_{кр}$ предполагается, что нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу, т.е. коэффициент корреляции незначим, т.е. между двумя переменными статистически значимая линейная связь отсутствует. [27]

Затем у временного ряда оценивают его стационарность т.е. неизменность его основных статистических характеристик во времени. В частности, это касается его среднего значения и дисперсии. Поэтому на первом этапе анализа временного ряда оценивается его стационарность, и, если она не выявляется, ряд преобразовывают к стационарному виду. В случае не стационарности ряда среднее значение и/или дисперсия для частей выборки могут меняться скачкообразно, а могут иметь непрерывный характер изменения. В последнем случае говорят, что ряд имеет тренд (по математическому ожиданию или по дисперсии). Тренд — это долговременная тенденция изменения исследуемого временного ряда. [26, 27]

Таким образом, тренд отражает наличие во временной изменчивости исследуемой характеристики длиннопериодного колебания с периодом, существенно превышающим длину выборки. Исходя из этого соображения, тренд может быть линейным или квадратичным, в зависимости от того, на какую часть длиннопериодного колебания попала выборка. Сформулируем уравнение линейного тренда:

$$y = a_1 \times t + a_0 + \varepsilon$$

и нелинейного (квадратичного) тренда:

$$y = a_2 \times t^2 + a_1 \times t + a_0 + \varepsilon$$

Где t — время, a_2 , a_1 , a_0 — коэффициенты регрессии.

Основными характеристиками тренда являются:

1. Коэффициент детерминации r^2 (для линейного тренда) или его нелинейный аналог η^2 , характеризующий вклад тренда в общую дисперсию ряда. Вклад может быть значительным или незначимым. Это определяется на основании проверки на значимость коэффициента корреляции r или η . В случае их незначимости считается, что тренда нет.

2. Величина тренда — изменение характеристики по линейному тренду за определенный промежуток времени. Для среднегодовых рядов, как правило, величина тренда рассчитывается за 10 лет, для среднемесячных — за год.

Величина тренда равна коэффициенту a_1 линейного тренда и имеет размерность характеристики y за единицу дискретности. [27]

Если в исследуемой выборке и линейный и нелинейный тренды значимы, тогда при анализе предпочтение отдадут нелинейному тренду, если он вносит значительно (более чем на 5%) больший вклад в дисперсию выборки, или линейному – в обратном случае. [27]

Поскольку используется малая выборка данных, статистические оценки являются неэффективными. Для этих выборок используются непараметрические методы оценивания. Рассчитать ЭФР невозможно, поэтому этот метод исследования анализируют на основе квантильного анализа. [27]

Чтобы рассчитать квантили производят ранжирования ряда по возрастанию и каждому значению рассчитать его интегральную вероятность по формуле:

$$p_i = \frac{i}{N}$$

Где i - номер значения ряда в ранжированном ряду, N - длина ряда.

На основе квартилей рисуют «ящик с усами». Анализ проводится по аналогии с ЭФР. Поскольку это непараметрический анализ оценка тесноты связи описывается ранговым коэффициентом Спирмена и Кендалла. Ранговый коэффициент корреляции Спирмена рассчитывается по формуле:

$$\rho_{x/y} = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N(N^2 - 1)}$$

Где d_i^2 – квадрат разности рангов, N – число наблюдений.

Значимость коэффициента Спирмена проверяется на основе t – критерия Стьюдента, сравнивая его с критическим значением. [27]

2.2 Исходные данные

В работе исследуются с 1981-2011 года данные давления в центре сильных тайфунов и их максимальная скорость ветра. Данные были скачены с сайта Гидрометцентра России в отделе глобального анализа и прогноза погоды, где был создан архив про тропические циклоны Мирового океана за период с 1970-

2011 года. Эти данные получены на основе оперативного мониторинга из региональных метеорологических центров (Токио, Пекин, Гуам, Дели, Гонолулу, Майами, Реюньон, Дарвин, Перт, Нади, Брисбен). [28]

По данным давления и скорости ветра построены графики межгодового хода за 1981-2011 года (рис.2.2-2.3).

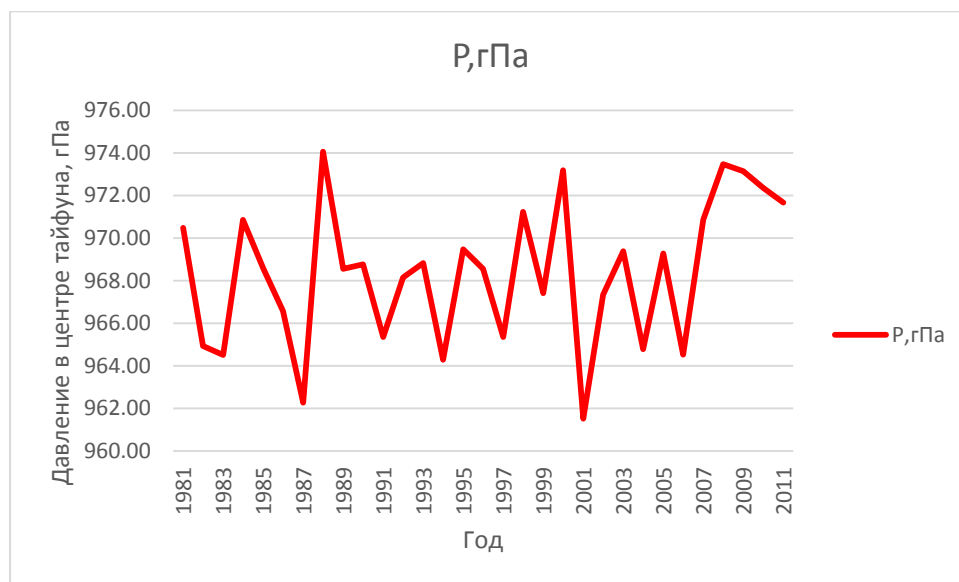


Рис.2.2. Межгодовой ход давления в центре тропических тайфунов за 1981-2011 года. [28]

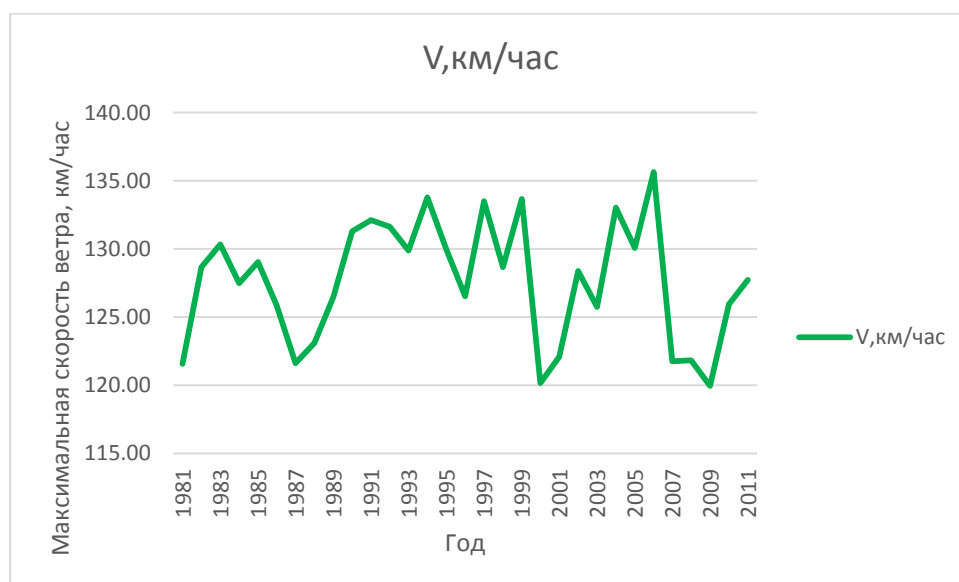


Рис.2.3. Межгодовой ход скорости ветра тропических тайфунов за 1981-2011 года. [28]

ГЛАВА 3 Изменчивость опасных морских гидрометеорологических явлений за последние десятилетия

3.1 Первичный анализ

Рассчитываются показатели положения и рассеивания для среднегодовой дискретности рядов давления и скорости ветра тайфунов Тихого океана (табл. 5).

Таблица 5. Первичные характеристики среднегодовых значений давления в центре тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

Р, гПа	
Среднее, гПа	968,38
Стандартная ошибка, гПа	0,60
Медиана, гПа	968,58
Мода, гПа	-
Стандартное отклонение, гПа	3,36
Дисперсия выборки, гПа ²	11,27
Эксцесс	-0,73
Асимметричность	-0,17
Минимум, гПа	961,52
Максимум, гПа	974,06
Коэффициент вариации, %	0,35
Размах вариации, гПа	12,54

Проанализировав коэффициент вариации, можно сказать, что он значительно меньше, чем 33% и тем самым можно сделать вывод, что изменчивость ряда мала и выборка устойчива. Минимальное давление наблюдается в 2001 году, максимальное – 1988 году. Приведем график межгодовой изменчивости давления в центре тайфунов Тихого океана, среднее значение давления и стандартное отклонение.

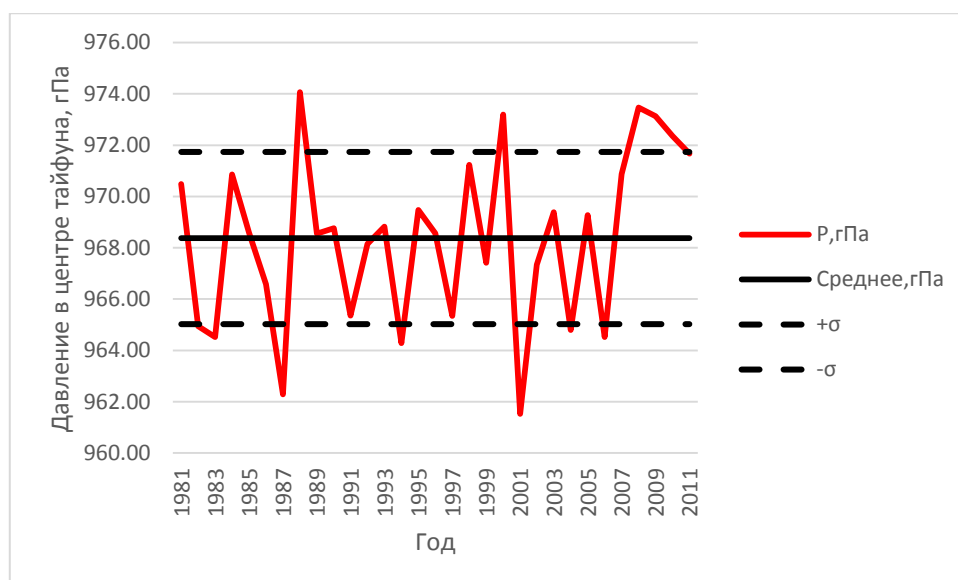


Рис.2.4. График межгодовой изменчивости давления в центре тайфунов Тихого океана, среднее значение и стандартное отклонение за 1981-2011 гг.

Таблица 6. Первичные характеристики среднегодовых значений скорости ветра тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

V, км/час	
Среднее, км/час	127,66
Стандартная ошибка, км/час	0,80
Медиана, км/час	128,37
Мода, км/час	-
Стандартное отклонение, км/час	4,47
Дисперсия выборки, (км/час) ²	19,97
Эксцесс	-0,98
Асимметричность	-0,18
Минимум, км/час	119,94
Максимум, км/час	135,63
Коэффициент вариации, %	3,50
Размах вариации, км/час	15,69

Проанализировав коэффициент вариации, можно сказать, что он значительно меньше, чем 33% и тем самым можно сделать вывод, что изменчивость ряда мала и выборка устойчива. Минимальная скорость ветра наблюдается в 2009 году, максимальная – 2006 году.

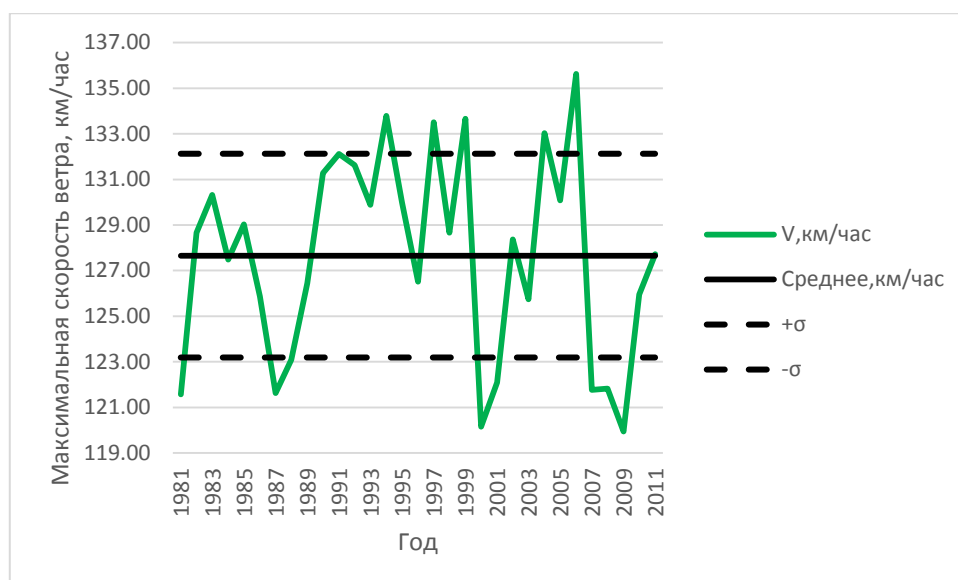


Рис.2.5. График межгодовой изменчивости скорости ветра тайфунов Тихого океана, среднее значение и стандартное отклонение за 1981-2011 гг.

3.2 Корреляционный анализ

Рассчитывается корреляционная матрица среднегодовых значений давления и скорости ветра тайфунов Тихого океана (табл. 7.). Зеленым цветом представлен значимый коэффициент корреляции.

Таблица 7. Корреляционная матрица для среднегодовых значений давления и скорости ветра.

	Р, гПа	V, км/час
Р, гПа	1,00	
V, км/час	-0,45	1,00

Значимость коэффициента корреляции оценивалась по критерию Стьюдента на уровне значимости $\alpha=0,05$. из табл. следует:

Между давлением в центре тайфуна и его максимальной скоростью ветра существует значимая обратная связь. С повышением скорости ветра давление будет уменьшаться. В качестве примера приведем график межгодовой изменчивости давления и скорости ветра (рис.2.6.)

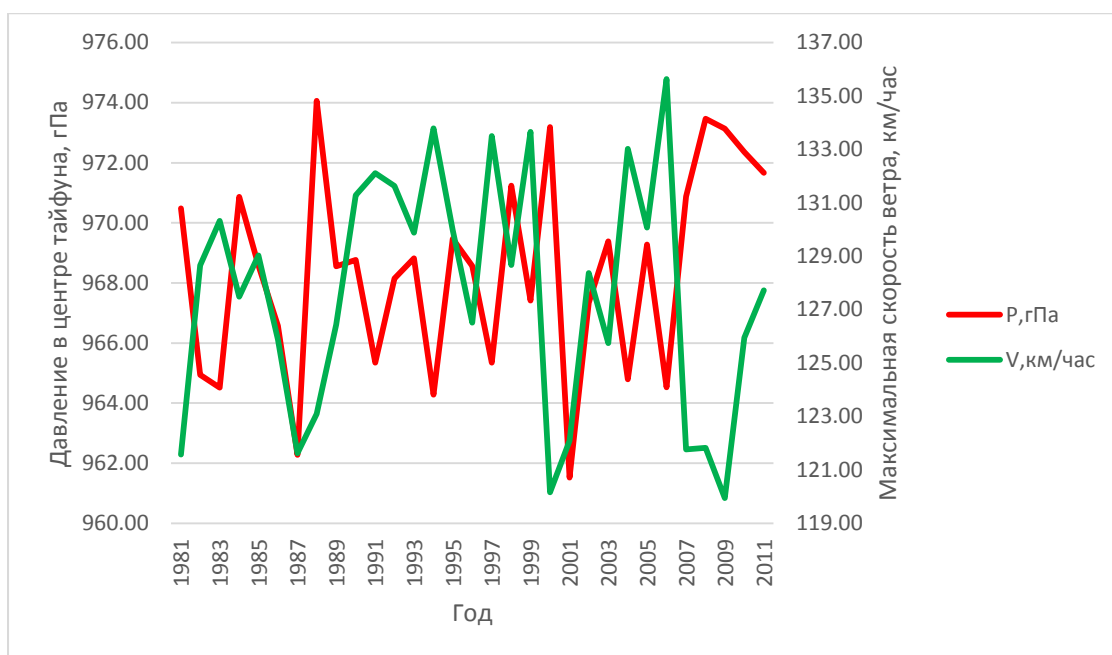


Рис.2.6. Временной ход межгодового хода среднегодового давления и скорости ветра тайфунов Тихого океана за период с 1981 по 2011 гг.

Анализ гидрометеорологических характеристик показал, что между ними наблюдается стохастическая связь. Между исследуемыми процессами образовывается линейный характер, который может быть прямым и обратным. Эллипс не вырожден в круг, эта форма доказывает, что связь стохастическая.

Резкое уменьшение давления над Тихим океаном приводит к ветру ураганной силы, с такими параметрами наблюдаются тропические циклоны, которые формируют другие опасные явления и могут привести к смертельным исходам.

3.3 Анализ тренда временных рядов

Задается дополнительный временной ряд $t_i=i$ и t_i^2 , где $i=1,2,3,\dots,N$. N – длина реализации. Затем формируется линейная и множественная модель регрессии. Рассчитываются характеристики моделей: коэффициенты регрессии, коэффициент детерминации, коэффициент корреляции. По коэффициенту корреляции оценивается значимость каждого вида тренда. По коэффициентам регрессии выявляется наличие во временной изменчивости длиннопериодного

колебания. Выбирается какой из трендов вносит больше вклада в изменчивость исходной характеристики и по нему строиться анализ работы.

3.3.1 Тренд по давлению в центре тайфуна

Таблица 8. Характеристики линейной и множественной регрессионной модели давления в центре тайфунов Тихого океана за 1981-2011 гг.

Характеристики	Линейный тренд	Нелинейный тренд
R^2	0,08	0,15
σ_{ϵ} , пПа	3,27	3,21
F^*	2,59	2,43
r	0,29	0,38
t_r^*	1,55	2,12
σ_r , пПа	0,18	0,18
a_2 , пПа	-	0,01
a_1 , пПа	0,11	-0,27
a_0 , пПа	966,69	968,78
t_{a2}^*	-	1,47
t_{a1}^*	1,61	-1,03
t_{a0}^*	802,84	524,82
$t_{кр}$	2,05	2,05

Построен график временного хода исходного ряда. На график нанесены рассчитанные значения и линейного и квадратичного трендов.

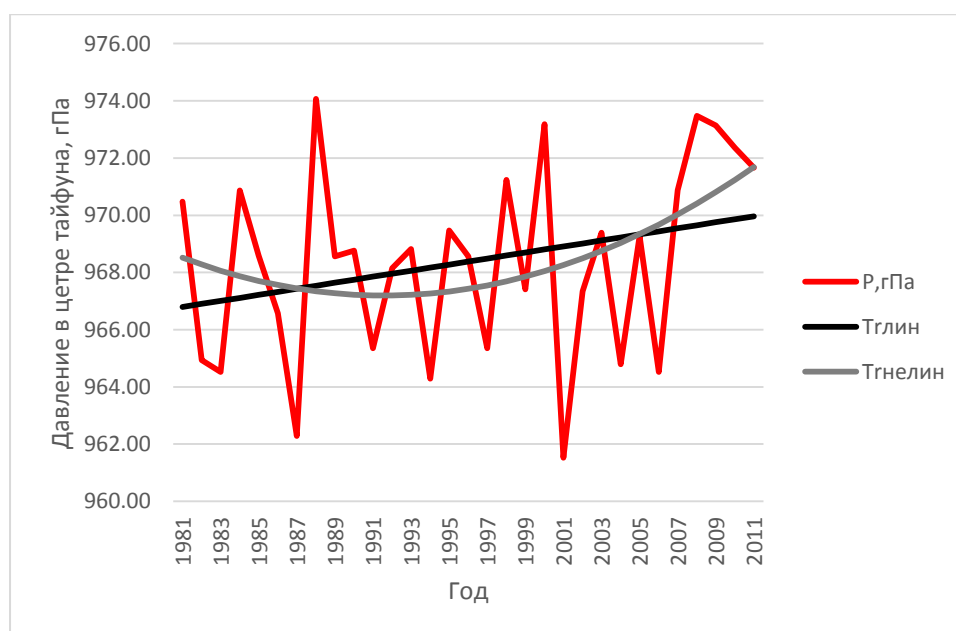


Рис.2.7. График временного хода давления в центре тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

По результатам анализа работы получены уравнения линейного и квадратичного трендов:

$$P=0,11*t_i+966,69\pm\varepsilon,$$

$$P=0,01*t_i^2-0,27*t_i+968,78\pm\varepsilon.$$

Линейный тренд описывает 8% дисперсии исходного ряда, еще больше, нелинейный – 15%. По сути, тренды практически не несут в себе информацию о межгодовой изменчивости давления в центре тайфунов Тихого океана.

3.3.2 Тренд по скорости ветра тайфунов Тихого океана

Таблица 9. Характеристики линейной и множественной регрессионной модели скорости ветра тайфунов Тихого океана за 1981-2011 гг.

Характеристики	Линейный тренд	Нелинейный тренд
R^2	0,01	0,12
σ_ε	4,53	4,33
F^*	0,16	1,98
r	0,07	0,35
t_r^*	0,39	1,93
σ_r	0,19	0,18
a_2	-	-0,02
a_1	-0,04	0,64
a_0	128,23	124,50
t_{a2}^*	-	-1,95
t_{a1}^*	-0,39	1,79
t_{a0}^*	76,86	49,97
$t_{кр}$	2,05	2,05

Построен график временного хода исходного ряда. На график нанесены рассчитанные значения и линейного и квадратичного трендов.

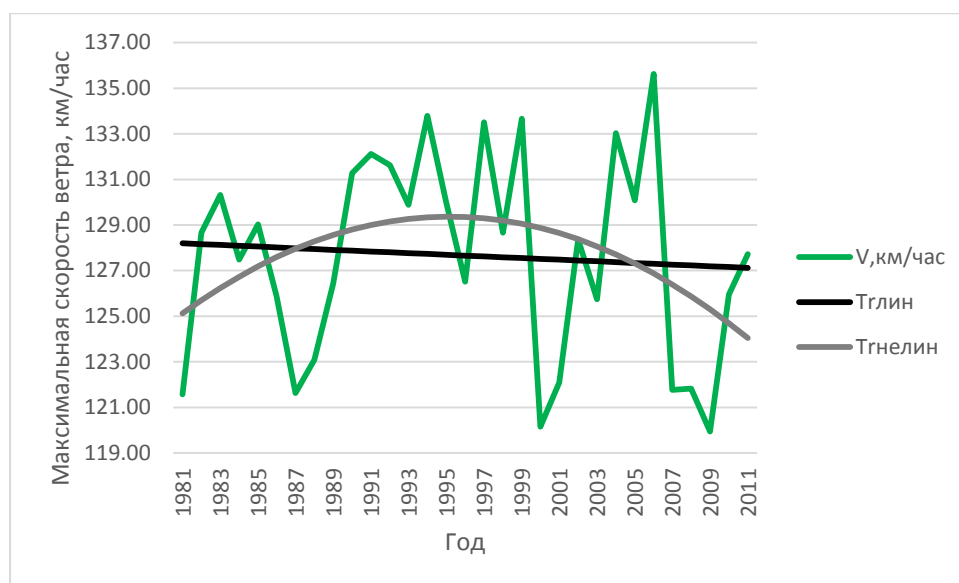


Рис.2.8. График временного хода скорости ветра тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

По результатам анализа работы получены уравнения линейного и квадратичного трендов:

$$V = -0,04 \cdot t_i + 128,23 \pm \varepsilon,$$

$$V = -0,02 \cdot t_i^2 + 0,64 \cdot t_i + 124,50 \pm \varepsilon.$$

Линейный тренд описывает 1% дисперсии исходного ряда, еще больше, нелинейный – 12%. По сути, тренды практически не несут в себе информацию о межгодовой изменчивости скорости ветра тайфунов Тихого океана.

3.4 Квантильный анализ

Рассчитывается квантиль вероятности для рядов давления и скорости ветра тайфунов Тихого океана. Затем для каждого ряда рассчитывается минимальное значение, 3 квантиля (первый – вероятность 25%, второй – вероятность 50%, третий – 75% вероятности), максимальное значение. Рассчитывается межквантильное расстояние $x_{0,75} - x_{0,25}$. На основе квантилей рисуется «ящик с усами», анализируется. Затем рассчитывается ранговый коэффициент корреляции Спирмена и сравнивается с помощью критерия Стьюдента и критического значения.

Таблица 10. Квантильный анализ рядов давления и скорости ветра тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

Мин	Первый квантиль	Второй квантиль	Третий квантиль	Макс	Межквантильное расстояние
961,52	965,35	968,58	970,87	974,06	5,52
119,94	124,42	128,37	130,80	135,63	6,38

На основе данных из табл. построены «ящики с усами», схематические изображения ЭФР (рис.2.9-3.0).

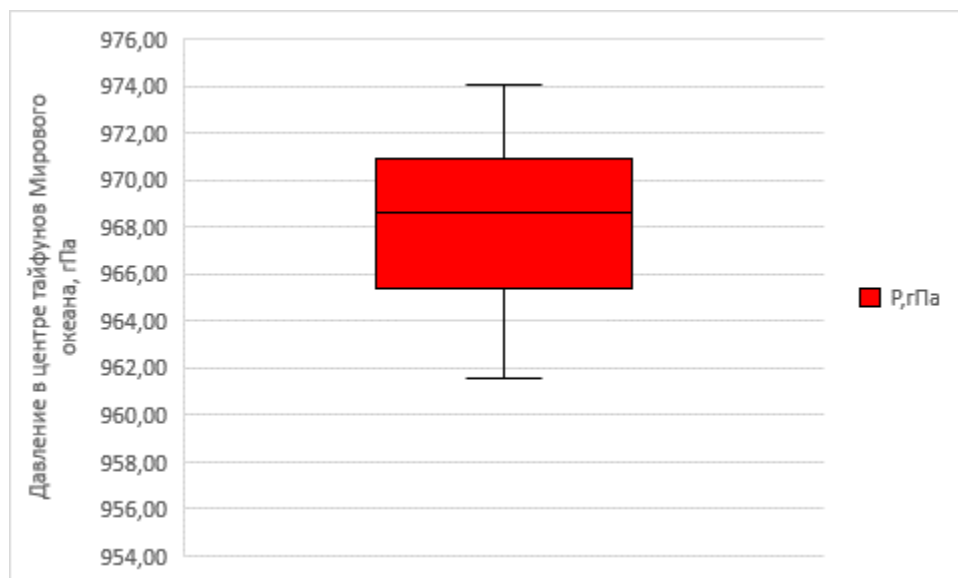


Рис.2.9. «Ящик с усами» по давлению в центре тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

Анализ «ящика с усами» проводится по аналогии с ЭФР: медиана является центром тяжести, её расположение в межквантильном промежутке отражает асимметрию распределения, а длина «усов» отражает эксцесс (плосковершинность) распределения.

$As = -0,33$, что безусловно меньше 0, наблюдается отрицательный «хвост» - основная масса наблюдений больше медианы. $Ex = -0,88 < 0$, является плосковершинное распределение, стремиться к случайному процессу. «Ящик с усами» не соответствует нормальному закону.

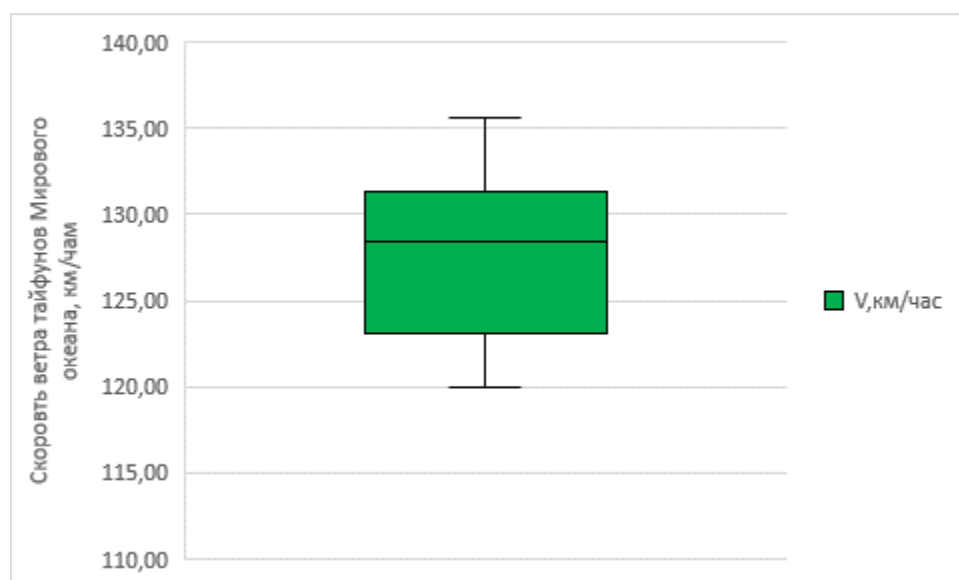


Рис.3.0. «Ящик с усами» по скорости ветра тайфунов Тихого океана за 1981-2011 года.

$A_s = -0,63$, что безусловно меньше 0, наблюдается отрицательный «хвост» - основная масса наблюдений больше медианы. $E_x = -0,89 < 0$, является плосковершинное распределение, стремиться к случайному процессу. «Ящик с усами» не соответствует нормальному закону.

Расчет коэффициента корреляции Спирмена представлен ниже в табл. 11.

Таблица 11. Расчет коэффициента корреляции Спирмена.

N	P, гПа	V, км/час	Ранг ₁	Ранг ₂	d _i	d _i ²
1	970,48	121,57	8	26	-18	324
2	964,94	128,66	28	14	14	196
3	964,52	130,32	20	19	1	1
4	970,86	127,48	29	17	12	144
5	968,58	129,03	30	24	6	36
6	966,57	125,87	31	11	20	400
7	962,28	121,63	18	12	6	36
8	974,06	123,09	27	10	17	289
9	968,56	126,44	4	3	1	1
10	968,77	131,28	1	25	-24	576
11	965,35	132,11	15	15	0	0
12	968,15	131,63	23	13	10	100
13	968,82	129,88	25	5	20	400
14	964,29	133,79	13	18	-5	25
15	969,47	129,98	10	2	8	64
16	968,56	126,51	5	22	-17	289
17	965,35	133,50	16	31	-15	225
18	971,23	128,66	9	4	5	25
19	967,41	133,66	12	16	-4	16

20	973,19	120,16	19	9	10	100
21	961,52	122,09	22	30	-8	64
22	967,34	128,37	6	6	0	0
23	969,39	125,75	11	23	-12	144
24	964,79	133,02	17	8	9	81
25	969,27	130,07	2	21	-19	361
26	964,53	135,63	24	28	-4	16
27	970,87	121,76	26	27	-1	1
28	973,47	121,82	3	7	-4	16
29	973,14	119,94	14	1	13	169
30	972,35	125,95	7	20	-13	169
31	971,67	127,72	21	29	-8	64
Сумма						4332

Исходные данные давления и скорости ветра тайфунов Тихого океана были ранжированы по убыванию, на основе этого определены ранги (табл. 11.) для каждого числа и рассчитан коэффициент Спирмена, который равен 0,13. Он проверялся на значимость при уровне значимости 0,05 и оказался незначимым, так как $t^*(0,69) < t_{кр}(2,05)$. Анализ показал, что между давлением и скоростью ветра отсутствует связь.

Заключение

В данной работе проводилось исследование изменчивости опасных морских гидрометеорологических явлений (ОГМЯ) в последние десятилетия в разных странах мира, в том числе в связи с глобальным потеплением климата.

Используя статистические методы и проанализировав изменчивость ОГМЯ, были сделаны следующие выводы.

1. Проведя первичный анализ можно сказать, что коэффициент вариации значительно меньше, чем 33% и тем самым можно сделать вывод, что изменчивость рядов давления и скорости ветра тайфунов Мирового океана мала и выборка устойчива. Минимальное давление наблюдается в 2001 году, максимальное – 1988 году, минимальная скорость ветра наблюдается в 2009 году, максимальная – 2006 году.

2. Корреляционный анализ показал, что между давлением и скоростью ветра тайфунов Мирового океана наблюдается стохастическая связь. Между исследуемыми процессами образовывается линейный характер, который может быть прямым и обратным. Эллипс не вырожден в круг, эта форма доказывает, что связь стохастическая. Резкое уменьшение давления над Мировым океаном приводит к ветру ураганной силы, с такими параметрами наблюдаются тропические циклоны, которые формируют другие опасные явления и могут привести к смертельным исходам.

3. Анализ трендовой составляющей показал, что, тренды практически не несут в себе информацию о межгодовой изменчивости скорости ветра тайфунов Мирового океана.

4. Квантильный анализ показал, что между давлением и скоростью ветра отсутствует связь.

Список используемой литературы

1. РД 52.04.563-2002 [Электронный ресурс] URL: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 05.03.2023).
2. International Disaster Database [Electronic resource] URL: www.cred.be/eindat - University Catholique de Louvain, Brussels, Belgium (дата обращения 05.03.2023).
3. С.Б. Кузьмин. Основные природные процессы – глобальная угроза современности. [Текст] - Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2009. (дата обращения 10.03.2023).
4. Доклад "Единство в науке 2021" [Текст] Доклад Всемирной Метеорологической организации ООН, 2021/ (дата обращения 10.03.2023).
5. Е. М. Акентьева, Е. И. Александров, Г. В. Алексеев, О. А. Анисимов, Ж. А. Балонишникова, О. Н. Булыгина, В. Ю. Георгиевский, М. Д. Докукин, С. В. Ефимов, Н. Е. Иванов, Х. М. Калов, В. М. Катцов, А. А. Киселев, А. В. Клепиков, М. В. Ключева, Н. В. Кобышева, В. В. Оганесян, В. Н. Павлова, Т. В. Павлова, А. А. Постнов, В. В. Стадник, С. А. Солдатенко, Е. И. Хлебникова, А. Л. Шалыгин, И. М. Школьник. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. [Текст] Санкт-Петербург. 2017. – 106 с. (дата обращения 18.03.2023).
6. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. [Текст] — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 183 с. (дата обращения 23.03.2023).
7. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. [Текст] — М.: ГЕОС, 2006. - 256с. (дата обращения 26.03.2023).
8. Berz G., 2000. Flood disasters: lesson from the past-worries for the future, [Text] Water and Maritime Engineering, March 2000. (дата обращения 23.03.2023).
9. Brammer H. Floods in Bangladesh. I — Geographical background to the 1987 and 1988 floods [Text] // Geogr. J., 1990, vol. 156, part 1. - P. 12-22. (дата обращения 23.03.2023).
10. Climate Change Spurs Doubling Of Disasters Since 2000: UN [Electronic resource] URL: <https://www.ndtv.com/> (дата обращения 23.03.2023).

11. Концепция по смягчению последствий стихийных бедствий [Электронный ресурс] [URL:https://ecoimpact-ple.com/](https://ecoimpact-ple.com/) (дата обращения 10.03.2023).
12. Информация о цунами [Электронный ресурс] URL: <https://tainaprirody.ru/> (дата обращения 11.03.2023).
13. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. [Текст] М.: Янус-К, 2005. (дата обращения 11.03.2023).
14. Информация о тропических циклонах [Электронный ресурс] URL: <https://tainaprirody.ru/> (дата обращения 10.03.2023)
15. Тропические циклоны (ураганы, тайфуны) [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/> (дата обращения 05.03.2023).
16. Всемирная метеорологическая организация. [Электронный ресурс] URL: <https://public.wmo.int/> (дата обращения 28.04.2023).
17. Шкала Саффира-Симпсона [Электронный ресурс] URL: <https://www.nhc.noaa.gov/> (дата обращения 05.03.2023).
18. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Определение траекторий и скоростей циклонов, приводящих к максимальным подъемам воды в Финском заливе [Текст] // Метеорология и гидрология, 2007, № 8, с. 55-63. (дата обращения 14.03.2023).
19. Штормовой нагон [Электронный ресурс] URL: <https://public.wmo.int/>
20. Информация о наводнении. [Электронный ресурс] URL: <https://deepcloud.ru/> (дата обращения 14.03.2023).
21. Элементы штормового нагона [Электронный ресурс] URL: <https://ru.knowledgr.com/> (дата обращения 14.03.2023).
22. Японское метеорологическое агентство. Шкала. [Электронный ресурс] URL: <https://www.jma.go.jp/> (дата обращения 21.04.2023).
23. В.Н. Малинин, В.М. Радикевич, С.М. Гордеева, Л.А. Куликова. Изменчивость вихревой активности атмосферы над Северной Атлантикой. [Текст] Санкт-Петербург. «Гидрометеиздат» 2003. – 171 с. (дата обращения 12.04.2023).

24. Holzheu, T., & Turner, G. (2018). The Natural Catastrophe Protection Gap: Measurement, Root Causes and Ways of Addressing Underinsurance for Extreme Events. [Text] Geneva Papers on Risk and Insurance: Issues and Practice, 43(1), 37-71. (дата обращения 16.04.2023).
25. Grigorkina R.G., Fuks V.R. Vozdeistvie taifunov na okean (Influence of typhoons to ocean) [Text], Leningrad: "Gidrometeoizdat", 1986, 243 p. (дата обращения 16.04.2023).
26. В. Н. Малинин. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. [Текст]. СПб.: Изд. РГГМУ, 2020. 424 с. (дата обращения 24.05.2023).
27. Гордеева С.М. Статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации. Практикум. - СПб, изд. РГГМУ, 2017. 68с. (дата обращения 24.05.2023).
28. Гидрометцентр России. Банк данных о тропических циклонах [Электронный ресурс] URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 24.05.2023).