



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Исследование закономерностей и прогноз сильных осадков на
Мальдивах»

Исполнитель Али Ашфаг
(фамилия, имя, отчество)

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

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

« 10 » июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАЛЬДИВСКОМ АРХЕПЕЛАГЕ.....	4
1.1 География Мальдивских островов	4
1.2 Климат Мальдивских Островов	7
1.3 Цунами 2004	9
1.4 Температура воздуха	12
1.5 Осадки	14
1.6 Облака	15
2. ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ИССЛЕДОВАНИИ	16
2.1 Подготовка данных.....	16
3. АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН	17
3.1 Анализ температуры воздуха	17
3.2 Анализ количества осадков	29
3.3 Анализ связи между количеством осадков и температурой воздуха..	63
3.4 Связь между количеством осадков и явлением Эль-Ниньо/Южное колебание	65
3.5 Связь между количеством осадков и диполем Индийского океана	67
Заключение	70
Список литературы	72
Приложение 1	73
Приложение 2	75
Приложение 3	76
Приложение 4	77
Приложение 5	77
Приложение 6	78
Приложение 7	79
Приложение 8	80
Приложение 9	81

Приложение 10	82
Приложение 11	83
Приложение 12	84
Приложение 13	85
Приложение 14	86
Приложение 15	86
Приложение 16	87
Приложение 17	88

Введение

Изменение климатических условий, рост частоты экстремальных погодных явлений и их влияние на Мальдивы становятся всё более актуальной научной и практической проблемой. Малые высоты над уровнем моря, ограниченные ресурсы пресной воды и высокая зависимость от природных условий делают Мальдивы особенно чувствительными к климатическим изменениям. Анализ многолетних метеорологических данных с учетом глобальных климатических индексов, а также последствий природных катастроф позволяет выявить особенности климатической изменчивости региона и оценить её последствия.

Целью данной работы является исследование временных особенностей температурного режима и осадков на Мальдивах на основе многолетних метеорологических данных, а также выявление возможных связей с глобальными климатическими индикаторами (ENSO, IOD) и оценка влияния катастрофических событий (цунами 2004 года) на структуру и изменчивость осадков.

Задачи:

Изучить физико-географические особенности Мальдивского архипелага, включая климатические характеристики.

Провести статистический анализ среднесуточной, минимальной и максимальной температуры воздуха, в том числе количества осадков на острове Ган за период 1990–2024 годов, выявить их сезонные и межгодовые закономерности, а также анализ осадков до и после события цунами 2004 года.

Построить и интерпретировать временные тренды изменения осадков и выявить корреляции между количеством осадков и суточными максимальными температурами, а также индексами глобальных климатических явлений (NINO4, IOD) и оценить эти связи с использованием методов регрессионного анализа.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАЛЬДИВСКОМ АРХЕПЕЛАГЕ

География Мальдивских островов

Мальдивы - азиатская тропическая страна, расположенная в Индийском океане, состоящая из 1190 небольших островов, площадь самого крупного из которых составляет около 7,3 квадратных километров. Рельеф этих островов относительно низменный и плоский. Самая высокая точка Мальдивских островов составляет около 2,4 метра, а средняя высота над уровнем моря - около 1,8 метров.

Совокупность островов, окружающих круглый коралловый риф, называется атоллом. Мальдивы состоит из двойной цепочки таких атоллов, которая простирается на 871 км от севера к югу. Страна географически расположена между 72° 32'30"E и 73° 45'54"E восточной долготы. Самый южный остров находится на 00°41'40" южной широты, а самый северный - на 7°6'18" северной широты, то есть географический экватор проходит через территорию страны.

На рисунке 1.1 представлена карта Мальдивских островов. Названия атоллов выделены жирным шрифтом черными заглавными буквами. Названия атоллов идут с севера на юг в алфавитном порядке на местном языке, который называется «Дивехи». Названия островов, выделенные оранжевым цветом, обозначают курорты. Те, что выделены черным, - обитаемые острова, населенные местными жителями. На этой карте не все необитаемые острова обозначены. Мальдивцы, путешествуя между атоллами, предпочитают воздушный транспорт морскому. Расстояние между самыми близкими аэропортами составляет около 53 км. Население страны составляет всего около полумиллиона человек, разбросанных по этим атоллам, разделенным морями,

что приводит к снижению спроса на поездки, что делает внутренние рейсы довольно дорогостоящими.

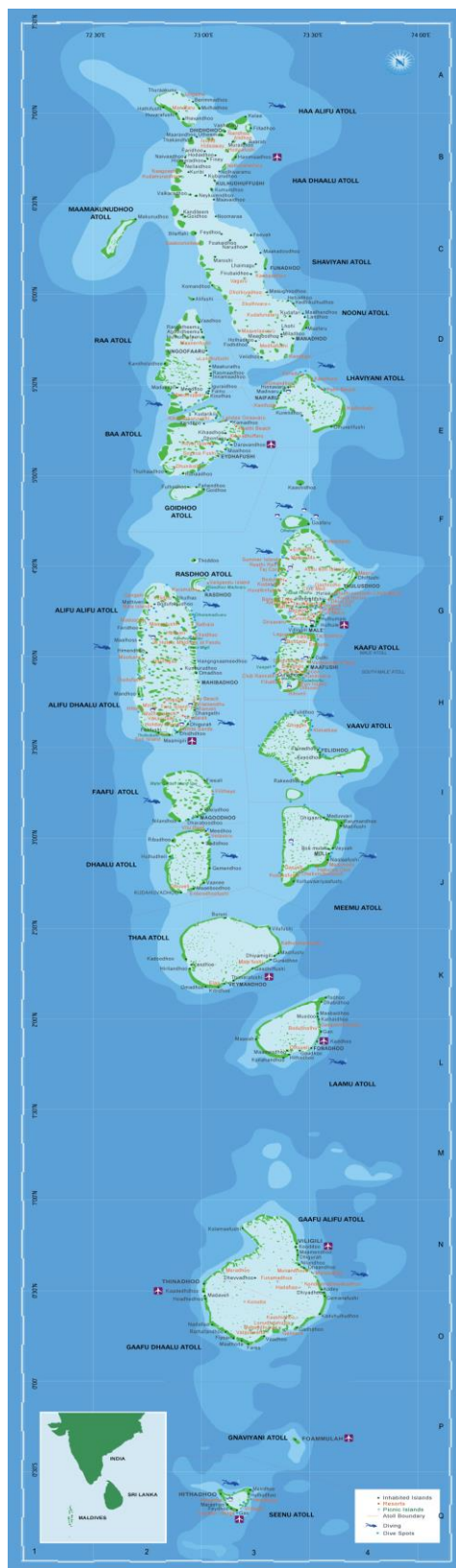


Рисунок 1.1 – Карта Мальдивских островов

Коралловые рифы вокруг атоллов защищают эти острова, образовавшиеся в результате скопления песка под действием морских волн, от размывания огромными волнами Индийского океана. Морская вода, окружающая атоллы, глубокая и темно-синего цвета, но от коралловых рифов к острову вода становится мельче, что придает воде вокруг островов различные оттенки голубого цвета. Все острова окружены белыми песчаными пляжами. Но, к сожалению, для того, чтобы обеспечить дальнейшую защиту острова от размывания, вокруг некоторых населенных островов либо разбросаны огромные горные породы, либо земля рекультивирована до рифа, что компрометирует прекрасный вид этих пляжей.

Атмосферные осадки на островах накапливаются в линзе, называемой линзой Гибена/Герцберга или пресноводной линзой. На рисунке 1.2 представлена схема, которая иллюстрирует концепцию пресноводных линз. Эта линза является источником воды для местных жителей. Поскольку острова расположены низко, во время сильных дождей эта линза быстро заполняет все пространство под землей, и вода проникает из-под домов, вызывая наводнения почти повсеместно по острову.

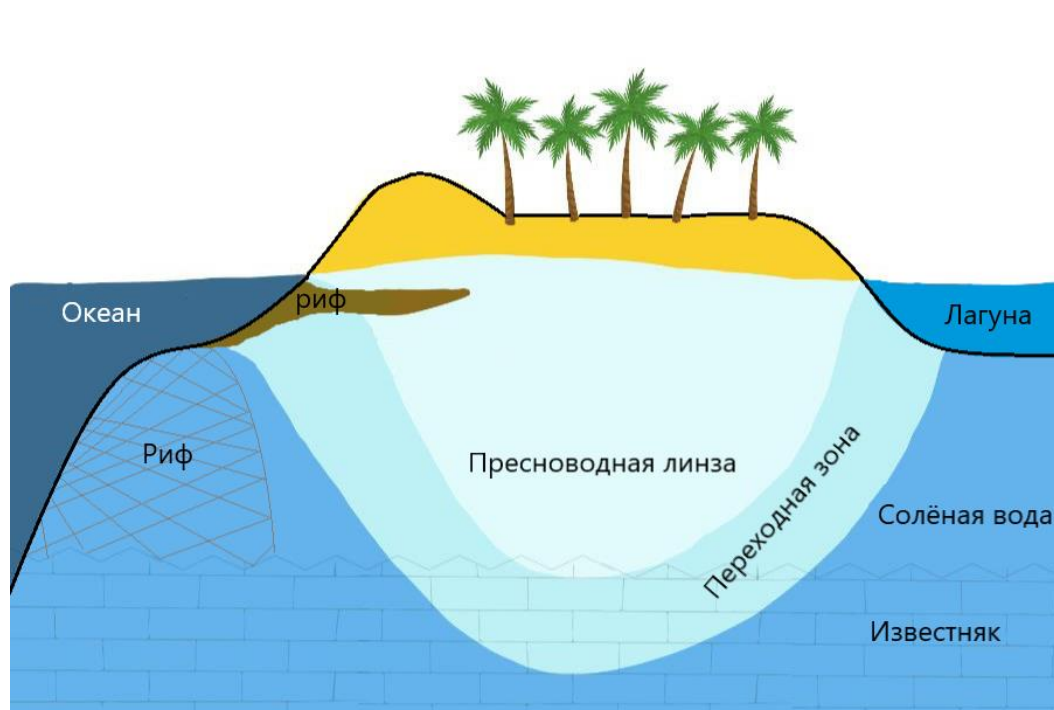


Рисунок 1.2 – Схема пресноводной линзы

На некоторых островах были установлены дренажные системы, с помощью которых дождевая вода сбрасывается в море, недостатком таких систем является проникновение соли в пресноводную линзу. Но сейчас неисчерпаемая опресненная вода предоставляется по всей стране в качестве платной услуги. Но, некоторые все еще полагаются на эту пресноводную линзу в качестве источника воды. Важно отметить, что, во время приливных колебаний, когда прилив относительно высок, сильные дожди все ещё вызывают наводнения, несмотря на наличие дренажных систем.

Климат Мальдивских Островов

На Мальдивах наблюдается два сезона осадков – сезон дождей и сухой сезон. Сезон дождей длится с середины мая по ноябрь, сухой сезон – с января по март. Относительно преимущественных направлений ветра их ещё называют юго-западный муссон (сезон дождей) и северо-восточный муссон (сухой сезон). Декабрь и апрель — это переходный период между муссонами.

Муссоны возникают из-за неравномерного распределения тепла между сушей и водой. Южная часть нашего региона в основном состоит из Индийского океана, а северная часть - преимущественно из суши. Летом в северном полушарии земля прогревается и воздух над ней поднимается. Суша теплее океана и теплый воздух над сушей заменяется влажным воздухом над океаном. Суша нагревается быстрее, чем вода, но зимой в северном полушарии океан охлаждается медленнее и становится теплее суши. Воздух над океанами поднимается и заменяется более теплым воздухом с суши. Схема рисунка 1.4 иллюстрирует это понятие.

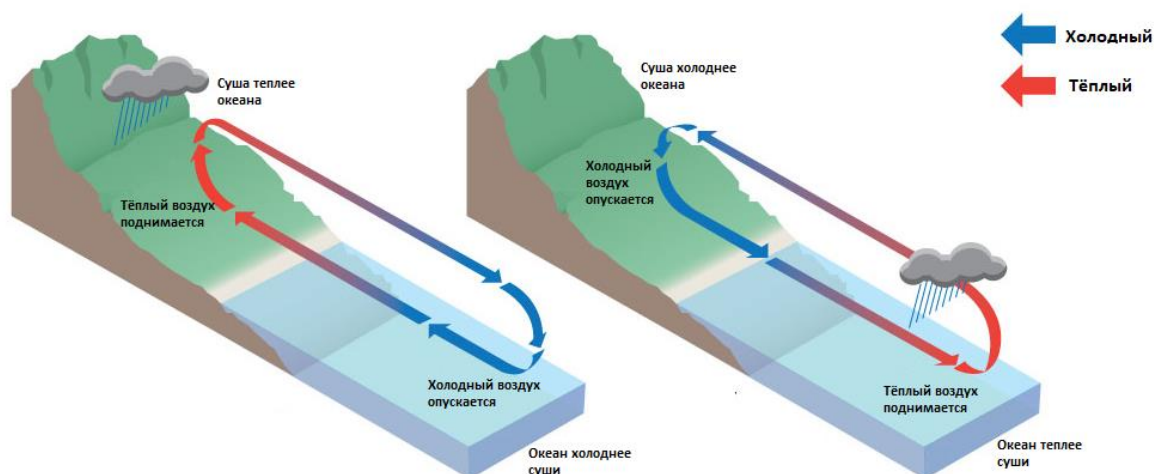


Рисунок 1.4 – Схема образования муссонной циркуляции

В северном полушарии во время переноса воздуха сила, вызванная вращением Земли, называемая силой Кориолиса, изгибает направление ветра под углом вправо. В результате южный ветер, дующий с океана, становится юго-западным, а северный ветер, дующий с суши, - северо-восточным.

Мальдивцы ещё подразделяют эти два муссонных сезона на под периоды, называемые «Накай», что на местном языке означает созвездие. Каждый «накай» длится 13–14 дней и назван в честь звезды в созвездии, которую можно увидеть на ночном небе в данный период. Северо-восточный муссон подразделяется на 9 «накай», а юго-западный – 18 «накай». Местные жители используют эту систему для рыбалки, сельского хозяйства и прогнозирования погоды на индивидуальном уровне. У местных жителей сейчас есть мнение, что после цунами 26 декабря 2004, сезон дождей, период рыбалки и сбора урожая, и т.д., который раньше хорошо прогнозировался с использованием «накай», изменился и сейчас его невозможно прогнозировать по такой схеме.

Цунами 2004

Цунами 2004 года является целый набор разрушительных морских волн, возникших сразу после землетрясения магнитудой 9,2, произошедшего 26 декабря 2004 года на глубине 30 км в Индийском океане в 160 км от западного побережья индонезийского острова Суматра. Это землетрясение было вызвано тем, что индийская тектоническая плита подвинулась под бирманскую, которая расположена над индийской, т. е. ослаблением напряженности между плитами (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Схематическое изображение цунами декабря 2004 г.

Считается, что энергия, выделившаяся в результате землетрясения, была эквивалентна 550 миллионам атомных бомб, сброшенных на Хиросиму.

П

о

д

а

н

н

ы

м

Мощная энергия этого землетрясения заставила морское дно подняться на несколько метров, подняв огромный объем воды над поверхностью океана, вызвав серию разрушительных волн, которые достигли даже Мексики, Чили и Арктики (рисунок 1.6). Этот подъем морского дна уменьшил емкость Индийского океана и навсегда увеличил глобальный уровень моря на 0,1 мм.

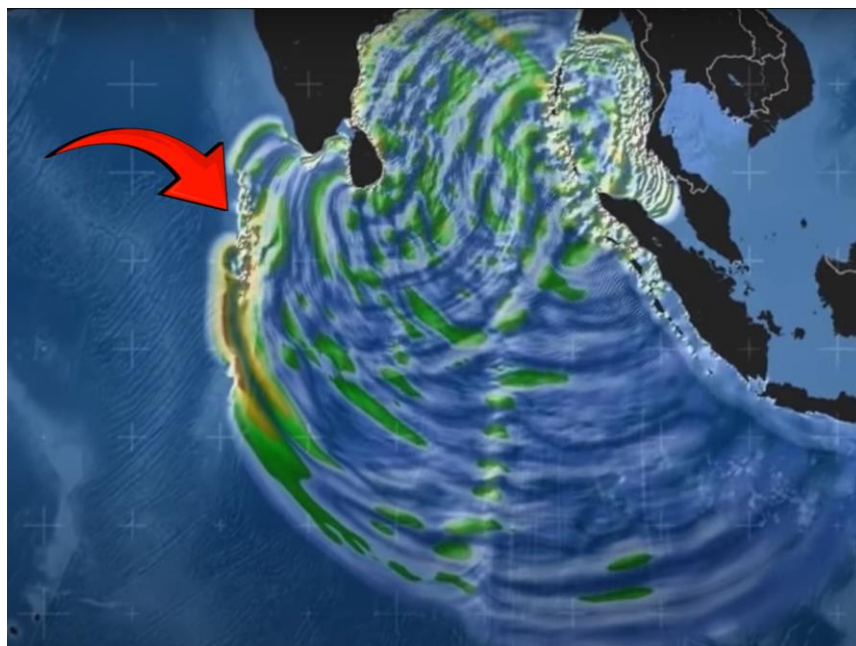


Рисунок 1.6 – Распространение волны от землетрясения декабря 2004 г.

В результате данного события погибли 230 000 человек в 14 странах, включая Мальдивы, где погибло 108 человек. Цунами достигло Мальдивских островов примерно через 5 часов после своего возникновения, и, по оценкам ученых, страна будет полностью стерта с лица Земли этими гигантскими разрушительными волнами. Однако последствия были не такими разрушительными, как предсказали ученые (рисунок 1.7 и 1.8). Позже ученые предлагали, что огромные коралловые рифы вокруг атоллов спасали страну от той опасности. Коралловые рифы ослабили воздействие волн.



Рисунок 1.6 – Последствия землетрясения

Несмотря на то, что лишь малая часть первоначальных волн достигла островов, расположенных за пределами защищающих коралловых рифов, цунами серьезно повлияло на треть населения Мальдив. 53 населенным островам был причинен серьезный ущерб. На 79 населенных островах не было питьевой воды. 12000 человек были перемещены, а 8500 - размещены во временных убежищах. Некоторые последствия цунами до сих пор сохраняются.



Рисунок 1.7 – Последствия землетрясения декабря 2004 г.

Температура воздуха

Поскольку Мальдивы расположены на экваторе, продолжительность дня в среднем практически не меняется. Солнце светит в среднем 12 часов круглый год. Следовательно, температура не сильно колеблется в течение года. Однако среднемесячное количество солнечных часов в сухой сезон больше, чем в сезон дождей. Это напрямую влияет на температуру. Среднемесячная температура в сухой сезон выше, чем в сезон дождей. Самая низкая температура на Мальдивах, составляет $18,2^{\circ}\text{C}$. Самая высокая температура на Мальдивах, составила 36°C . Среднесуточная температура колеблется от 25°C до 32°C . В таблице 1.1 приведены среднемесячные максимальные и минимальные температуры на самом южном острове Мальдив (Ган). В ней также указаны среднемесячная продолжительность дня и количество солнечных дней на данном острове.

Таблица 1.1 – Среднемесячные значения температуры воздуха и солнечного сияния для острова Ган

Месяц	Максимальная температура, °C	Минимальная температура, °C	Продолжительность дня (часов)	Продолжительность солнечного сияния, час
Январь	30,7	25,1	12	7,7
Февраль	31,1	25,6	12	8,8
Март	31,6	25,4	12	8,6
Апрель	31,9	25,5	12	8,2
Май	31,4	25,4	12	7,5
Июнь	31,1	25,3	12	7,2
Июль	30,8	24,8	12	6,5
Август	30,7	24,7	12	6,8
Сентябрь	30,5	24,7	12	6,5
Октябрь	30,6	24,7	12	7
Ноябрь	30,5	24,7	12	7,5
Декабрь	30,7	24,6	12	7,4

Ощущаемая температура может быть выше или ниже температуры воздуха в зависимости от уровня влажности воздуха. На Мальдивах относительная влажность воздуха в среднем высокая. Поэтому ощущаемая температура обычно выше, чем регистрируемая температура воздуха. В апреле 2024 года ощущаемая температура достигла 46°C. Эксперты ещё и связывают эту волну жары с Эль-Ниньо, которое связано к температурам поверхности океана выше среднего, которые периодически наблюдаются в восточно-центральной экваториальной части Тихого океана.

Осадки

Последствия наводнений, вызванных проливными дождями и волнами, а также повышением уровня моря, являются серьезными для этой низменной страны. Вот почему мы сосредоточимся на этой работе именно на количестве осадках. Осадки на Мальдивах выпадают только в жидком состоянии, обычно в виде ливней.

На Мальдивах есть пять круглосуточно работающих метеостанций, и на каждой из них ежечасно измеряется количество осадков. Осадки собираются в дождемере на метеоплощадке, а количество осадков измеряется с помощью измерительного цилиндра. Среднегодовое количество осадков колеблется с севера на юг страны на 1779-2218 мм соответственно. Наибольшее количество осадков за сутки составило 228 миллиметров, которое наблюдалось на самом южном острове страны (Ган) в 24 ноября 2015 года.

В таблице 1.2 приведены среднемесячные количества осадки на самом южном острове Мальдив (Ган).

Таблица 1.2 – Среднемесячные количества осадков для острова Ган

Месяц	Количество осадков, мм
Январь	202
Февраль	75,9
Март	121,8
Апрель	168,4
Май	221,3
Июнь	143,3
Июль	196,9
А	204
Сентябрь	226,1
Октябрь	247

Ноябрь	241,9
Декабрь	219,6

В юго-западном муссоне (сезон дождей) осадков выпадает преимущественно больше, чем при северо-восточном (сухой сезон). Это связано с тем, что северо-восточная сторона от страны состоит в основном из суши, а юго-западная сторона – из океана. Влага из океана приносит дожди, а загрязнение с суши – мгла.

1.6 Облака

Мальдивские острова находятся на экваторе, а вблизи экватора находится область низкого давления, называемая внутритропической зоной конвергенции. Она возникает в результате столкновения пассатов из обоих полушарий: северо-восточных пассатов из Северного полушария и юго-восточных пассатов из Южного. В зоне внутритропической конвергенции преобладают кучевые и кучево-дождевые облака (cumulus и cumulonimbus), образующие в результате мощной конвекции влажного воздуха. Именно поэтому осадки на Мальдивах обычно выпадает в виде кратковременных ливней. Высококучевые облака (Altostratus) наблюдаются, но слоисто-дождевые облака (Nimbostratus) с продолжительными осадками очень редко встречаются.

ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ИССЛЕДОВАНИИ

В данной работе использованы данные о количестве осадков, а также о минимальной, максимальной и среднесуточной температуре воздуха с самого южного острова Мальдив (Ган), на котором находится единственная во всем регионе метеостанция, расположенная к югу от экватора. Эти данные были предоставлены метеорологической службой Мальдивских островов. Количество осадков измерялось с помощью дождемера.

Использовались данные с дискретностью один день за период с 1 января 1990 года по 31 августа 2024 года.

Данные о индексах NINO4 и IOD были получены с сайта Бюро Метеорологии Австралии

Индексы NINO4 и IOD представлены в виде недельных значений, поскольку он рассчитывается на основе усреднённых данных за 7-дневные периоды. Мы брали индексы за период с 28 июля 2008 года по 06 марта 2025 года.

2.1 Подготовка данных

Мы создали стартовый код на языке R, чтобы подготовить данные к анализу. Важно отметить, что для последующего анализа мы каждый раз запускали этот стартовый код перед выполнением остальных блоков кода, которые далее встречаются в данной работе. Программный код представлен в Приложении 1.

АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В данном исследовании проанализированы значения температуры воздуха на высоте 2 м и количества осадков.

3.1 Анализ температуры воздуха

3.1.1 Анализ распределения среднесуточной температуры воздуха

Создана программа на языке программирования R для расчёта и построения гистограммы среднесуточной температуры для каждого месяца за период с 1990 по 2024 год. Программный код приведён в Приложении 2.

На рисунке 3.1 представлены гистограммы для каждого месяца

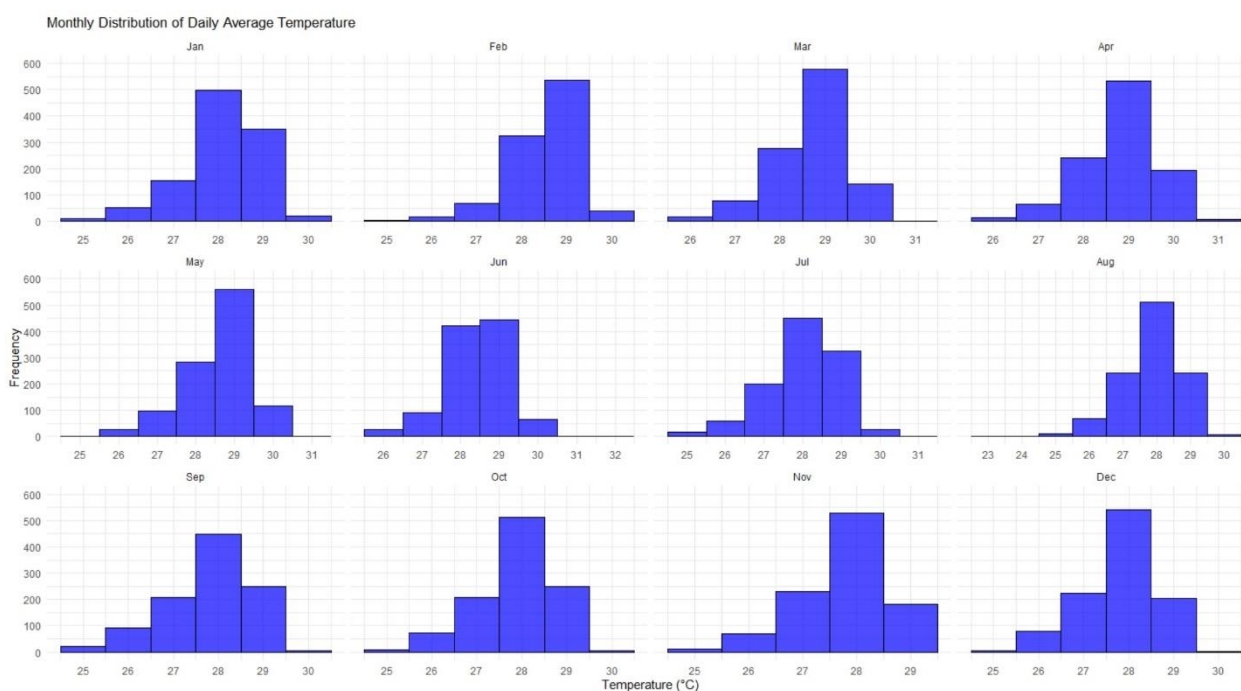


Рисунок 3.1 – Гистограммы среднесуточной температуры воздуха для каждого месяца

Анализ графиков, представленных на рисунке 3.1, позволяет говорить о том, что в большинстве месяцев среднесуточная температура колебалась в пределах от 25°C до 30°C.

Март по июнь - самые жаркие месяцы. В этих месяцах чаще наблюдается среднесуточная температура больше 30°C. В июне среднесуточная температура достигает до 32°C.

Август, сентябрь и ноябрь кажутся немного прохладнее. Понижение и изменчивость средней температуры самые большие в Августе (от 23°C до 30°C). В большинстве случаев средняя температура составляла 28-29°C (средняя по месяцам). В целом, распределения симметричны, но в августе наблюдается левосторонняя асимметрия.

Для дальнейшего исследования месячного распределения среднесуточной температуры (программа на R в Приложении 3) были построены Voxplot среднесуточной температуры для каждого месяца за период с 1990 по 2024 год. График представлен на рисунке 3.2.

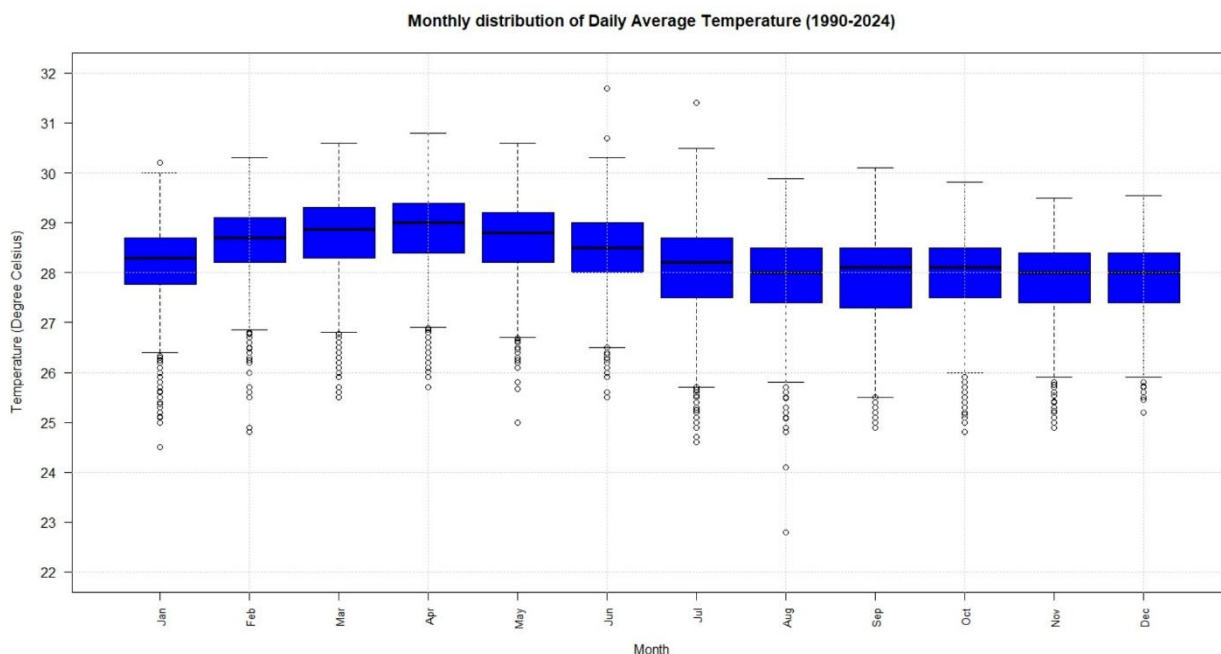


Рисунок 3.2 – Voxplot месячного распределения среднесуточной температуры

Анализ графика с рисунка 3.2 позволяет говорить о том, что в апреле наблюдается самая высокая среднесуточная температура по медиане – около

В августе, ноябре и декабре среднесуточная температура воздуха имеет самые низкие медианные температуры – около 28°C.

С июля по сентябрь наблюдается самый широкий межквартильный размах, что указывает на большую изменчивость среднесуточной температуры.

С января по июнь и с октября по декабрь наблюдается компактность «ящиков», что говорит о небольшой изменчивости среднесуточной температуры воздуха в эти месяцы.

В большинстве месяцев имеются выбросы, связанные с низкими значениями среднесуточной температуры. В январь, февраль, июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь эти выбросы достигли значений ниже 25°C, особенно в августе наблюдается один выброс, достигающий около 23°C – самый холодный день. Мало высоких выбросов наблюдаются в июне и июле, достигая выше 31°C. Самый жаркий день наблюдается в июне – около 32°C.

Далее для анализа межгодового изменения среднесуточной температуры воздуха были построены гистограммы для периода 1990–2024 (рисунок 3.3, 3.4, 3.5, программа на R в Приложении 4). Важно отметить, что в Приложении 4 приведён код только для периода 1990–2001 годов. Для построения гистограмм за периоды 2002–2013 и 2004–2014 годов использовался тот же код, с изменёнными датами начала и окончания в соответствующих параметрах. Аналогичный подход применяется ко всем подобным кодам, встречающимся далее в данной работе.

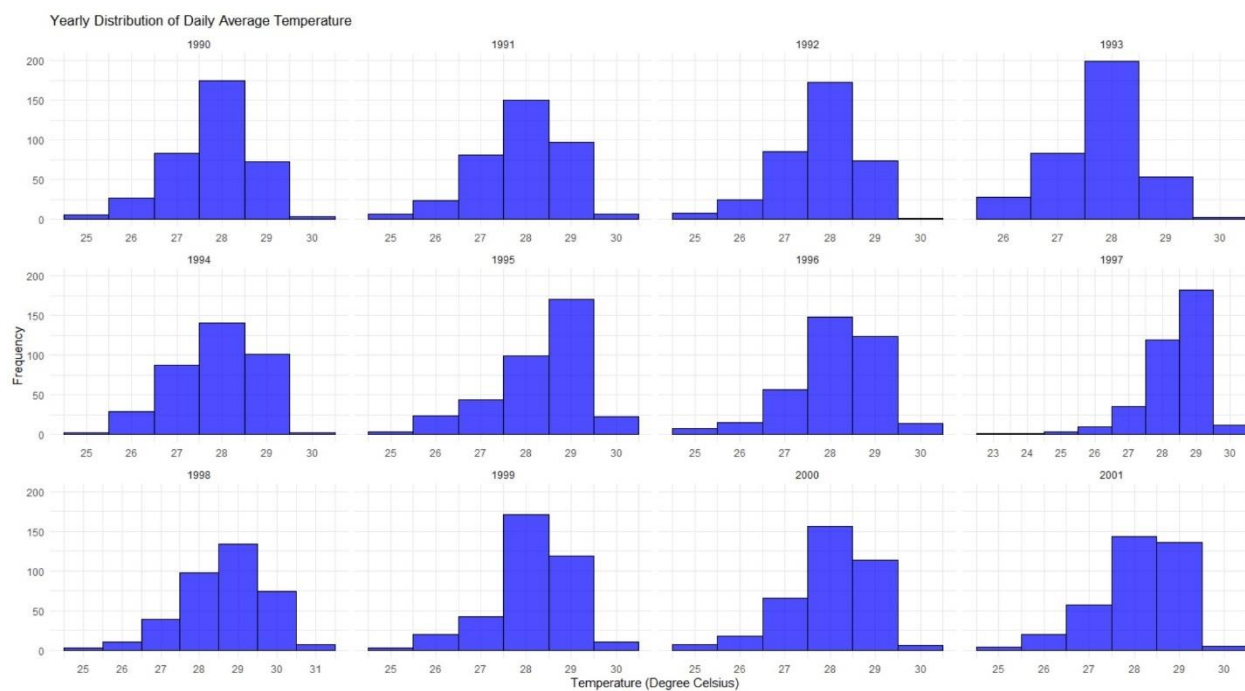


Рисунок 3.3 – Гистограммы распределения среднесуточной температуры воздуха (1990–2001)

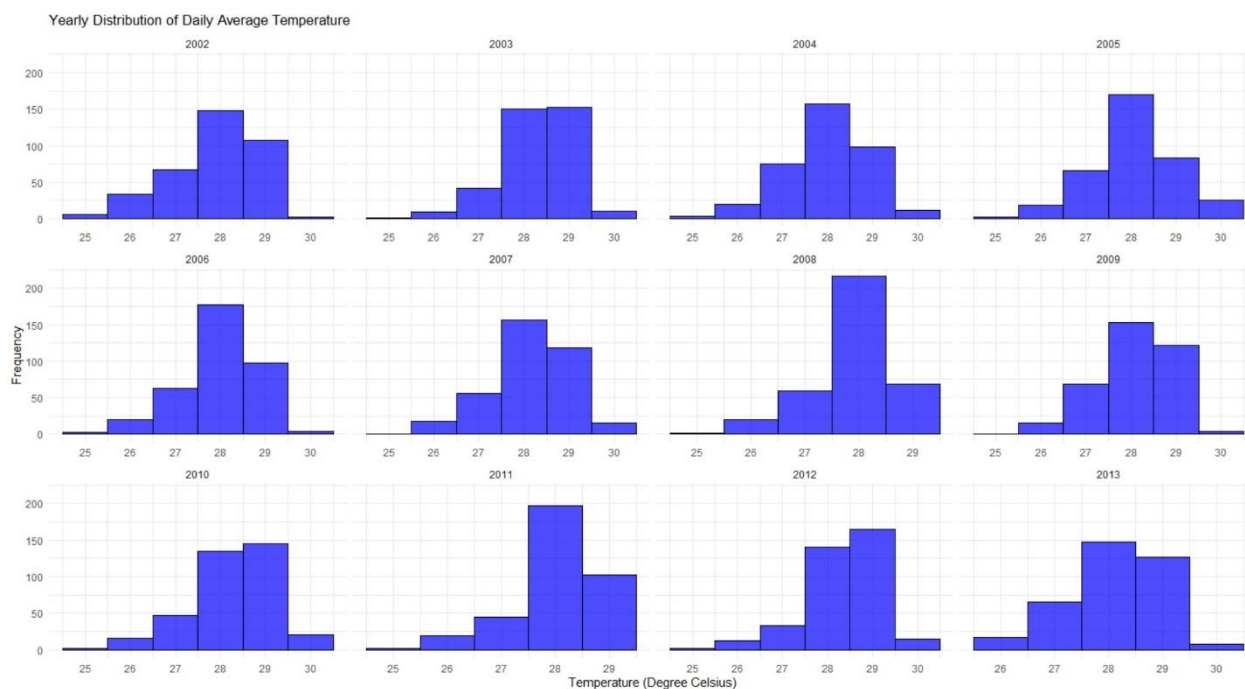


Рисунок 3.4 – Гистограммы распределения среднесуточной температуры воздуха (2002–2013)

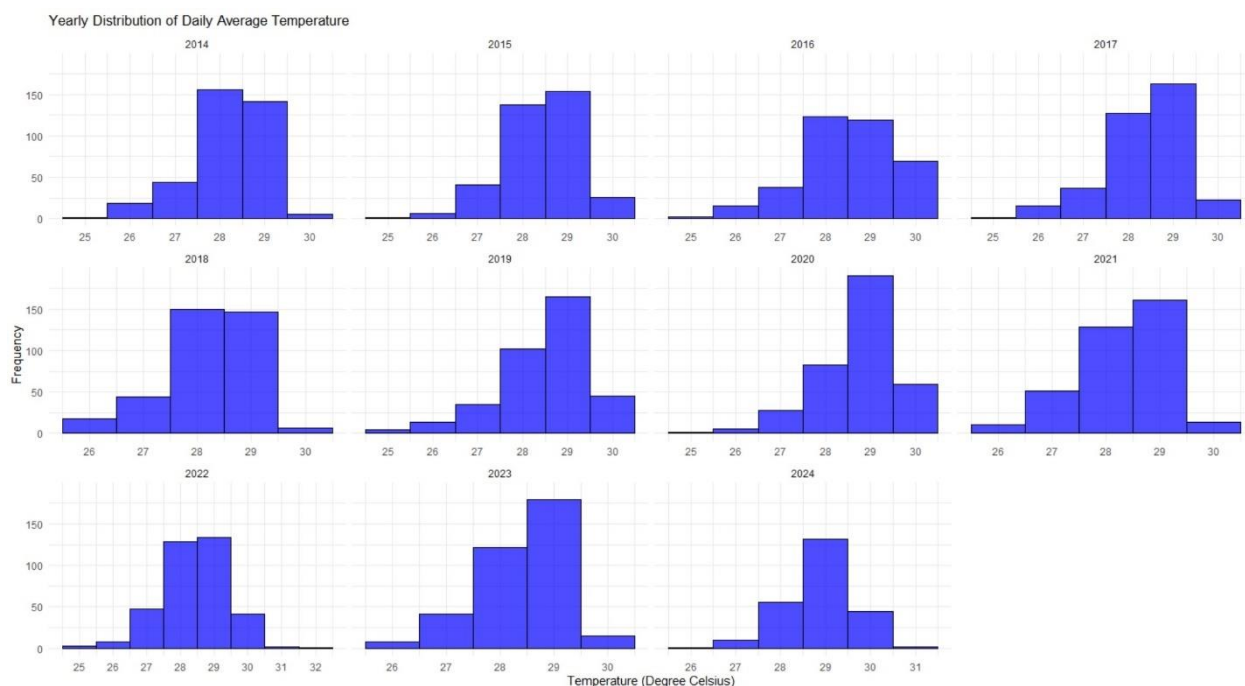


Рисунок 3.5 – Гистограммы распределения среднесуточной температуры воздуха по годам (2014–2024)

Гистограммы распределения среднесуточной температуры воздуха по годам (1990–2024) показывает, что большинстве годов среднесуточная температура колебалась в пределах от 25°C до 30°C.

2022 год – самый жаркий за период и среднесуточная температура достигает до 32°C. Понижение и изменчивость среднесуточной температуры самые большие в 1997 (от 23°C до 30°C). В большинстве случаев среднесуточная температура составляла 28-29°C (средняя по годам). В целом, распределения симметричны, но в годах таких как 1995, 1997, 2011, 2012, 2017, 2019, 2020, 2021 и 2023 наблюдается левосторонняя асимметрия.

3.1.2 Анализ распределения минимальной температуры воздуха

Было рассмотрено месячное распределение минимальной температуры воздуха для каждого месяца. Гистограммы представлены на рисунке 3.6. программа на R в Приложении 5).

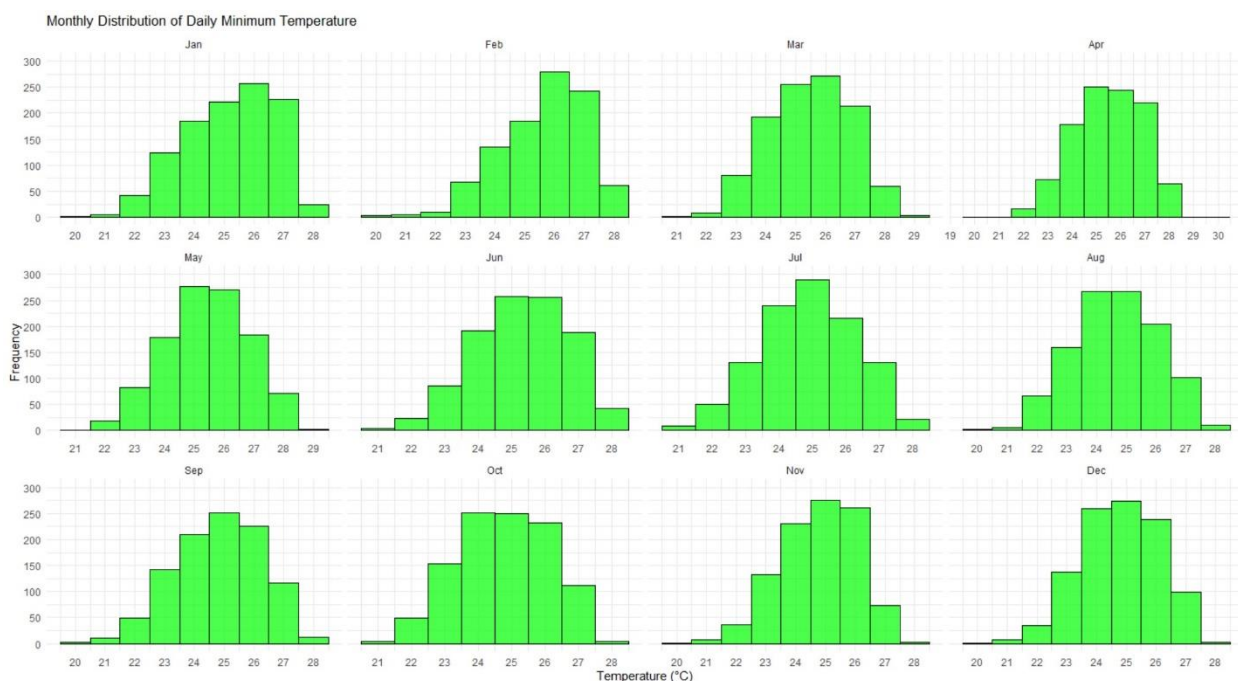


Рисунок 3.6 – Гистограммы минимальной температуры воздуха по месяцам

Минимальные температуры варьируются примерно от 20°C до 28°C. В июле, августе, октябре и декабре минимальные значения чаще встречаются в пределах 24–25°C, а в январе и феврале - 26–27°C, а в остальные месяцы 25–26°C. Самый тёплый минимум встречается в марте (29°C). Самый холодный минимум встречается в январе, феврале, августе, сентябре, ноябре и декабре (20°C). Почти все гистограммы имеют форму приближенную к нормальному распределению.

Для дальнейшего исследования месячного распределения минимальной температуры (программа на R в Приложении 6) были построены минимальной температуры для каждого месяца за период с 1990 по 2024 год. График представлен на рисунке 3.7.

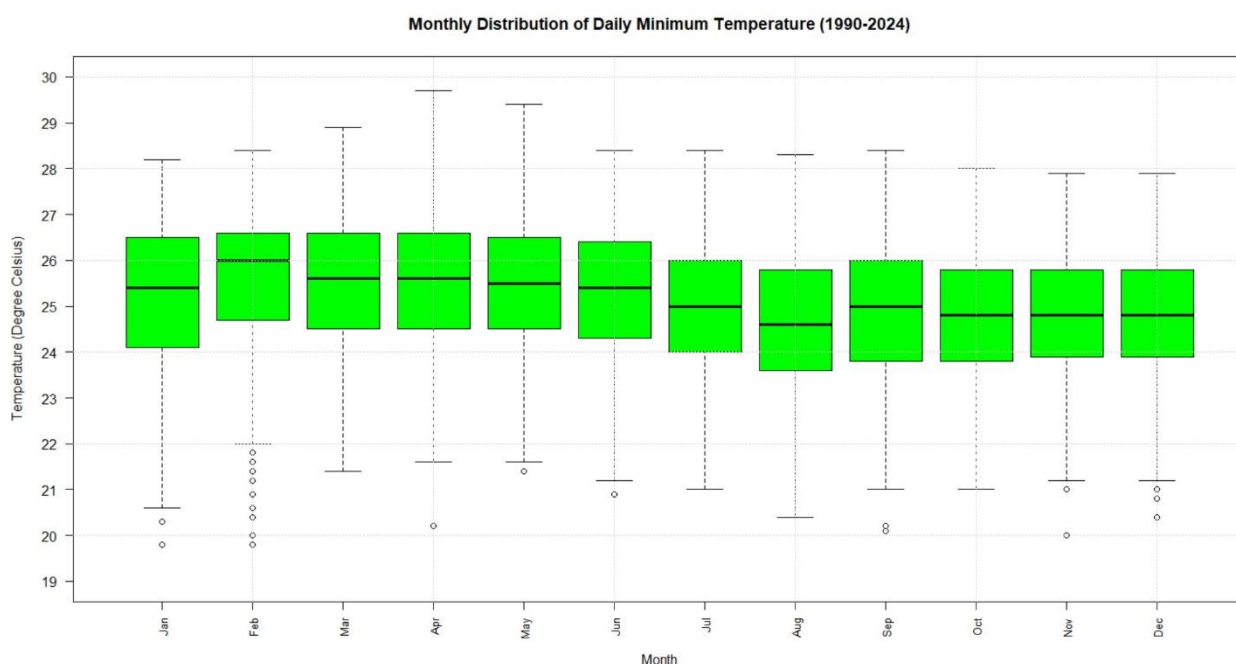


Рисунок 3.7 – Гистограммы минимальной температуры воздуха по месяцам

Август имеет наименьшая минимальная температура по медиане - около 24,5°C. Нижняя граница ящика в августе достигает 20–20,5°C.

Февраль показывает самая высокая минимальная температура по медиану - 26°C. Верхняя граница ящика в этом месяце достигает 28–28,5°C. В апреле эта граница достигает примерно 30°C. В апреле и августе наблюдается самый высокий разброс минимальной температуры.

В январе, августе и сентябре наблюдается относительно широкий межквартильный размах. Ни в одном месяце нет верхних выбросов. В марте, июле, августе и октябре также отсутствует нижних выбросов. Некоторые нижние выбросы опускаются до 19,5–20°C, особенно в январе и феврале.

Гистограммы распределения минимальной температуры воздуха по годам представлена на рисунках 3.8, 3.9 и 3.10 (Программа на R в Приложении

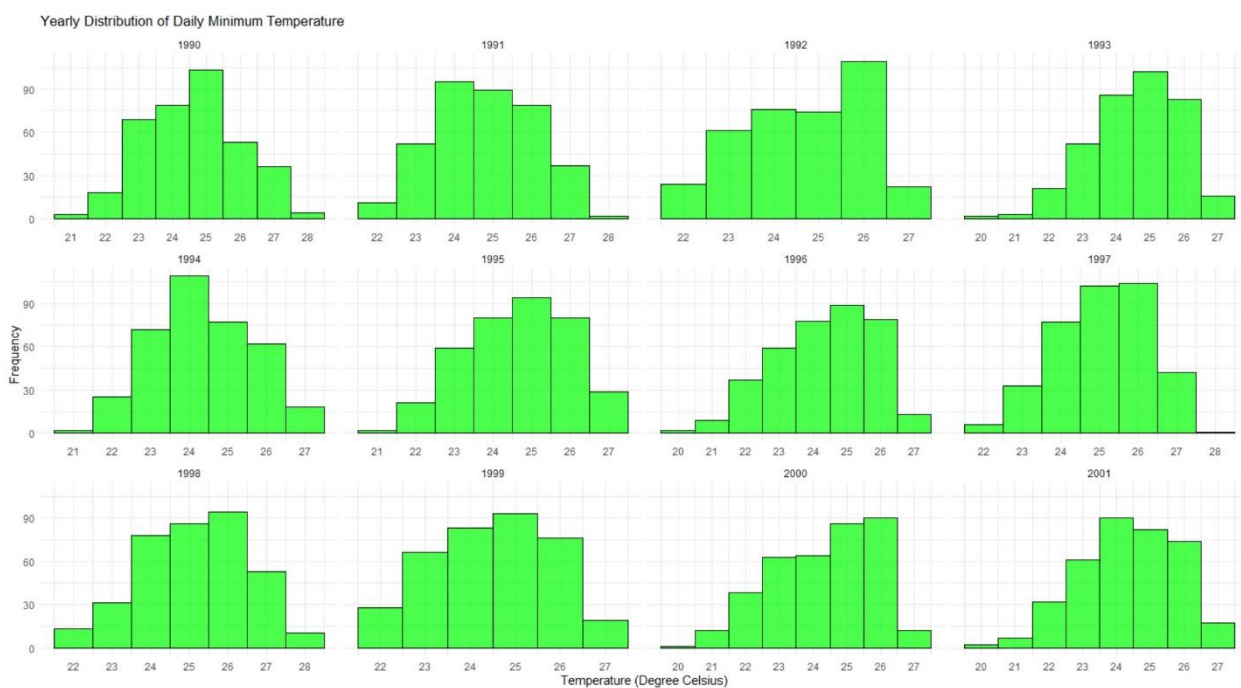


Рисунок 3.8 – Гистограммы минимальной температуры воздуха (1990–2001)

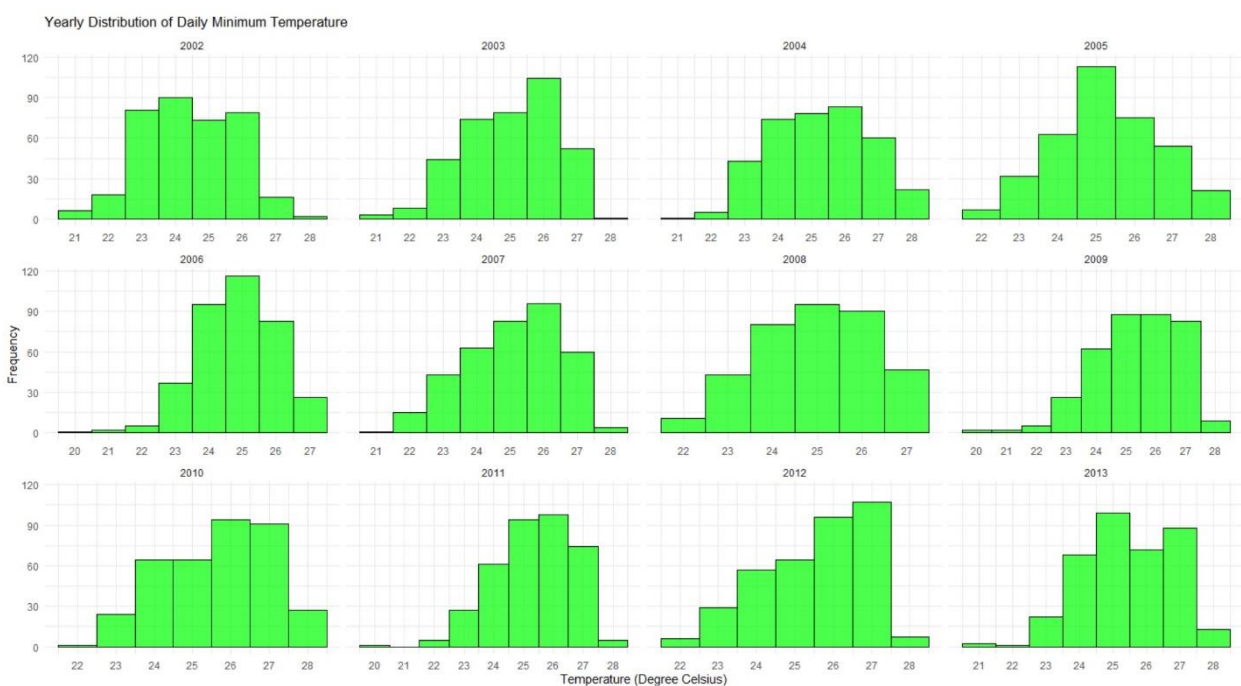


Рисунок 3.9 – Гистограммы минимальной температуры воздуха (2002–2013)

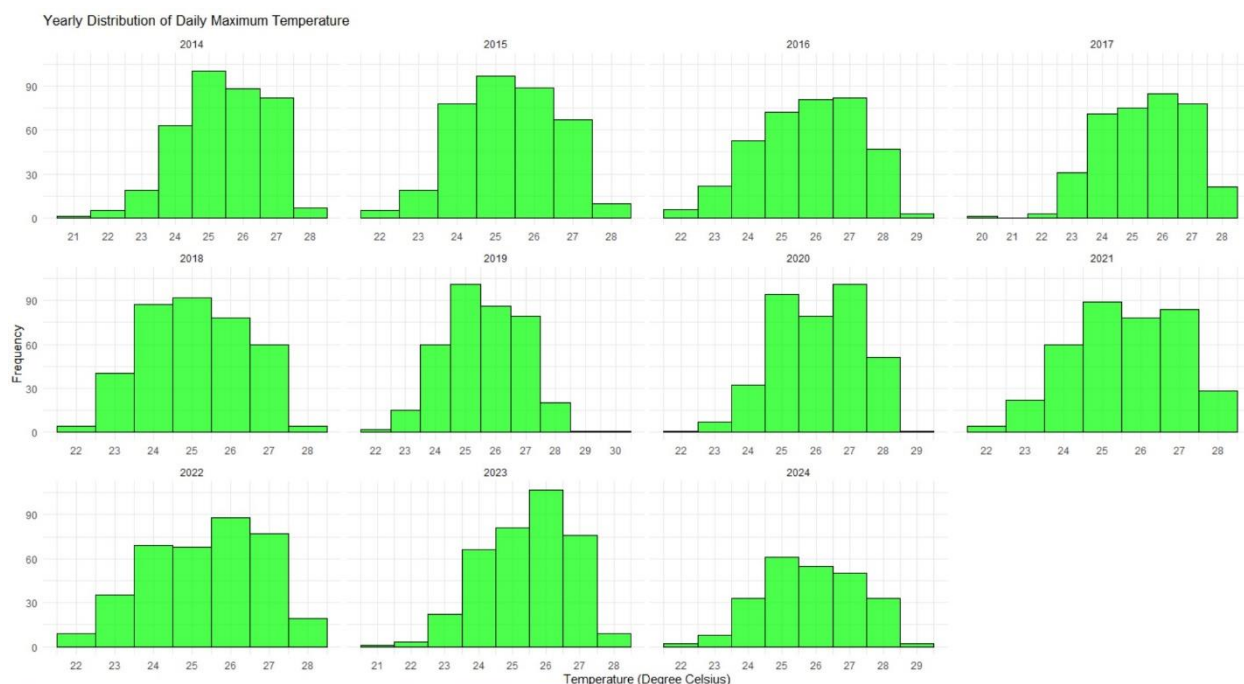


Рисунок 3.10 – Гистограммы минимальной температуры воздуха (2014–2024)

На рисунках 3.8, 3.9 и 3.10 показывает гистограммы распределения минимальной температуры в градусах Цельсия по годам за период с 1990 по 2024 год.

В большинстве случаев минимальная температура колебалась в пределах от 22°C до 28°C. Самый тёплый минимум (29°C) встречается в 2016, 2020 и 2024 годы. Самый холодный минимум (20°C) встречается в 2017, 2011, 2009, 2006, 2001, 2000, 1996 и 1993. Наиболее часто встречающееся значение минимальной температуры в 1994, 2001 и 2002 составляет 24°C, то значение у остальных годов составляет 25-27°C.

В 2002, 2013, 2020 и 2021 имеют две экстремумы. 1992, 1993, 1996, 1997, 2000, 2003, 2007, 2009, 2011 и 2012 имеют левостороннее распределение, а остальные имеют форму приближенную к нормальному распределению.

Анализ распределения максимальной температуры воздуха

Было рассмотрено месячное распределение максимальной температуры воздуха для каждого месяца. Гистограммы представлены на рисунке 3.11. (программа на R в Приложении 8).

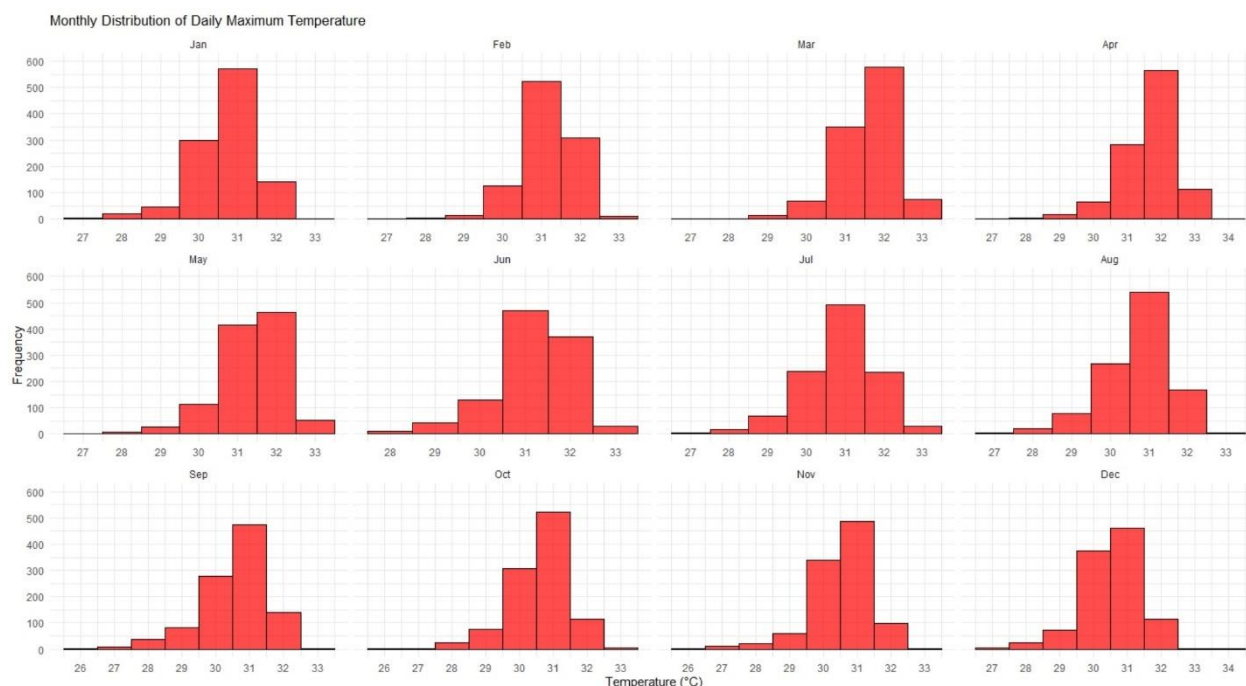


Рисунок 3.11 – Гистограммы максимальной температуры воздуха по месяцам

На рисунке 3.11 показывает гистограммы распределения максимальной температуры в градусах Цельсия по месяцам за период с 1990 по 2024 год.

В большинстве месяцев максимальная температура колебалась в пределах от 27°C до 33°C. Март по июнь - самые жаркие месяцы. В апреле и декабре максимальная температура достигает до 34°C. Изменчивость максимальной температуры самая большая в апреле и от сентября по декабре. В большинстве случаев максимальная температура составляла 31-32°C (средняя по месяцам). В целом, распределения левосторонние, но в месяцах таких как в июле наблюдается симметрия.

Для дальнейшего исследования месячного распределения максимальной температуры (программа на R в Приложении 9) были построены Vохplot максимальной температуры для каждого месяца за период с 1990 по 2024 год. График представлен на рисунке 3.12.

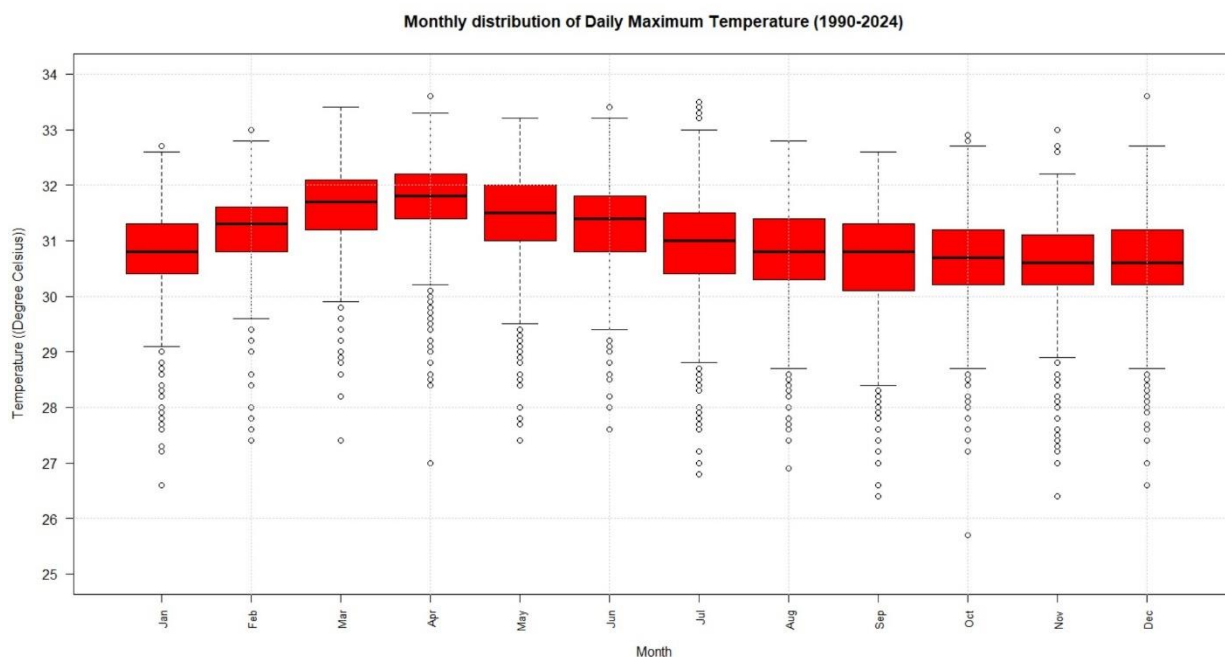


Рисунок 3.12 – Гистограммы минимальной температуры воздуха по месяцам

Апрель показывает самая высокая максимальная температура по медиану - около 32°C. Ноябрь и декабрь имеют самые низкие медианные максимальные температуры - около 30,5°C.

С июля по сентябрь наблюдается относительно широкий межквартильный размах. С января по июнь, и с октября по декабрь наблюдается компактность ящиков. Можно сказать в этих месяцах температура ведёт себя более стабильно по сравнению с распределением с июля по сентябрь.

В большинстве месяцев имеются нижние выбросы температуры. В январь, июль, август, сентябрь, октябрь, ноябрь и декабрь видны нижние выбросы, достигающие ниже 27°C, особенно в октябре наблюдается один выброс, достигающий ниже 26°C – самая низкая максимальная температура. Несколько верных выбросов наблюдаются в апреле, июне, июле и декабре достигая выше 33°C. Самые жаркие дни наблюдается в апреле и декабре - около 33,7°C.

Гистограммы распределения максимальной температуры воздуха по годам представлена на рисунке 3.13, 3.14 и 3.15 (Программа на R в Приложении 10).

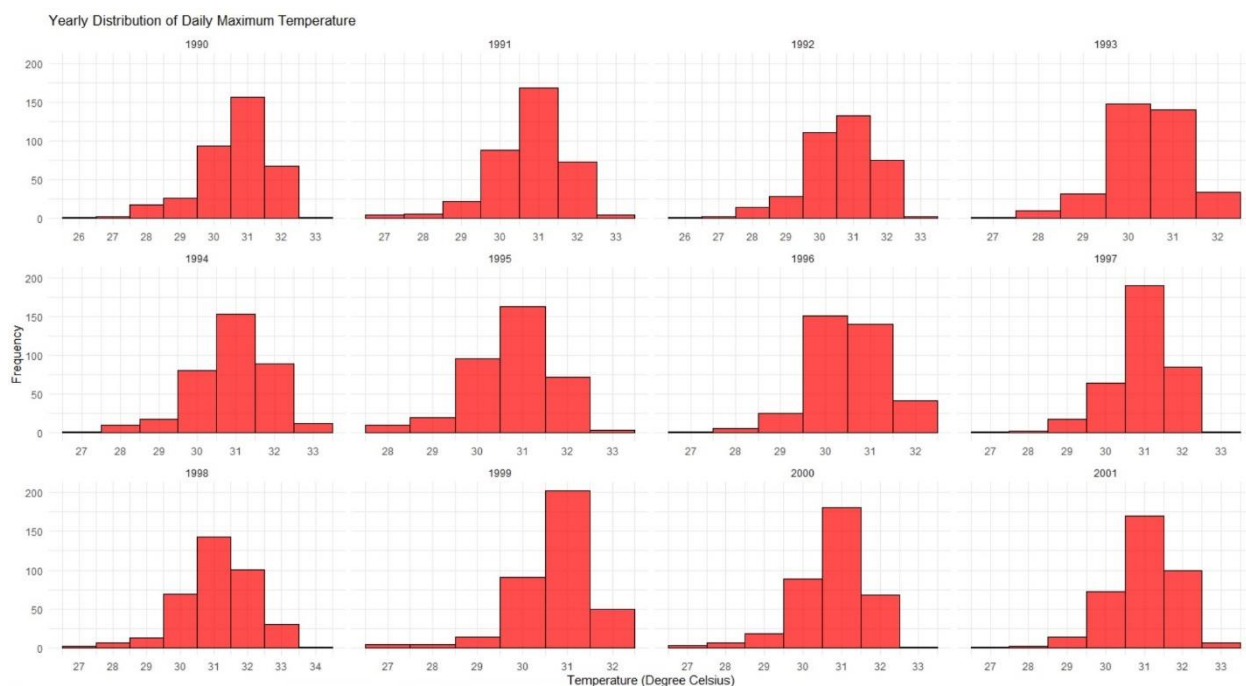


Рисунок 3.13 – Гистограммы минимальной температуры воздуха (1990–2001)

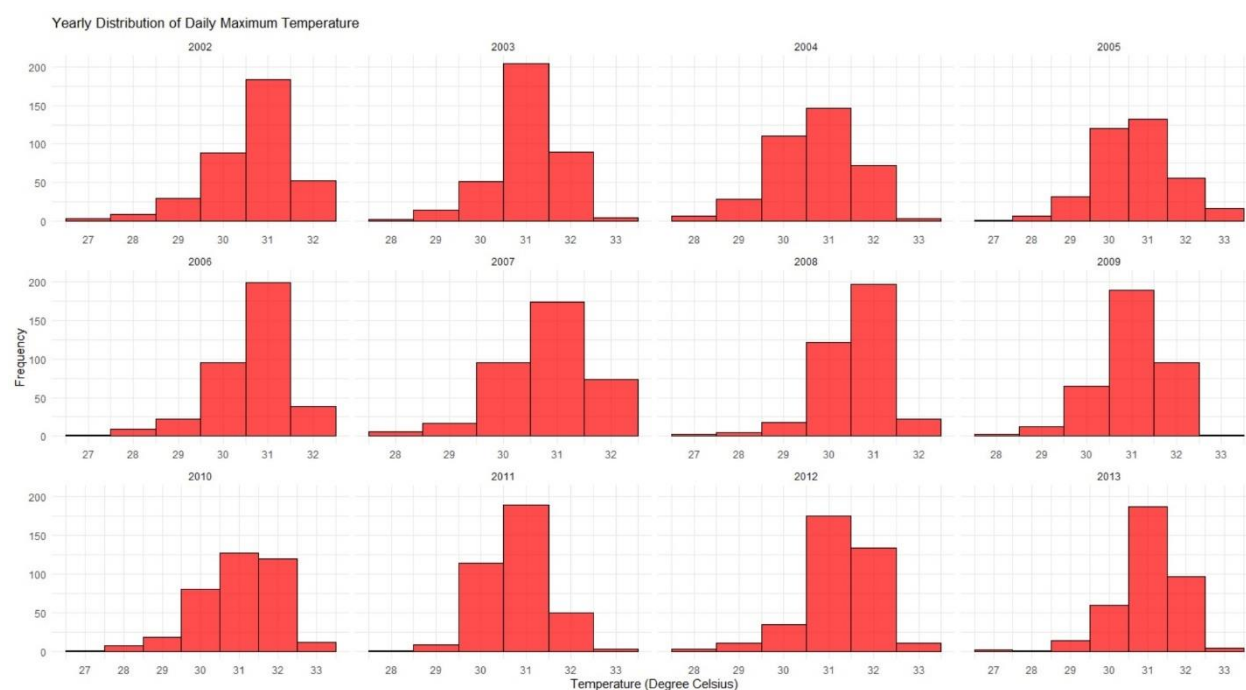


Рисунок 3.14 – Гистограммы минимальной температуры воздуха (2002–2013)

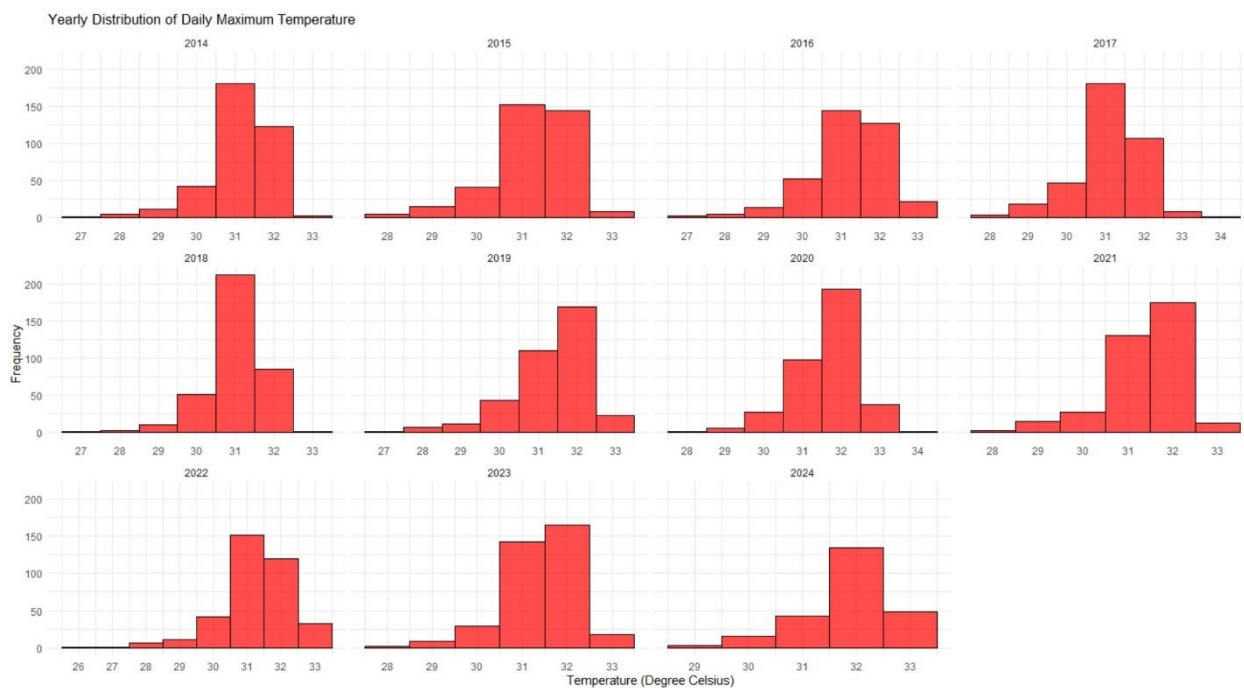


Рисунок 3.15 – Гистограммы минимальной температуры воздуха (2014–2024)

На рисунках 3.13, 3.14 и 3.15 показывается гистограммы распределения максимальной температуры в градусах Цельсия по годам за период с 1990 по 2024 год.

В большинстве годов максимальная температура колебалась в пределах от 27°C до 33°C. В 1998, 2017 и 2020 наблюдается самая высокая максимальная температура и достигает до 34°C. Изменчивость максимальной температуры самая большая в 1990, 1998 и 2022. В большинстве случаев максимальная температура составляла 31-32°C (средняя по годам). В целом, распределения левосторонняя, но в годах таких как 1998, 2000, 2001, 2004, и 2005 наблюдается относительная симметрия.

3.2 Анализ количества осадков

За период с 1990 по 2024 год был проведён анализ количества осадков с использованием 90-го и 10-го перцентилей, первого и третьего квартилей, а также средних, медианных, минимальных и максимальных значений. Из

данных осадков были исключены нулевые значения, т. е. исключены дни, которые осадки не были или количество осадков незначительное.

```
> percentile_90 <- quantile(data$V10[data$V10 != 0], 0.9)
> print(paste("90th percentile:", percentile_90))
[1] "90th percentile: 36.43"
>
> percentile_10 <- quantile(data$V10[data$V10 != 0], 0.1)
> print(paste("10th percentile:", percentile_10))
[1] "10th percentile: 0.5"
>
> summary (data$V10[data$V10 != 0])
   Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.60    5.70   13.48   16.70   228.40
```

Рисунок 3.16 – Статистические характеристики распределения осадков

На рисунке 3.16, Min. (минимум): 0.10 означает, что самое минимальное значение количества осадков составляет 0,1 мм за период с 1990 по 2024

t

h

percentile (0,1 квантиль): 0.5 означает, что 10% всех ненулевых значений количества осадков меньше или равны 0,5 мм за период с 1990 по 2024.

Qu. (1-й квартиль) (медиана): 5.70 означает, что 50% всех ненулевых значений количества осадков меньше или равны 5,7 мм за период с 1990 по 2024.

Mean (среднее): 13.48 означает, что арифметическое среднее значение количества осадков составляет 13,5 мм за период с 1990 по 2024.

r

d

Qu.(3-й квартиль):16.70 означает, что 75% всех ненулевых значений количества осадков меньше или равны 16,70 мм за период с 1990 по 2024.

percentile(0,9 (максимум)): 228.43 означает, что 90% всех максимальных значений количества осадков меньше или равны 228,4 мм за период с 1990 по 2024.

Среднее (13,48мм) сильно выше медианы (5,7мм) за период с 1990 по , что говорит о наличии выбросов и редких, но сильных ливней. Больше половины значений (медиана) меньше 5,7 мм за период с 1990 по 2024, то есть осадки в основном слабые, но с редкими экстремальными случаями.

Чтобы визуально представлять вышеуказанные некоторые значения, был построен Boxplot, используя код на языке R: `boxplot(data$V10[data$V10 !=` Результат кода представлен на рисунке 3.16.

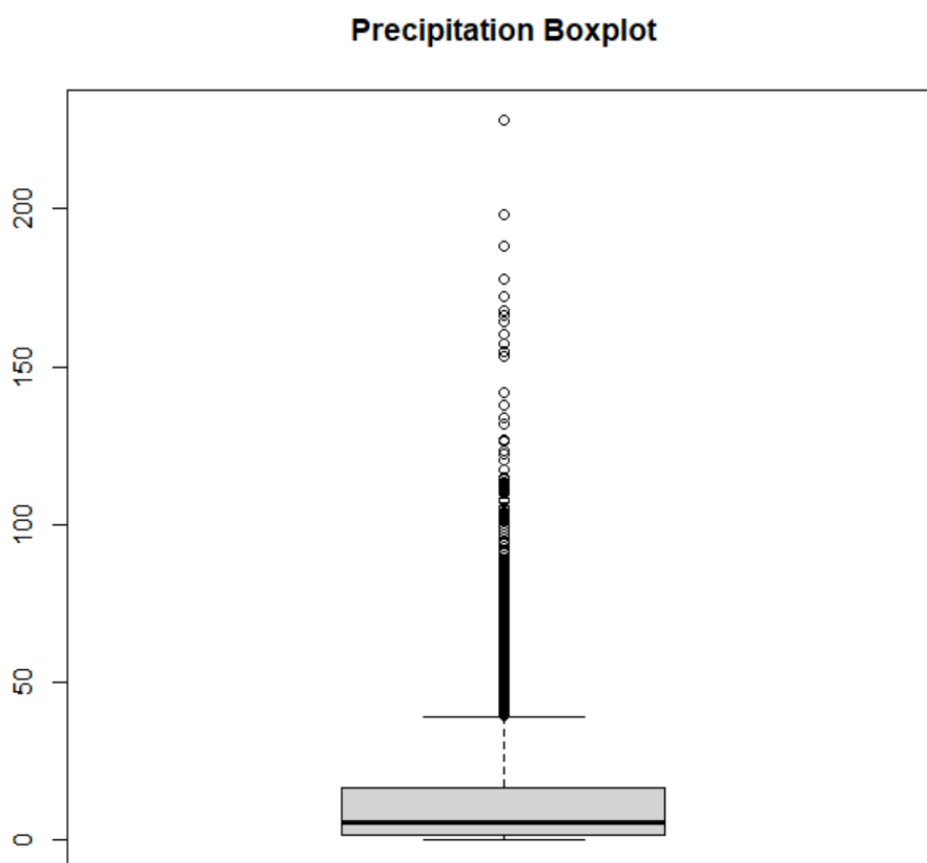


Рисунок 3.16 – Boxplot количества осадков за период от 1990 - 2024 года

Наблюдается компактность межквартильного размаха и ассиметричное правостороннее распределение количества осадков. Осадки в основном слабые, но с редкими экстремальными случаями, которые считаются статистическими выбросами.

Далее максимальные значения были собраны, используя функцию на языке R (рисунок 3.17) и вручную введены как переменная «MaxValue» с соответствующим месяцем «Month» (рисунок 3.18), затем был построен график максимальных значений по месяцам за период от 1990 - 2024 года (рисунок 3.19).

```
> summary(january_data$V10[january_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.50   5.90   14.83   18.60   172.20
> summary(february_data$V10[february_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.20   4.35   10.96   13.88   94.50
> summary(march_data$V10[march_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.40   4.85   13.28   14.78   198.15
> summary(april_data$V10[april_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.40   5.00   12.40   14.82   167.70
> summary(may_data$V10[may_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.80   6.20   15.42   17.45   164.10
> summary(june_data$V10[june_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.10   4.00   11.42   13.00   188.30
> summary(july_data$V10[july_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.30   5.40   13.51   16.40   160.40
> summary(august_data$V10[august_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.40   5.60   12.96   16.35   113.20
> summary(september_data$V10[september_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.100  1.825  6.600  14.486  19.075  157.500
> summary(october_data$V10[october_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   2.00   6.70   14.37   20.43   137.70
> summary(november_data$V10[november_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.80   6.20   12.98   14.90   228.40
> summary(december_data$V10[december_data$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.90   6.40   13.47   16.82   154.80
>
```

Рисунок 3.17 – Статистические характеристики распределения осадков по месяцам

	Month	MaxValue
1	1	172.20
2	2	94.50
3	3	198.15
4	4	167.70
5	5	164.10
6	6	188.30
7	7	160.40
8	8	113.20
9	9	157.50
10	10	137.70
11	11	228.40
12	12	154.80

Рисунок 3.18 – Максимальные значения и соответствующие им месяцы

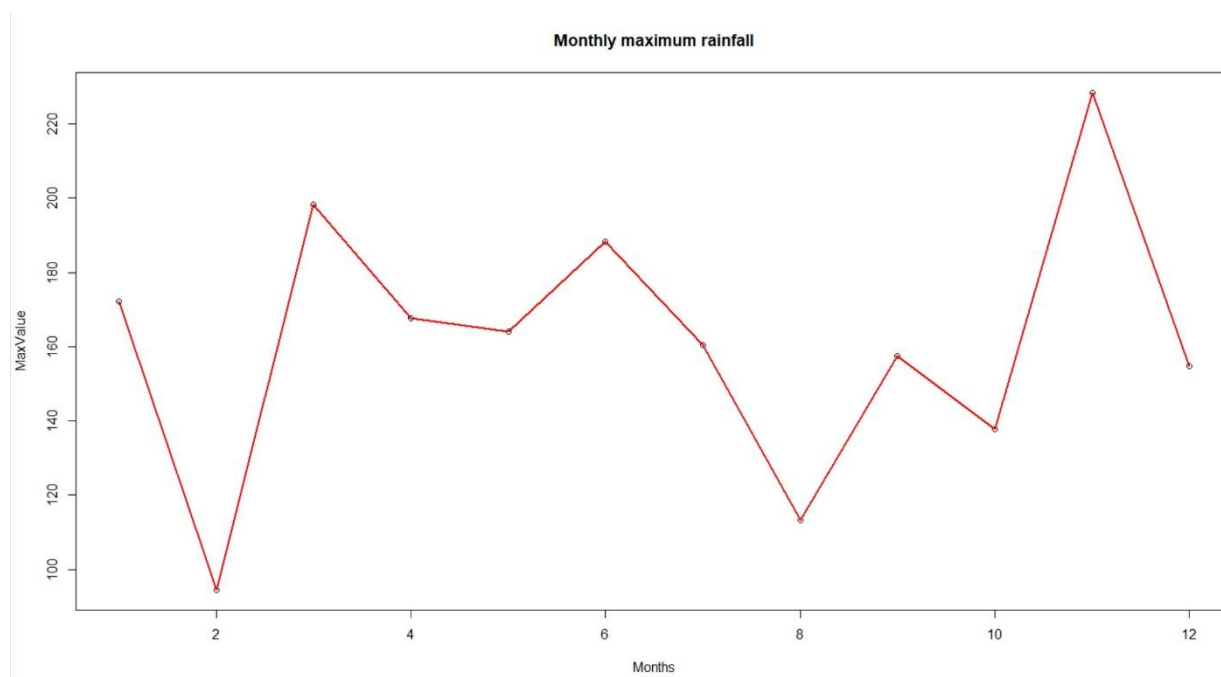


Рисунок 3.19 – График максимальных значения количества осадков по месяцам

Горизонтальная ось показывает месяцы от 1 до 12 (от января по декабрь), а вертикальная ось показывает максимальное зарегистрированное значение осадков в миллиметрах. В ноябре наблюдается самый высокий максимум (228,4 мм/ ноябрьский макс). В марте также наблюдается высокий максимум (198,2 мм/ мартовский макс). Февраль является самым сухим по максимуму (94,5 мм/ февральский макс). Август является следующим сухим

по максимуму (113,2 м/ августовский макс). Сезонности не выражена по графику, скорее всего из-за высокой изменчивости в год от года.

Аналогично были собраны максимальные значения и построен график для каждого года за период от 1990 - 2024 года (рисунки 3.20, 3.21, 3.22, 3.23 и

```
> summary(data1990$V10[data1990$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.80    5.00   12.35  14.70  100.10

> summary(data1991$V10[data1991$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.100   1.875   6.750  15.602  18.825 141.900

> summary(data1992$V10[data1992$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.70    5.60   14.29  18.20  172.20

> summary(data1993$V10[data1993$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.60    4.70   12.70  13.43  137.70

> summary(data1994$V10[data1994$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.20   2.20    7.00   16.03  21.20  103.90

> summary(data1995$V10[data1995$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.1    1.6    4.8    15.3    16.4   132.1

> summary(data1996$V10[data1996$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.90    6.30   12.46  19.00   63.20

> summary(data1997$V10[data1997$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.20    4.95   14.03  17.95  188.30

> summary(data1998$V10[data1998$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.60    4.70   14.11  20.30  112.30

> summary(data1999$V10[data1999$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.100   1.625   4.400  10.325  13.425 107.300

> summary(data2000$V10[data2000$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.20    6.25   11.97  16.57   84.60

> summary(data2001$V10[data2001$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   2.20    7.10   13.33  19.25   90.80

> summary(data2002$V10[data2002$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
  0.10   1.80    6.80   15.28  19.48  111.70
```

Рисунок 3.20– Статистические характеристики распределения осадков по годам

```

> summary(data2003$V10[data2003$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.100  1.325   5.850  11.649  13.900  81.500
> summary(data2004$V10[data2004$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.10   5.40   11.63  13.60   94.60
> summary(data2005$V10[data2005$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.40   4.40   12.75  15.65  114.50
> summary(data2006$V10[data2006$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.50   5.40   11.72  15.45   99.00
> summary(data2007$V10[data2007$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.100  1.275   5.450  13.333  17.800 105.000
> summary(data2008$V10[data2008$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.30   5.10   12.54  14.50  110.70
> summary(data2009$V10[data2009$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.20   1.95   6.30   14.16  20.15  153.50
> summary(data2010$V10[data2010$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   2.35   6.50   13.39  15.20  126.50
> summary(data2011$V10[data2011$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.45   6.10   15.07  14.95  177.80
> summary(data2012$V10[data2012$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.20   4.50   13.45  17.70  157.50
> summary(data2013$V10[data2013$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.70   6.40   13.11  16.90  113.60
> summary(data2014$V10[data2014$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.40   5.70   11.83  14.80   79.80
> summary(data2015$V10[data2015$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.100  2.025   8.000  15.385  21.750 228.400

```

Рисунок 3.21 – Статистические характеристики распределения осадков по годам

```

> summary(data2016$V10[data2016$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.100  1.175   4.600  13.969  15.525  198.150
> summary(data2017$V10[data2017$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.100  2.125   7.000  14.756  19.400  117.200
> summary(data2018$V10[data2018$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.65    5.50   13.94   14.40   123.40
> summary(data2019$V10[data2019$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   2.30    6.90   16.64   20.00   122.30
> summary(data2020$V10[data2020$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.10    5.85   13.49   15.22   97.90
> summary(data2021$V10[data2021$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.60    4.90   14.13   13.50   166.30
> summary(data2022$V10[data2022$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.20    5.00   11.16   14.25   73.20
> summary(data2023$V10[data2023$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.10   1.30    3.60   11.72   12.20   154.80
> summary(data2024$V10[data2024$V10 != 0])
  Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
 0.100  2.175   7.300  14.344  19.025  167.700
>

```

Рисунок 3.22 – Статистические характеристики распределения осадков по годам

	Year	MaxValue
1	1990	100.10
2	1991	141.90
3	1992	172.20
4	1993	137.70
5	1994	103.90
6	1995	132.10
7	1996	63.20
8	1997	188.30
9	1998	112.30
10	1999	107.30
11	2000	84.60
12	2001	90.80
13	2002	111.70
14	2003	81.50
15	2004	94.60
16	2005	114.50
17	2006	99.00
18	2007	105.00
19	2008	110.70
20	2009	153.50
21	2010	126.50
22	2011	177.80
23	2012	157.50
24	2013	113.60
25	2014	79.80
26	2015	228.40
27	2016	198.15
28	2017	117.20
29	2018	123.40
30	2019	122.30
31	2020	97.90
32	2021	166.30
33	2022	73.20
34	2023	154.80
35	2024	167.70

Рисунок 3.23 – Максимальные значения и соответствующие им годы

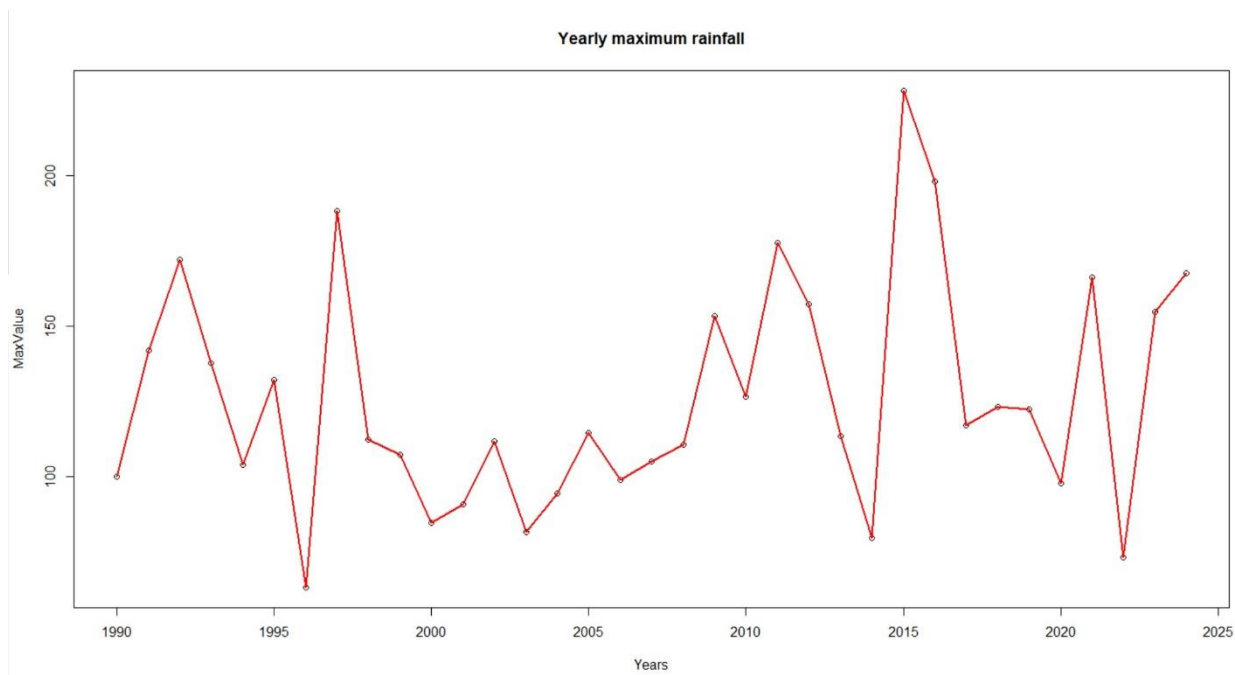


Рисунок 3.24 – График максимальных значения количества осадков по месяцам

Горизонтальная ось показывает годы (1990–2024), а вертикальная ось показывает максимальное зарегистрированное значение осадков в миллиметрах. В 2015 году наблюдается самый высокий максимум (228,4 мм/2015 макс). В 1997 и 2016 годах также наблюдается высокий максимум (188,3 мм/1997 макс, 198,2 мм/2016 макс). 1996 является самым сухим по максимуму (63,2 мм/1996 макс). 2014 и 2022 также является сухими по максимуму (188,3 мм/2014 макс, 198,2 мм/2022 макс). От 2000 - 2008 года наблюдается относительно ровные, низкие максимальные значения (90–120 мм). Максимумы сильно меняется от года к году, что может говорить о влиянии экстремальных погодных явлений.

Далее были построены гистограммы количества осадков по каждому месяцу за период от 1990–2024 года (рисунок 3.25, программа на R в Приложении 11)

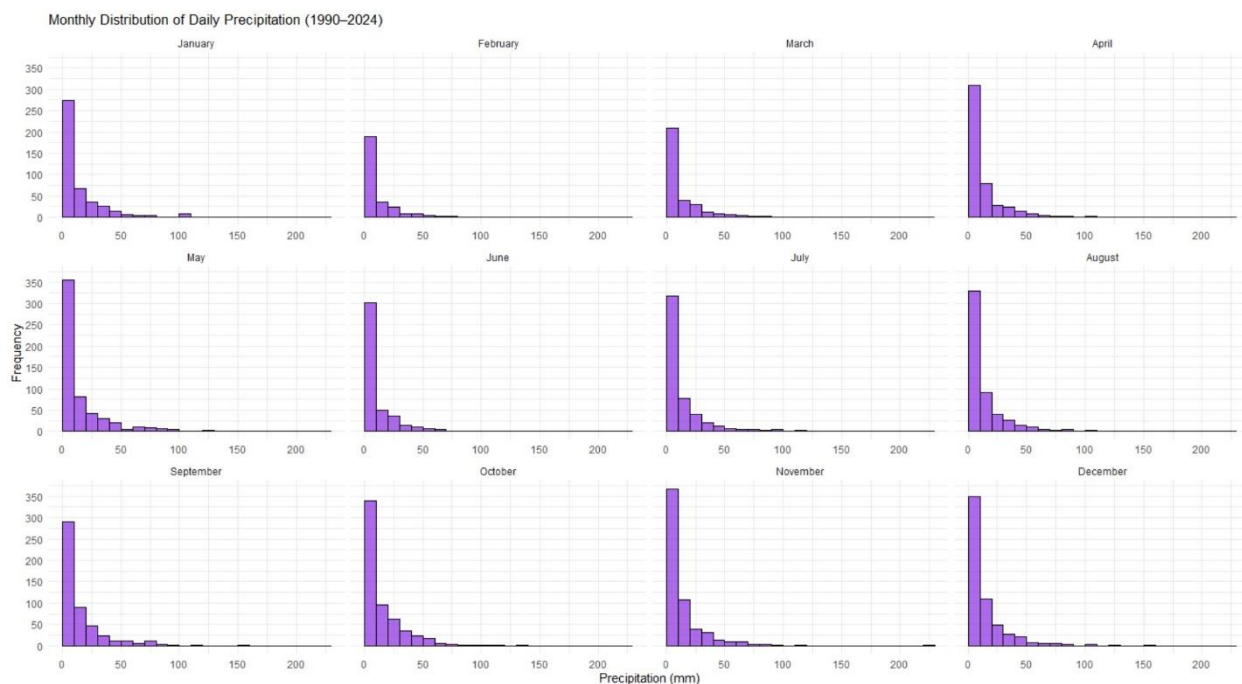


Рисунок 3.25 – Гистограммы месячного распределения количества осадков

Как и все остальные месяцы, январь характеризуется преобладанием слабых осадков (0–10 мм/ во все месяцы доминирующий диапазон). Но наблюдаются умеренные и даже реже встречаются сильные осадки (до 110мм/январь). Февраль один из самых сухих месяцев года. В феврале очень редко случаются сильные осадки (чаще <30мм/февраль). Март показывает небольшое увеличение распределения, т. е. проявляются дни с умеренными дождями, но слабые осадки по-прежнему доминируют.

В апреле начинают нарастать осадки (в диапазоне 20–50 мм/апрель). Это переходный месяц к более влажному периоду. Сильные осадки редки, но возможны. Характеризуется расширением распределения. Чаще встречаются умеренные и даже сильные дожди. Это начало наиболее дождливого периода. Май – один из самых влажных месяцев (часто наблюдаются осадки 30–80 мм/май). Периодически случаются ливни (больше 100 мм/май). Продолжается влажный период через Июль. Распределение растягивается (появляется множество дней с осадками от 20 до 100 мм/июль). Август сохраняет тенденцию июля, но менее интенсивным. Возможны как умеренные, так и

сильные дожди. В сентябре начинается спад дождливого сезона. Всё ещё возможны ливни (до 160 мм/сентябрь), но общая частота и объём осадков снижается. В октябре Распределение снова становится узким. Умеренные осадки случаются редко. Ноябрь преобладает слабые осадки, однако в некоторые годы ноябрь может удивить ливнями (до 230 мм/ноябрь). Декабрь по количеству осадки близкий к январю (осадки редко превышают 30 мм/декабрь, но ливни до 160 мм/декабрь).

В Целом, Май по Сентябрь — влажные месяцы, а остальные — более сухие, стабильные по количеству осадков. Но даже во влажные месяцы сильные дожди остаются редкостью. Преобладают слабые осадки. Сильные дожди редко встречаются. Нет чёткой тенденции к увеличению общего объема осадков (к увлажнению или к потеплению). Однако, редкие экстремальные случаи становятся чуть более выраженными. Сезонность ярко выражена.

Для дальнейшего исследования месячного распределения количества осадков, были построен Voxplot количества осадков за каждого месяца за период с 1990 по 2024 год (рисунок 3.26, программа на R в Приложении 12).

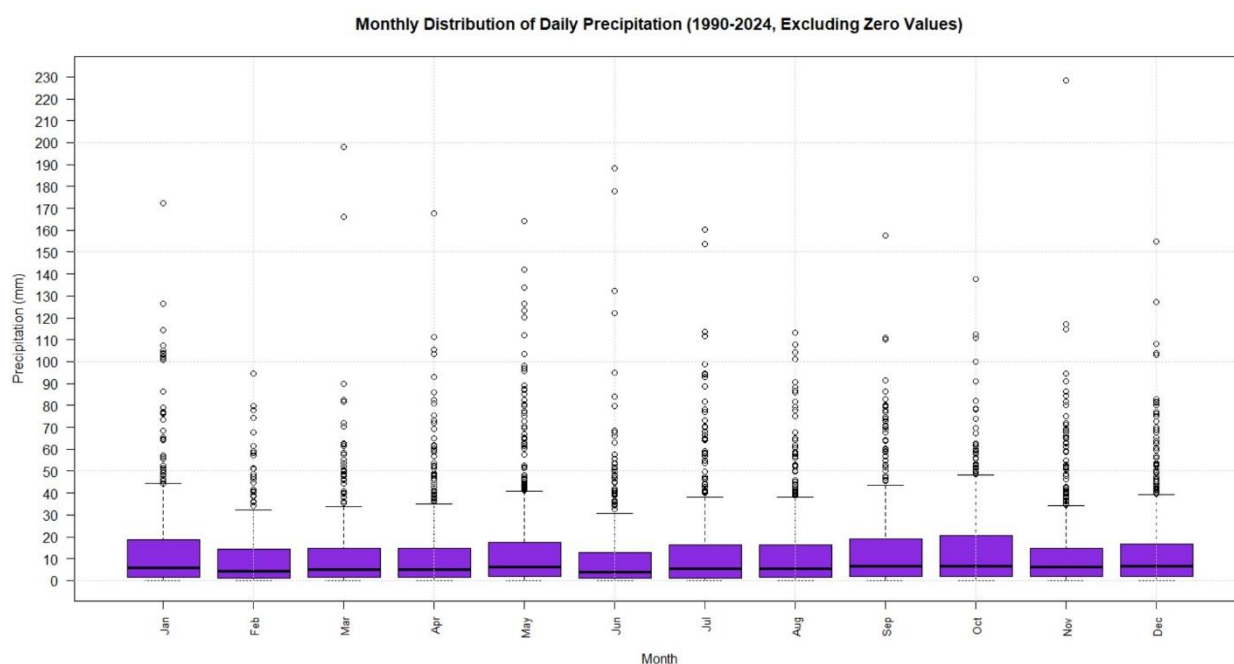


Рисунок 3.26 – Voxplot месячного распределения количества осадков

Boxplot количества осадков показывает, что медианные значения количества осадков для каждого месяца сохраняется (около 5мм/ за все месяцы медиана). Распределения во всех месяцах сильно асимметричны и характеризуется преобладанием слабых осадков. Имеется множество высоких выбросов, которое указывает на частые, но нерегулярные сильные осадки. Каждый месяц имеет выбросов (больше 100мм/ за все месяцы кроме февраля, около 100 мм/февраль). Наибольшее экстремальное значение наблюдаются в ноябре (до 230 мм/ноябрьский экстремум). Хотя межквартильный размах сравнительно стабилен между месяцами, разброс выбросов существенно варьируется.

Чтобы рассматривать влияние цунами на режим осадков в регионе, были построены Boxplot количества осадков за каждого месяца за период с 1990 по 2004 год, до цунами (рисунок 3.27), а также Boxplot месячных осадков с 2004 по 2024 год, после цунами (рисунок 3.27). Для построения Boxplot за периоды до и после цунами, был использован тот же самый код с изменением даты начала и конца данных в коде в Приложении 12.

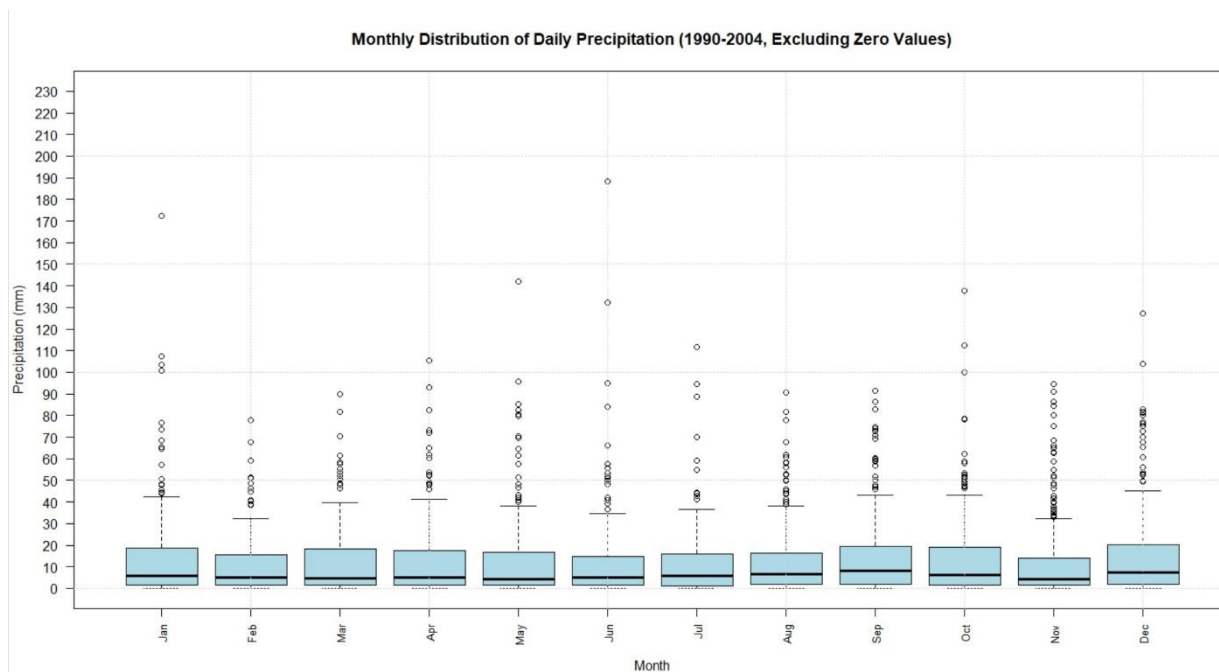


Рисунок 3.27 – Вохplot месячного распределения количества осадков до цунами

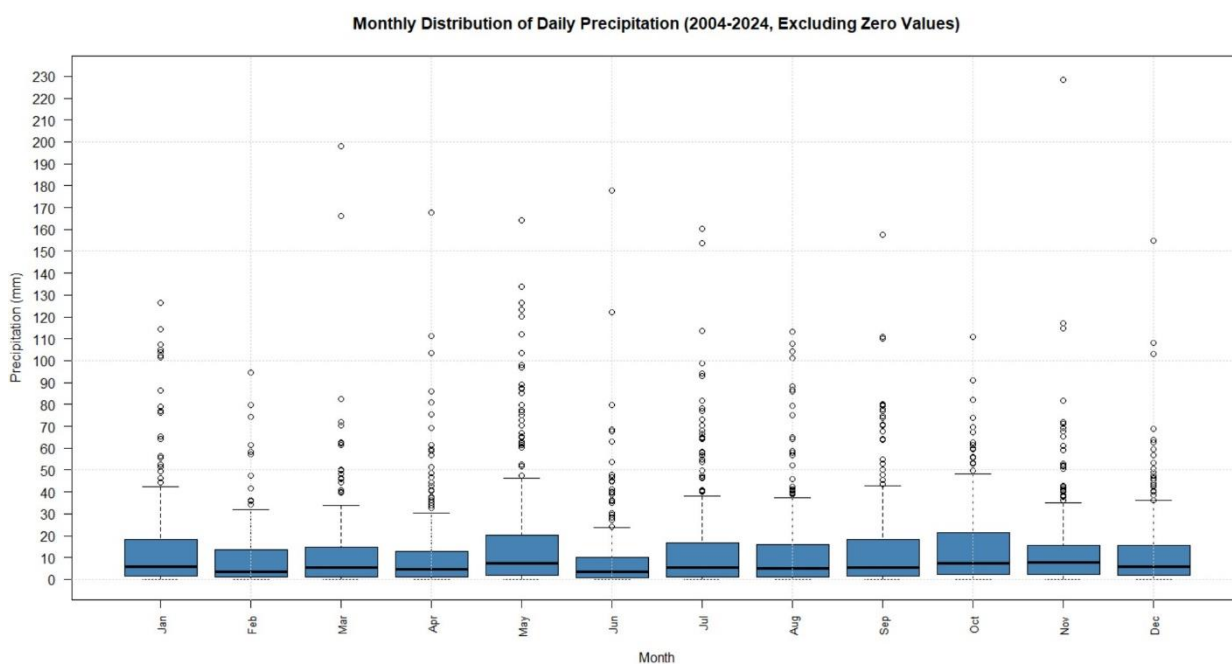


Рисунок 3.28 – Вохplot месячного распределения количества осадков после цунами

Выше показывает Вохplot месячных осадков за период с 1990 по 2004 год, до цунами (рисунок 3.27), а также Вохplot месячных осадков с 2004 по 2024 год после цунами (рисунок 3.28). Из обоих данных осадков исключены

нулевые значения. В целом, средние значения в обоих периодах довольно стабильными.

До цунами, распределение более компактное и экстремальных значений меньше, хотя они все еще встречаются с редкостью.

После цунами наблюдается более высокая частота экстремальных выбросов. В некоторые месяцы указывают на повышенную изменчивость и наблюдается явный рост количества осадков, и в остальных тоже есть увеличение изменчивости после цунами, хотя и менее резкое.

Важно отмечать, что выборки здесь недостаточно чтобы сделать климатические выводы, но судя по доступным нам данным, можно сказать, что в целом, после цунами, характер выпадения осадков стал более неустойчивым или экстремальным, хотя средние месячные значения остались прежними. Увеличение выбросов и разброс значений могут отражать более частые интенсивные осадки после цунами. Компактное распределение до цунами облегчает предсказуемость, а увеличение изменчивости после цунами ее затрудняет.

Далее, для анализа межгодового изменения количества осадков были построены гистограммы за период от 1990–2024 года (Рисунок 3.29, 3.30 и программа на языке R представлена в Приложении 13)

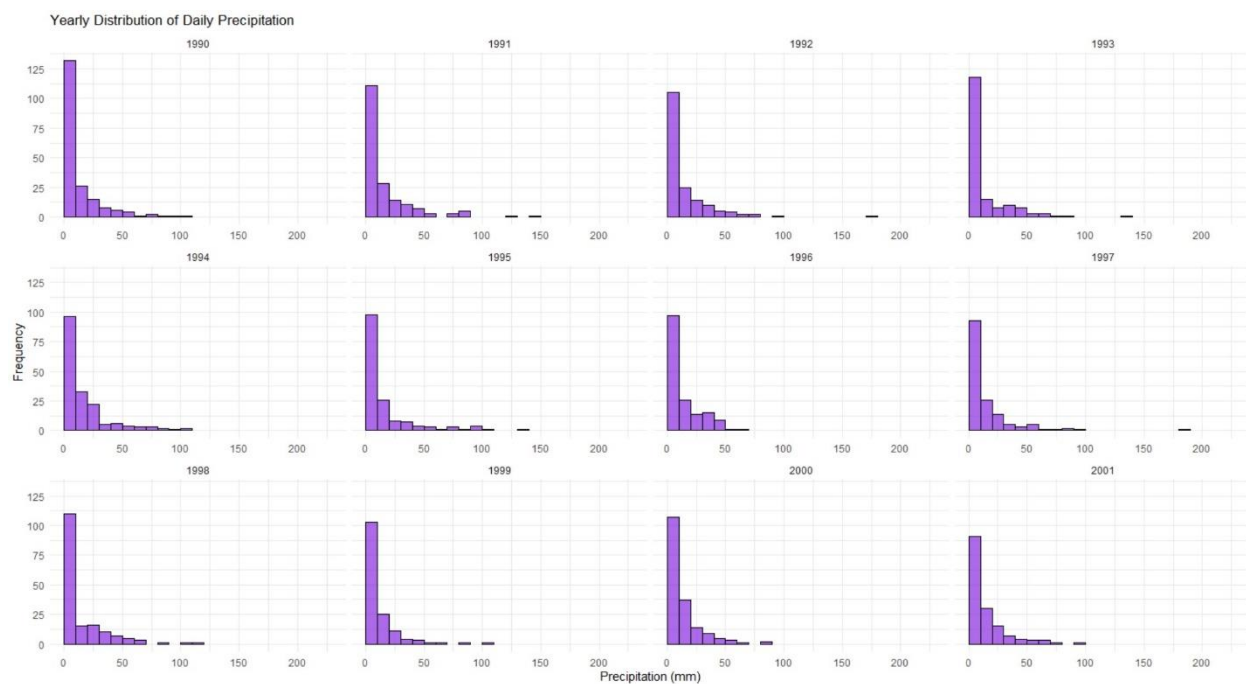


Рисунок 3.29 – Гистограммы годового распределения количества осадков

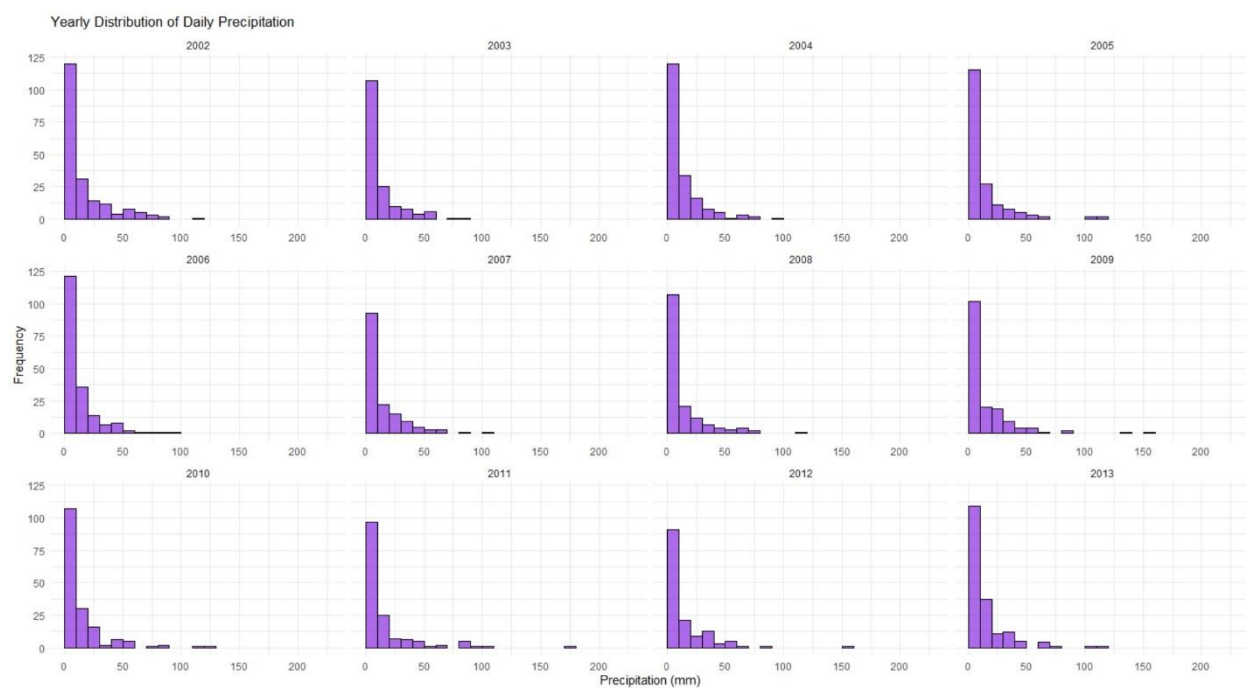


Рисунок 3.30 – Гистограммы годового распределения количества осадков

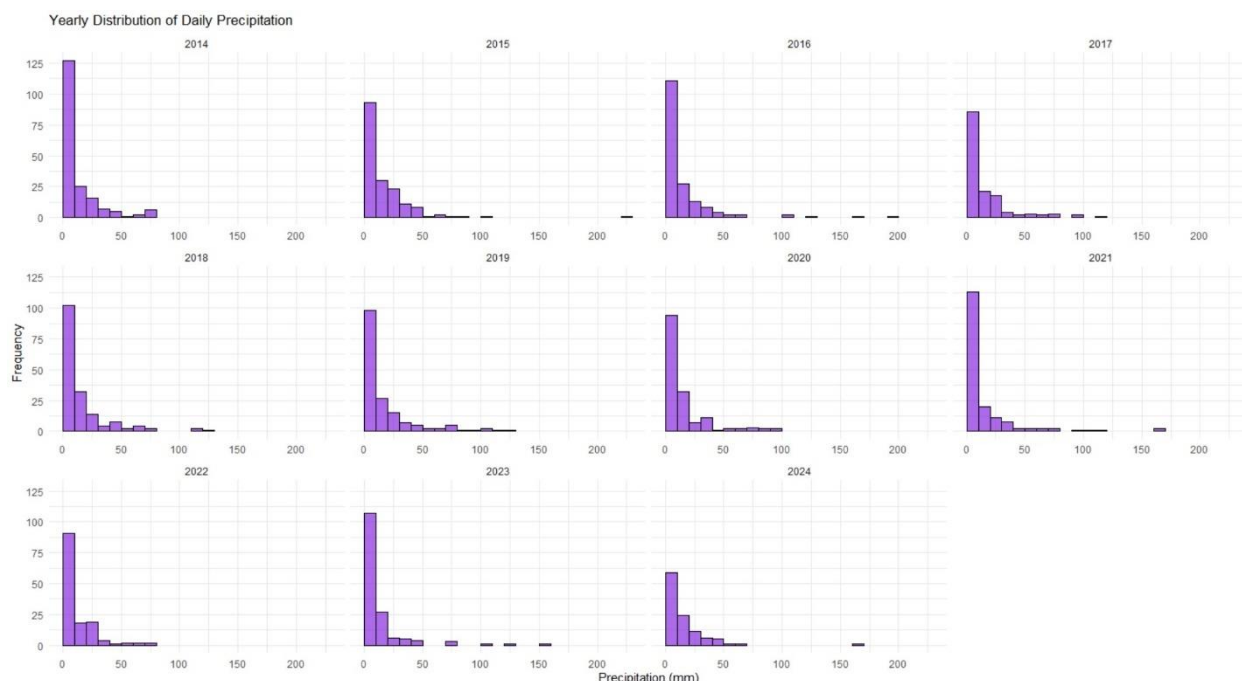


Рисунок 3.31 – Гистограммы годового распределения количества осадков

В каждом году преобладают дни с небольшими осадками (0–10 мм). Большинство значений сконцентрированы слева, а справа — редкие экстремальные значения.

В Целом наблюдается короткие, но частые дожди, и редкие проливные осадки или просто равномерные, слабые осадки без экстремумов.

н

а

1996, 2000, 2003, 2006 и 2014 — очень компактные гистограммы: сухие годы

и 2024 — данные только до августа этого года.

а Аналогичным образом были рассмотрены количества осадков с учётом нулевых значений, то есть с включением в выборку тех дней, когда осадки отсутствовали или их количество было незначительным. Важно отметить, что для построения гистограмм и boxplot использовались те же программные модули, что и для анализа осадков без нулевых значений, за исключением одной

н

е

1

0

строки: `filtered_data <- subset(filtered_data, V10 > 0)`, которая была удалена из соответствующего блока кода.

И так, были построены гистограммы количества осадков по каждому месяцу за период от 1990–2024 года (рисунок 3.32)

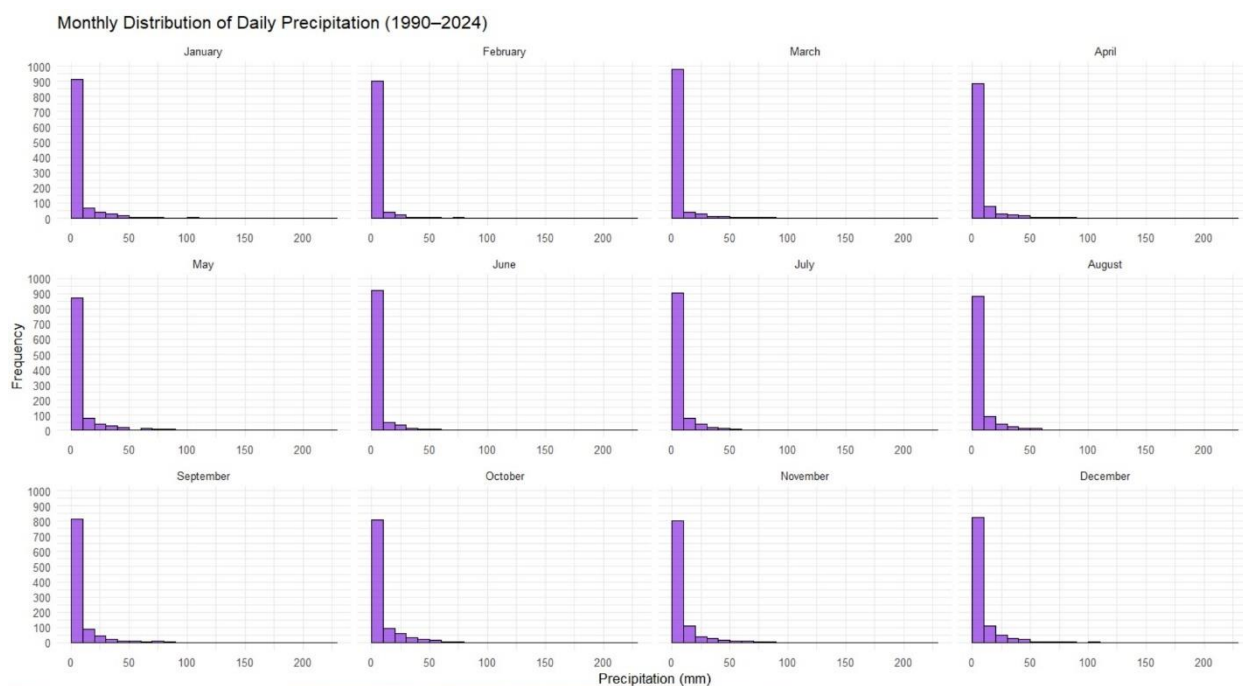


Рисунок 3.32 – Гистограммы месячного распределения количества осадков

На гистограммах показано месячное распределение осадков за период с 1990 по 2024 год. Во все месяцы наблюдается ярко выраженное правостороннее распределение и большинство дней характеризуется отсутствием осадков или их небольшим количеством, в то время как интенсивные осадки наблюдается относительно редко. Очень высокие столбики наблюдаются во всех месяцах, достигая примерно 900 случаев (в диапазоне 0–10 мм/ во всех месяцах).

Для дальнейшего исследования месячного распределения количества осадков, были построен Voxplot количества осадков за каждого месяца за период с 1990–2024 года (рисунок 3.33).

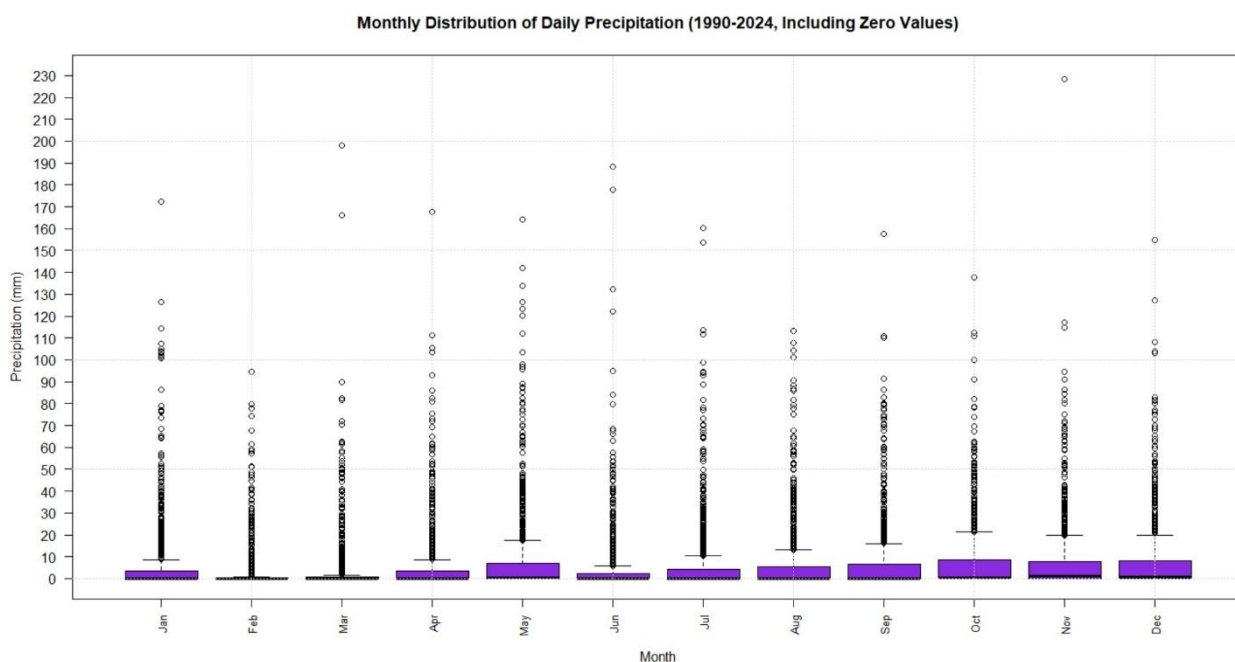


Рисунок 3.33 – Boxplot месячного распределения количества осадков

Boxplot количества осадков показывает, что медианные значения количества осадков для каждого месяца сохраняются и равны нулю. Во все месяцы наблюдается ярко выраженное правостороннее распределение и большинство дней характеризуется отсутствием осадков или их небольшим количеством. В феврале и марте межквартильного размаха практически не было.

Далее, для анализа межгодового изменения количества осадков были построены гистограммы за период от 1990–2024 года (рисунок 3.34, 3.35 и

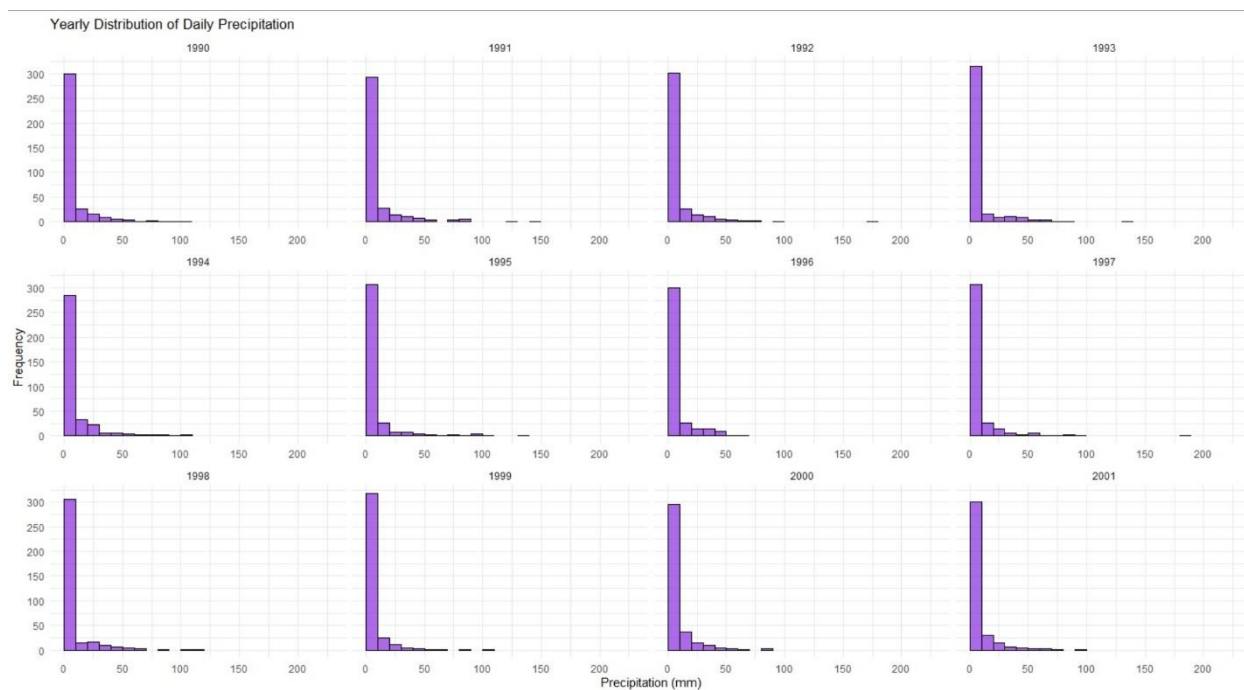


Рисунок 3.34 – Гистограммы годового распределения количества осадков

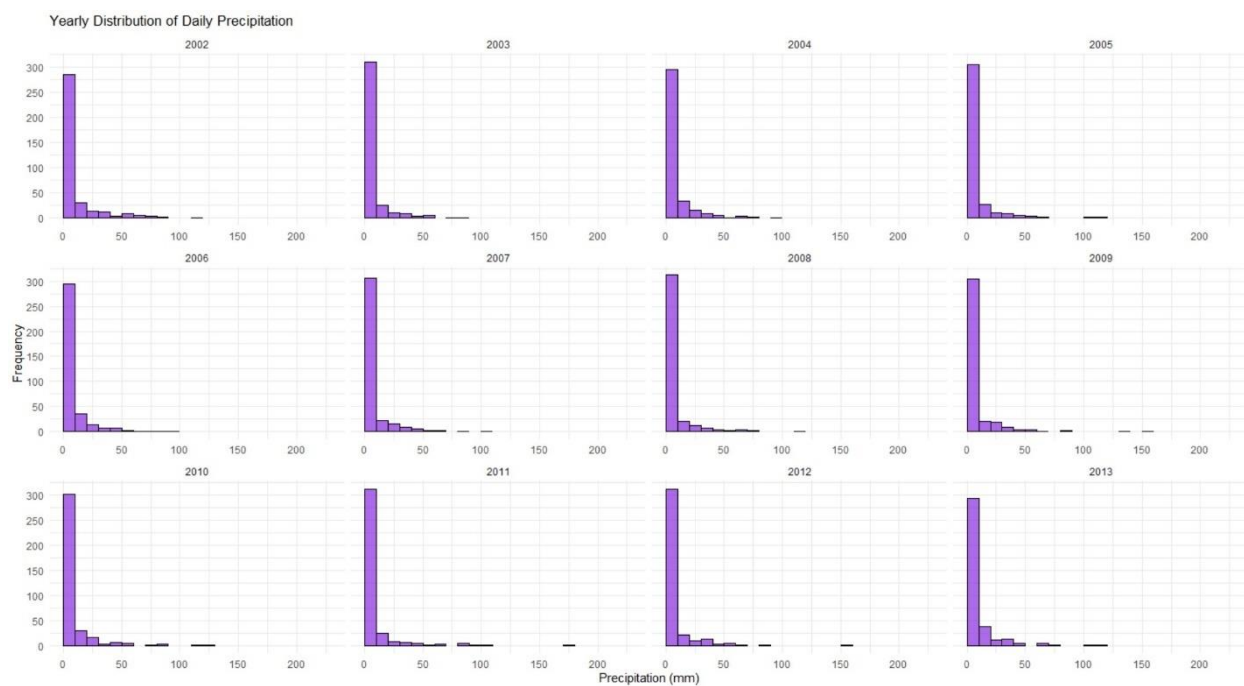


Рисунок 3.35 – Гистограммы годового распределения количества осадков

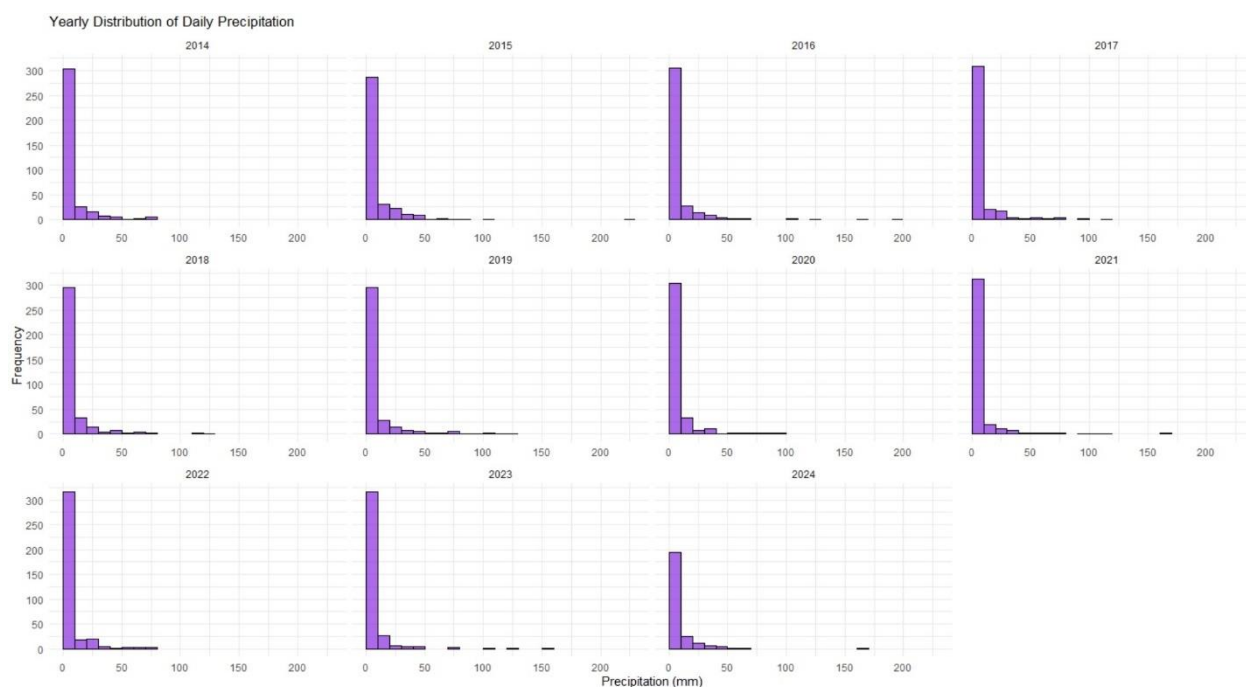


Рисунок 3.36 – Гистограммы годового распределения количества осадков

На рисунках 3.34, 3.35 и 3.36 показано гистограммы годового распределения осадков за период с 1990 по 2024 год. Во все годы наблюдается ярко выраженное правостороннее распределение и большинство дней характеризуется отсутствием осадков или их небольшим количеством, в то время как интенсивные осадки наблюдается относительно редко. Высокие столбики наблюдаются во всех годах, достигая примерно 300 случаев (в диапазоне 0–10 мм/ за все годы кроме 2024). Важно отметить, что данные 2024 года представлены только до конца августа.

Далее, была построена модель временного тренда осадков по всему периоду (рисунок 3.37) и по каждому месяцу в отдельности (рисунок 3.39). Программа на языке R представлена в Приложении 14

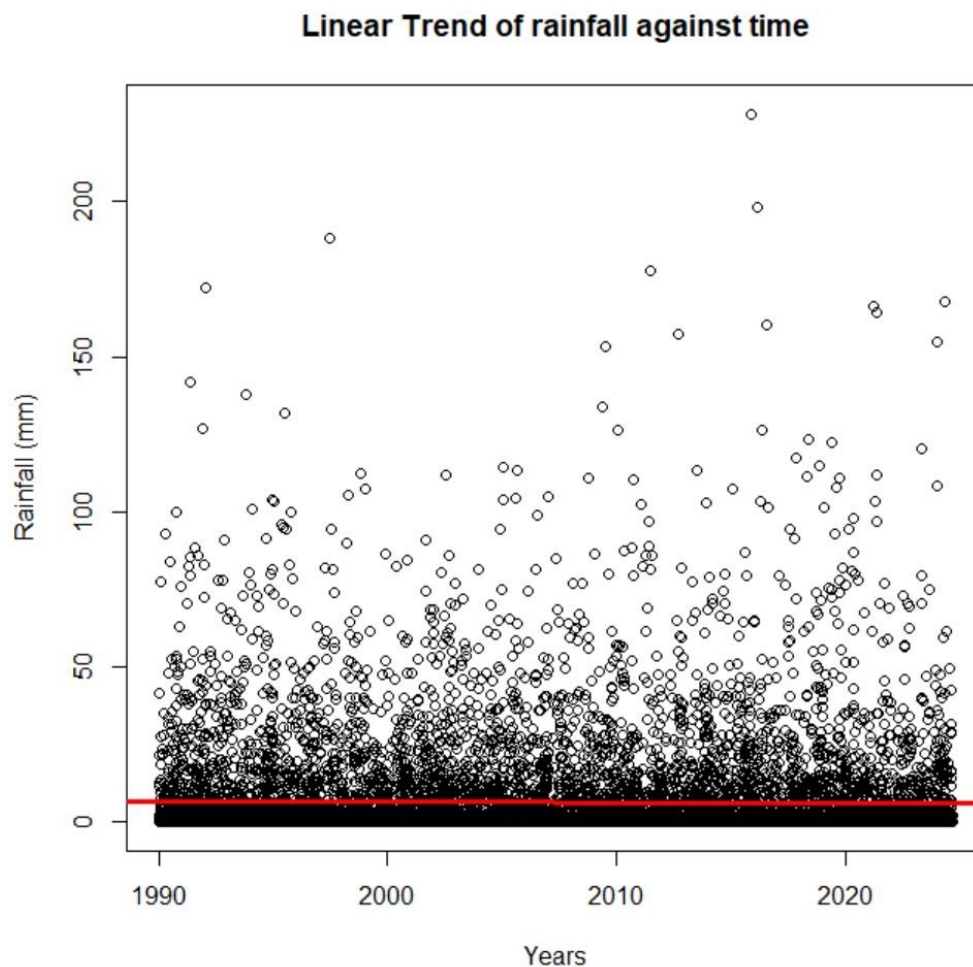


Рисунок 3.37 – График временного тренда количества осадков

```
Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.438  -6.191  -5.964  -1.624  222.358

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.743e+00  5.198e-01  12.973  <2e-16 ***
V1          -4.182e-05  3.682e-05  -1.136    0.256
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.14 on 12660 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0001019, Adjusted R-squared:  2.29e-05
F-statistic: 1.29 on 1 and 12660 DF, p-value: 0.2561

> print(coef(trend))
(Intercept)          V1
6.743078e+00 -4.181937e-05
```

Рисунок 3.38 – Результаты временного тренда количества осадков

Горизонтальная ось на график рассеяния выше (Рисунок 3.37), показывает время, а вертикальная ось показывает значение количества осадков в миллиметрах. Красная линия показывает линию тренда. Рисунок 3.38 показывает результаты временного тренда количества осадков. $p\text{-value}$ (0,2561) показывает, что нет статистически значимого тренда. Хотя коэффициент наклона ($-4.18\text{e-}05$) указывает незначительное снижение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 практически равно 0, и это значит, что время не объясняет изменений осадков.

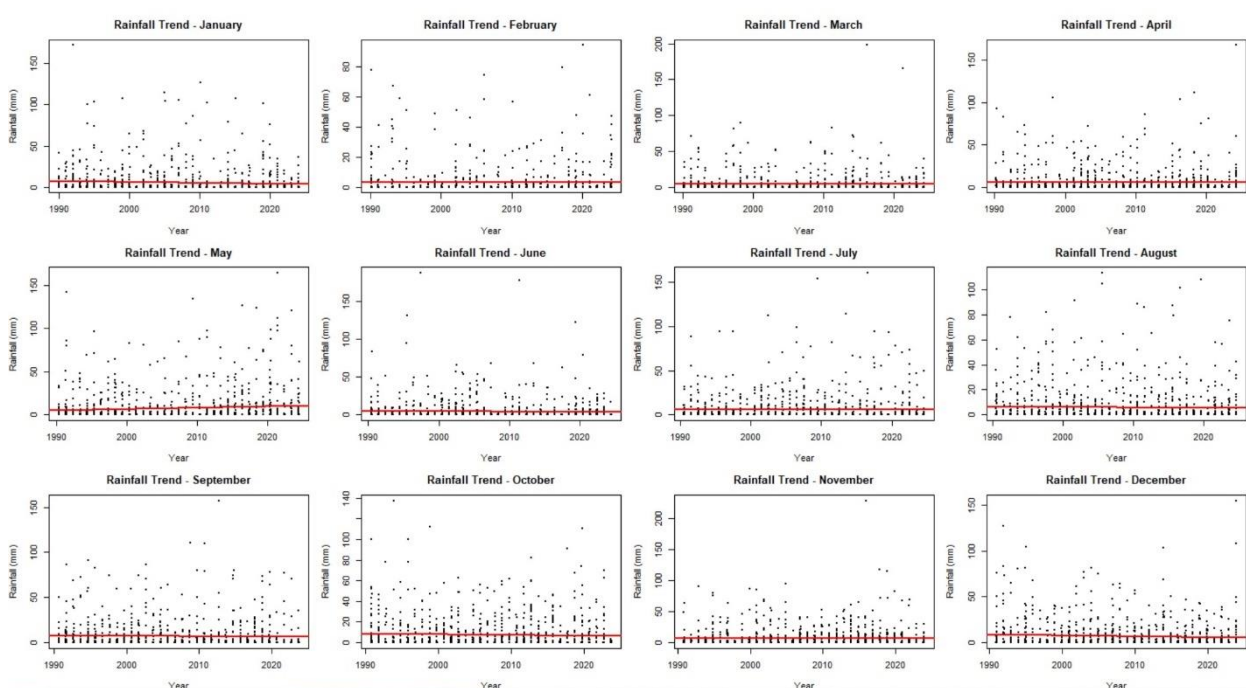


Рисунок 3.39 – Диаграммы рассеяния с линией тренда по месяцам

```

[1] "January Coefficients:"
      (Intercept)           V1
10.1709231695 -0.0003021408

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-7.964  -6.321  -5.196  -2.818  164.463

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 10.1709232   1.8551138    5.483 5.21e-08 ***
V1          -0.0003021   0.0001323   -2.284  0.0226  *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 16.07 on 1083 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.004793, Adjusted R-squared:  0.003874
F-statistic: 5.216 on 1 and 1083 DF, p-value: 0.02257

```

Рисунок 3.40 – Результаты временного тренда количества осадков за январь

Результаты временного тренда количества осадков за январь (Рисунок показывает, что есть статистически значимого тренда (p -value 0,02), но $R^2(0,0038)$ показывает, что время объясняет 0,4% изменений осадков. Коэффициент наклона (-0,0003) указывает незначительное снижение осадков со временем.

```

[1] "February Coefficients:"
      (Intercept)           V1
2.946945e+00 8.169109e-06

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.109 -3.070 -3.037 -2.752  91.403

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 2.947e+00  1.174e+00   2.509   0.0123 *
V1          8.169e-06  8.356e-05   0.098   0.9221
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.696 on 987 degrees of freedom
Multiple R-squared:  9.683e-06, Adjusted R-squared:  -0.001003
F-statistic: 0.009558 on 1 and 987 DF,  p-value: 0.9221

```

Рисунок 3.41 – Результаты временного тренда количества осадков за февраль

Результаты временного тренда количества осадков (Рисунок 3.41) за февраль показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value 0,9). Хотя коэффициент наклона (8.17e-06) указывает незначительное повышение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 отрицательно, и это значит, модель хуже объясняет изменчивости осадков.

```

[1] "March Coefficients:"
      (Intercept)          V1
4.136034e+00 -1.805196e-05

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.003  -3.923  -3.838  -3.192  194.318

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.136e+00  1.525e+00   2.713  0.00678 **
V1          -1.805e-05  1.083e-04  -0.167  0.86763
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 13.16 on 1083 degrees of freedom
Multiple R-squared:  2.566e-05, Adjusted R-squared:  -0.0008977
F-statistic: 0.02779 on 1 and 1083 DF,  p-value: 0.8676

```

Рисунок 3.42 – Результаты временного тренда количества осадков за март

Результаты временного тренда количества осадков за март (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p -value 0,87). Хотя коэффициент наклона ($-1,8e-05$) указывает незначительное снижение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 отрицательно, и это значит, модель хуже объясняет изменчивости осадков.

```

[1] "April Coefficients:"
      (Intercept)           V1
6.049644e+00 -3.143583e-05

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.817  -5.633  -5.461  -2.165  162.274

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  6.050e+00  1.680e+00   3.600 0.000333 ***
V1          -3.144e-05  1.191e-04  -0.264 0.791865
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.24 on 1048 degrees of freedom
Multiple R-squared:  6.648e-05, Adjusted R-squared:  -0.0008877
F-statistic: 0.06967 on 1 and 1048 DF,  p-value: 0.7919

```

Рисунок 3.43 – Результаты временного тренда количества осадков за апрель

Результаты временного тренда количества осадков за апрель (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value 0,79). Хотя коэффициент наклона (-3,14e-05) указывает незначительное снижение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 отрицательно, и это значит, модель хуже объясняет изменчивости осадков.

```

[1] "May Coefficients:"
(Intercept)      V1
1.990651459 0.000448598

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10.906   -8.283   -6.315   -1.200   153.695

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.9906515   2.1645691     0.92  0.35796
V1           0.0004486   0.0001531     2.93  0.00346 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 18.6 on 1083 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.007866, Adjusted R-squared:  0.00695
F-statistic: 8.586 on 1 and 1083 DF, p-value: 0.003458

```

Рисунок 3.44 – Результаты временного тренда количества осадков за май

Результаты временного тренда количества осадков за май (Рисунок показывает, что есть статистически значимого тренда (p-value 0,0035), но $R^2(0,007)$ показывает, что время объясняет 0,7% изменений осадков. Коэффициент наклона (0,00045) указывает незначительное повышение осадков со временем.

```

[1] "June Coefficients:"
      (Intercept)          V1
      7.4136412563 -0.0002007136

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
 -5.917  -4.925  -4.009  -2.286  182.901

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  7.4136413  1.6760470   4.423 1.07e-05 ***
V1          -0.0002007  0.0001183  -1.697   0.09 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.14 on 1048 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.00274,    Adjusted R-squared:  0.001788
F-statistic: 2.879 on 1 and 1048 DF,  p-value: 0.09004

```

Рисунок 3.45 – Результаты временного тренда количества осадков за июнь

Результаты временного тренда количества осадков за июнь (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value 0,09). Хотя коэффициент наклона (-0,0002) указывает незначительное снижение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 (0,0018), и это значит, модель объясняет 0,2% изменчивости осадков.

```

[1] "July Coefficients:"
      (Intercept)          V1
5.292449e+00 6.706165e-05

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.629  -6.286  -5.894  -1.845  153.967

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 5.292e+00  1.837e+00   2.882  0.00404 **
V1          6.706e-05  1.294e-04   0.518  0.60428
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.72 on 1083 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0002481, Adjusted R-squared:  -0.000675
F-statistic: 0.2687 on 1 and 1083 DF,  p-value: 0.6043

```

Рисунок 3.46 – Результаты временного тренда количества осадков за июль

Результаты временного тренда количества осадков за июль (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value 0,6). Хотя коэффициент наклона (6,71e-05) указывает незначительное повышение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 отрицательно, и это значит, модель хуже объясняет изменчивости осадков.

```

[1] "August Coefficients:"
      (Intercept)          V1
7.495359e+00 -8.376362e-05

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.865  -6.397  -5.945  -1.067  106.795

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  7.495e+00  1.678e+00   4.467 8.75e-06 ***
V1          -8.376e-05  1.179e-04  -0.710   0.478
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.33 on 1083 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.0004656, Adjusted R-squared:  -0.0004573
F-statistic: 0.5045 on 1 and 1083 DF,  p-value: 0.4777

```

Рисунок 3.47 – Результаты временного тренда количества осадков за август

Результаты временного тренда количества осадков за август (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value 0,4). Хотя коэффициент наклона ($8,38e-05$) указывает незначительное повышение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 отрицательно, и это значит, модель хуже объясняет изменчивости осадков.

```

[1] "September Coefficients:"
      (Intercept)           V1
      9.1420468064 -0.0001522931

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
     -7.992    -7.101    -6.322    -1.059    150.734

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   9.1420468   1.9531029   4.681 3.24e-06 ***
V1            -0.0001523   0.0001390  -1.096   0.273
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.9 on 1018 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001178, Adjusted R-squared:  0.0001971
F-statistic: 1.201 on 1 and 1018 DF, p-value: 0.2734

```

Рисунок 3.48 – Результаты временного тренда количества осадков за сентябрь

Результаты временного тренда количества осадков за сентябрь (Рисунок 3.48) показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value . Хотя коэффициент наклона (-0,0002) указывает незначительное снижение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 (0,0002), и это значит, модель объясняет 0,02% изменчивости осадков.

```

[1] "October Coefficients:"
      (Intercept)           V1
10.5110202469 -0.0001872851

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-9.092  -7.992  -6.910   0.926  128.819

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 10.5110202  1.8714851   5.616 2.49e-08 ***
V1          -0.0001873  0.0001329  -1.409   0.159
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.46 on 1052 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001885, Adjusted R-squared:  0.0009358
F-statistic: 1.986 on 1 and 1052 DF, p-value: 0.159

```

Рисунок 3.49 – Результаты временного тренда количества осадков за октябрь

Результаты временного тренда количества осадков за октябрь (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p -value 0,16). Хотя коэффициент наклона (-0,0002) указывает незначительное снижение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 (0,0009), и это значит, модель объясняет 0,09% изменчивости осадков.

```

[1] "November Coefficients:"
      (Intercept)           V1
4.9248298949 0.0001881296

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-8.629  -7.392  -6.357   0.347  220.322

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  4.9248299  1.9833074   2.483  0.0132 *
V1           0.0001881  0.0001405   1.339  0.1810
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 16.08 on 1018 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001757, Adjusted R-squared:  0.0007767
F-statistic: 1.792 on 1 and 1018 DF, p-value: 0.181

```

Рисунок 3.50 – Результаты временного тренда количества осадков за ноябрь

Результаты временного тренда количества осадков за ноябрь (Рисунок показывает, что нет статистически значимого тренда (p-value 0,18). Хотя коэффициент наклона (-0,0002) указывает незначительное повышение осадков со временем, мы не можем уверенно утверждать, что осадки уменьшаются или увеличиваются со временем. R^2 (0,0008), и это значит, модель объясняет 0,08% изменчивости осадков.

```

[1] "December Coefficients:"
      (Intercept)          V1
11.2813249694 -0.0002810984

Call:
lm(formula = V10 ~ V1, data = month_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-9.134  -7.385  -6.049   0.377 149.061

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 11.2813250   1.8655126   6.047 2.04e-09 ***
V1          -0.0002811   0.0001319  -2.131  0.0333 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.35 on 1052 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.004298, Adjusted R-squared:  0.003352
F-statistic: 4.541 on 1 and 1052 DF, p-value: 0.03332

```

Рисунок 3.51 – Результаты временного тренда количества осадков за декабрь

Результаты временного тренда количества осадков за декабрь (Рисунок показывает, что есть статистически значимого тренда (p-value 0,03), но $R^2(0,0033)$ показывает, что время объясняет только 0,3% изменений осадков. Коэффициент наклона (-0,0003) указывает незначительное снижение осадков со временем.

3.3 Анализ связи между количеством осадков и температурой воздуха

В данной работе была установлена корреляция между количеством осадков и максимальной температурой. Программа на языке R представлена в Приложении 15

```

> correlation_max_rainfall <- cor(data$V2, data$V10)
> print(correlation_max_rainfall)
[1] -0.2501446

```

Рисунок 3.52 – Коэффициент корреляции между количеством осадков и температурой воздуха

```
> summary(trend)

Call:
lm(formula = V10 ~ V2, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-23.339  -6.536  -3.710  -0.203  224.697

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  131.5958     4.3165   30.49  <2e-16 ***
V2           -4.0472     0.1392  -29.07  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.66 on 12660 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06257,    Adjusted R-squared:  0.0625
F-statistic: 845 on 1 and 12660 DF,  p-value: < 2.2e-16

> print(coef(trend))
(Intercept)          V2
131.595772    -4.047243
```

Рисунок 3.53 – Результаты линейной регрессии зависимости количества осадков (V10) от максимальной температуры (V2)

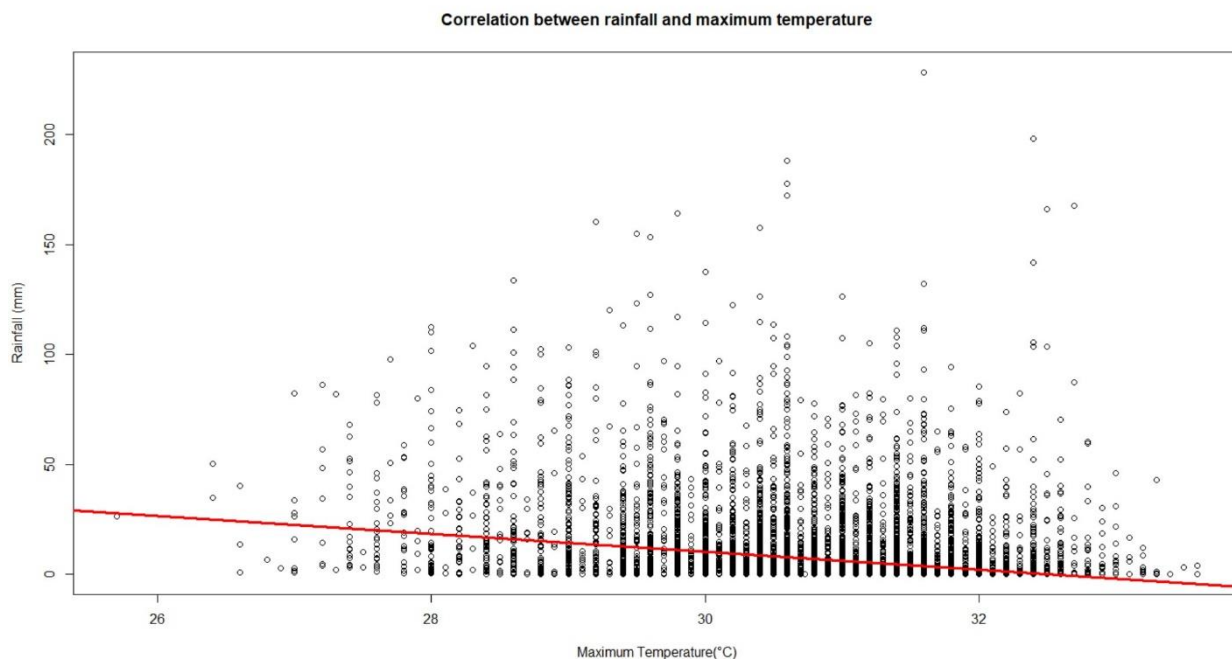


Рисунок 3.54 – Диаграмма рассеяния с линией тренда.

Горизонтальная ось на диаграмме рассеяния выше (рисунок 3.54), показывает максимальная температура в °C, а вертикальная ось показывает значение количества осадков в миллиметрах. Красная линия показывает линию тренда. Коэффициент корреляции между количеством осадков и максимальной температурой равен -0,25 – это слабая отрицательная корреляция (рисунок 3.53). То есть чем выше температура, тем, в среднем, меньше осадков, но связь не очень сильная. Рисунок 3.53 показывает результаты линейной регрессии зависимости количества осадков от максимальной температуры. p-value равен 0,05 и это значение меньше 0,05 (уровень значимости), которое говорит о том, что вероятность получить такую связь по случайности практически равна нулю, то есть связь между количеством осадков и максимальной температурой статистически значима и она не случайна. Коэффициент наклона (V_2) равен -4,0472, и это значит, что при увеличении температуры на 1°C, среднее количество осадков снижается примерно на 4 мм. R^2 равно 0.06257, и это значит максимальная температура объясняет 6,3% изменений осадков.

Связь между количеством осадков и явлением Эль-Ниньо/Южное колебание

Индекс — это показатель, который может быть представительным для конкретной модели или состояния системы. Эти индексы измеряют разницу между текущей температурой поверхности моря и ее долгосрочным средним значением. Это различие называется аномалией. Значения индексов NINO в сочетании с другими данными используются для поисков признака ENSO. Эль-Ниньо и Ла-Нинья (в совокупности называемые Южным колебанием Эль-Ниньо или ENSO) характеризуются изменениями в экваториальной части Тихого океана. Во время Эль-Ниньо температура поверхности моря в центральной и восточной частях Тихого океана становится теплее средней, в то время как во время Ла-Нинья эти температура поверхности моря становятся холоднее средней.

В данной работе была установлена корреляция между количеством осадков и индексом NINO4. Программа на языке R представлена в Приложении 16

```
> correlation_rainfall_nino <- cor(merged_data$V10, merged_data$NINO_Value, use = "complete.obs")
> print(correlation_rainfall_nino)
[1] 0.05599674
```

Рисунок 3.55 – Коэффициент корреляции между количеством осадков и индексом NINO4

```
> trend <- lm(V10 ~ NINO_Value, data = merged_data)
> summary(trend)

Call:
lm(formula = V10 ~ NINO_Value, data = merged_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.040 -11.950  -7.723   2.476 212.328

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   13.7655     0.4186  32.884 < 2e-16 ***
NINO_Value     1.6959     0.5922   2.864  0.00422 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 21.37 on 2607 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.003136, Adjusted R-squared:  0.002753
F-statistic:  8.2 on 1 and 2607 DF, p-value: 0.004222

> print(coef(trend))
(Intercept)  NINO_Value
 13.765482    1.695947
```

Рисунок 3.56 – Результаты линейной регрессии зависимости количества осадков (V10) от значения индекса NINO4 (NINO_Value)

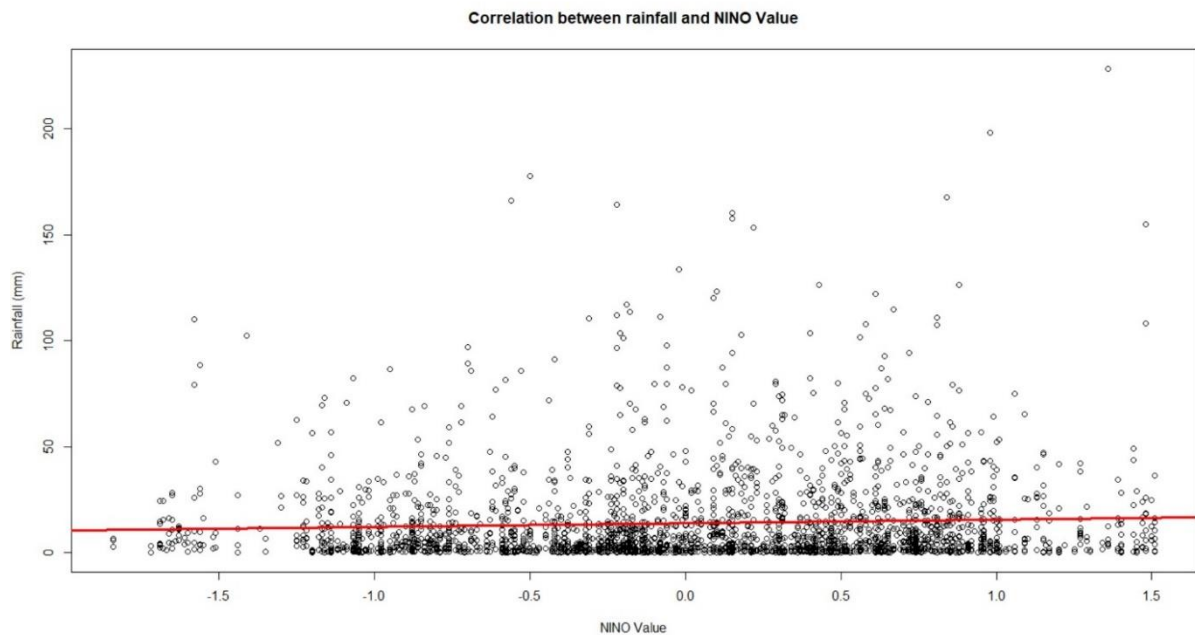


Рисунок 3.57 – Диаграмма рассеяния с линией тренда.

Горизонтальная ось на диаграмме рассеяния выше (рисунок 3.57), показывает индекс NINO4, а вертикальная ось показывает значение количества осадков в миллиметрах. Красная линия показывает линию тренда. Коэффициент корреляции между количеством осадков и индексом NINO4 равен 0,05 – это очень слабая положительная корреляция (рисунок 3.55). То есть чем выше показатель, тем, в среднем, больше осадков, но связь очень слабая. Рисунок 3.56 показывает результаты линейной регрессии зависимости количества осадков от значения индекса NINO4. p-value равен 0,004 и это значение меньше 0,05 (уровень значимости), которое говорит о том, что вероятность получить такую связь по случайности практически равна нулю, то есть та слабая связь между количеством осадков и индексом NINO4 значима и она не случайна. Коэффициент наклона (NINO_Value) равен 1,69, и это значит, что при увеличении индекса NINO4 на 1, среднее количество осадков повышается примерно на 1,69 мм. R^2 равно 0,02753, и это значит, что индекс объясняет 2,7% изменений осадков.

Связь между количеством осадков и диполем Индийского океана

Фазы диполя в Индийском океане (IOD) определяются изменениями в тропической части Индийского океана. Устойчивые изменения разницы между нормальными температурами поверхности океана в западной и восточной частях Индийского океана характеризуют фазы IOD. IOD обычно измеряется с помощью индекса, который представляет собой разницу между аномалиями температурами поверхности океана в двух регионах тропической части Индийского океана.

В данной работе была установлена корреляция между количеством осадков и индексом IOD. Программа на языке R представлена в Приложении

```
> correlation_rainfall_iod <- cor(merged_data$V10, merged_data$IOD_Value, use = "complete.obs")
> print(correlation_rainfall_iod)
[1] 0.04209852
```

Рисунок 3.58 – Коэффициент корреляции между количеством осадков и индексом IOD

```
> summary(trend)

Call:
lm(formula = V10 ~ IOD_Value, data = merged_data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-16.286 -12.046  -7.875   2.627  213.886

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  13.6462     0.4255  32.069  <2e-16 ***
IOD_Value     1.7006     0.7905   2.151   0.0315 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 21.38 on 2607 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.001772, Adjusted R-squared:  0.001389
F-statistic: 4.629 on 1 and 2607 DF, p-value: 0.03154

> print(coef(trend))
(Intercept)    IOD_Value 
 13.646226    1.700648
```

Рисунок 3.59 – Результаты линейной регрессии зависимости количества осадков (V10) от значения индекса IOD (IOD_Value)

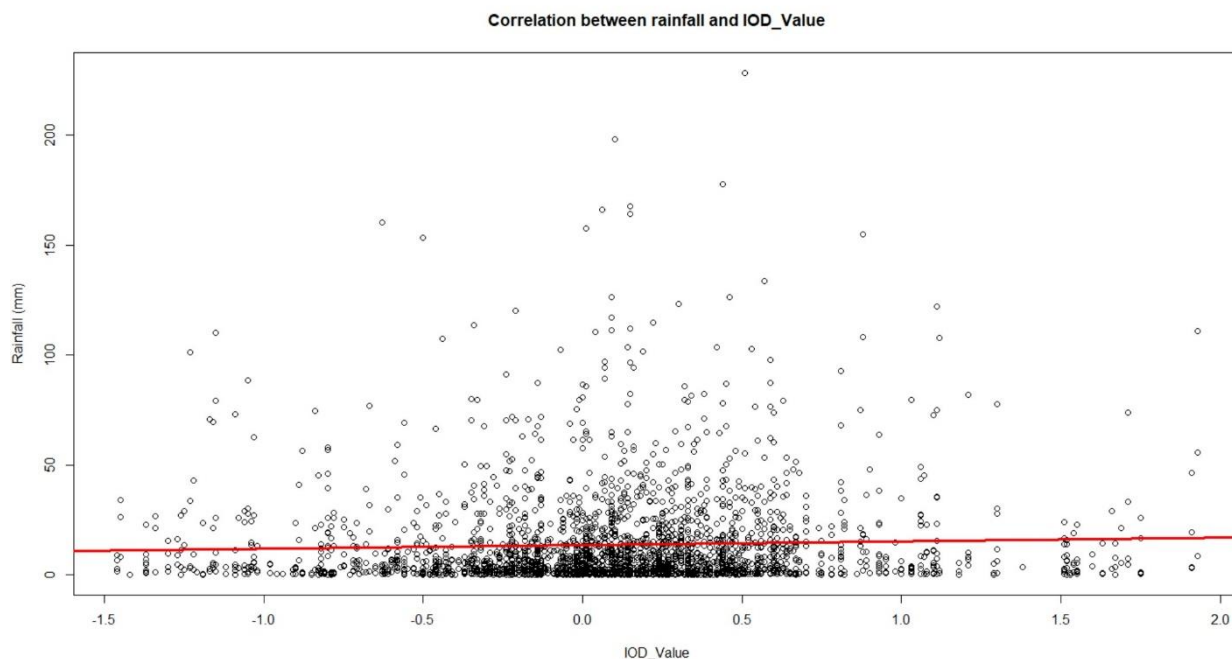


Рисунок 3.60 – Диаграмма рассеяния с линией тренда.

Горизонтальная ось на диаграмме рассеяния выше (рисунок 3.60), показывает индекс IOD, а вертикальная ось показывает значение количества осадков в миллиметрах. Красная линия показывает линию тренда. Коэффициент корреляции между количеством осадков и индексом IOD равен 0,04 – это очень слабая положительная корреляция (Рисунок 3.58). То есть чем выше показатель, тем, в среднем, больше осадков, но связь очень слабая. Рисунок показывает результаты линейной регрессии зависимости количества осадков от значения индекса IOD . p -value равен 0,0315 и это значение меньше 0,05 (уровень значимости), которое говорит о том, что вероятность получить такую связь по случайности практически равна нулю, то есть та слабая связь между количеством осадков и индексом IOD значима и она не случайна. Коэффициент наклона (IOD _Value) равен 1,7, и это значит, что при увеличении индекса IOD на 1, среднее количество осадков повышается примерно на 1,7 мм/за период от 1990 до 2024 года. R^2 равно 0,001389, и это значит, что индекс IOD объясняет 0,1% изменений осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы следует отметить, что поставленные цели полностью достигнуты на основе решения всех обозначенных во введении задач. По полученным результатам исследований можно сделать итоговые выводы;

В целом климат региона характеризуется резкими колебаниями осадков как по сезонам, так и по годам. Сезонность ярко выражена, но в рамках каждого месяца доминируют слабые осадки, а сильные ливни редки и нерегулярны. Явных устойчивых изменений в сторону увеличения или уменьшения осадков (трендов) не выявлено, однако редкие экстремальные ливни могут становиться более выраженными. Влияние максимальных температур и глобальных климатических индексов на осадки подтверждено статистически, но их вклад в общую изменчивость остаётся незначительным.

После анализа температуры воздуха за 1990–2024 годы можно сделать вывод, что среднесуточная температура воздуха на острове Ган стабильно колеблется в пределах 28–29°C, без чёткой тенденции к потеплению или похолоданию.

Распределения минимальной и максимальной температуры воздуха в течение года демонстрируют выраженные сезонные особенности. Минимальные температуры чаще всего наблюдаются в августе, а максимальные – в апреле. Разброс температур в межгодовом масштабе относительно небольшой, что указывает на стабильный температурный режим экваториального климата Мальдивских островов.

Цунами 2004 года оказало влияние не только на социальную и инфраструктурную устойчивость страны, но также могло повлиять на гидрометеорологические условия. Сравнение месячных распределений осадков до и после 2004 года показывает рост изменчивости и увеличение

числа экстремальных осадков, хотя средние значения остались практически неизменными.

Список использованных источников

алинин В. Н. (2008). Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник- СПб.: изд. РГГМУ — 408 с

ипунов А. Б., Балдин Е. М., Волкова П. А., Коробейников А. И., Назарова С. А., Петров С. В., Суфиянов В. Г.

Наглядная статистика. Используем R! — 13 июля 2014 г.

абаков Р. И. R в действии: Анализ и визуализация данных на языке R. — М.: ДМК Пресс, [2014].

4. Wickham H., Çetinkaya-Rundel M., Grolemund G. *R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data*. — 2nd ed. — Sebastopol: O'Reilly Media, 2023. — 606 с.

5. World Meteorological Organization. *World Meteorological Organization official website* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://wmo.int/> (дата обращения: 01.09.2024)

6. Maldives Meteorological Service. *Official website of the Government of the Republic of Maldives* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.meteorology.gov.mv/> (дата обращения: 01.09.2024).

ureau of Meteorology, Australian Government. *Climate indices – ENSO & IOD* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.bom.gov.au/en/seasonal/indices/ensoi/> (дата обращения: 06.03.2025).

8. NASA Jet Propulsion Laboratory NASA Details Earthquake Effects on the Earth [Электронный ресурс]. — 2005. — Режим доступа: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-details-earthquake-effects-on-the-earth/> (дата обращения: 15.10.2024).

Приложение 1

Стартовый код в R

```
g
maindata <- read.table(file="weather_data.csv",sep=";",head=F)
head(maindata)
maindata <- maindata[-1, ]
maindata[maindata == "NIL" | maindata == "TR"] <- 0
maindata$V1 <- as.Date(maindata$V1, format = "%m/%d/%Y")
str(maindata$V10)
maindata$V10 <- gsub("tr|N", "0", maindata$V10)
maindata$V10 <- as.numeric(maindata$V10)
str(maindata$V2)
maindata$V2 <- as.numeric(maindata$V2)
str(maindata$V3)
maindata$V3 <- as.numeric(maindata$V3)
str(maindata$V4)
maindata$V4 <- as.numeric(maindata$V4)
str(maindata$V5)
maindata$V5 <- as.numeric(maindata$V5)
str(maindata$V7)
maindata$V7 <- as.numeric(maindata$V7)
str(maindata$V9)
maindata$V9 <- as.numeric(maindata$V9)
str(maindata$V11)
maindata$V11 <- as.numeric(maindata$V11)
data <- maindata[, c("V1", "V2", "V3", "V4", "V5", "V6", "V7", "V8", "V9", "V10", "V11")]
head(data)
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
january_data <- data[format(data$V1, "%m") == "01", ]
february_data <- data[format(data$V1, "%m") == "02", ]
march_data <- data[format(data$V1, "%m") == "03", ]
april_data <- data[format(data$V1, "%m") == "04", ]
may_data <- data[format(data$V1, "%m") == "05", ]
june_data <- data[format(data$V1, "%m") == "06", ]
july_data <- data[format(data$V1, "%m") == "07", ]
august_data <- data[format(data$V1, "%m") == "08", ]
september_data <- data[format(data$V1, "%m") == "09", ]
october_data <- data[format(data$V1, "%m") == "10", ]
november_data <- data[format(data$V1, "%m") == "11", ]
december_data <- data[format(data$V1, "%m") == "12", ]
data1990 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1990", ]
data1991 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1991", ]
data1992 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1992", ]
data1993 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1993", ]
data1994 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1994", ]
data1995 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1995", ]
data1996 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1996", ]
```

```
data1997 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1997", ]
data1998 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1998", ]
data1999 <- data[format(data$V1, "%Y") == "1999", ]
data2000 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2000", ]
data2001 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2001", ]
data2002 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2002", ]
data2003 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2003", ]
data2004 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2004", ]
data2005 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2005", ]
data2006 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2006", ]
data2007 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2007", ]
data2008 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2008", ]
data2009 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2009", ]
data2010 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2010", ]
data2011 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2011", ]
data2012 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2012", ]
data2013 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2013", ]
data2014 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2014", ]
data2015 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2015", ]
data2016 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2016", ]
data2017 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2017", ]
data2018 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2018", ]
data2019 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2019", ]
data2020 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2020", ]
data2021 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2021", ]
data2022 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2022", ]
data2023 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2023", ]
data2024 <- data[format(data$V1, "%Y") == "2024", ]
```

Приложение 2

Код программы для расчёта и построения гистограмм месячного распределения среднесуточной температуры на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
data$Month <- format(data$V1, "%m")
data$Month <- factor(data$Month, levels = sprintf("%02d", 1:12),
                    labels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
                              "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
ggplot(data, aes(x = V4))+
  geom_histogram(binwidth = 1, fill = "blue", color = "black", alpha = 0.7)+
  facet_wrap(~Month, scales = "free_x")+ # Different x scales, same y scale
  scale_y_continuous(limits = c(0, 600), breaks = seq(0, 600, by = 100)) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(floor(min(data$V4, na.rm = TRUE)),
                                ceiling(max(data$V4, na.rm = TRUE)),
                                by = 1)) +
  labs(title = "Monthly Average Temperature Distribution", x = "Temperature (°C)", y =
"Frequency")+
```

t
h
e
m
e
m
i
n
i
m
a
l

Приложение 3

Код программы Boxplot месячного распределения среднесуточной температуры на языке R

```
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("8/31/2024", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Month <- factor(format(filtered_data$V1, "%b"),
                             levels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
                                           "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
y_ticks <- seq(22, 32, by = 1)
boxplot(V4 ~ Month, data = filtered_data,
        main = "Monthly distribution of Average Temperature (1990-2024)",
        xlab = "Month",
        ylab = "Temperature (Degree Celsius)",
        col = "blue",
        las = 2,
        cex.axis = 0.8,
        border = "black",
        yaxt = "n",
        ylim = c(22, 32))
axis(2, at = y_ticks, labels = y_ticks, las = 1)
grid(nx = NA, ny = NULL, col = "gray90", lty = "dotted")
g
r
i
d
```

Приложение 4

Код программы гистограмм годового распределения среднесуточной температуры на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("12/31/2001", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Year <- factor(format(filtered_data$V1, "%Y"), levels = as.character(1990:2001))
ggplot(filtered_data, aes(x = V4)) +
  geom_histogram(binwidth = 1,
    fill = "blue", color = "black", alpha = 0.7) +
  facet_wrap(~Year, scales = "free_x") +
  scale_x_continuous(breaks = seq(floor(min(filtered_data$V4, na.rm = TRUE)),
    ceiling(max(filtered_data$V4, na.rm = TRUE)),
    by = 1)) +
  labs(title = "Yearly Distribution of Average Temperature",
    x = "Temperature (Degree Celsius)",
    y = "Frequency") +
```

t
h

Приложение 5

Код программы для расчёта и построения гистограмм месячного распределения минимальной температуры на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
data$Month <- format(data$V1, "%m")
data$Month <- factor(data$Month, levels = sprintf("%02d", 1:12),
  labels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
    "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
ggplot(data, aes(x = V3)) +
  geom_histogram(binwidth = 1, fill = "green", color = "black", alpha = 0.7) +
  facet_wrap(~Month, scales = "free_x") +
  scale_x_continuous(breaks = seq(floor(min(data$V3, na.rm = TRUE)),
    ceiling(max(data$V3, na.rm = TRUE)),
    by = 1)) +
  scale_y_continuous(limits = c(0, 300), breaks = seq(0, 300, by = 50)) +
  labs(title = "Monthly Distribution of Daily Minimum Temperature ", x = "Temperature (°C)", y
    = "Frequency") +
```

Приложение 6

Код программы Vохplot месячного распределения минимальной температуры на языке R

```
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("8/31/2024", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Month <- factor(format(filtered_data$V1, "%b"),
                             levels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
                                           "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
y_ticks <- seq(19, 30, by = 1)
boxplot(V3 ~ Month, data = filtered_data,
        main = "Monthly Distribution of Daily Minimum Temperature (1990-2024)",
        xlab = "Month",
        ylab = "Temperature (Degree Celsius)",
        col = "green",
        las = 2,
        cex.axis = 0.8,
        border = "black",
        yaxt = "n",
        ylim = c(19, 30))
axis(2, at = y_ticks, labels = y_ticks, las = 1)
grid(nx = NA, ny = NULL, col = "gray90", lty = "dotted")
g
r
i
d
```

Приложение 7

Код программы гистограмм годового распределения минимальной температуры на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("12/31/2001", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Year <- factor(format(filtered_data$V1, "%Y"), levels = as.character(1990:2001))
ggplot(filtered_data, aes(x = V3)) +
  geom_histogram(binwidth = 1,
                 fill = "green", color = "black", alpha = 0.7) +
  facet_wrap(~Year, scales = "free_x") +
  scale_x_continuous(breaks = seq(floor(min(filtered_data$V3, na.rm = TRUE)),
                                   ceiling(max(filtered_data$V3, na.rm = TRUE)),
                                   by = 1)) +
  labs(title = "Yearly Distribution of Daily Minimum Temperature",
       x = "Temperature (Degree Celsius)",
       y = "Frequency") +
```

t
h
e
m
e
m
i
n
i
m
a
l

Приложение 8

Код программы для расчёта и построения гистограмм месячного распределения максимальной температуры на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
data$Month <- format(data$V1, "%m")
data$Month <- factor(data$Month, levels = sprintf("%02d", 1:12),
                    labels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
                              "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
ggplot(data, aes(x = V2))+
  geom_histogram(binwidth = 1, fill = "red", color = "black", alpha = 0.7)+
  facet_wrap(~Month, scales = "free_x")+ # Different x scales, same y scale
  scale_y_continuous(limits = c(0, 600), breaks = seq(0, 600, by = 100)) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(floor(min(data$V2, na.rm = TRUE)),
                                ceiling(max(data$V2, na.rm = TRUE)),
                                by = 1)) +
  labs(title = "Monthly Distribution of Daily Maximum Temperature ", x = "Temperature (°C)", y
        = "Frequency")+
```

Приложение 9

Код программы Vохplot месячного распределения максимальной температуры на языке R

```
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("8/31/2024", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Month <- factor(format(filtered_data$V1, "%b"),
                             levels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
                                           "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
y_ticks <- seq(y_min, y_max, by = 1)
boxplot(V2 ~ Month, data = filtered_data,
        main = "Monthly distribution of Daily Maximum Temperature (1990-2024)",
        xlab = "Month",
        ylab = "Temperature ((Degree Celsius))",
        col = "red",
        las = 2,
        cex.axis = 0.8,
        border = "black",
        yaxt = "n",
        ylim = c(25, 34))
axis(2, at = y_ticks, labels = y_ticks, las = 1)
grid(nx = NA, ny = NULL, col = "gray90", lty = "dotted")
```

Приложение 10

Код программы гистограмм годового распределения максимальной температуры на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("12/31/2001", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Year <- factor(format(filtered_data$V1, "%Y"), levels = as.character(1990:2001))
ggplot(filtered_data, aes(x = V2)) +
  geom_histogram(binwidth = 1,
    fill = "red", color = "black", alpha = 0.7) +
  facet_wrap(~Year, scales = "free_x") +
  scale_x_continuous(breaks = seq(floor(min(filtered_data$V2, na.rm = TRUE)),
    ceiling(max(filtered_data$V2, na.rm = TRUE)),
    by = 1)) +
  labs(title = "Yearly Distribution of Daily Maximum Temperature",
    x = "Temperature (Degree Celsius)",
    y = "Frequency") +
```

Приложение 11

Код программы для расчёта и построения гистограмм месячного распределения количества осадков на языке R

```
if (!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
if (!require(dplyr)) install.packages("dplyr")
if (!require(tidyr)) install.packages("tidyr")
library(ggplot2)
library(dplyr)
library(tidyr)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- data %>%
  filter(V1 >= as.Date("01/01/1990"), V1 <= as.Date("2024/08/30"), V10 > 0)
  %>%
  mutate(
    Month = format(V1, "%B"),
    Month = factor(Month, levels = month.name)
  )
bin_breaks <- seq(0, 230, by = 10)
bin_labels <- bin_breaks[-length(bin_breaks)] + 5
filtered_data <- filtered_data %>%
  mutate(
    Bin = cut(V10, breaks = bin_breaks, include.lowest = TRUE, right = FALSE, labels =
bin_labels),
    Bin = as.numeric(as.character(Bin))
  )
bin_summary <- filtered_data %>%
  group_by(Month, Bin) %>%
  summarise(Freq = n(), .groups = "drop") %>%
  complete(Month, Bin = bin_labels, fill = list(Freq = 0))
ggplot(bin_summary, aes(x = Bin, y = Freq)) +
  geom_bar(
    stat = "identity",
    fill = "blueviolet",
    color = "black",
    alpha = 0.7,
    width = 10
  ) +
  facet_wrap(~Month, scales = "free_x") +
  coord_cartesian(xlim = c(0, 230)) +
  scale_x_continuous(
    breaks = seq(0, 230, by = 50),
    name = "Precipitation (mm)"
  ) +
  scale_y_continuous(breaks = seq(0, 350, by = 50), name = "Frequency") +
  labs(title = "Monthly Distribution of Daily Precipitation (1990–2024)") +
```

Приложение 12

Код программы Vohplot месячного распределения количества осадков на языке

```
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("8/31/2024", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Month <- factor(format(filtered_data$V1, "%b"),
                             levels = c("Jan", "Feb", "Mar", "Apr", "May", "Jun",
                                           "Jul", "Aug", "Sep", "Oct", "Nov", "Dec"))
filtered_data <- subset(filtered_data, V10 > 0)
y_min <- floor(min(filtered_data$V10) / 10) * 10
y_max <- ceiling(max(filtered_data$V10) / 10) * 10
y_ticks <- seq(y_min, 230, by = 10)
boxplot(V10 ~ Month, data = filtered_data,
        main = "Monthly Distribution of Daily Precipitation (1990-2024, Excluding Zero Values)",
        xlab = "Month",
        ylab = "Precipitation (mm)",
        col = "blueviolet",
        las = 2,
        cex.axis = 0.8,
        border = "black",
        yaxt = "n",
        ylim = c(y_min, 230))
axis(2, at = y_ticks, labels = y_ticks, las = 1)
grid(nx = NA, ny = NULL, col = "gray90", lty = "dotted")
```

Приложение 13

Код программы гистограмм годового распределения количества осадков на языке R

```
if(!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("01/01/1990", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("12/31/2001", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data$Year <- factor(format(filtered_data$V1, "%Y"), levels = as.character(1990:2001))
filtered_data <- subset(filtered_data, V10 > 0)
library(dplyr)
bin_breaks <- seq(0, 230, by = 10)
bin_labels <- bin_breaks[-length(bin_breaks)] + 5
filtered_data <- filtered_data %>%
  mutate(
    Bin = cut(V10, breaks = bin_breaks, include.lowest = TRUE, right = FALSE, labels =
bin_labels),
    Bin = as.numeric(as.character(Bin)),
    Year = as.factor(format(V1, "%Y"))
  )

bin_summary <- filtered_data %>%
  group_by(Year, Bin) %>%
  summarise(Freq = n(), .groups = "drop")

ggplot(bin_summary, aes(x = Bin, y = Freq)) +
  geom_bar(
    stat = "identity",
    fill = "blueviolet",
    color = "black",
    alpha = 0.7,
    width = 10
  ) +
  facet_wrap(~Year, scales = "free_x") +
  coord_cartesian(xlim = c(0, 230)) +
  scale_x_continuous(
    breaks = seq(0, 230, by = 50),
    name = "Precipitation (mm)"
  ) +
  scale_y_continuous(breaks = seq(0, 125, by = 25), name = "Frequency") +
  labs(title = "Yearly Distribution of Daily Precipitation") +
```

Приложение 14

од временного тренда всего периода на языке R

```
trend <- lm(V10 ~ V1, data)
summary(trend)
print(coef(trend))
plot(data$V1, data$V10, main = "Linear Trend of rainfall against time", xlab = "Years", ylab =
"Rainfall (mm)")
abline(trend, col = "red", lwd = 3)
```

од временного тренда каждого месяца на языке R

```
par(mfrow = c(3, 4), mar = c(4, 4, 3, 1))
month_names <- c("January", "February", "March", "April", "May", "June",
"July", "August", "September", "October", "November", "December")
for (month in 1:12) {
  month_data <- data[format(data$V1, "%m") == sprintf("%02d", month), ]
  month_data$V10 <- as.numeric(month_data$V10)
  trend <- lm(V10 ~ V1, data = month_data)
  plot(month_data$V1, month_data$V10,
main = paste("Rainfall Trend -", month_names[month]),
xlab = "Year", ylab = "Rainfall (mm)", pch = 16, cex = 0.5)
  abline(trend, col = "red", lwd = 2)
  print(paste(month_names[month], "Coefficients:"))
  print(coef(trend))
  print(summary(trend))}
```

Приложение 15

Код программы для расчёта коэффициенты корреляции и построения диаграммы рассеяния с линией тренда на языке R

```
correlation_rainfall_maxtemp <- cor(data$V10, data$V2)
print(correlation_rainfall_maxtemp)
trend <- lm(V10 ~ V2, data = data)
summary(trend)
print(coef(trend))
plot(data$V2, data$V10,
main = "Correlation between rainfall and maximum temperature",
xlab = "Maximum Temperature(°C)",
ylab = "Rainfall (mm)")
abline(trend, col = "red", lwd = 3)
```

Приложение 16

Код программы зависимости количества осадков (V10) от значения индекса

```
N
I
N
#(!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("07/28/2008", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("08/30/2024", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data <- subset(filtered_data, V10 > 0)
getwd()
nino <- read.table(file="NINO4.txt", sep="," , head=F)
str(nino$V3)
colnames(nino) <- c("StartDate", "EndDate", "NINO_Value")
nino$StartDate <- as.Date(as.character(nino$StartDate), format="%Y%m%d")
nino$EndDate <- as.Date(as.character(nino$EndDate), format="%Y%m%d")
head(nino)
library(dplyr)
library(tidyr)
nino <- nino %>%
  rowwise() %>%
  mutate(Date = list(seq(StartDate, EndDate, by = "day"))) %>%
  unnest(cols = c(Date)) %>%
  select(Date, NINO_Value)
head(nino)
start_date_nino <- as.Date("20080728", format="%Y%m%d")
end_date_nino <- as.Date("20240830", format="%Y%m%d")
filtered_data_nino <- subset(nino, Date >= start_date_nino & Date <= end_date_nino)
head(filtered_data)
head(filtered_data_nino)
merged_data <- merge(filtered_data, filtered_data_nino, by.x = "V1", by.y = "Date")
head(merged_data)
correlation_rainfall_nino <- cor(merged_data$V10, merged_data$NINO_Value, use =
"complete.obs")
print(correlation_rainfall_nino)
trend <- lm(V10 ~ NINO_Value, data = merged_data)
summary(trend)
print(coef(trend))
plot(merged_data$NINO_Value, merged_data$V10,
  main = "Correlation between rainfall and NINO Value",
  xlab = "NINO Value",
  ylab = "Rainfall (mm)")
abline(trend, col = "red", lwd = 3)
```

Приложение 17

Код программы зависимости количества осадков (V10) от значения индекса

```
I
O
D
#(!require(ggplot2)) install.packages("ggplot2")
library(ggplot2)
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
data$V1 <- as.Date(data$V1, format = "%m/%d/%Y")
start_date <- as.Date("07/28/2008", format = "%m/%d/%Y")
end_date <- as.Date("08/30/2024", format = "%m/%d/%Y")
filtered_data <- subset(data, V1 >= start_date & V1 <= end_date)
filtered_data <- subset(filtered_data, V10 > 0)
getwd()
iod <- read.table(file="IOD.txt", sep="," , head=F)
str(iod$V3)
colnames(iod) <- c("StartDate", "EndDate", "IOD_Value")
iod$StartDate <- as.Date(as.character(iod$StartDate), format="%Y%m%d")
iod$EndDate <- as.Date(as.character(iod$EndDate), format="%Y%m%d")
head(iod)
library(dplyr)
library(tidyr)
iod <- iod %>%
  rowwise() %>%
  mutate(Date = list(seq(StartDate, EndDate, by = "day"))) %>%
  unnest(cols = c(Date)) %>%
  select(Date, IOD_Value)
head(iod)
start_date_iod <- as.Date("20080728", format="%Y%m%d")
end_date_iod <- as.Date("20240830", format="%Y%m%d")
filtered_data_iod <- subset(iod, Date >= start_date_iod & Date <= end_date_iod)
head(filtered_data)
head(filtered_data_iod)
merged_data <- merge(filtered_data, filtered_data_iod, by.x = "V1", by.y = "Date")
head(merged_data)
correlation_rainfall_iod <- cor(merged_data$V10, merged_data$IOD_Value, use =
"complete.obs")
print(correlation_rainfall_iod)
trend <- lm(V10 ~ IOD_Value, data = merged_data)
summary(trend)
print(coef(trend))
plot(merged_data$IOD_Value, merged_data$V10,
  main = "Correlation between rainfall and IOD_Value",
  xlab = "IOD_Value",
  ylab = "Rainfall (mm)")
abline(trend, col = "red", lwd = 3)
```

Благодарности:

Я благодарен за ценные советы и поддержку моего научного руководителя,
доцента Ольга Георгиевна Анискина.