



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

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО
РЕЖИМА РЕКИ КЕЛАНИ
(ШРИ-ЛАНКА)**

Исполнитель Дугганна Ралалаге Кавиша Аширвадани Бандара *[Signature]*
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович *[Signature]*
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

[Signature]
(подпись)

кандидат технических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«27» июля 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ФИЗИКОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕСПУБЛИКИ ШРИ-ЛАНКА.....	6
1.1. Основные сведения о Шри-Ланке	6
1.1.1. Рельеф.....	7
1.1.2. Растительность	8
1.1.3. Сельскохозяйственные ландшафты	11
1.1.4. Гидрография	13
1.1.5. Климат Шри-Ланки.....	15
2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КЕЛАНИ.....	17
2.1. Описание района исследований	17
2.2. Климат в бассейне реки Келани	20
2.2.1. Ветровой режим	21
2.2.2. Атмосферные осадки	26
2.2.3. Температура воздуха	29
2.2.4. Изменение климата	31
3. ГОДОВОЙ СТОК И ЕГО ВНУТРИГODOBОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НА РЕКАХ БАССЕЙНА РЕКИ КЕЛАНИ	42
3.1. Исходные данные	42
3.2. Особенности водного режима рек бассейна р. Келани.....	43
3.2.1. Река Келани в Ханвелле	44
3.2.2. Река Келани на Гленкорсе.....	50
3.2.3. Река Келани в Китулгале.....	55
3.2.4. Река Гуругода в Холомбуве	60
3.2.5. Река Ситавака в Дераниягале.....	68
3.2.6. Река Кехельгаму в Норвуде	72
4. МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА РЕКИ КЕЛАНИ	78

4.1. Проверка рядов максимальных расходов воды на значимость трендов	78
4.2. Проверка рядов максимальных расходов воды на однородность	79
4.3. Расчет основных статистических характеристик и построение кривых обеспеченностей	82
4.4. Построение районной редуccionной зависимости для максимальных расходов воды в бассейне реки Келани	87
4.5. Риск наводнений в бассейне реки Келани	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	92
ПРИЛОЖЕНИЯ	95

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа посвящена исследованию водного режима реки Келани – одной из наиболее значимых водных артерий Шри-Ланки. Является четвёртой по длине рекой в стране, берёт начало от горы Адамов Пик и впадает в Лаккадивское море у города Коломбо. Протекает по округам Нуvara-Элия, Ратнапура, Кегалле, Гампаха и Коломбо.

Река Келани представляет значительный интерес для научных исследований по нескольким причинам. Во первых, её бассейн является основным источником водоснабжения столичного района Коломбо, обеспечивая около 80% потребностей города в питьевой воде [1]. Во вторых, река играет ключевую роль в орошении сельскохозяйственных угодий и выработке гидро-электроэнергии. В третьих, экстремальные наводнения, участившиеся в последнее десятилетия, наносят значительный ущерб экономике региона, что требует детального изучения особенностей формирования речного стока в бассейне р. Келани в современных условиях.

Основная задача настоящего исследования: выполнить анализ долгосрочных изменений температуры воздуха и осадков в бассейне реки, а так же оценить влияние изменений климата на водный режим реки Келани и ее притоков.

Работа состоит из 4 глав, введения, заключения.

В первой главе представлена краткая физико-географическая и климатическая характеристика для территории Шри-Ланки в целом. Представлены сведения о рельефе острова, геологическом строении, почвенном покрове, растительности и гидрографической сети. Анализируются особенности климатических условий в различных частях страны.

Во второй главе анализируются природные условия в бассейне реки Келани. Дается описание реки Келани и ее основных притоков. Представлены сведения о видах антропогенной нагрузки на речной водосбор. По данным 5

метеорологическим станциям выполнен анализ пространственно-временных колебаний климата в бассейне реки Келани.

В третьей главе выполнен анализ годового стока рек бассейна р. Келани и его внутригодового распределения. Дана оценка влияния климатических изменений на среднегодовые расходы воды.

В четвертой главе представлены результаты исследования рядов максимальных расходов воды. Выполнен расчет максимальных расходов различной обеспеченности (вероятности ежегодного превышения). Представлены сведения о наводнениях в нижнем течении реки Келани.

В заключении приводятся основные результаты проделанной работы.

Бакалаврская работа содержит 87 рисунков, 24 таблицы, 2 приложения и список использованных источников из 27 наименований. Общий объем работы 112 страниц.

1. ФИЗИКОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕСПУБЛИКИ ШРИ-ЛАНКА

1.1. Основные сведения о Шри-Ланке

Шри-Ланка – государство в Южной Азии, на одноимённом острове у юго-восточного побережья полуострова Индостан (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Карта-схема республики Шри-Ланка.

Шри-Ланка имеет морскую границу с Индией. Остров отделен от Индии Полкским проливом, ширина которого составляет около 32 км. Шри-Ланка лежит между 5°55' и 9°51' северной широты и 79°41' и 81°53' восточной долготы. Общая площадь Шри-Ланки составляет примерно 65,610 км² (25,332 квадратных миль). Остров имеет максимальную длину около 435 км и ширину до 240 км. Площадь – 65 610 км². Население – 21,3 млн. Столица – Шри-Джаяварденепура-Котте. Крупнейший город – Коломбо.

1.1.1. Рельеф

Шри-Ланка характеризуется разнообразным рельефом (рисунок 1.2) и климатом, что позволяет выделить несколько основных природных зон:

- *Прибрежные низменности*

Около 80% территории Шри-Ланки составляют прибрежные равнины, которые находятся на высоте от 30 до 200 метров над уровнем моря. Эти зоны омываются водами Индийского океана, а также содержат множество песчаных пляжей и коралловых рифов.

- *Центральное нагорье*

Центральная часть острова представлена горной местностью, где расположены основные горные хребты и плато. Высочайшая точка — гора Пидуруталагала (2524 м), а также известный Пик Адама (2243 м). Центральное нагорье характеризуется многоярусным рельефом, с глубокими долинами и скалами.

- *Восточные и северные равнины*

На востоке и севере острова находятся более плоские участки, которые постепенно поднимаются к центральному нагорью. Эти зоны имеют менее выраженные рельефные особенности по сравнению с центральной частью.

- *Западные и южные склоны*

Западная и южная части острова обладают более высокими хребтами и холмами, которые постепенно переходят в Центральное нагорье. Эти области также известны своим богатым биоразнообразием и тропическими лесами.

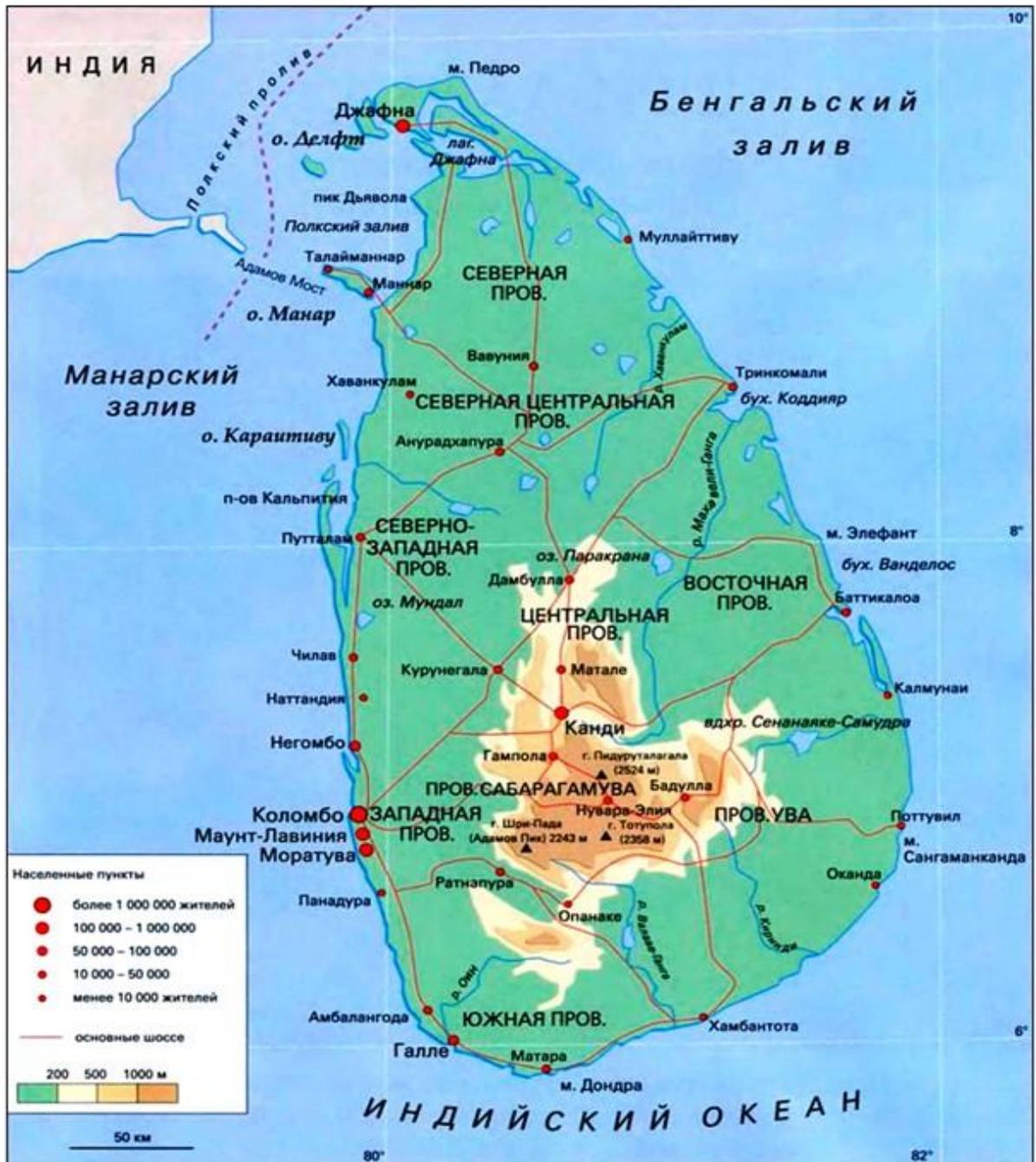


Рисунок 1.2 – Физико-географическая карта республики Шри-Ланка.

1.1.2. Растительность

Шри-Ланка обладает разнообразной растительностью, которая варьируется в зависимости от климатических условий, высоты над уровнем моря и других факторов. На Шри-Ланке выявлено семь растительных зон (рисунок 1.3) [2].

1. Тропические влажные леса

Основная область распространения – западная и юго-западная части Шри-Ланки. Особенности растительности: высота деревьев составляет от 30 до 40 м; несколько ярусов леса; деревья растут в течение всего года; деревья имеют темно-зеленый цвет листьев; верхние ярусы леса образуют навес, а солнечный свет слабо проникает внутрь леса; растения растут очень густо; много лиан, папоротников, лишайников, орхидей; высокое биоразнообразие.

К сожалению значительная часть этих лесов в настоящее время вырублена. Остатком вечнозеленых лесов влажной зоны является лес Синхараджа в юго-западной части Шри-Ланки.

2. Сухие смешанные вечнозеленые леса

Основная область распространения – вся засушливая зона низменностей (восточная и северная часть Шри-Ланки). Особенности растительности: высота деревьев составляет от 20 до 30 м; деревья активно растут в сезон дождей, в сухой сезон темпы роста меньше; преобладает редкий кустарник высотой от 2 до 3 м; высокие деревья растут попеременно с кустарником; деревья имеют светло-зеленый цвет листьев.

3. Промежуточные леса

Основная область распространения – переходная зона, которая разделяет влажную и сухую зону Шри-Ланки. Особенности растительности: высота деревьев от 10 до 25 м; преобладает смешанный лес сухой и влажной зон.

4. Леса влажной зоны горной местности

Основная область распространения – на высотах более 1200 м на западных склонах Центрального нагорья. Особенности растительности: высота деревьев составляет от 8 до 10 м; высота деревьев постепенно уменьшается по мере увеличения высоты местности; деревья растут как навес; деревья имеют разноцветные листья; изобилуют эпифиты и растения подлеска.

Склоны Центрального нагорья постепенно расчищались от леса и на расчищенных склонах выращивали чайный куст, теперь все влажные склоны – это сплошной вечнозеленый ковер из чайных кустов.

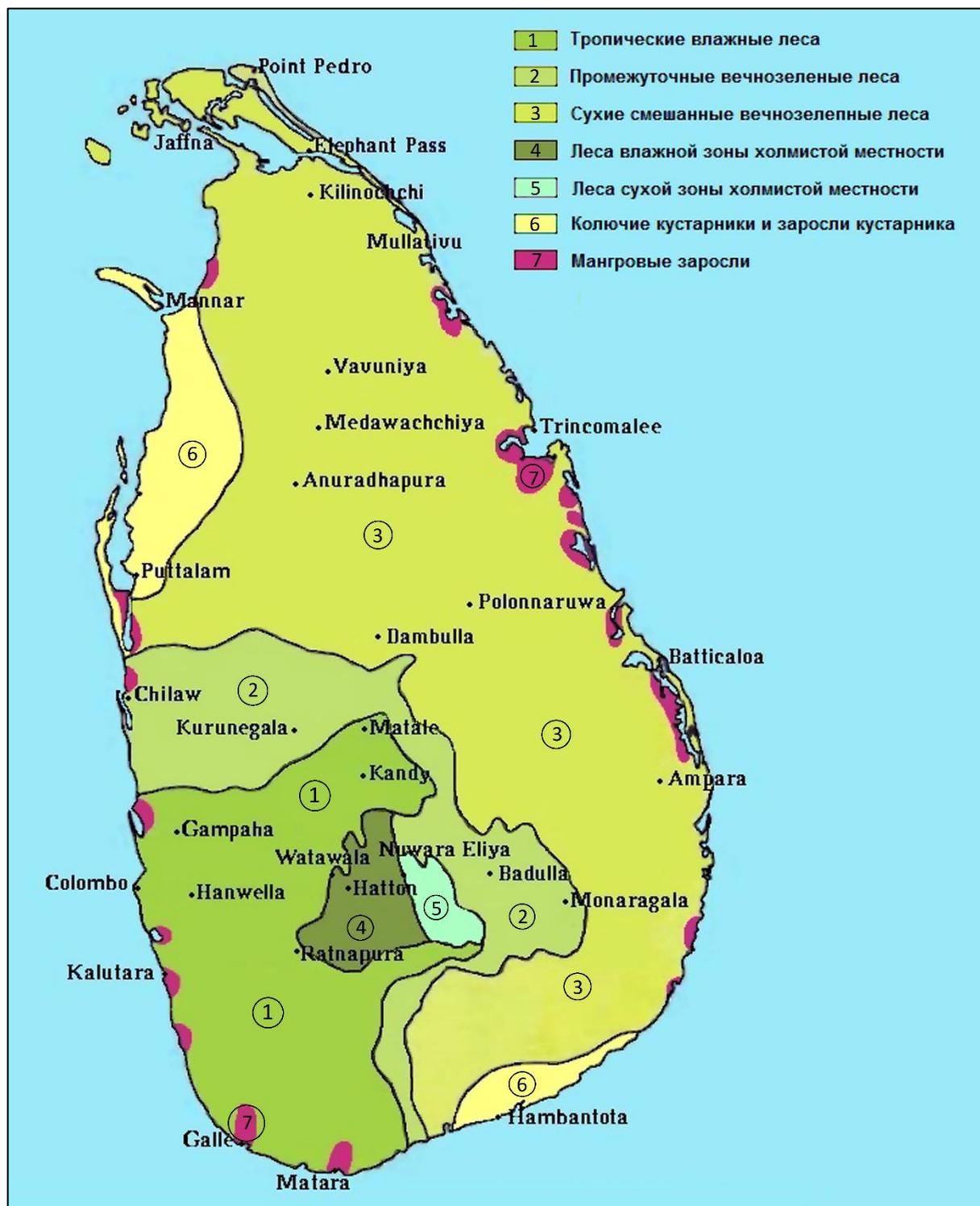


Рисунок 1.3 – Карта-схема растительных зон Шри-Ланки [2].

5. Леса сухой зоны горной местности (Патаны)

Основная область распространения – на высотах более 1400 м в восточной части Центрального нагорья Шри-Ланки. Особенности растительности: луга различаются типами пастбищ – Патана, Талава, Дамана, Виллу; деревья невысокие и растут так, чтобы противостоять холоду и ветрам; стволы деревьев искривлены под воздействием климата; эти леса называются облачными лесами, потому, что крона выглядит как облако, если смотреть сверху; листья деревьев маленькие и свернутые, приспособленные к сухому климату; деревья плохо растут из-за тонкого слоя почвы.

6. Колючие кустарники и заросли кустарничков

Основная область распространения – в северо-западной и юго-восточной частях Шри-Ланки. Особенности растительности: растения имеют одревесневшие образования - колючки; листья деревьев маленькие, скудные и приспособленные к сухому климату; растения приспособлены к длительному засушливому периоду.

7. Мангровые заросли

Основная область распространения – вблизи устьев рек и вокруг лагун в прибрежных районах. Особенности растительности: растения имеют много мощных корней; растения имеют опорные, ходульные корни; растения имеют корни, распростертые над водой, известные как дыхательные корни; растения приспособлены к солоноватой воде.

1.1.3. Сельскохозяйственные ландшафты

Шри-Ланка известна своими разнообразными сельскохозяйственными ландшафтами, которые играют важную роль в экономике страны. Основные сельскохозяйственные культуры включают чай, кофе, рис и специи.

1. Чайные плантации

Чайные плантации занимают около 15% территории Шри-Ланки (рисунок 1.4) и являются одним из основных источников дохода страны. Шри-

Ланка занимает третье место в мире по производству чая и первое по его экспорту, обеспечивая около 25% мирового спроса на цейлонский чай.

Регион: Наиболее известные чайные плантации расположены в центральной части острова, особенно в районах Нуvara Элия и Канди. Эти регионы характеризуются прохладным климатом и высоким уровнем осадков, что создает идеальные условия для выращивания высококачественного чая.

История: Чай был впервые завезен на Шри-Ланку в 1824 году, а коммерческое производство началось в 1867 году с плантации Джеймса Тейлора в Канди.



Рисунок 1.4 – Шри-Ланка – чайные плантации.

2. Кофейные плантации

Хотя кофе когда-то был основным продуктом экспорта Шри-Ланки, его производство значительно сократилось после распространения болезни кофейных растений в конце XIX века. Тем не менее, небольшие кофейные плантации все еще существуют, особенно в регионах с высокогорьем.

3. Рисовые поля

Рис является основным продуктом питания на Шри-Ланке и занимает значительную часть сельскохозяйственных угодий (рисунок 1.5). Основные рисовые регионы находятся в низменностях и орошаемых районах, где используются традиционные методы ведения сельского хозяйства.



Рисунок 1.5 – Шри-Ланка – рисовые поля.

4. Специи и тропические фрукты

Шри-Ланка также известна производством специй, таких как корица, кардамон и перец. Эти культуры выращиваются как на больших плантациях, так и на небольших фермах. Тропические фрукты, такие как манго и ананас, также широко культивируются.

1.1.4. Гидрография

Всего в Шри-Ланке 103 реки, из них 62 реки имеют площадь водосбора более 100 км² (Рисунок 1.6, таблица 1.1).

Более девяноста рек Шри-Ланки текут из центральной горной части к западному, восточному и южному побережьям острова. Крупнейшая река – Махавели, её бассейн занимает примерно одну шестую часть площади острова.

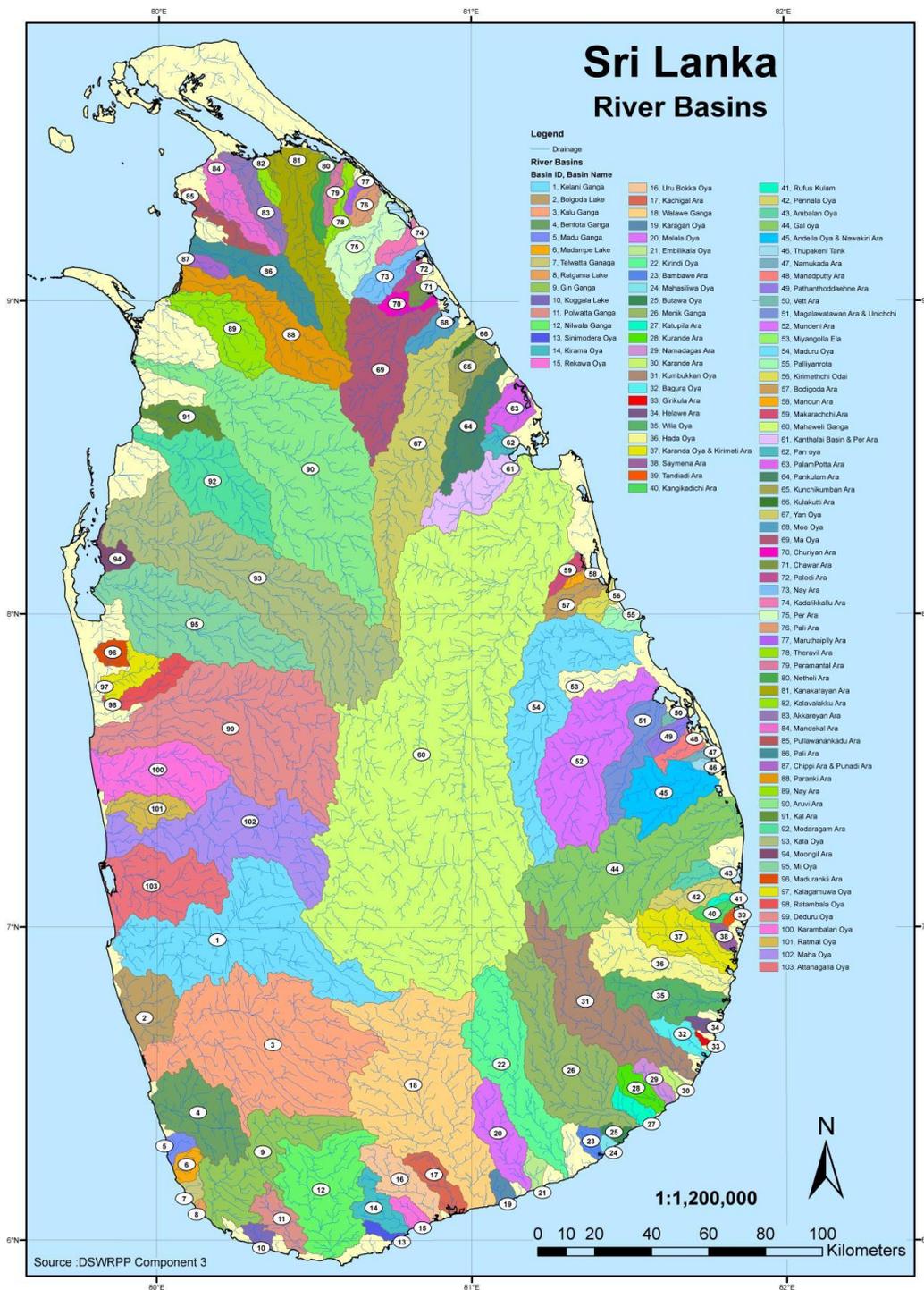


Рисунок 1.6. – Водосборы рек Шри-Ланки.[20]

Таблица 1.1 – Наиболее крупные реки Шри-Ланки

№ п/п	Номер на карте	Название реки	Площадь водосборного бассейна, км.кв.
1	60	Mahaweli Ganga	10266
2	90	Malwatu Oya	3291
3	3	Kalu Ganga	2839
4	99	Deduru Oya	2622
5	93	Kala Oya	2526
6	18	Walawe Ganga	2424
7	1	Kelani Ganga	2340
8	44	Gal Oya	1911
9	95	Mee Oya	1555
10	67	Yan Oya	1518
11	102	Maha Oya	1470
12	54	Maduru Oya	1439
13	52	Mundeni Ara	1373
14	26	Menik Ganga	1301
15	31	Kumbukkan Oya	1227
16	22	Kirindi Oya	1156
17	12	Nilwala Ganga	1043
18	69	Ma Oya	1042
19	92	Moderagama Ara	1001

Режим многих рек Шри-Ланки существенно искажается антропогенными факторами. Вода рек активно используется для водоснабжения, сельского хозяйства и гидроэнергетики.

1.1.5. Климат Шри-Ланки

На территории Шри-Ланки климат на севере и востоке субэкваториальный муссонный, на юге и западе – экваториальный муссонный. Средняя многолетняя температура воздуха на равнинах 26–30 °С, в горах 15–17 °С. Годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха небольшая, всего 3-4 °С. Максимум температур обычно наблюдается в мае (рисунок 1.7).

МС Трикомали (равнинная территория)



МС Нувара-Элия (Горы)

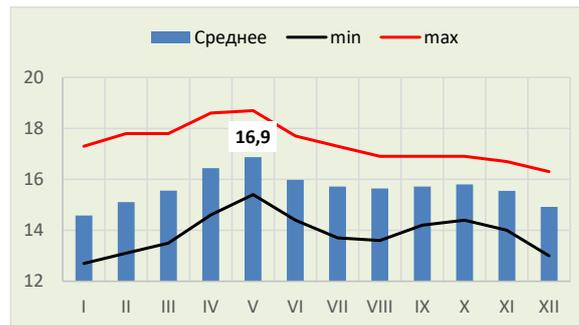
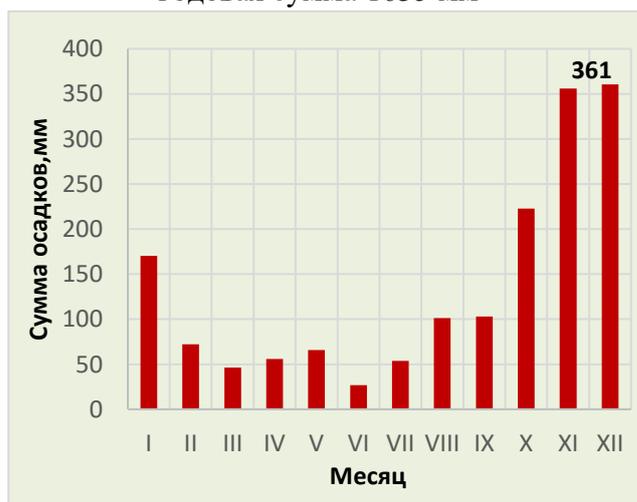


Рисунок 1.7 – Средняя многолетняя среднемесячная, максимальная среднемесячная и минимальная среднемесячная температура воздуха на равнинной и горной метеостанциях.

Наибольшее количество осадков (до 5000 мм в год) выпадает на юго-западных склонах Центрального нагорья. Наименьшее количество осадков (менее 1000 мм в год) выпадает на северо-западном и юго-восточном побережьях. На северо-востоке периодически случаются засухи.

На большей части Шри-Ланки максимум месячных осадков наблюдается в период с октября по декабрь (рисунок 1.8) за исключением горной части, где максимум приходится на июнь-июль.

МС Трикомали (северо-восток),
годовая сумма 1635 мм



МС Путталам (Запад),
годовая сумма 1150 мм

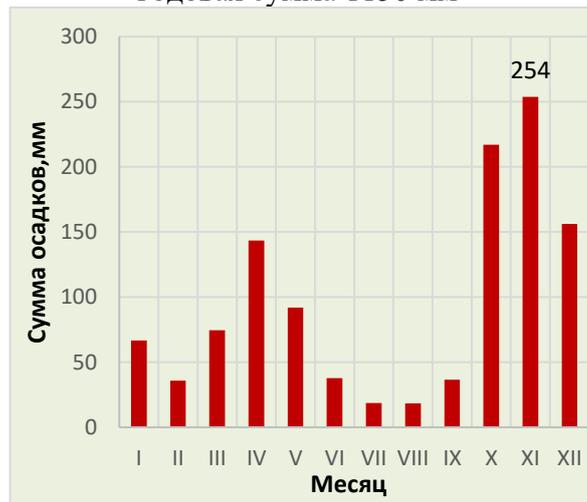


Рисунок 1.8 – Средняя многолетняя сумма месячных осадков.

2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ КЕЛАНИ

2.1. Описание района исследований

Объект настоящего исследования – река Келани и ее притоки. Река Келани является важной водной артерией Шри-Ланки. Ее длина составляет 145 километров, что делает ее четвертой по протяженности рекой в стране. Она берет начало в национальном парке Хортон-Плейнс (2100 м над уровнем моря), протекает через несколько районов и достигает г. Коломбо, где впадает в Индийский океан (рисунок 2.1). Река Келани обеспечивает город Коломбо примерно на 80 % питьевой водой [1].

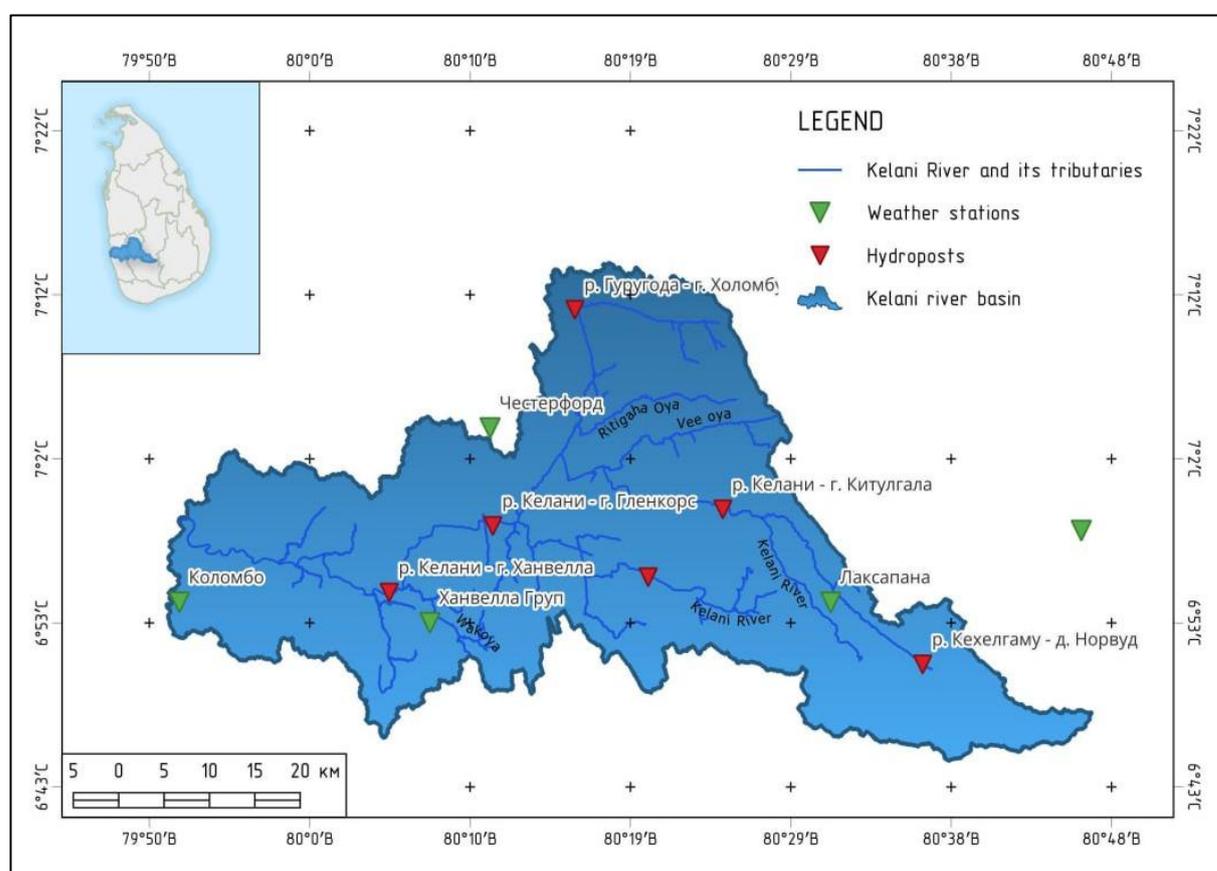


Рисунок 2.1 – Бассейн реки Келани. (Карта составлена в программной среде QGIS)

Площадь водосбора реки Келани составляет 2340 км², 80% из которых приходится на расчлененную горную местность. Верховья рек бассейна р. Келани расположены на западных склонах центрального горного массива примерно в 40 км к востоку и немного к северу от Ратнапуры.

В верхнем течении р. Келани имеет несколько притоков, в частности, Кехалгаму-оя и Москали-оя, которые используются для выработки гидроэлектроэнергии. На этих притоках расположены такие крупные водохранилища, как Каслри и Нортон. В северной части верхнего водосбора – основные притоки Гуругода-Оя и Ви-Оя.

Главный водоток река Келани начинается там, где сходятся эти четыре притока. Другой главный приток, река Ситавака, впадает в главную реку Келани с левого берега ниже по течению. Река протекает через четыре округа, а именно Нуваралию, Кегалле, Коломбо и Гампаху, в то время как небольшие участки бассейна также охватывают районы Ратнапура и Калутара.

Важной особенностью река Келани, если рассматривать направление его течения, является резкое изменение уклона с крутого на пологий в Ханвелле, который расположен в 35 км вверх по течению от моря. Это изменение уклона создает во время шторма быстрый поток воды, который затем обрушивается на пологий участок ниже Ханвелла, вызывая наводнения.

Бассейн реки Келани является одним из самых влажных в стране, поэтому в низовьях часто происходят наводнения. Согласно отчету, опубликованному Министерством национальной политики и экономики и Министерством по борьбе со стихийными бедствиями, экономический ущерб округам Гампаху и Коломбо в результате наводнений в мае 2016 года, вызванных разливом реки Келани, оценивается примерно в 57,6 миллиарда малайзийских ринггитов.

В бассейне реки Келани имеется 31 мини-гидроэлектростанция [3] с общей генерирующей мощностью 56 МВт в диапазоне от 0,060 МВт до 9,928 МВт на электростанцию (рисунок 2.2).

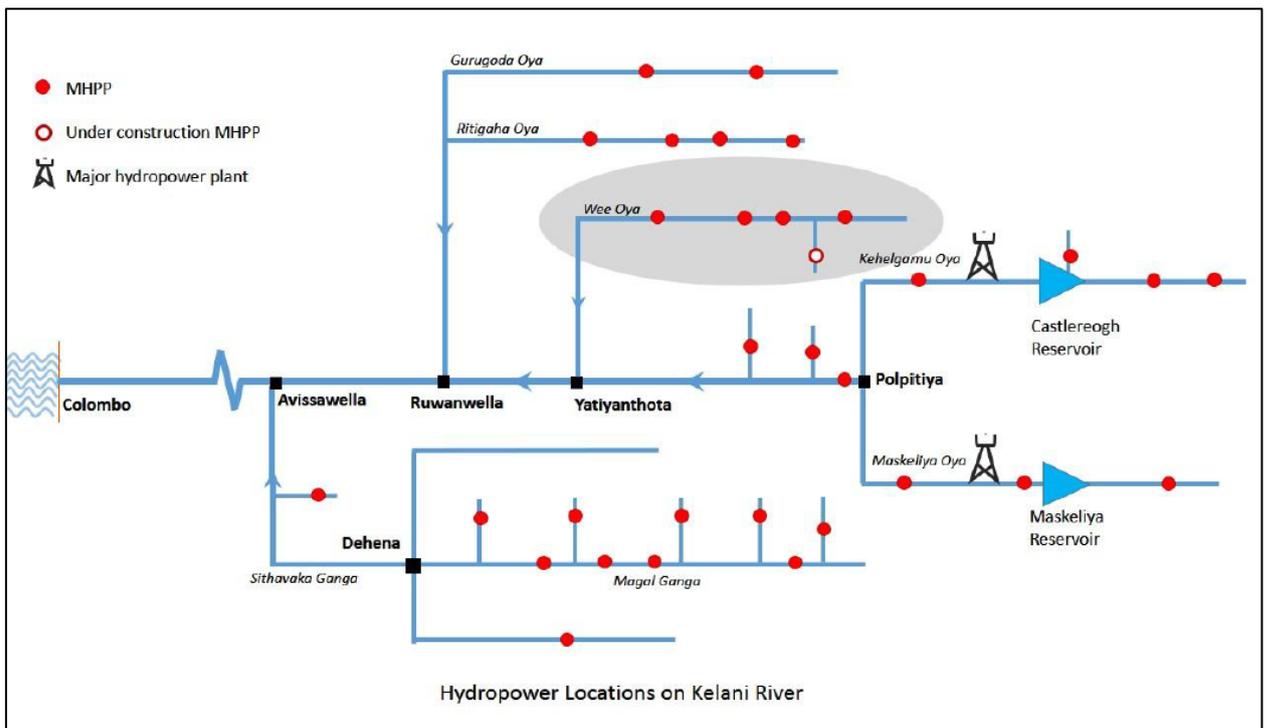


Рисунок 2.2 – Схема расположения малых гидроэлектростанций в бассейне рек Келани [3]

Реки Маскелия-Ойя и Кехельгаму-Ойя оказывают значительное влияние на водный режим реки Келани, в результате регулирования стока.

Оба притока являются неотъемлемой частью крупных гидроэлектростанций. Река Кехельгаму-Ойя питает водохранилище Каслрей, а река Маскелия-Ойя подает воду в водохранилище Мауссакелле. Эти водохранилища регулируют сток воды, влияя на сброс воды ниже по течению в реку Келани.

Несмотря на значимость рассматриваемой реки, она сильно загрязнена промышленными выбросами кожевенных и металлообрабатывающих производств, сельскохозяйственными химикатами и удобрениями, а также городскими отходами. Это сделало ее одной из самых загрязненных рек Шри-Ланки.

2.2. Климат в бассейне реки Келани

Для анализа климатических особенностей в бассейне реки Келани использовались данные по 5 метеорологическим станциям (рисунок 2.3), таблица 2.1). Данные о температуре воздуха и количестве осадков получены с открытого сайта погода и климат, а также приобретены в Метеорологическом департаменте Шри-Ланки.

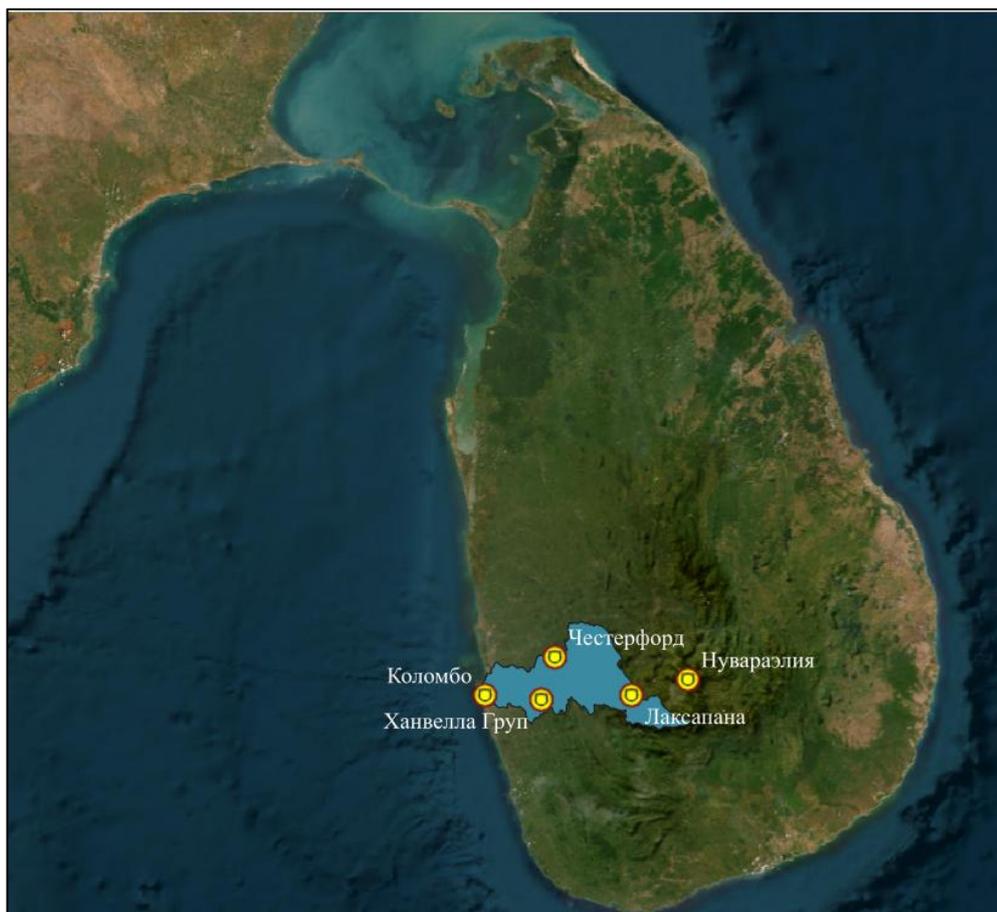


Рисунок 2.3 – Схема расположения метеорологических станций в бассейне реки Келани.

Таблица 2.1 – Сведения о метеорологических станциях в районе бассейна реки Келани

№	Название М/С	Широта град. (N)	Долгота град. (E)	Высота, м
1	Коломбо	6,93	79,86	1
2	Ханвелла групп	6,89	80,07	16
3	Честерфорд	7,07	80,18	198
4	Лаксапана	6,92	80,52	1200
5	Нувара-Элия	6,96	80,76	1868

2.2.1. Ветровой режим

Климат в бассейне реки Келани экваториальный муссонный. В зимние месяцы преобладают северо-восточные ветры, в остальное время – юго-западные. Для иллюстрации на рисунках 2.4 и 2.5 показаны месячные розы ветров по метеорологической станции Коломбо [4], на рисунке 2.6 – пример ветровой обстановки в январе 2025 года [5].

В период юго-западных муссонов (май - сентябрь) ветры преимущественно дуют с юго-запада, принося влагу с Индийского океана. Эти ветры дуют над Центральным нагорьем, вызывая обильные осадки на наветренных склонах, где в некоторых районах количество осадков может превышать 3000 мм. Роза ветров в этом сезоне отражает сильные юго-западные ветры, что указывает на направление и интенсивность этих муссонных воздействий.

Северо-восточный муссон (декабрь - март) приносит северо-восточные ветры, приносящие влагу из Бенгальского залива. В этом сезоне на северо-восточных склонах острова выпадает значительное количество осадков, в некоторых районах выпадает до 125 см осадков. Роза ветров за это время сменилась на северо-восточную, что свидетельствует о сезонных изменениях в характере ветра. В промежутках между этими основными сезонами муссонов бывают периоды между муссонами, характеризующиеся переменными ветрами и условиями, способствующими грозам и локальным осадкам. Роза ветров в эти периоды может быть менее доминирующей в каком-либо одном направлении, что отражает хаотичный характер погодных условий, на которые влияют изменения атмосферных условий.

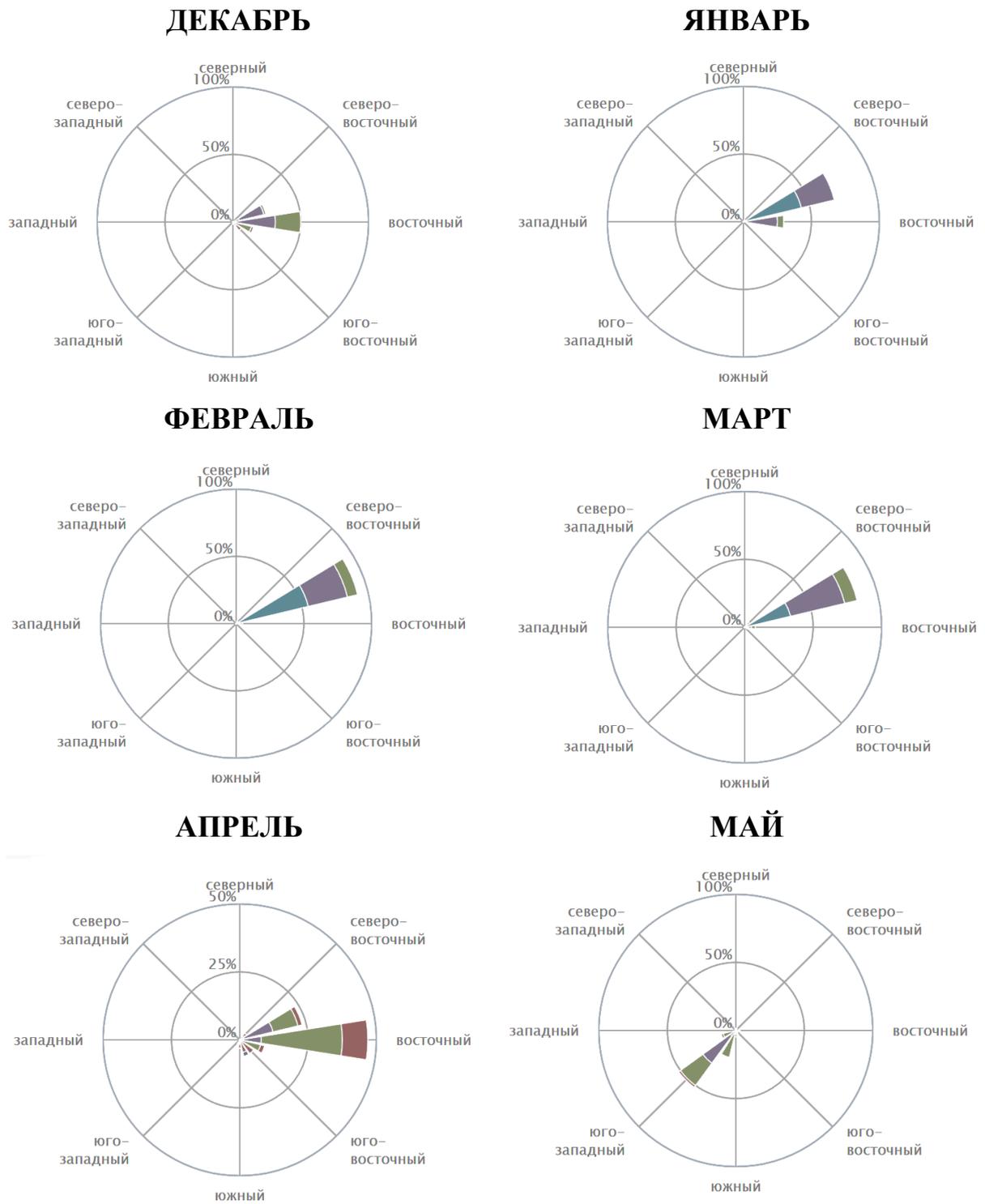


Рисунок 2.4 – Месячные розы ветров за декабрь-май по МС Колумбо[4]

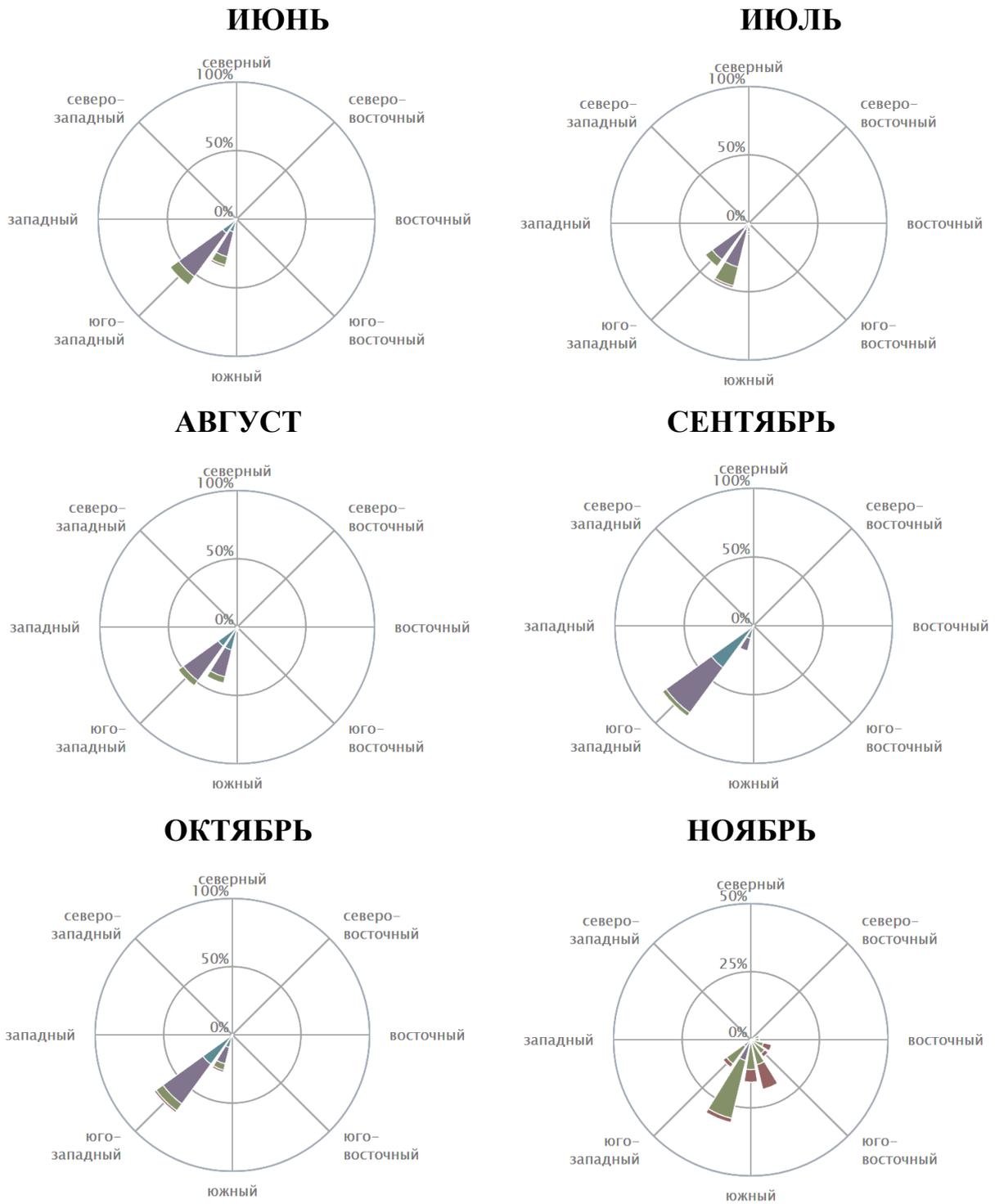


Рисунок 2.5 – Месячные розы ветров за июнь-ноябрь по МС Колумбо[4].

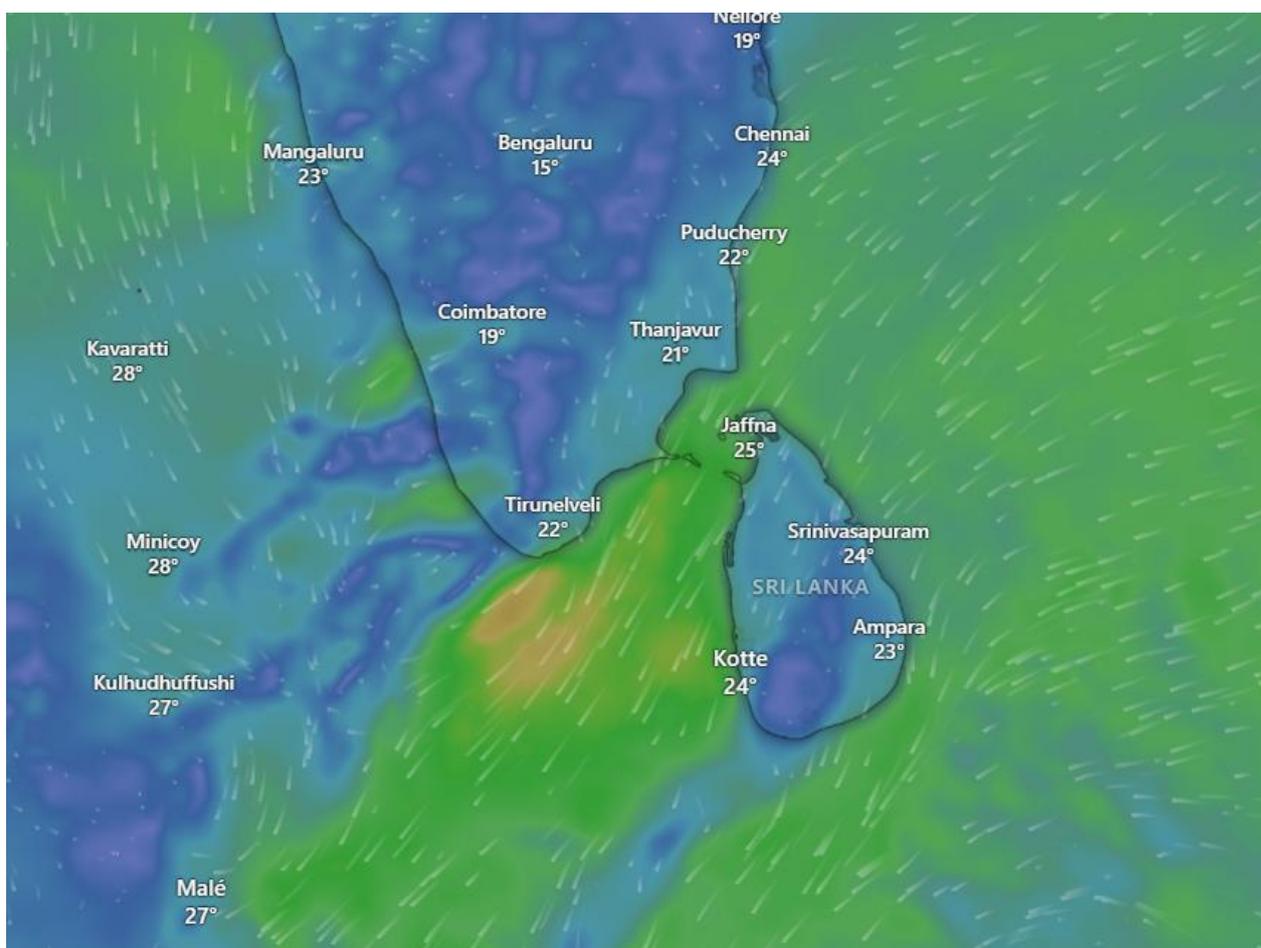


Рисунок 2.6 – Пример ветровой обстановки в январе 2025 года в районе Шри-Ланки – северо-восточный муссон[5].

Гидрологические характеристики реки Келани тесно связаны с преобладающими ветровыми режимами, особенно муссонной циркуляцией, которая регулирует режим осадков и сезонные колебания водного стока. Эти воздействия проявляются в нескольких ключевых аспектах поведения реки, включая формирование стока, наводнения, эрозию берегов и управление водными ресурсами. Ветры оказывают значительное влияние на интенсивность осадков, что напрямую сказывается на сезонных колебаниях стока в реке Келани. Направление и сила ветров влияют на распределение и частоту осадков в бассейне, создавая ярко выраженные сезонные вариации речного стока. Эти колебания важны для понимания общей гидрологической динамики реки.

Во время юго-западного муссона сильные ветры способствуют интенсивным дождям, особенно в горных районах бассейна. Это приводит к резкому повышению уровня воды в реке, что вызывает наводнения, особенно в нижнем течении реки Келани. Эти наводнения характеризуются быстрым и сильным подъемом воды, что имеет важное значение для разработки стратегий управления паводками и определения зон затопления.

Сезонные изменения осадков и интенсивности стока способствуют размыву берегов, что ведет к изменению русла реки. Высокие расходы воды в сезоны муссонов, усиленные ветровыми нагрузками, ускоряют процесс эрозии берегов, что может приводить к долгосрочным изменениям в морфологии реки и воздействовать на окружающие экосистемы. Сезонные изменения, вызванные ветровыми режимами, также влияют на доступность воды для человека. В сухие периоды водоснабжение снижается, что создает проблемы в управлении водными ресурсами, тогда как в муссонные сезоны потребность в эффективном управлении водными ресурсами возрастает, чтобы справиться с большими объемами воды.

Эти колебания подчеркивают необходимость разработки адаптивных стратегий управления водными ресурсами, которые могут реагировать на сезонные изменения доступности воды. Таким образом, климатические условия в бассейне реки Келани тесно связаны с муссонной циркуляцией, которая определяет водный баланс и гидрологическую динамику реки на протяжении всего года. Взаимодействие между ветром, осадками и стоком имеет ключевое значение для понимания долгосрочных тенденций в речном стоке, рисках наводнений и устойчивом управлении водными ресурсами региона.

2.2.2. Атмосферные осадки

В бассейне реки Келани наибольшее количество осадков наблюдается в период юго-западного муссона. Осадки выпадают двумя волнами. Первый период дождей приходится на апрель-июнь, второй на сентябрь-декабрь.

В период дождей река Келани часто выходит из берегов, что приводит к наводнениям в низменных районах. Например, в мае 2016 года сильные дожди вызвали переполнение реки и затопления близлежащих территорий.

Между сезонами дождей – непродолжительный переходный период, который обычно приходится на июль-август.

Наименьшее количество осадков выпадает в январе-марте – в период северо-восточного муссона. Северо-восточный муссон способствует поддержанию уровня воды в засушливые периоды.

Такая картина наблюдается на всех метеостанциях, расположенных в районе бассейна реки Келани (рисунок 2.7) за исключением горной станции Лаксапана, где можно выделить только два периода: сухой – с декабря по март и влажный – с апреля по ноябрь (рисунок 2.8).

Средняя интенсивность осадков в сухой сезон (январь-март) по метеостанциям колеблется от 89 до 144 мм/мес. (таблица 2.2), но в отдельные годы в этот период могут наблюдаться засухи.

В период дождей средняя интенсивность осадков повышается до 226-396 мм/мес, а на МС Лаксапана до 500 мм/мес. Наибольшая интенсивность осадков может достигать 900-1400 мм/мес. В нижнем и среднем течении реки Келани возможны наводнения. Примером такого наводнения является наводнение, произошедшее в мае 2016 года, которое привело к большому количеству жертв и разрушений [6].

Засухи в бассейне реки Келани случаются реже, чем наводнения, в первую очередь из-за большого количества осадков в регионе в течение обоих сезонов муссонов, а также из-за того, что река Келани расположена во влажной

зоне. Однако засухи все еще могут возникать, особенно в периоды, когда количество осадков ниже среднего.

На рисунках 2.9 и 2.10 предстали графики распределения сумм осадков по сезонам и средние многолетние суммы годовых осадков по метеостанциям.

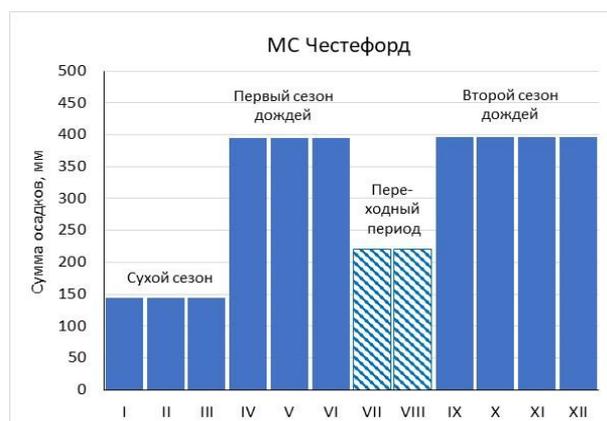
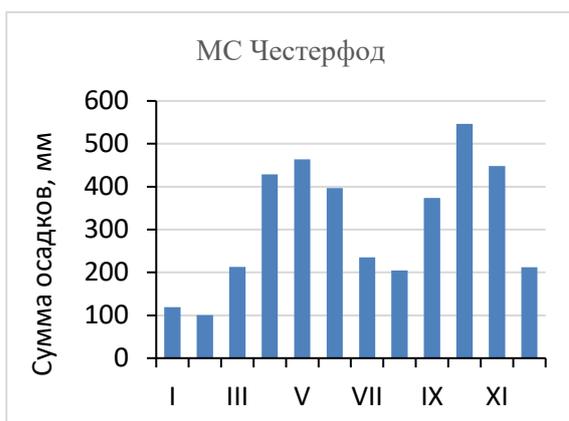
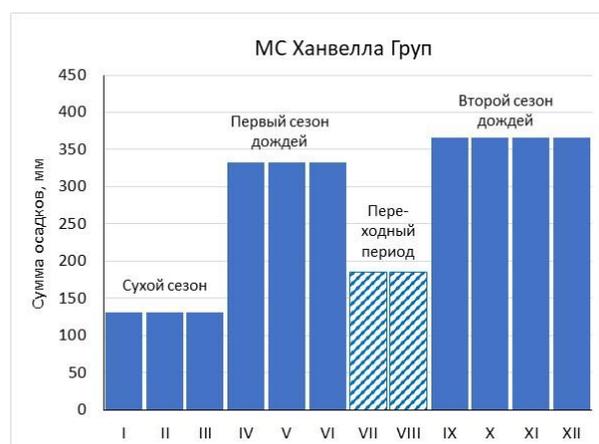
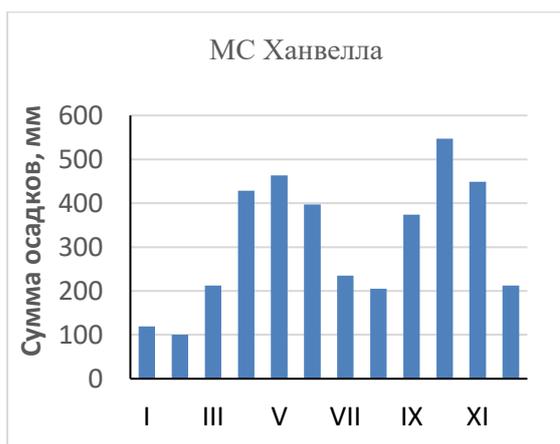
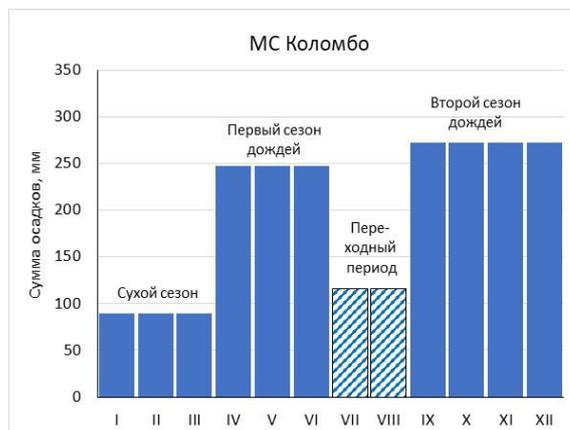
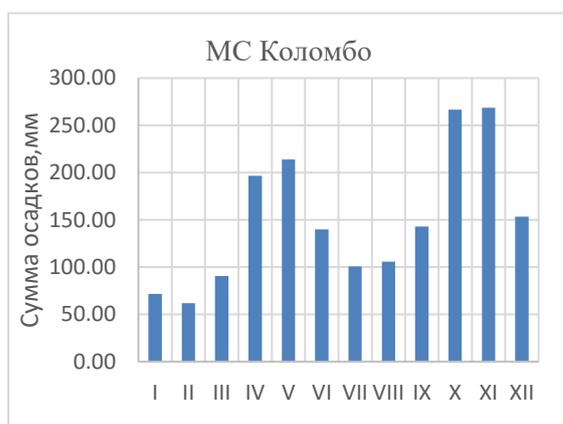


Рисунок 2.7 – Средние многолетние среднемесячные суммы осадков, осредненные по сезонам на равнинных метеостанция

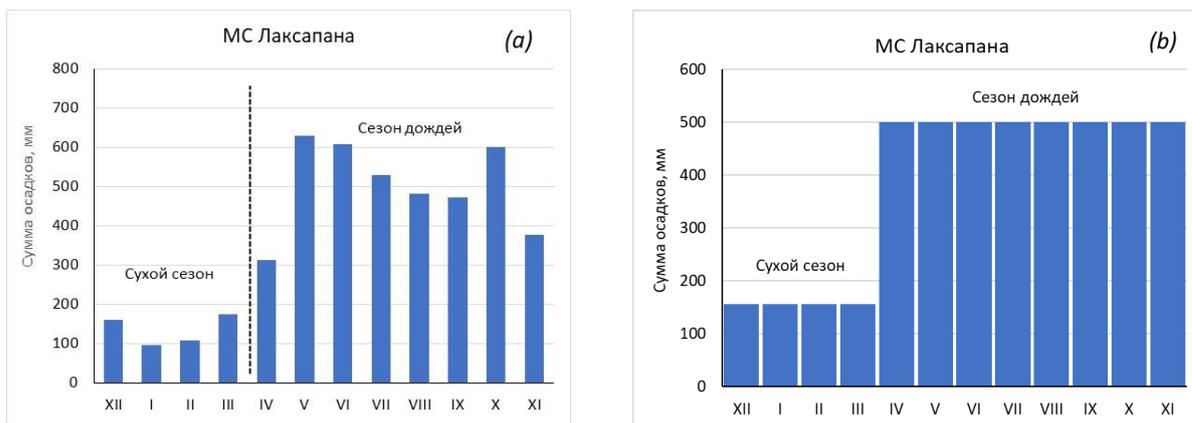


Рисунок 2.8 – Средние многолетние среднемесячные суммы осадков (а) и средние многолетние среднемесячные суммы осадков, осредненные по сезонам (б) на горной метеостанции.

Таблица 2.2 – Средняя интенсивность осадков в бассейне реки Келани по сезонам

Метеорологическая станция	Средняя интенсивность осадков, мм/мес.				Средняя годовая сумма осадков, мм
	Сухой сезон	I сезон дождей	Переходный период	II сезон дождей	
Коломбо	89	247	116	272	2310
Ханвелла Груп	131	332	185	366	3250
Честерфорд	144	394	220	396	3570
Нуvaraэлия	81	134	87	166	1565
Лаксапана	132	501	—	—	4550

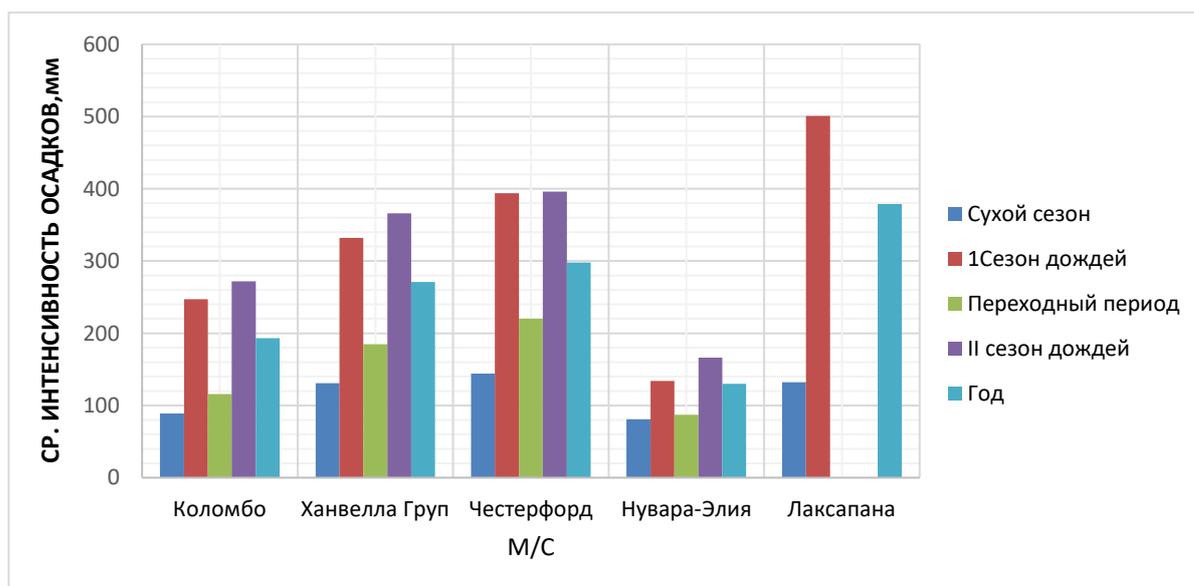


Рисунок 2.9 Средняя интенсивность осадков по сезонам



Рисунок 2.10 Средние многолетние суммы годовых осадков по станциям.

Несмотря на географическую близость в пределах Центрального нагорья Шри-Ланки, метеорологические станции Лаксапана и Нувара-Элия демонстрируют различные режимы осадков (рисунок 2.10), обусловленные различиями в высоте их расположения. Лаксапана, находящаяся во влажной зоне нагорья, получает большее количество годовых осадков благодаря орографическому подъёму воздушных масс, приносимых юго-западными муссонами. В то же время Нувара-Элия, расположенная на значительно большей высоте, характеризуется более прохладным климатом и микроклиматическими условиями, которые приводят к сравнительно меньшему, но сезонно изменчивому уровню осадков. Это различие подчеркивает ключевую роль локальных топографических факторов, таких как высота и ориентация склонов, в формировании режимов выпадения осадков в горных регионах. Сумма осадков в бассейне реки Келани меняется от 1500 до 5000 мм в год (Таблица 2.2).

2.2.3. Температура воздуха

В нашей работе мы выбрали две метеорологические станции Нувара-Элия и Коломбо для анализа температуры в бассейне реки Келани. Бассейн

реки Келани можно условно разделить на верхнюю и нижнюю части. Нувар-Элия расположена в верхней части бассейна, представляя горный регион с более прохладным климатом, тогда как Коломбо находится в нижней части бассейна, ближе к побережью, где климат более тёплый и влажный. Для анализа использовались ряды среднемесячных температур воздуха за период с 1870 по 2024 год.

Среднемесячная температура в Коломбо колеблется в пределах от 24,6°C (абсолютный минимум) до 31,9°C (абсолютный максимум), что указывает на тропический климат с небольшими сезонными изменениями (рисунок 2.11).

Наибольшие значения температуры наблюдаются в апреле – июне, достигая пика в мае. Это соответствует периоду перед началом юго-западного муссона, когда накопление тепла в атмосфере достигает максимума. Самые низкие температуры фиксируются в январе и феврале. Это соответствует периоду северо-восточного муссона, когда прохладные воздушные массы могут временно снижать температуру.

Определенное влияние на годовой ход температуры воздуха в Коломбо оказывает высокий уровень урбанизации – концентрация промышленных предприятий, большое количество транспортных средств и потребление топлива, искусственные покрытия и низкий растительный покров и. т. д.

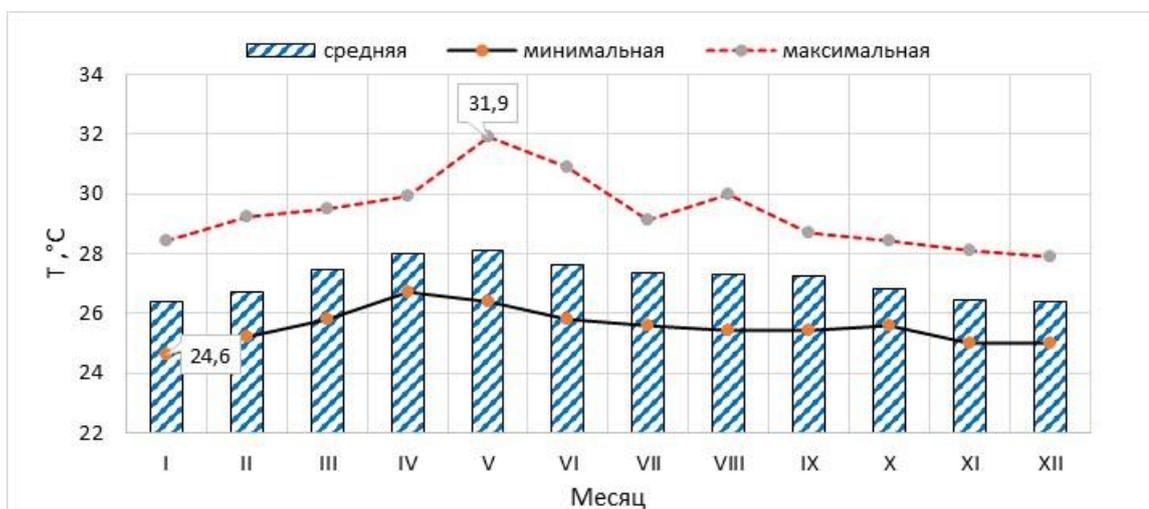


Рисунок 2.11 – Среднемесячная, максимальная и минимальная температура воздуха; МС Коломбо.

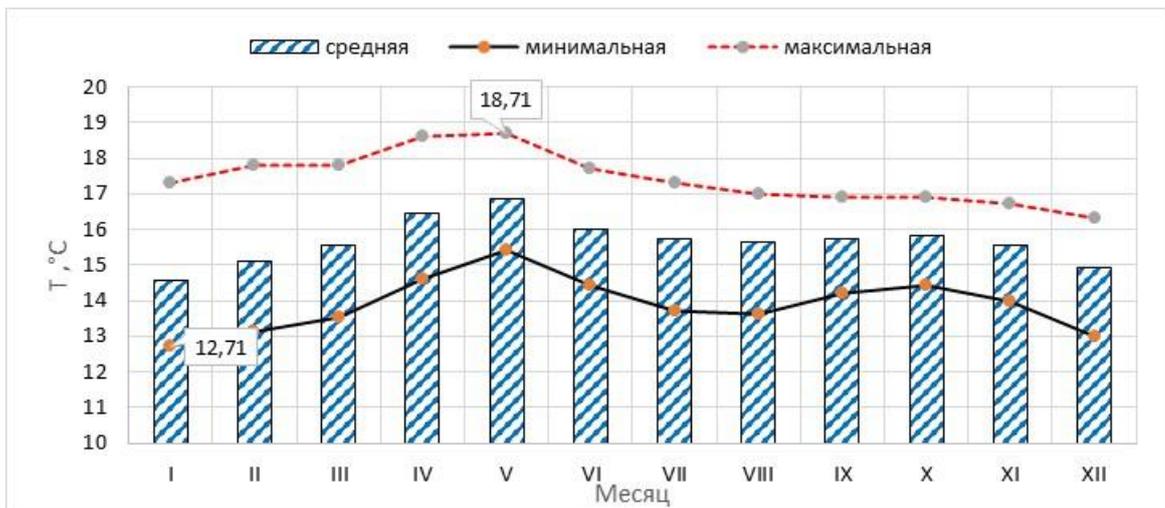


Рисунок 2.12 – Среднемесячная, максимальная и минимальная температура воздуха; МС Нувара-Элия (Горы).

МС Нувара-Элия расположена в центральном горном районе, который является более прохладным регионом по сравнению с другими регионами.

Климатические особенности: горный регион со значительно более низкими температурами. Среднегодовая температура ниже, чем в Коломбо 15–20°C. Максимальная среднемесячная температура (около 19°C) отмечается в апреле – мае. Минимальная среднемесячная температура может опускаться до 12–13°C в январе (рисунок 2.12). Расположение на высоте более 1800 м над уровнем моря приводит к более резким суточным и сезонным колебаниям температуры. Более холодные ночи и прохладные дни по сравнению с прибрежными районами.

2.2.4. Изменение климата

Изменение климата представляет серьезную угрозу для бассейна реки Келани. Ожидается, что прогнозируемое повышение температуры и изменение характера выпадения осадков могут привести к более частым экстремальным явлениям, таким как засухи и наводнения. Эти изменения могут серьезно повлиять на водные ресурсы и водохранилища, что делает эффективное управление водными ресурсами крайне важным.

Для выявления климатических изменений на территории бассейна реки Келани для всех рядов была выполнена оценка значимости линейных трендов с использованием критерия Стьюдента. Тренд принимался значимым если выполнялось условие [7,8]:

$$\frac{|a|}{\sigma_a} = \frac{|R|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} < t_{2\alpha}, \quad (2.1)$$

где a – коэффициент регрессии для зависимости $X = aT + b$; X – исследуемая климатическая характеристика; T – время (годы); σ_a – стандартная ошибка коэффициента регрессии; R – коэффициент корреляции; n – длина ряда; $t_{2\alpha}$ – стандартное значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Изменение среднегодовой температуры воздуха

На рисунке 2.13 показана долгосрочная динамика среднегодовой температуры воздуха в Коломбо за период с 1870 по 2024 год. Значительный линейный тренд указывает на устойчивое повышение средней температуры. Коэффициент детерминации подтверждает высокую степень корреляции между временем и температурой. Это означает, что доля дисперсии данных, объясняемая линейным трендом, составляет более 75%, что указывает на значительное и устойчивое изменение климата.

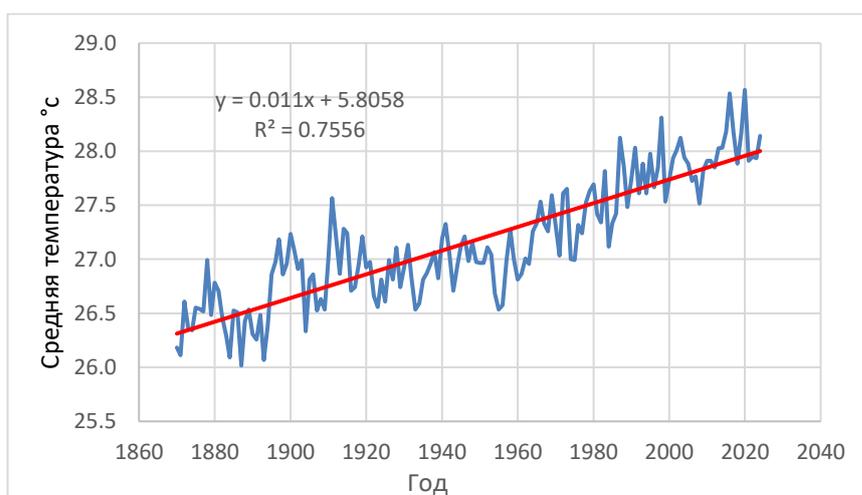


Рисунок 2.13 Многолетние ряды среднегодовых температур воздуха на метеостанции Коломбо (за период 1870-2024).

На рисунке 2.14 представлен хронологический график среднегодовой температуры воздуха по горной МС Нувара-Элия за период с 1870 по 2024 год.

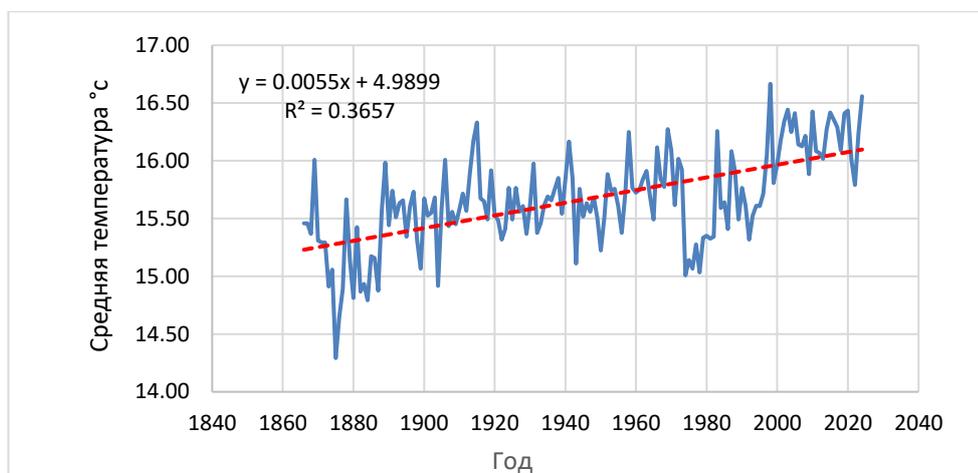


Рисунок 2.14 Многолетние ряды среднегодовых температур воздуха на метеостанции Нувараэлия (за период 1870-2024)

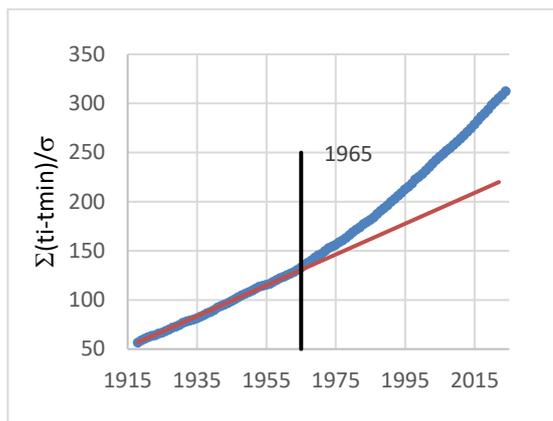
Как видно на рисунке 2.13 в конце 19 века средняя температура составляла около 26,2°C, в 21 веке она превысила 28,1°C, что указывает на значительное повышение температуры.

Проверка показала, что тренды на метеостанциях Коломбо и Нувара-Элия являются статистически значимыми.

Наблюдаемое повышение температуры может быть связано как с глобальным изменением климата, так и с местными антропогенными факторами, такими как урбанизация и изменения ландшафта.

Для выявления точек начала климатических изменений строились номированные суммарные кривые для метеостанций Коломбо и Нувара-Элия (рисунки 2.15-2.16). Как видно на рисунках на суммарных кривых для МС Коломбо можно выделить две точки перелома. Точки перелома приходятся на 1965 и 1988 годы. На станции Нувараэлия последняя точка перелома приходится на середину 90-х годов XX века.

МС Коломбо (1918-2024)



МС Коломбо (1966-2024)

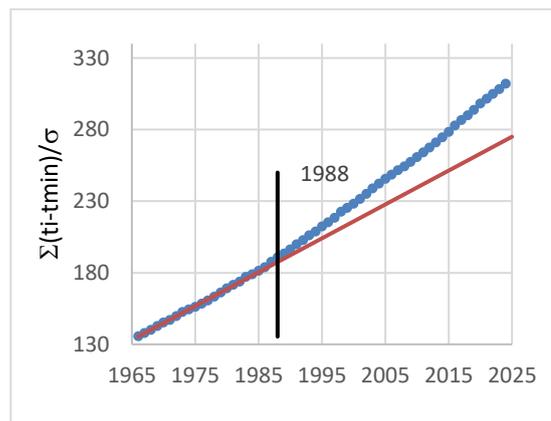


Рисунок 2.15 – Нормированные суммарные кривые среднегодовых температур воздуха МС Коломбо.

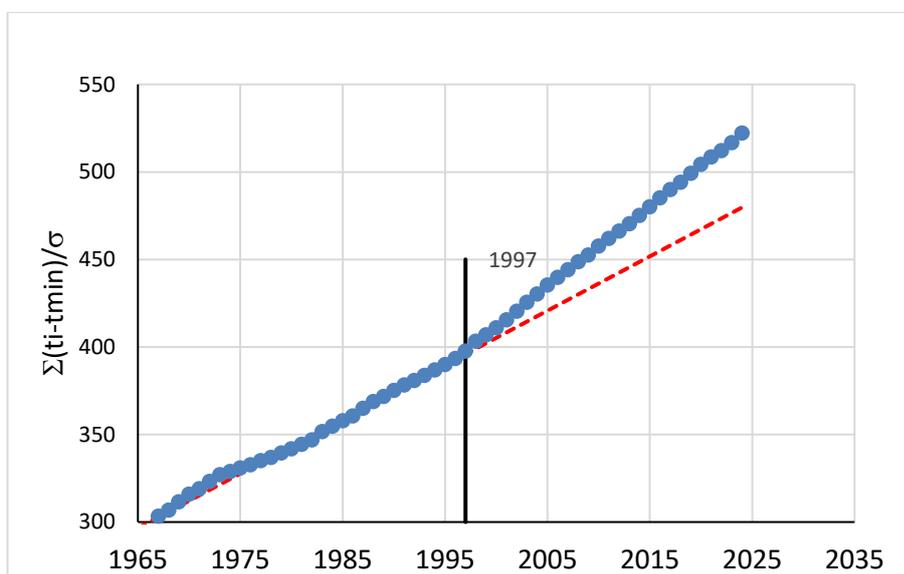


Рисунок 2.16 – Нормированная суммарная кривая среднегодовых температур воздуха МС Нувара-Элия.

На метеостанции Нувара-Элия ряд среднегодовых температур воздуха содержит значимый тренд на повышение, интенсивность тренда $0,055\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. При этом на интервале с 1866 по 2024 год можно выделить 3 климатических периода. Последние два периода являются квазистационарными (таблица 2.3, рисунок 2.17-2.18).

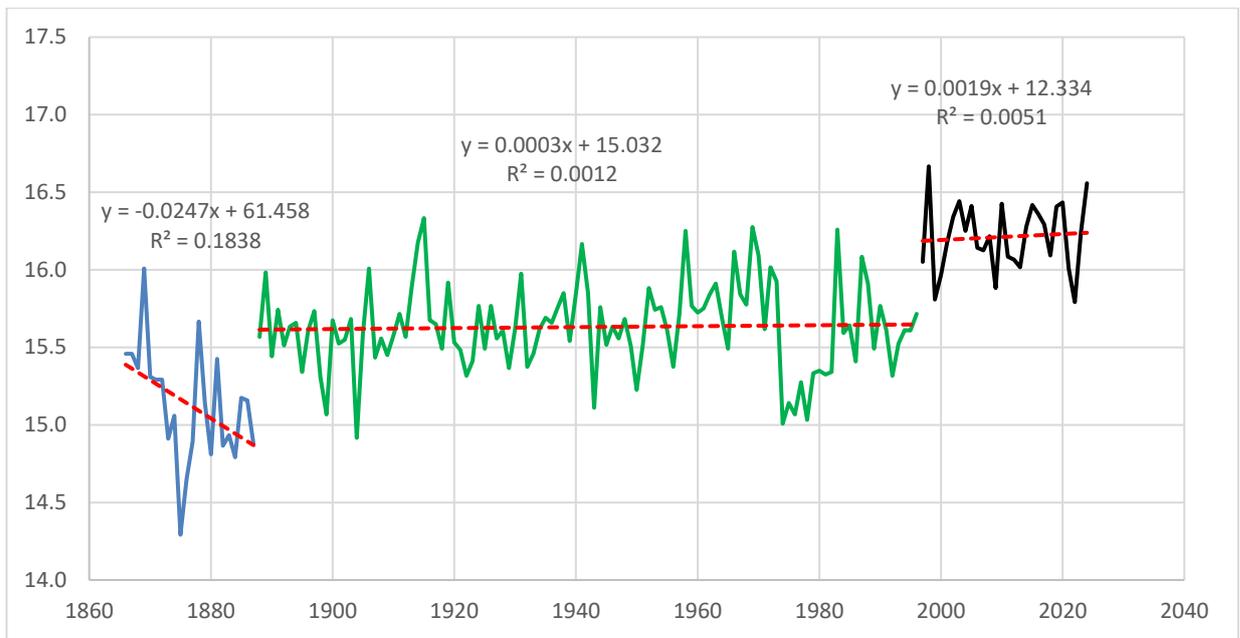


Рисунок 2.17 хронологический график среднегодовых температур воздуха, МС Нуvara-Элия

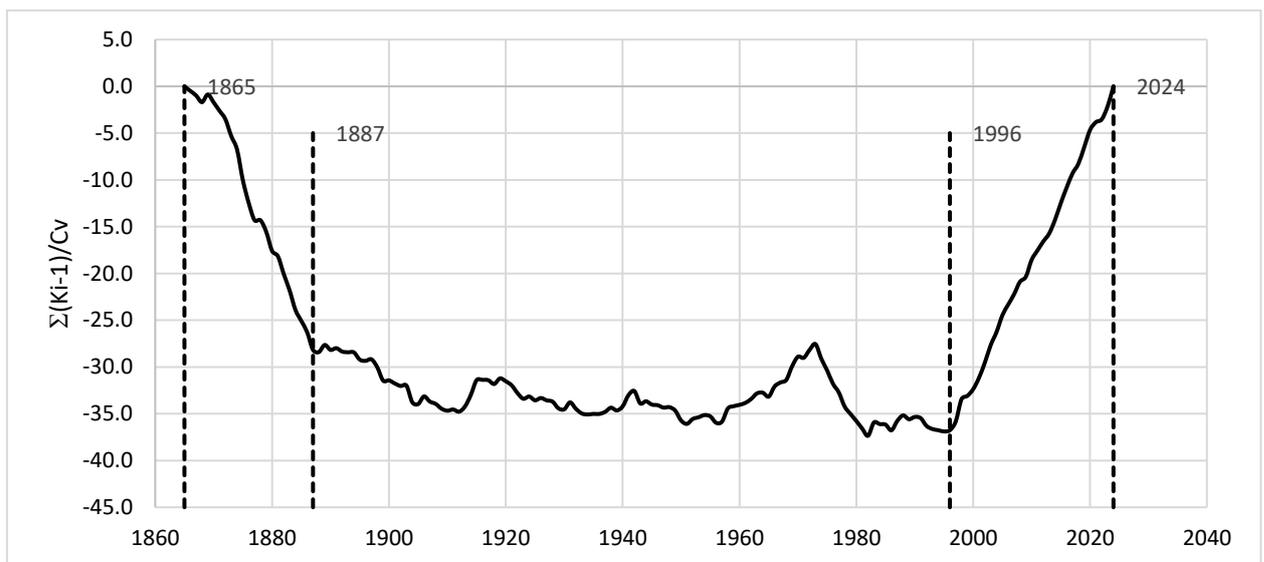


Рисунок 2.18 Разностная интегральная кривая, МС Нуvara-Элия

Период с 1866 по 1887 год содержит значимый тренд на понижение. Период с 1888 по 1996 является квазистационарным. Последний климатический период про начался в 1997 году и продолжается по настоящее время. За последние 38 лет среднегодовая температура по сравнению с предшествующим периодом повысилась 0,67 °C .

Таблица 2.3 – Оценка интенсивности трендов по периодам; МС Нувара-Элия

Период	<i>n</i>	Интенсивность тренда, °С/10 лет	Средняя температура, °С
1866-1887	22	– 0,25	15,1
1888-1996	109	<i>незначим</i>	15,6
1997-2024	28	<i>незначим</i>	16,2
1865-2024	159	+ 0,055	15,7

На метеостанции Коломбо ряд среднегодовых температур воздуха содержит значимый тренд на повышение, интенсивность тренда 0,11 °С за 10 лет. При этом на интервале с 1866 по 2024 год можно выделить 4 климатических периода (рисунки 2.19-2.20, таблица 2.4).

Период с 1869 по 1894 год содержит значимый тренд на понижение.

Второй период (с 1895 по 1964) на этой станции является квазистационарным, что отражает стабилизацию температур после этапа похолодания. Третий климатический период продолжался с 1965 по 1986 год и тоже являлся стационарным.

Последний климатический период, который начался в 1987 году содержит значимый тренд на повышение. За последние 38 лет среднегодовая температура по сравнению с предшествующим периодом повысилась 1 °С.

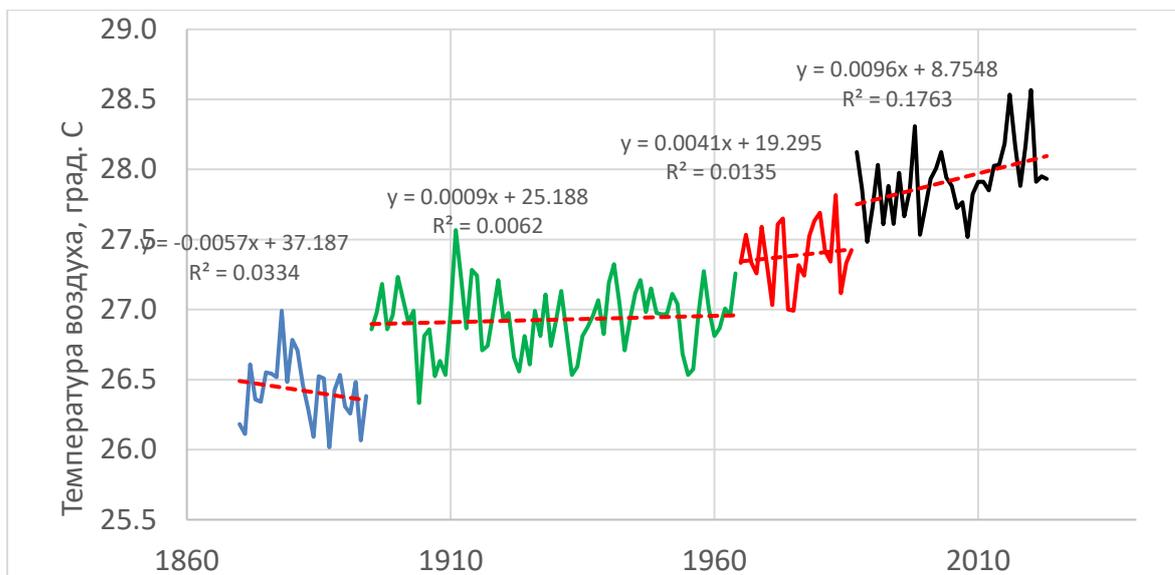


Рисунок 2.19 хронологический график среднегодовых температур воздуха, МС Коломбо.

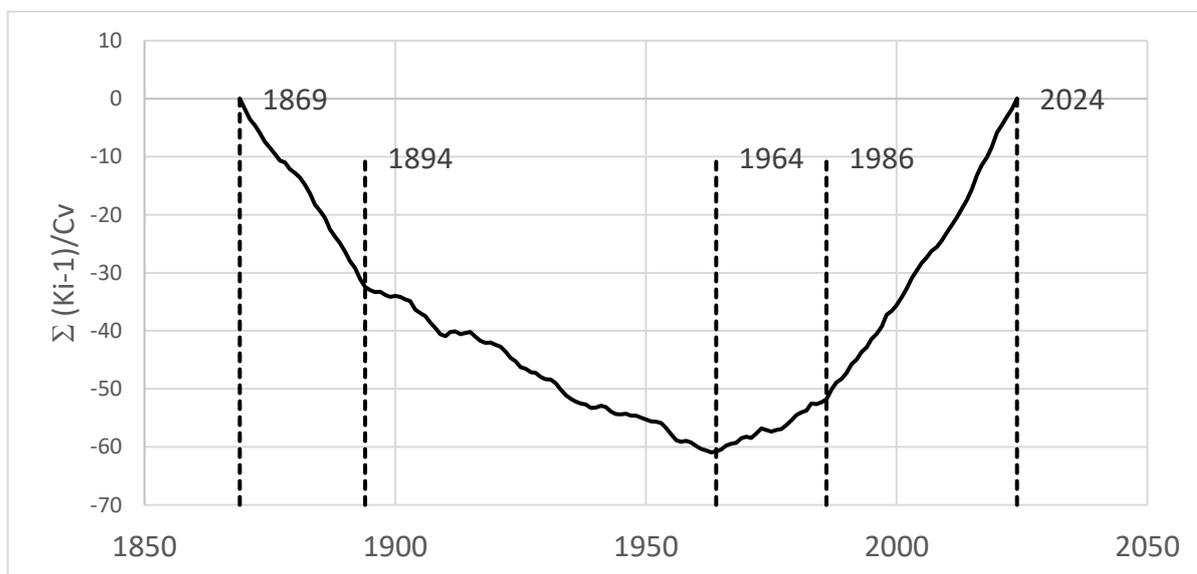


Рисунок 2.20 Разностная интегральная кривая, МС Коломбо.

Таблица 2.4 – Оценка интенсивности трендов по периодам; МС Коломбо

Период	n	Интенсивность тренда, °C/10 лет	Средняя температура, °C
1870-1894	25	незначим	26.4
1895-1964	70	незначим	26.9
1965-1986	22	незначим	27.4
1987-2024	38	+ 0,096	27.9
1870-2024	155	+ 0,11	27.2

Даже в тропическом климате температура на разных высотах по-разному реагирует на глобальные изменения. В низменных районах атмосфера нагревается быстрее, поскольку они более восприимчивы к воздействию изменений глобальной циркуляции и солнечной радиации. Если говорить об антропогенных факторах, то равнинные районы Шри-Ланки, как правило, более плотно заселены, более урбанизированы, с большим количеством транспорта, промышленности и меняющимися природными ландшафтами. Все это приводит к более раннему проявлению потепления, например, к эффекту теплового острова.

Горные районы, например, Нувара-Элия, менее урбанизированы и отличаются более стабильными природными условиями, высокой растительностью, которая может замедлить проявление температурных изменений. В горах может сохраняться более прохладный микроклимат из-за постоянного движения восходящих воздушных масс и частых осадков.

Равнинные районы, особенно прибрежные, находятся под постоянным воздействием океанских воздушных масс, которые в условиях изменения климата могут усилить тенденции к потеплению. В горах это влияние слабее, особенно при наличии густой растительности, особенно в Нувараэлии.

Изменение годовых сумм осадков

В данной работе проводится анализ осадков с использованием данных трех метеорологических станций: Честерфорд, Лаксапана и Ханвелла групп.

Эти станции охватывают различные физико-географические зоны бассейна и обеспечивают представление о распределении атмосферных осадков по вертикальному и горизонтальному профилю водосбора.

Метеостанция Лаксапана

Станция Лаксапана расположена в высокогорной части бассейна, в районе Центрального нагорья, на высоте около 1200 метров над уровнем моря. Эта область характеризуется прохладным и влажным климатом. Благодаря

влиянию юго-западного муссона и выраженному орографическому эффекту, на данной станции регистрируется один из самых высоких уровней осадков в бассейне. Осадки в верховьях играют ключевую роль в формировании стока реки Келани. Кроме того, вблизи станции расположены объекты гидроэнергетики, включая гидроэлектростанцию Лаксапана, что подчеркивает важность данной станции в управлении водными ресурсами.

Метеостанция Честерфорд

Станция Честерфорд находится на средней высоте, примерно 700–800 метров над уровнем моря, и представляет собой переходную зону между горной и равнинной частями бассейна. Климат данной зоны промежуточный – здесь наблюдаются осадки как в период юго-западного, так и северо-восточного муссонов, а также в межмуссонные периоды. Честерфорд играет важную роль в исследовании пространственной изменчивости осадков и их вклада в речной сток на среднем участке течения. Данные этой станции особенно полезны для оценки задержки стока и процессов перераспределения водных масс по профилю реки.

Метеостанция Ханвелла

Станция Ханвелла расположена в низовьях реки Келани, вблизи города Коломбо, на высоте около 20–30 метров над уровнем моря. Эта зона характеризуется типичным тропическим климатом с высокой температурой и влажностью. На Ханвеллу влияют оба муссона, а также интенсивные кратковременные ливни в межмуссонные периоды. Дождевые осадки в этом районе особенно важны для анализа риска наводнений, поскольку нижняя часть бассейна подвержена воздействию паводков, особенно в урбанизированной зоне. Таким образом, станция Ханвелла обеспечивает данные, необходимые для оценки гидрологических рисков в нижнем течении и в городе Коломбо.

При анализе климатических изменений использовались данные за период с 1990 г. по 2023 г. по метеостанциям. Ханвелла Групп, Честерфорд и

Лаксапана. Установлено, что на станциях Ханвелла Групп и Лаксапана ряды годовых сумм осадков являются стационарными (Рисунок 2.21, Рисунок 2.23).

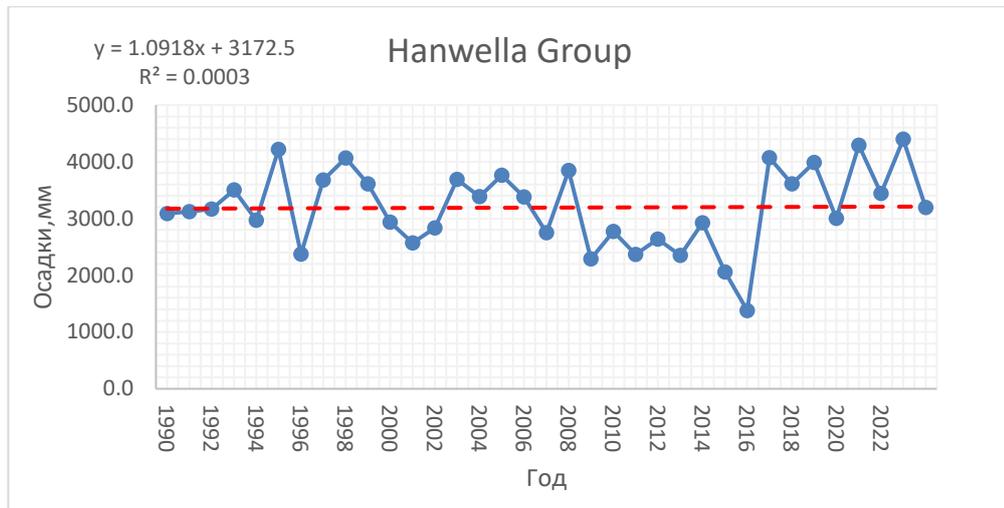


Рисунок 2.21 Хронологический график сумм осадков,МС Ханвелла Групп.

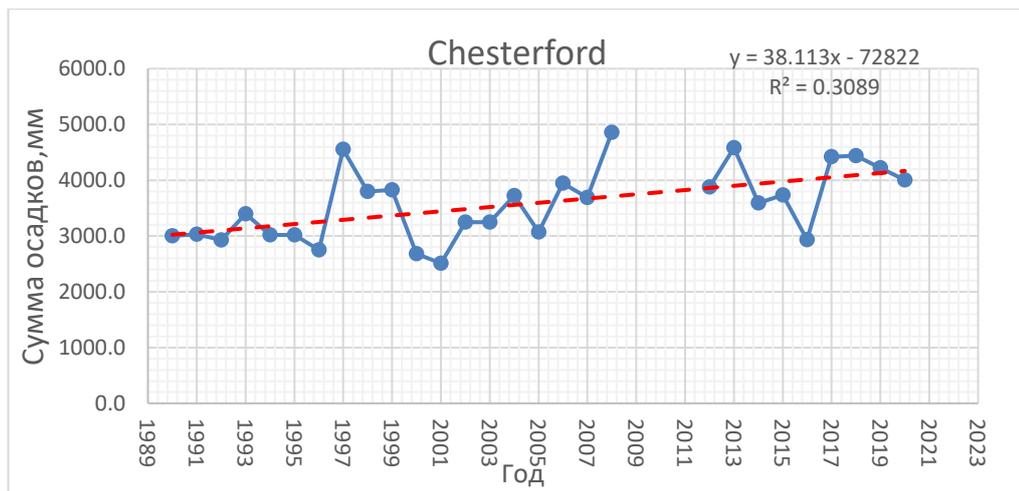


Рисунок 2.22 Хронологический график сумм осадков,МС Честерфорд.

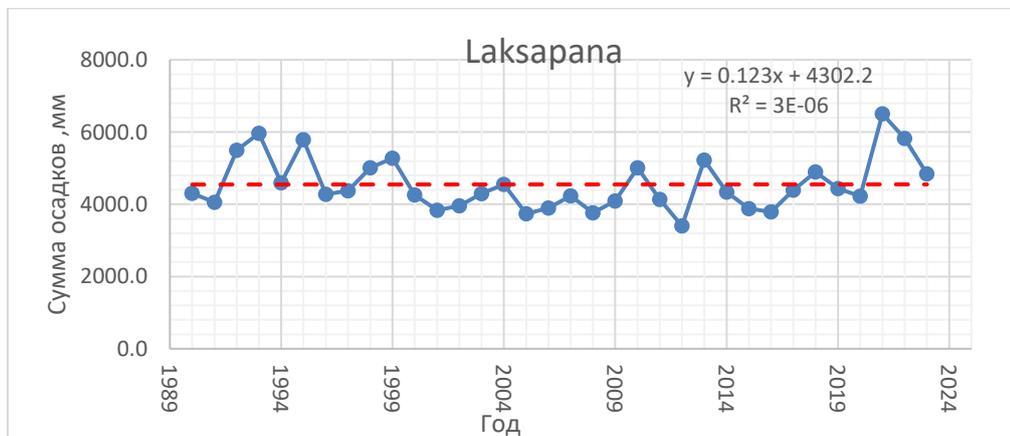


Рисунок 2.23 Хронологический график сумм осадков,МС Лаксапана.

Ряд годовых сумм осадков по МС Честерфорд содержит значимый тренд на повышение (Рисунок 2.22). Таким образом, только на одной из трёх исследуемых метеостанций (Честерфорд) наблюдается устойчивый и значимый рост осадков за анализируемый период.

Хотя метеостанции находятся на относительно небольшом расстоянии друг от друга, корреляция между годовыми суммами осадков на данных метеостанциях выражена довольно слабо (таблица 2.5), что связано с особенностями рельефа рассматриваемой территории.

Таблица 2.5 – Пространственная корреляционная матрица годовых сумм осадков для МС Честерфорд ($H = 198$ м), Ханвелла ($H = 16$ м) и Лаксапана ($H = 6,9$ м)

	<i>CHESTERFORD</i>	<i>HANWELLA GROUP</i>	<i>LAXAPANA</i>
<i>CHESTERFORD</i>	1		
<i>HANWELLA GROUP</i>	0,24	1	
<i>LAXAPANA</i>	0,04	0,46	1

3. ГОДОВОЙ СТОК И ЕГО ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НА РЕКАХ БАССЕЙНА РЕКИ КЕЛАНИ

3.1. Исходные данные

В качестве исходных данных использовались среднесуточные расходы воды по 6 гидрологическим постам, Kelani Ganga at Hanwella (Келани Ганга в Ханвелле), Kehelgamu Oya at Norwood (Кехелгаму Оя в Норвуде), Kelani Ganga at Kithulgala (Келани Ганга в Китулгале), Seethawaka Ganga at Deraniyagala (Ситавака Ганга в Деранийягале), Gurugoda Oya at Holombuwa (Гуругода Оя в Холомбуве), Kelani Ganga at Glencourse (Келани Ганга в Гленкурсе), расположенным в бассейне реки Келани (рисунок 3.1, таблица 3.1). Эти станции предоставляют необходимые данные для прогнозирования наводнений, управления водными ресурсами, оценки риска наводнений, качества воды и состояния окружающей среды в бассейне реки Келани, которая является основным источником водоснабжения столицы Шри-Ланки и прилегающих регионов (рисунок 3.2).

Данные были предоставлены Департаментом ирригации республики Шри-Ланка за период с 1993 по 2023 г. Мы использовали среднесуточные данные, и после обработки получили средние месячные данные, а также максимальные и минимальные значения. Эти ряды данных были использованы для анализа.

Таблица 3.1 – Сведения о гидрологических постах в бассейне реки Келани

№	Река – пост	Площадь водосбора, км ²	Широта (N)	Долгота (E)
1	Кехельгаму Ойя в Норвуде	97	6°50'22"	80°36'42"
2	Ситавака Ганга в Дераниягале	183	6°55'28"	80°20'16"
3	Гуругода Ойя в Холомбуве	155	7°11'07"	80°15'53"
4	Келани Ганга в Китулгале	383	6°59'26"	80°24'44"
5	Келани Ганга на Гленкурсе	1463	6°58'28"	80°10'58"
6	Келани Ганга в Ханвелле	1782	6°54'34"	80°04'46"

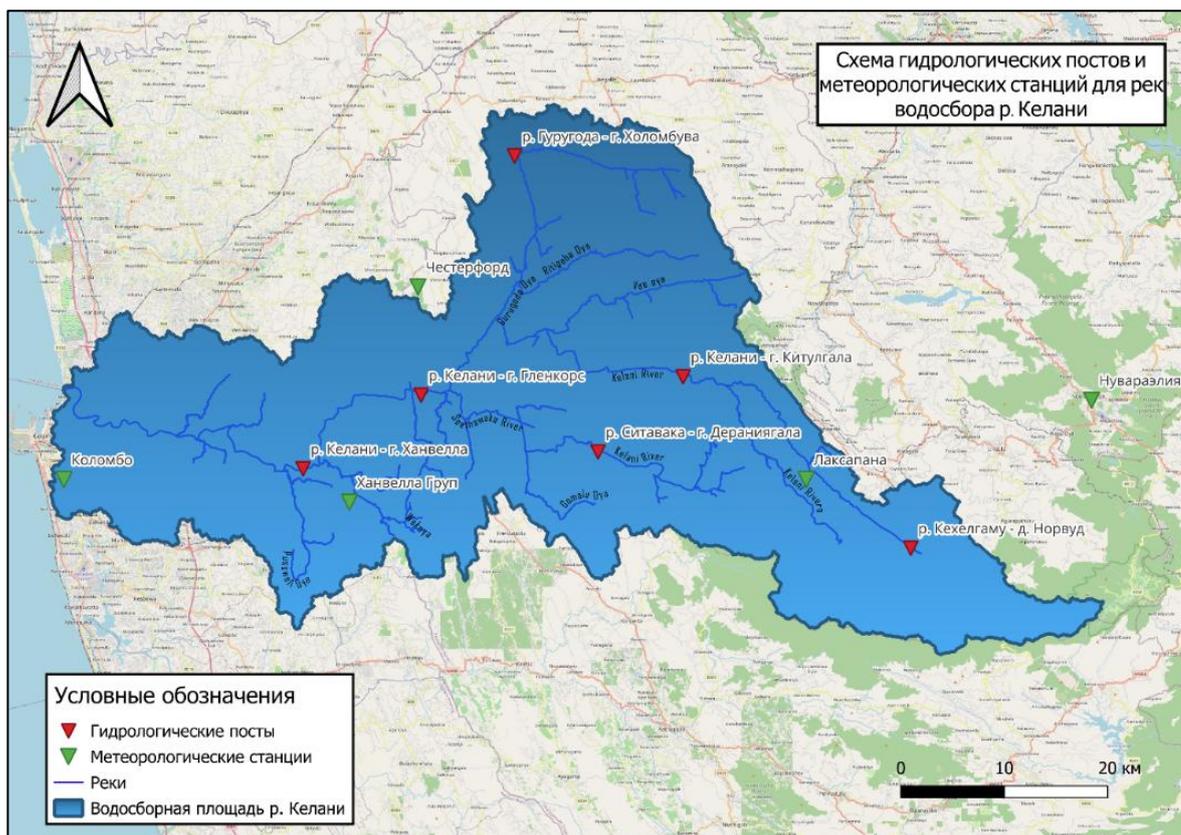


Рисунок 3.1 – Схема расположения метеорологических станций и гидрологических постов в бассейне реки Келани. . (Карта составлена в программной среде QGIS)

На основе полученных данных были сформированы таблицы среднемесячных расходов воды, ряды среднегодовых и максимальных расходов воды, которые использовались в дальнейших расчетах.

3.2. Особенности водного режима рек бассейна р. Келани

Верховья реки расположены на западных склонах Центрального горного массива. Впадает река Келани в Индийский океан у города Коломбо. Площадь водосбора реки Келани составляет 2340 км², 80% из которых приходится на расчлененную горную местность.

В верховьях в реку Келани впадает река Кехельгаму Ойя. Наиболее крупные притоки в нижнем течении – Ве-Оя, Гуругода-Оя и Ситавака-Ганга. Река Келани в Шри-Ланке имеет несколько водохранилищ, плотин и гидроэлектростанций, расположенных в основном на двух ее основных притоках - Кехельгаму-Ойя и Маскелия-Ойя. Эти объекты инфраструктуры

являются частью гидроэнергетического комплекса Лакшапаны, который вносит значительный вклад в производство электроэнергии в стране.

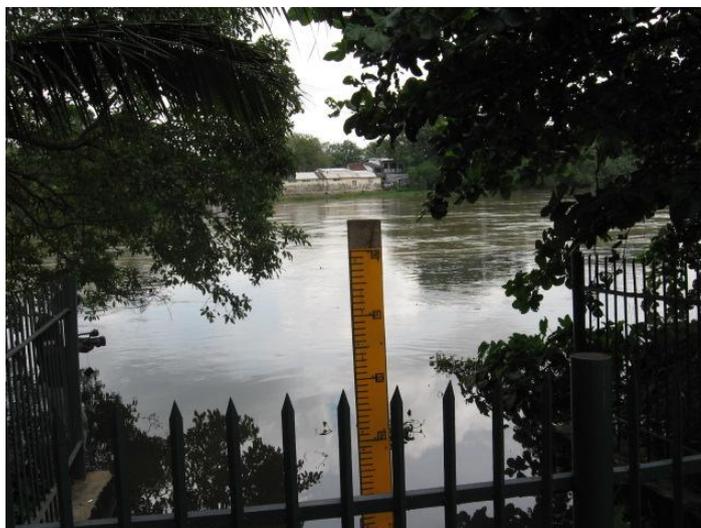


Рисунок 3.2 – Вид на реку Келани на гидрологической станции Нагалагам; фото П. П. Г. Диас [16].

Ниже представлено описание водного режима реки Келани и ее основных притоков.

3.2.1. Река Келани в Ханвелле

Гидростанция р. Келани-п.Ханвелла, ключевая равнинная станция гидрологического мониторинга, расположенная на реке Келани в Шри-Ланке. Она расположена недалеко от моста Ханвелла на дороге Ханвелла-Урапола, примерно в 35 километрах вверх по течению от места впадения реки в море (Коломбо). Гидрологическая станция Ханвелла собирает данные о ежедневных расходах воды, что имеет решающее значение для анализа стока и контроля наводнений в реке Келани ниже по течению.

В 1930-1960 годах на реке Келани было построено 18 систем защиты от наводнений (для защиты сельскохозяйственных угодий) в дополнение к основной системе, управляемой департаментом ирригации ниже по течению Ханвеллы [16].

Хронологические графики являются важным инструментом для анализа динамики природных и антропогенных процессов. В данном случае мы анализируем временной ряд данных, отражающий изменение стока воды в реке (Q , m^3/c) за 31-летний период (рисунок 3.3). Целью работы является выявление основных тенденций и их статистическая оценка. Соответственно, на этом графике для речного стока на гидрологической станции Ханвелла мы видим значительные колебания без ярко выраженного тренда – тренд незначим при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

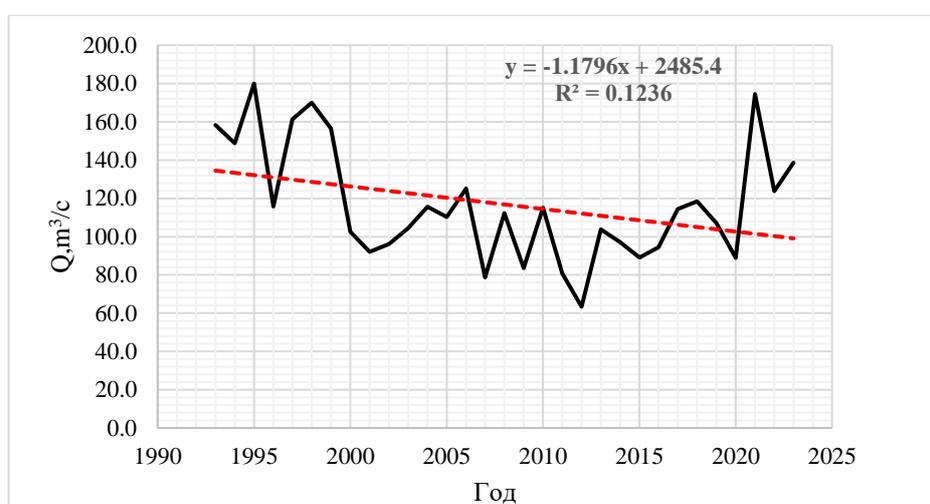


Рисунок 3.3 – Хронологический график многолетних среднегодовых расходов воды на гидрологической станции р. Келани –п. Ханвелла.

Учитывая гидрометеорологические особенности региона, важно выявлять и анализировать факторы, влияющие на формирование стока в бассейне реки Келани. Одним из ключевых климатических факторов, определяющих водный режим реки, является юго-западный муссон, оказывающий наибольшее влияние на объёмы стока в течение года. Исследование таких взаимосвязей позволяет более точно оценивать водный баланс и прогнозировать гидрологические риски в пределах бассейна.

Установлено, что в бассейне реки Келани прослеживается тесная связь между речным стоком и осадками. В частности, для реки Келани – п. Ханвелла выявлена хорошая связь между среднегодовыми расходами воды и суммами

годовых осадков по МС Ханвелла и Лаксапана. Коэффициент множественной корреляции $R = 0,80$ (рисунок 3.4). Параметры уравнения линейной регрессии представлены в таблице 3.2.

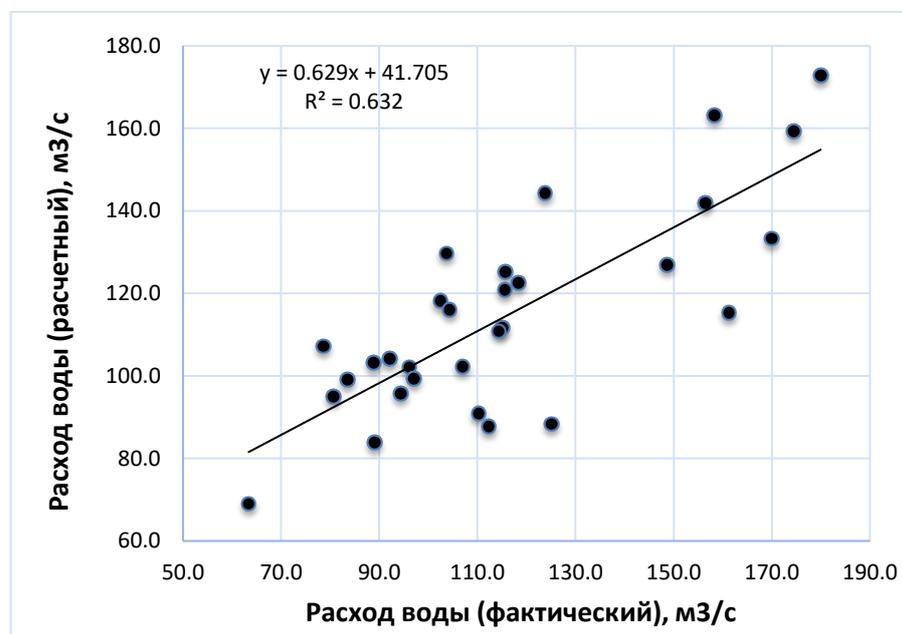


Рисунок 3.4 – Зависимость между фактическими и расчётными расходами воды, полученными по уравнению множественной регрессии ($Y = 0,031X_1 - 0,018X_2 + 7,61$).

Таблица 3.2 – Параметры уравнения регрессии для зависимости среднегодовых расходов р. Келани – п. Ханвелла от годовых сумм осадков по двум МС

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика
Y-пересечение	7,61	24,3	0,31
Hanwella	0,031	0,0047	6,64
Laksapana	-0,018	0,006808	-2,65

На гидрологической станции Ханвелла можно выделить два периода дождей: с апреля по июль и с сентября по декабрь. В первый период дождей максимум среднемесячных расходов воды обычно наблюдается в мае и в среднем составляет $174 \text{ м}^3/\text{с}$.

Во второй период дождей максимум в среднем приходится на октябрь и составляет в среднем $226 \text{ м}^3/\text{с}$ (рисунок 3.5). При этом абсолютный среднемесячный максимум наблюдался в первый период дождей и составил $529 \text{ м}^3/\text{с}$, а абсолютный среднесуточный максимум наблюдался 16 мая 2016

года и составил 1604 м³/с. В маловодные годы сток в первый период дождей обычно ниже, чем во второй период.

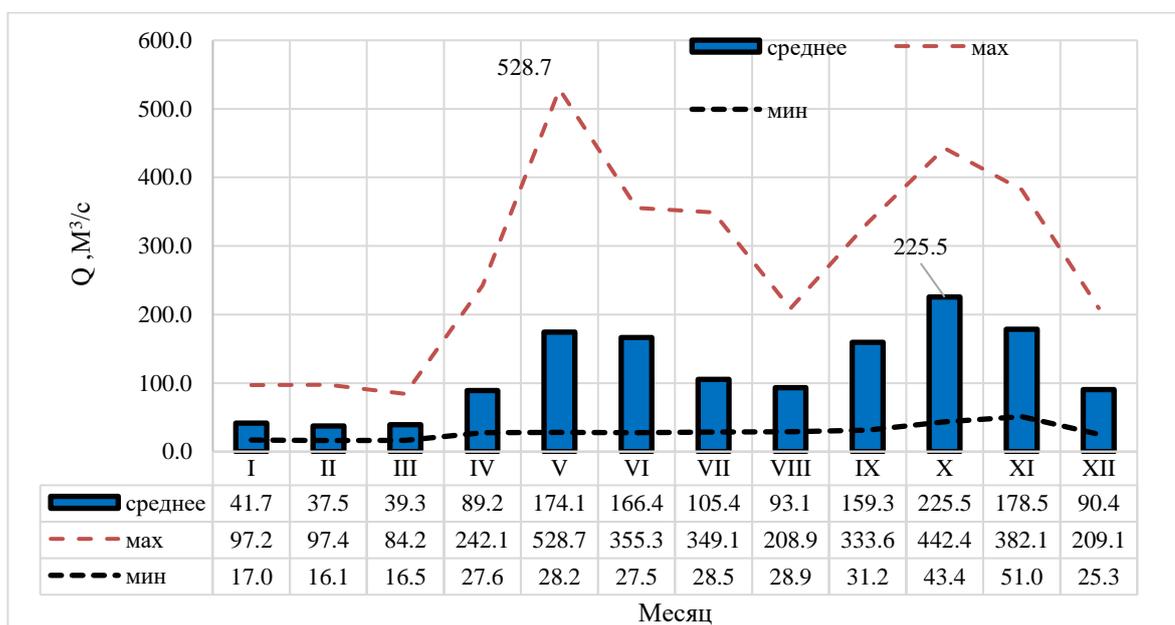


Рисунок 3.5 – Среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды реки Келани – п. Ханвелла.

Наиболее низкий сток наблюдается в период с января по март. Абсолютный среднемесячный минимум наблюдался в феврале и составил 16,1 м³/с, а абсолютный среднесуточный минимум наблюдался 13.01.2012 и составил 12 м³/с (рисунок 3.5).

На рисунках 3.6-3.8 представлены гидрографы реки Келани на станции Ханвелла за три характерных года.

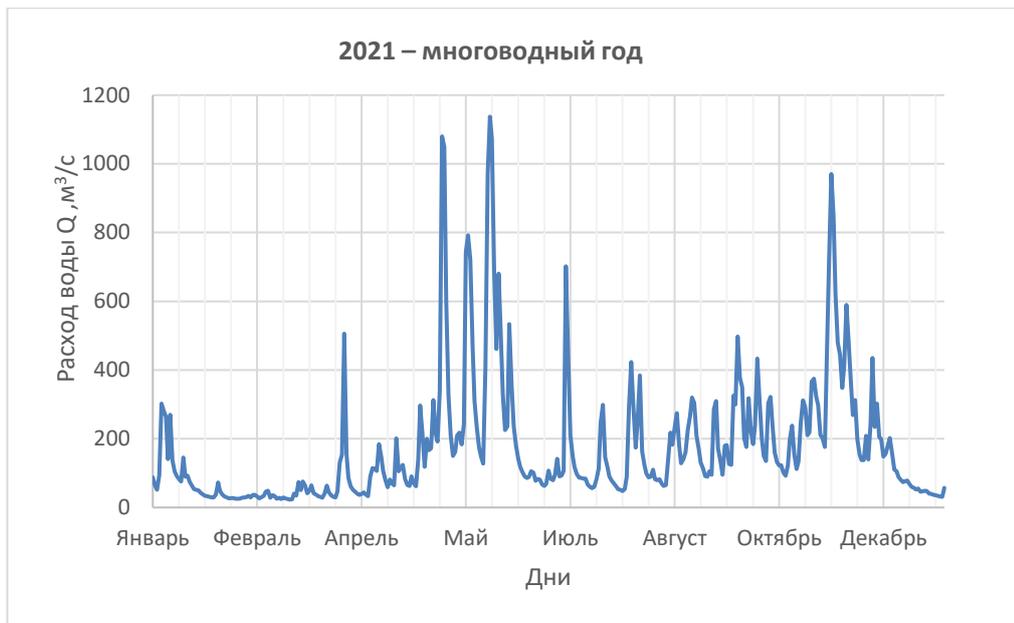


Рисунок 3.6 – Гидрограф р. Келани – п. Ханвелла за многоводный год.



Рисунок 3.7 – Гидрограф р. Келани – п. Ханвелла за средний по водности год.

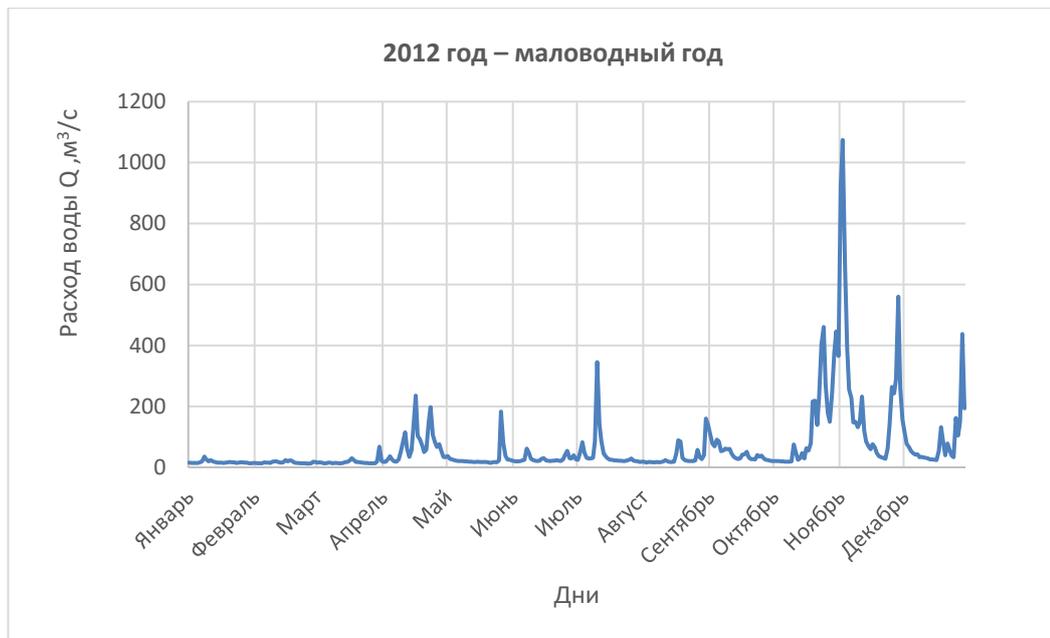


Рисунок 3.8 – Гидрограф р. Келани – п. Ханвелла за маловодный год.

Для ряда среднегодовых расходов воды была выполнена проверка на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента с учетом автокорреляции [10]. Гипотеза об однородности ряда по критериям Фишера и Стьюдента не опровергается при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Для ряда среднегодовых расходов воды были рассчитаны основные статистические характеристики и их погрешности. Расчет выполнялся методом моментов. Относительные ошибки среднего и коэффициента вариации не превышают 10-15% – расчет можно считать надежным.

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей (рисунок 3.9). В качестве аналитической кривой использовалась кривая Пирсона III типа. Как видно на рисунке, аналитическая кривая хорошо соответствует эмпирическим точкам. Ординаты аналитической кривой приводятся в таблице 3.3.

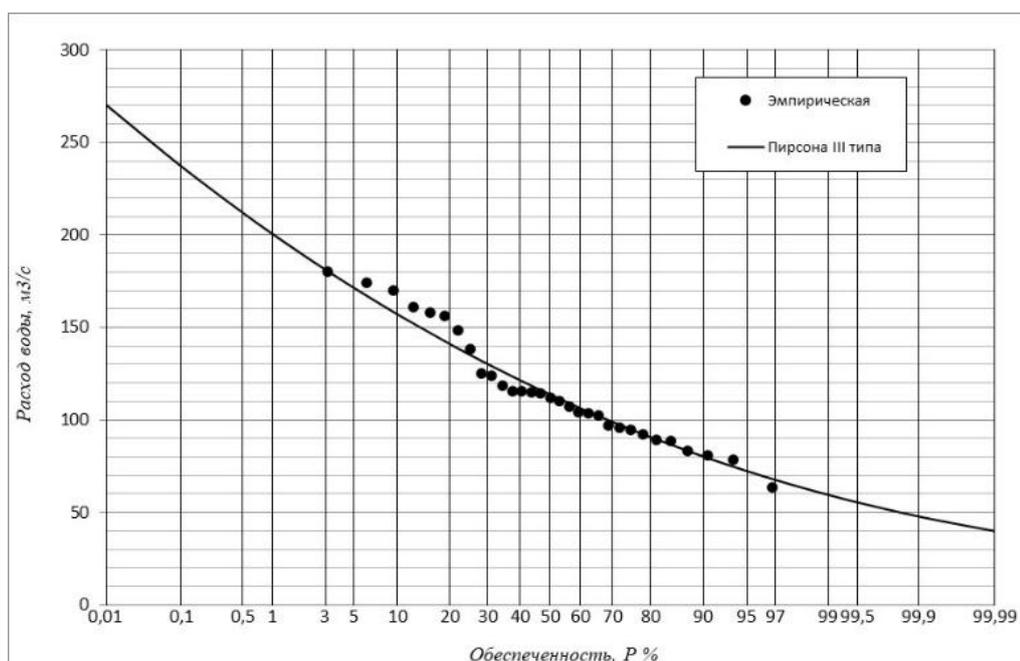


Рисунок 3.9 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Келани – п. Ханвелла 1993-2023 ($Q_{ср} = 117 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0,26$; $C_s = 0,60$).

Таблица 3.3 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Келани – п. Ханвелла

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
$\text{м}^3/\text{с}$	237	200	171	157	135	114	95,0	80,3	72,5	59,7	47,9
$\text{л}/\text{с км}^2$	133	112	96,2	88,2	75,9	63,8	53,3	45,1	40,7	33,5	26,9

3.2.2. Река Келани на Гленкорсе

Гидрологическая станция Гленкорс расположена в нижнем течении бассейна реки Келани, во влажной зоне Шри-Ланки. Район ниже Гленкурса представляет собой пойму реки, что делает его важной точкой для мониторинга рисков наводнений и речного стока до того, как река впадет в сильно урбанизированный регион Коломбо.

Ряд среднегодовых расходов воды по гидрологической станции р. Келани – п. Гленкорс содержит значимый тренд на повышение (Рисунок 3.10). Согласно результатам анализа, из всех рассматриваемых станций только указанная имеет статистически значимый возрастающий тренд среднегодового расхода.

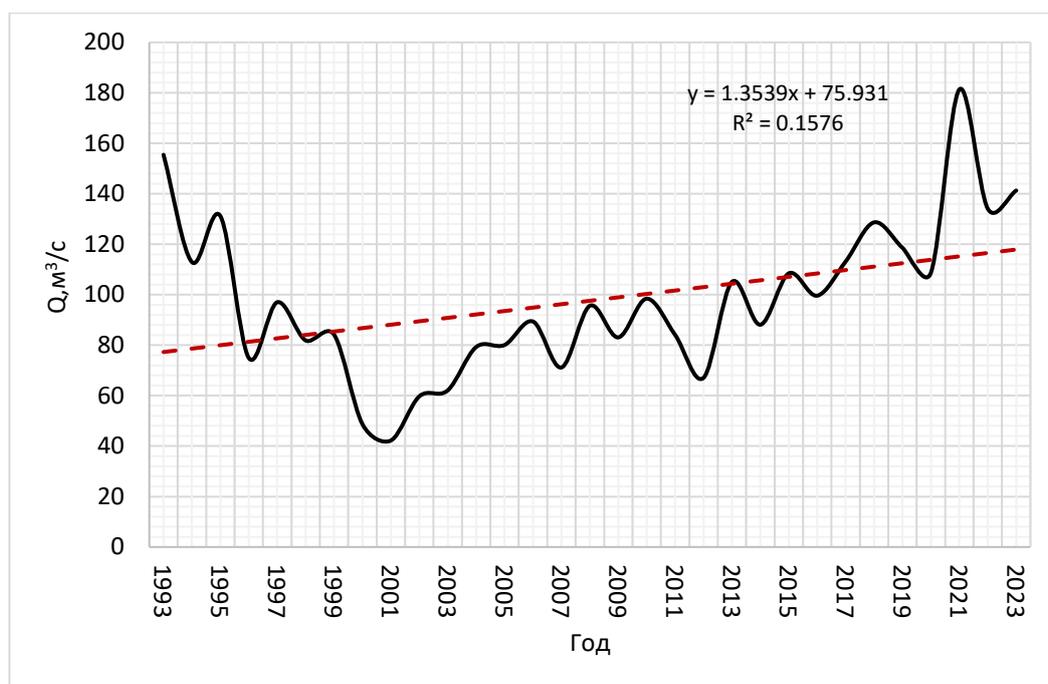


Рисунок 3.10. Хронологический график среднегодовых расходов воды на г.станции р. Келани – п. Гленкорс.

На гидрологической станции Гленкорс можно выделить два периода дождей: с апреля по июль и с сентября по декабрь. В первый период дождей максимум среднемесячных расходов воды обычно наблюдается в мае и в среднем составляет $140 \text{ м}^3/\text{с}$.

Во второй период дождей максимум в среднем приходится на октябрь и составляет в среднем $167 \text{ м}^3/\text{с}$ (рисунок 3.11). При этом абсолютный среднемесячный максимум наблюдался в первый период дождей и составил $466 \text{ м}^3/\text{с}$, а абсолютный среднесуточный максимум наблюдался 28 апреля 2020 года и составил $3104 \text{ м}^3/\text{с}$. В маловодные годы сток в первый период дождей обычно ниже, чем во второй период.

Наиболее низкий сток наблюдается в период с января по март. Абсолютный среднемесячный минимум наблюдался в марте и составил $3,3 \text{ м}^3/\text{с}$, а абсолютный среднесуточный минимум наблюдался 01.03.1998 и составил $12 \text{ м}^3/\text{с}$ (рисунок 3.11).

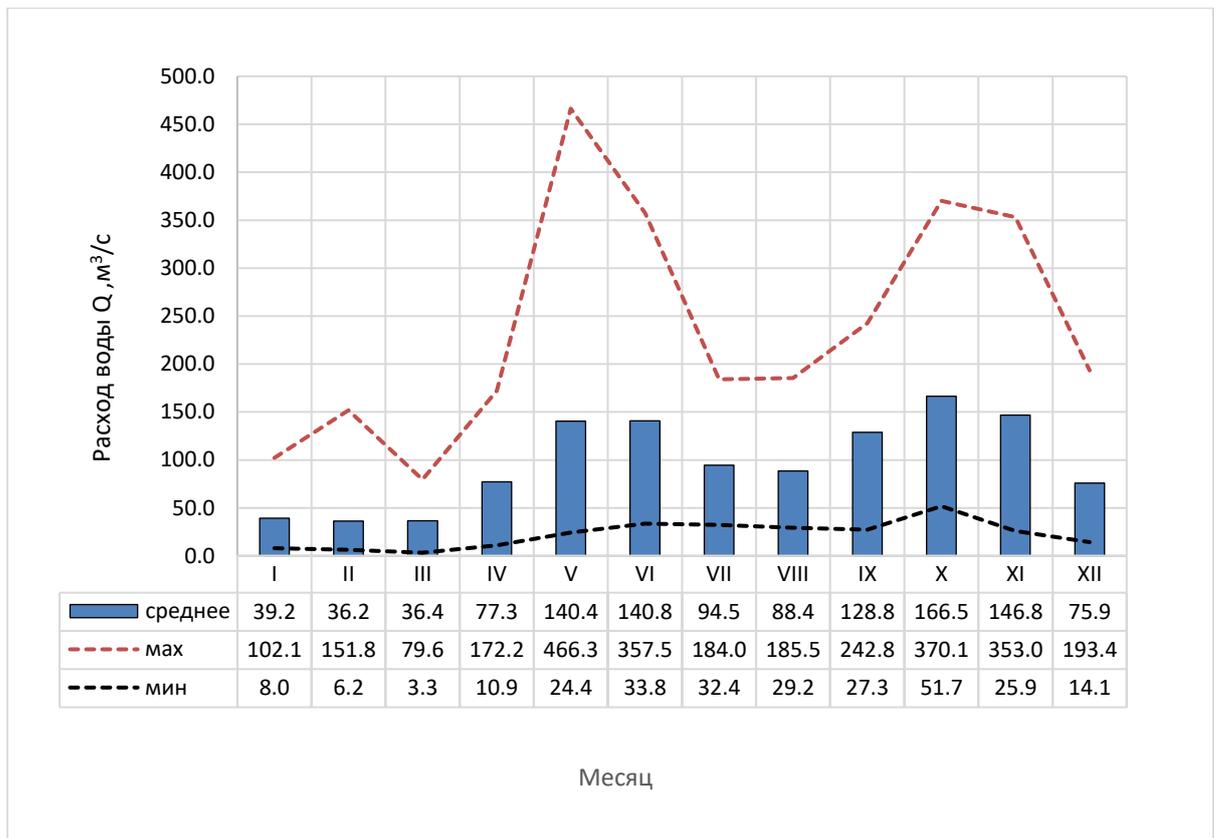


Рисунок 3.11 – Среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды реки Келани – п. Гленкорс.

На рисунках 3.12 - 3.14 представлены гидрографы реки Келани на станции Гленкорс за три характерных года.

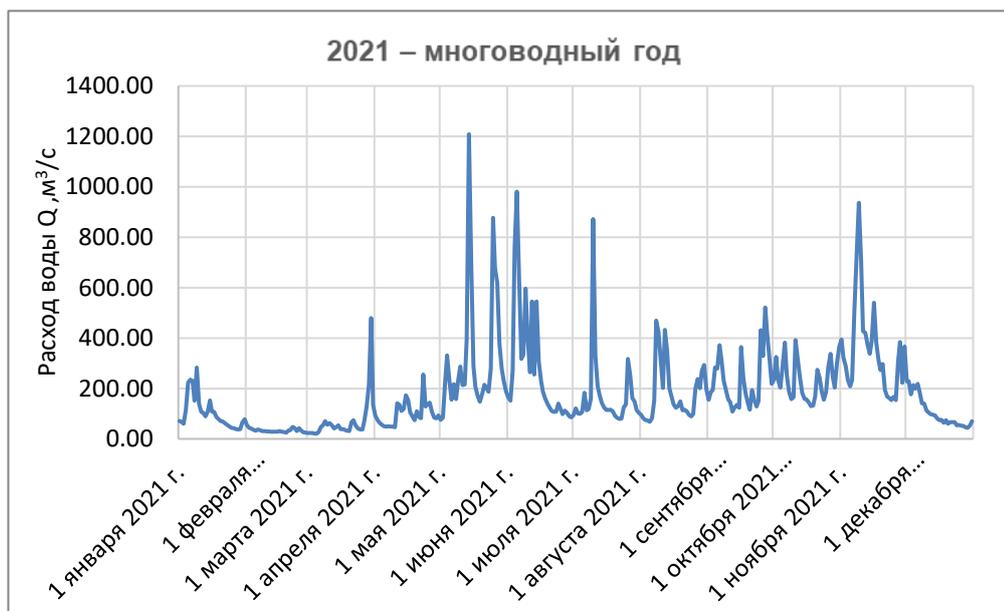


Рисунок 3.12 – Гидрограф р. Келани – п. Гленкорс за многоводный год.



Рисунок 3.13 – Гидрограф р. Келани – п. Гленкорс за средний по водности год.

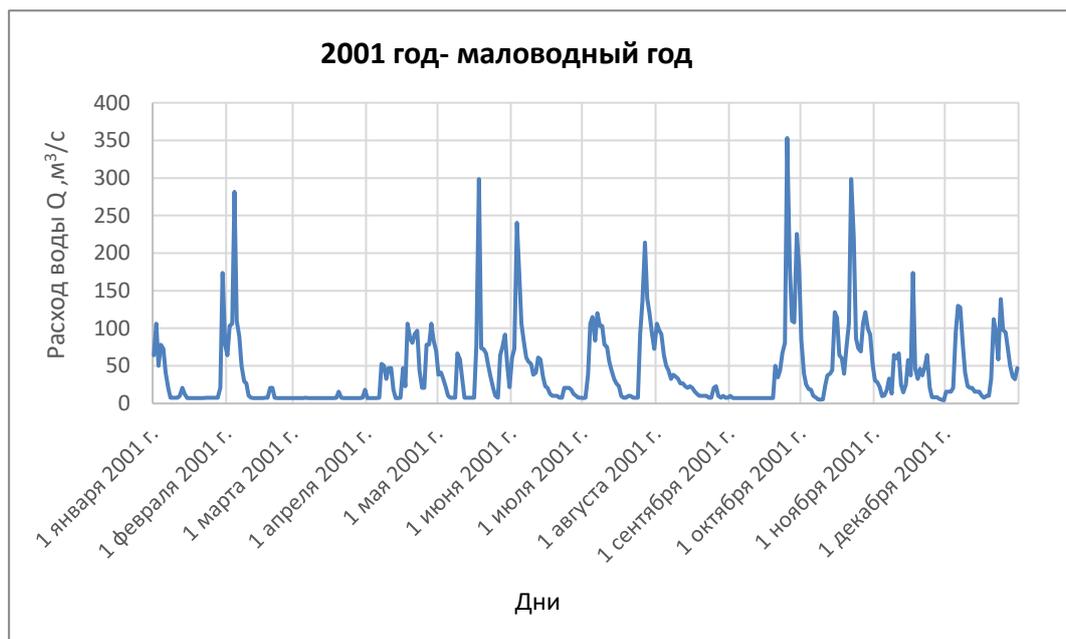


Рисунок 3.14 – Гидрограф р. Келани – п. Гленкорс за маловодный год.

Для ряда среднегодовых расходов воды была выполнена проверка на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента с учетом автокорреляции [10]. Гипотеза об однородности ряда по критериям Стьюдента и Фишера не опровергается при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Для ряда среднегодовых расходов воды были рассчитаны основные статистические характеристики и их погрешности. Расчет выполнялся методом моментов. Относительные ошибки среднего и коэффициента вариации не превышают 10-15% – расчет можно считать надежным.

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей (рисунок 3.15). В качестве аналитической кривой использовалась кривая Пирсона III типа. Как видно на рисунке, аналитическая кривая хорошо соответствует эмпирическим точкам. Ординаты аналитической кривой для среднего расхода и модуля стока приводятся в таблице 3.4.

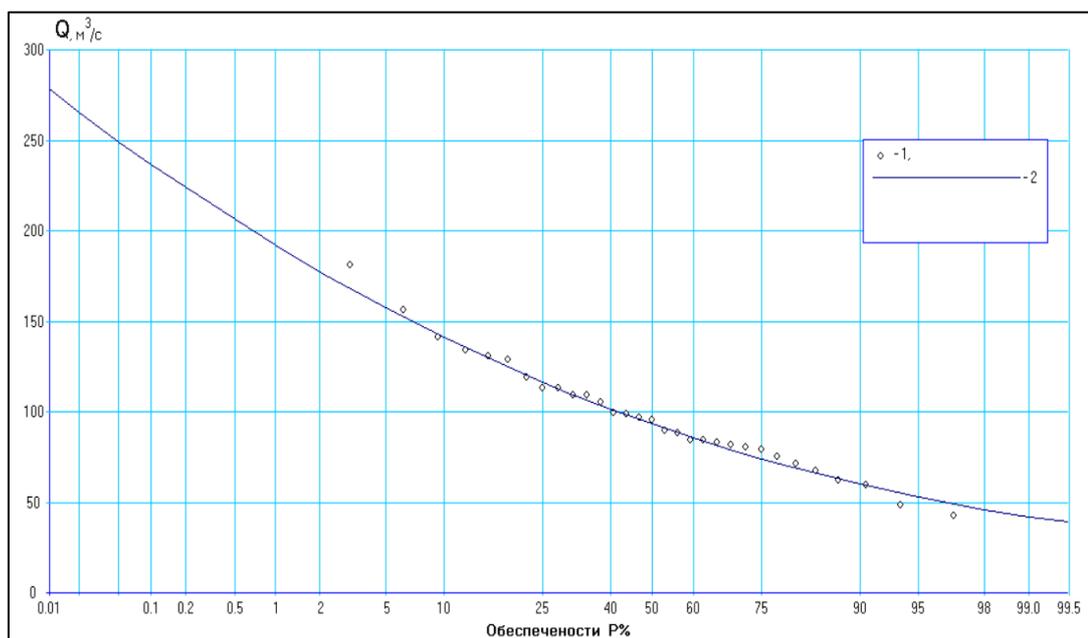


Рисунок 3.15 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки Келани – п. Гленкорс 1993-2023 ($Q_{cp} = 97.6 \text{ м}^3/\text{с}$; $Cv = 0.32$; $Cs = 0.64$).

Таблица 3.4 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Келани – п. Гленкорс

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
$\text{м}^3/\text{с}$	222.1	183.9	153.6	138.8	116.3	94.3	75.3	60.6	52.8	40.2	21.5
$\text{л}/\text{с км}^2$	151.8	125.7	105	94.9	79.5	64.5	51.5	41.4	36.1	27.5	14.7

3.2.3. Река Келани в Китулгале

Гидрологическая станция р. Келани – п. Китулгала, расположенная на реке Келани недалеко от города Китулгала. Китулгала находится во влажной зоне острова и расположена в верхнем и среднем течении бассейна реки Келани. Китулгала известна своим пересеченным рельефом и влажными тропическими лесами, по территории которых протекает река Келани. Это популярное место для рафтинга из-за того, что в этом регионе река порожистая. Расположенная выше по течению станция Китулгала предоставляет предварительные данные о состоянии реки, на которое влияют обильные муссонные осадки во влажной зоне. Район вокруг Китулгалы также важен для выработки гидроэнергии, поскольку притоки питают водохранилища выше по течению. На станции станция р. Келани – п. Китулгала ряд среднегодовых расходов воды остается стационарным (Рисунок 3.16).

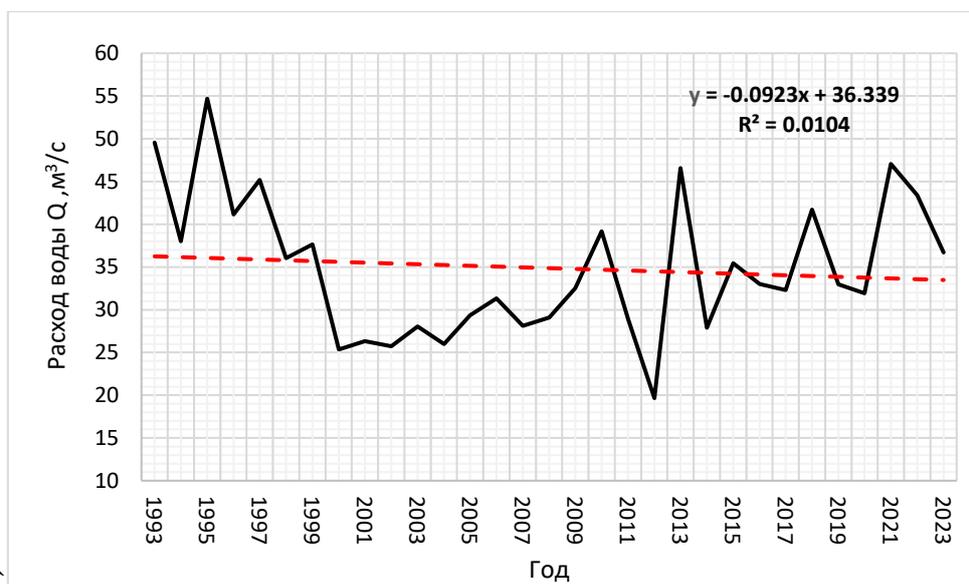


Рисунок 3.16. Хронологический график среднегодовых расходов воды на г.станции р. Келани – п. Китулгала.

На гидрологической станции р. Келани – п. Китулгала можно выделить два периода дождей: с мая по июль и с сентября по ноябрь. В первый период дождей максимум среднемесячных расходов воды обычно наблюдается в июне и в среднем составляет 47 м³/с.

Во второй период дождей максимум в среднем приходится на октябрь и составляет в среднем 43,6 м³/с (рисунок 3.17). При этом абсолютный среднемесячный максимум наблюдался в первый период дождей и составил 130 м³/с а во второй период дождей составил 101 м³/с, а абсолютный среднесуточный максимум наблюдался 08 Октября 1995 года и составил 551 м³/с.

Наиболее низкий сток наблюдается в период с января по апрель. Абсолютный среднемесячный минимум наблюдался в апреле и составил 5,9 м³/с, а абсолютный среднесуточный минимум наблюдался в 25 февраля 2003 и составил 2,6 м³/с (рисунок 3.17).

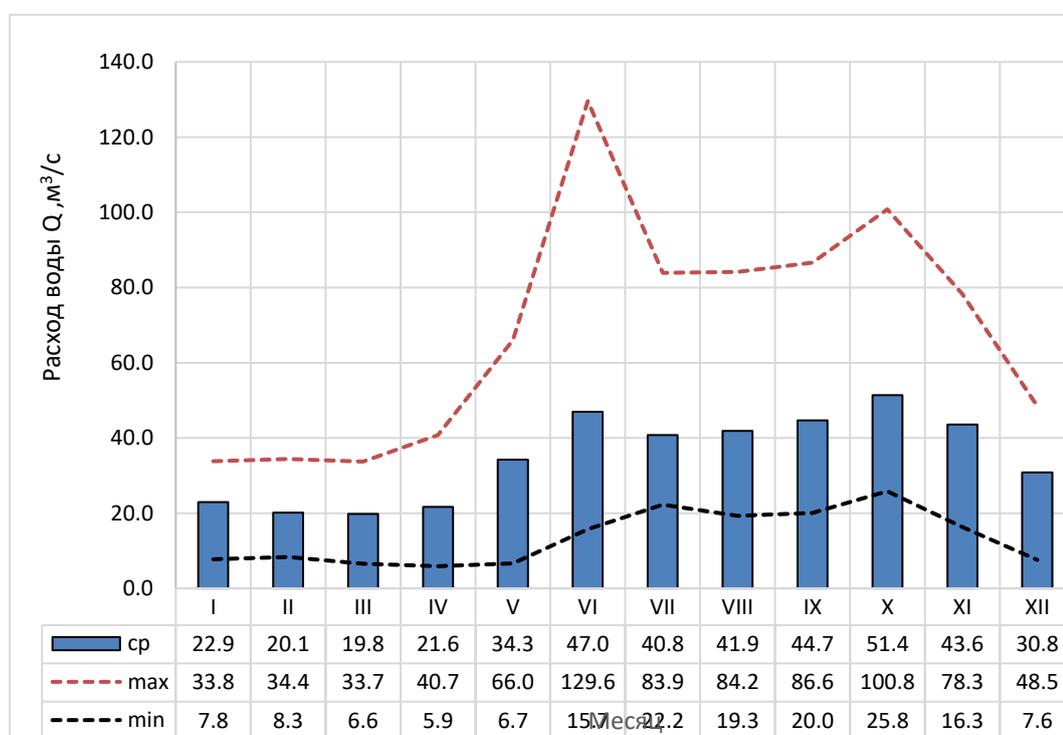


Рисунок 3.17. Среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды реки р.Келани -п. Китулгала.

На рисунках 3.18 - 3.20 представлены гидрографы реки Келани на станции Китулгала за три характерных года.



Рисунок 3.18 – Гидрограф р.Келани -п. Китулгала за многоводный год.



Рисунок 3.19 – Гидрограф р.Келани -п. Китулгала за средний по водности год.

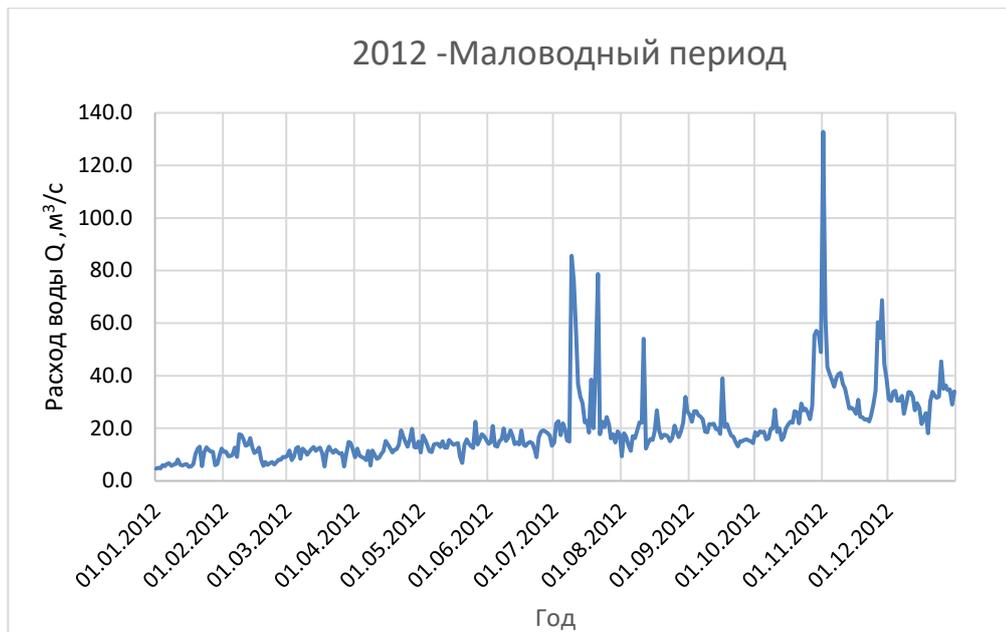


Рисунок 3.20 – Гидрограф р.Келани -п. Китулгала за маловодный год.

Для ряда среднегодовых расходов воды была выполнена проверка на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента [10]. Гипотеза об однородности ряда по критериям Фишера и Стьюдента не опровергается при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Для ряда среднегодовых расходов воды были рассчитаны основные статистические характеристики и их погрешности. Расчет выполнялся методом моментов. Относительные ошибки среднего и коэффициента вариации не превышают 10-15% – расчет можно считать надежным.

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей (рисунок 3.21). В качестве аналитической кривой использовалась кривая Пирсона III типа. Как видно на рисунке, аналитическая кривая хорошо соответствует эмпирическим точкам. Ординаты аналитической кривой приводятся в таблице 3.5.

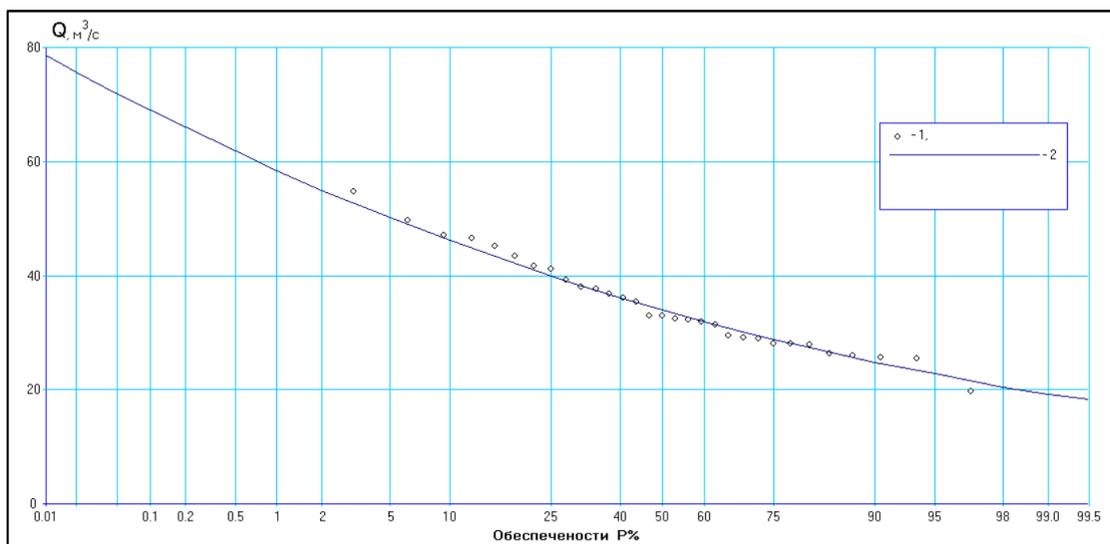


Рисунок 3.21 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки р.Келани -п. Китулгала 1993-2023 ($Q_{\text{ср}} = 34,8 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0.24$; $C_s = 0.55$).

Таблица 3.5 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р.Келани -п. Китулгала

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
$\text{м}^3/\text{с}$	66.9	57.3	49.6	45.8	39.9	34.1	29.0	24.9	22.7	19.1	15.6
$\text{л}/\text{с км}^2$	174.6	149.6	129.5	119.6	104.3	89.1	75.6	65.0	59.3	49.8	40.8

Сохранение речного стока и управление им через водохранилища могут ослабить или усилить колебания речного стока, вызванные изменением климата. Плотины существенно изменяют режимы речного стока, изменяя естественные закономерности речного стока. Поэтому необходимо учитывать расположение гидрологических сооружений вблизи гидрологических станций в бассейне.

На реке Келани выше станции Китулгала действуют и проектируются несколько небольших гидроэлектростанций, которые оказывают влияние на водный режим реки. На рисунках 3.22 и 3.23 показана строящаяся плотина гидроэлектростанции Broadlands.



Рисунок 3.22 Строительство плотины началось в марте 2018 года.



Рисунок 3.23 Водозаборное сооружение плотины

3.2.4. Река Гуругода в Холомбуве

Гидрологическая станция р. Гуругода – п. Голомбува расположена на Гуругода-Ойя, притоке реки Келани. Площадь водосбора станции составляет около 155 км². Она обслуживается отделом гидрологии и борьбы со стихийными бедствиями Департамента ирригации.

В бассейне реки Гуругода Оя (приток Келани) расположен дамба Gurugal Oya Dam (Рисунок 3.24) — гравитационная плотина, построенная для регулирования стока и ирригации. Плотина перекрывает русло реки Gurugal Oya, которая начинается в лесах Лулкандура.

Кроме того, на Гуругода Оя функционирует мини-ГЭС с плотиной (weir), которая оказывает умеренное влияние на гидрологический режим реки.

[11]



Рисунок 3.24 Плотина Гуругал-Ойя (В бассейне реки Гуругода Оя -приток Келани расположен дамба).

При рассмотрении хронологического графика среднегодовых расходов воды за исследуемый период с 1993 по 2023 на этой станции, можно отметить, что расходы воды колеблются на низком уровне, в основном не превышая 20 м³/с.

В 2019-2021 годах наблюдается резкий аномальный пик: показатель достигает максимального значения, превышающего 120 м³/с. После этого значения возвращаются к прежнему уровню. Аномальный пик в 2020 году требует отдельного рассмотрения (рисунок 3.25).

Слабая тенденция к повышению может быть связана с постепенными изменениями климата, антропогенным воздействием или изменениями в режиме стока.

Проверка на значимость трендов проводилась при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ – тренд незначим.

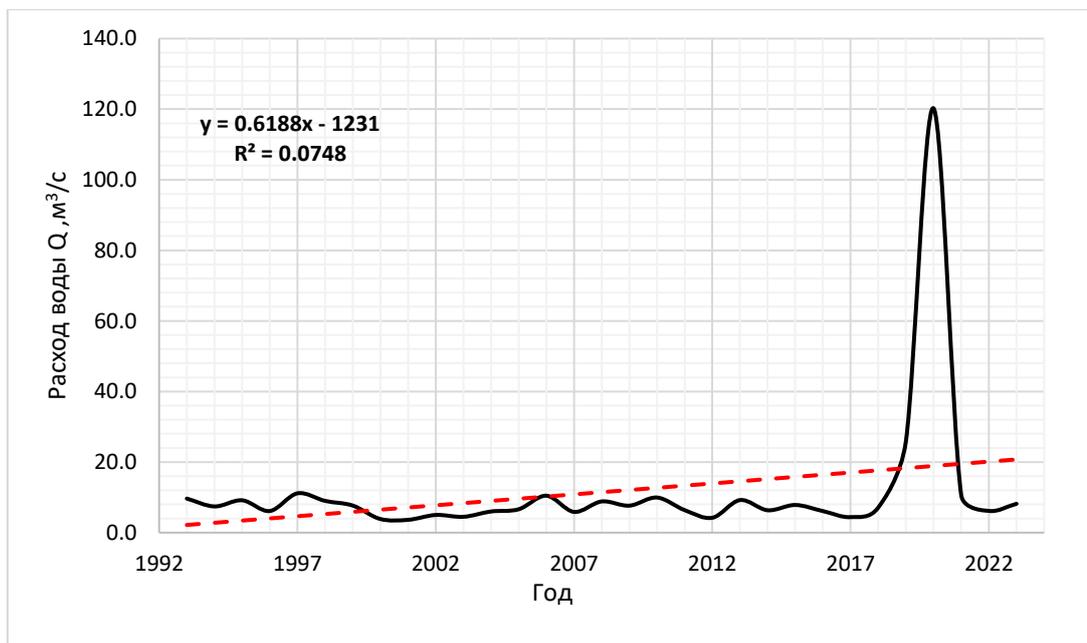


Рисунок 3.25 Хронологический график среднегодовых расходов воды на г.станции р. Гуругода – п. Голомбува.

На гидрологической станции р. Гуругода – п. Голомбува можно выделить два периода дождей: с апреля по июль и с сентября по ноябрь. В первый период дождей максимум среднемесячных расходов воды обычно наблюдается в мае и в среднем составляет 21 м³/с.

Во второй период дождей максимум в среднем приходится на сентябрь и составляет в среднем 19,5 м³/с (рисунок 3.26). При этом абсолютный среднемесячный максимум наблюдался в первый период дождей и составил 335 м³/с, а абсолютный среднесуточный максимум наблюдался 05 июня 2020 года и составил 1137 м³/с. В маловодные годы сток в первый период дождей обычно ниже, чем во второй период.

Наиболее низкий сток наблюдается в период с января по март. Абсолютный среднемесячный минимум наблюдался в феврале и составил 0,08 м³/с, а абсолютный среднесуточный минимум наблюдался 02.06.2019 и составил 0,005 м³/с (рисунок 3.26).

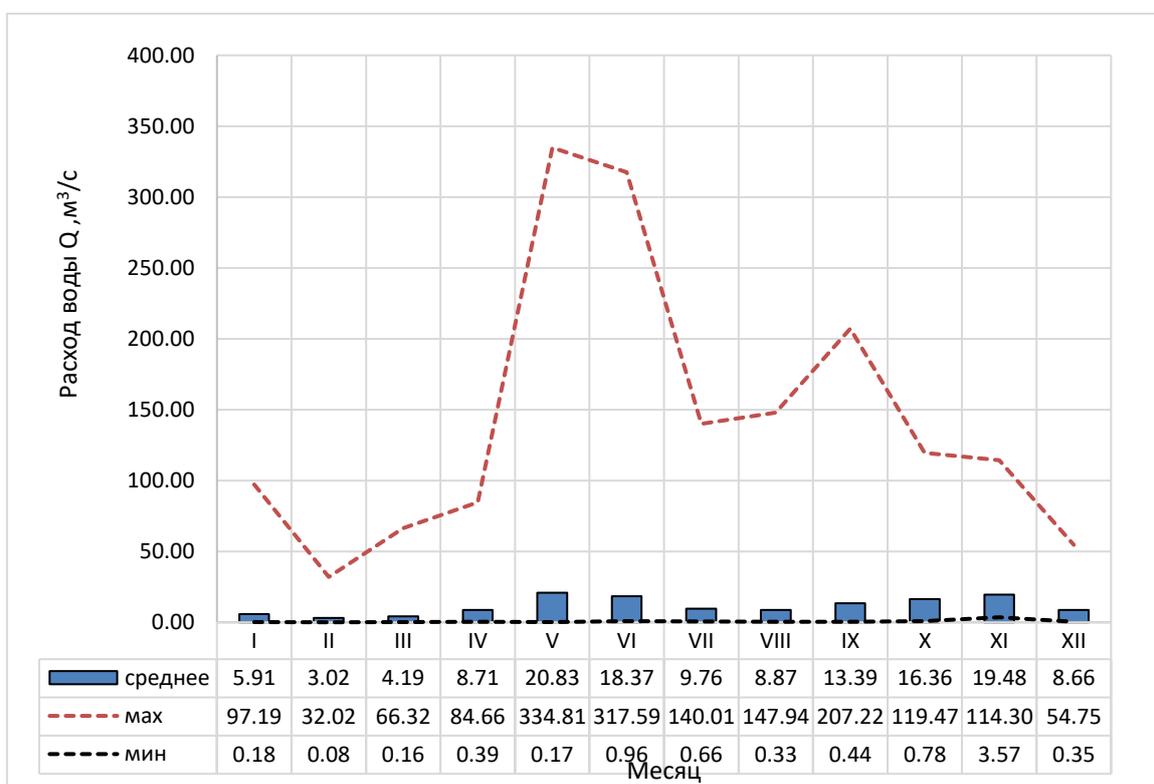


Рисунок 3.26– Среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды реки р. Гуругода – п. Голомбува.

На рисунках 3.27-3.29 представлены гидрографы реки Келани на станции Ханвелла за три характерных года.

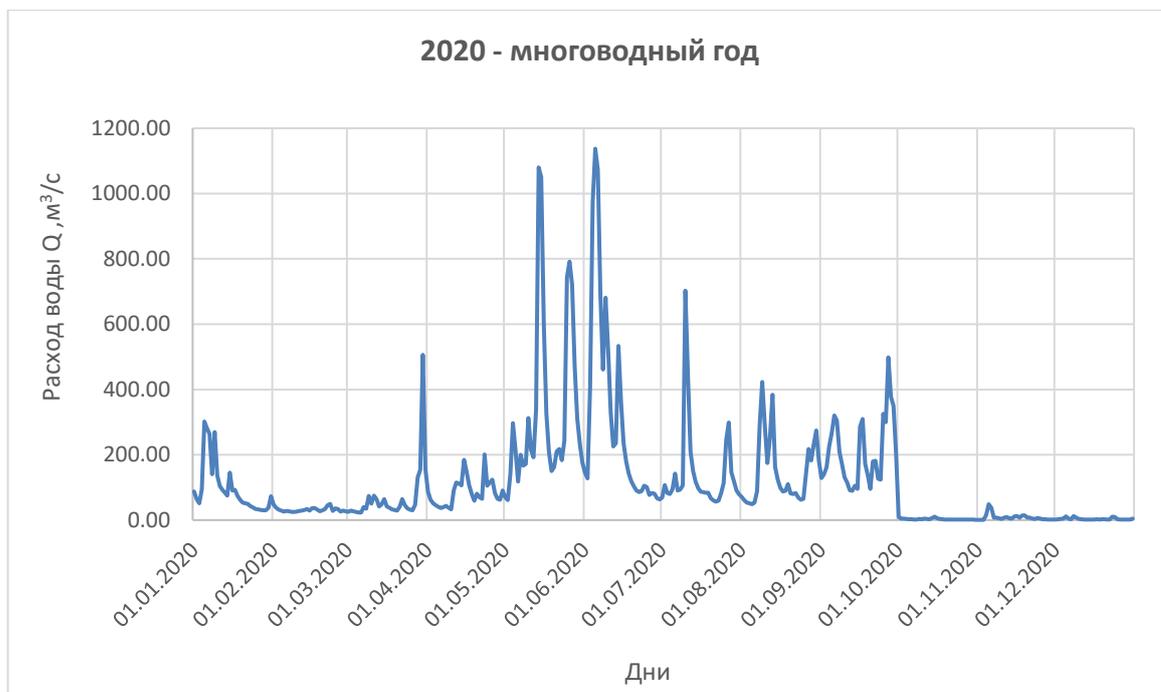


Рисунок 3.27 Гидрограф р. Гуругода – п. Голомбува за многоводный год.



Рисунок 3.28 – Гидрограф р. Гуругода – п. Голомбува за средний по водности год.



Рисунок 3.29 – Гидрограф р. Гуругода – п. Голомбува за маловодный год.

Для ряда среднегодовых расходов воды была выполнена проверка на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента [10]. Гипотеза об однородности ряда по критериям Стьюдента не опровергается и по критериям Фишера, опровергается при уровне значимости $2\alpha = 5\%$, потому что ряд показывает значительное увеличение коэффициента асимметрии.

Поскольку ряд среднегодовых расходов воды на этой станции неоднороден и демонстрирует высокую асимметрию, была построена усеченная кривая обеспеченностей Парето.

Распределение Парето относится к категории непрерывных степенных распределений. Названо в честь итальянского экономиста и социолога Вильфредо Парето. Наиболее часто применяется в экономических исследованиях, в теории катастроф и теории надежности.

Характерной особенностью выборок описываемых распределением Парето является наличие в них небольшого числа (около 20%), но очень мощных выбросов. Если эмпирическая кривая в области малых обеспеченностей очень круто уходит вверх, то для построения усеченной

кривой обеспеченностей можно попытаться использовать распределение Парето [12].

Функция обеспеченностей Парето определяется выражением

$$P(x) = (x_0/x)^\alpha, x > x_0 \quad (3.1)$$

следовательно:

$$x = x_0 P^{(-1/\alpha)} \quad (3.2)$$

где P – обеспеченность в долях единицы. Логарифмируя левую и правую части выражения (3.2) получаем:

$$\ln x = -a \ln P + b \quad (3.3)$$

где $a = 1/\alpha$; $b = \ln(x_0)$. Таким образом, если выборка описывается распределением Парето, то зависимость между $\ln(x)$ и $\ln(P)$ является линейной, а параметры a и b легко находятся методом наименьших квадратов. При этом переход от параметров a и b к параметрам распределения Парето производится по формулам

$$\alpha = 1/a, x_0 = \exp(b) \quad (3.4)$$

В данном случае при построении эмпирической кривой, обеспеченность расхода за 2020 год была принята $P = 0.5\%$, что соответствует повторяемости 1 раз за 200 лет. Зависимость $\ln(Q) = f[\ln(P)]$ для всего ряда и верхней (линейной части) зависимости показаны на рисунках 3.29-3.30.

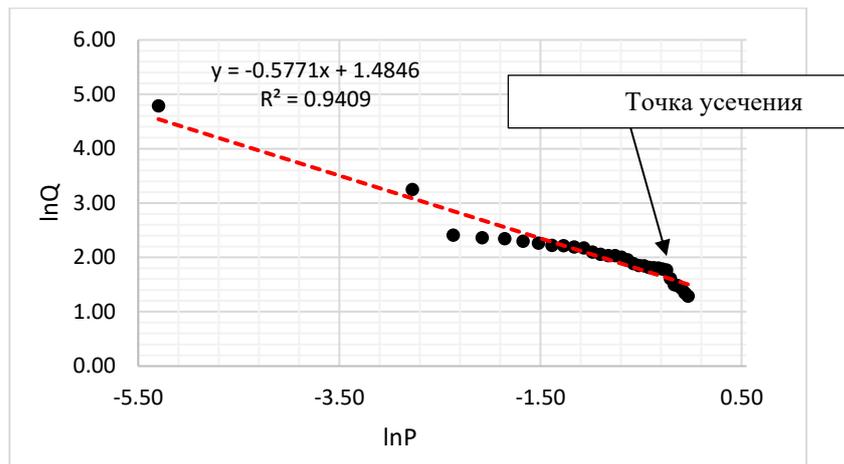


Рисунок 3.29 Зависимость $\ln Q = f(\ln P)$ для среднегодовых расходов воды ; р. Гуругода – п. Голомбува (определение точки усечения)

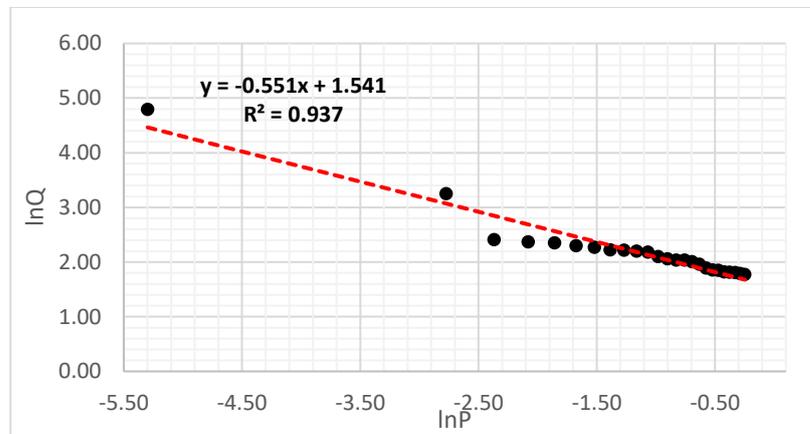


Рисунок 3.30 Зависимость $\ln Q = f(\ln P)$ для среднегодовых расходов воды ; верхняя (линейная) часть зависимости; р. Гуругода – п. Голомбува;
 $\alpha = 1/(0,551) = 1,81$; $x_0 = \exp(1,541) = 4,66$

С формальной точки зрения построенная аналитическая кривая Парето (рис.5.13) хорошо аппроксимирует верхнюю часть эмпирической кривой. Однако затем она очень круто уходит вверх. Это связано с тем, что полученное значение параметра $\alpha < 2$.

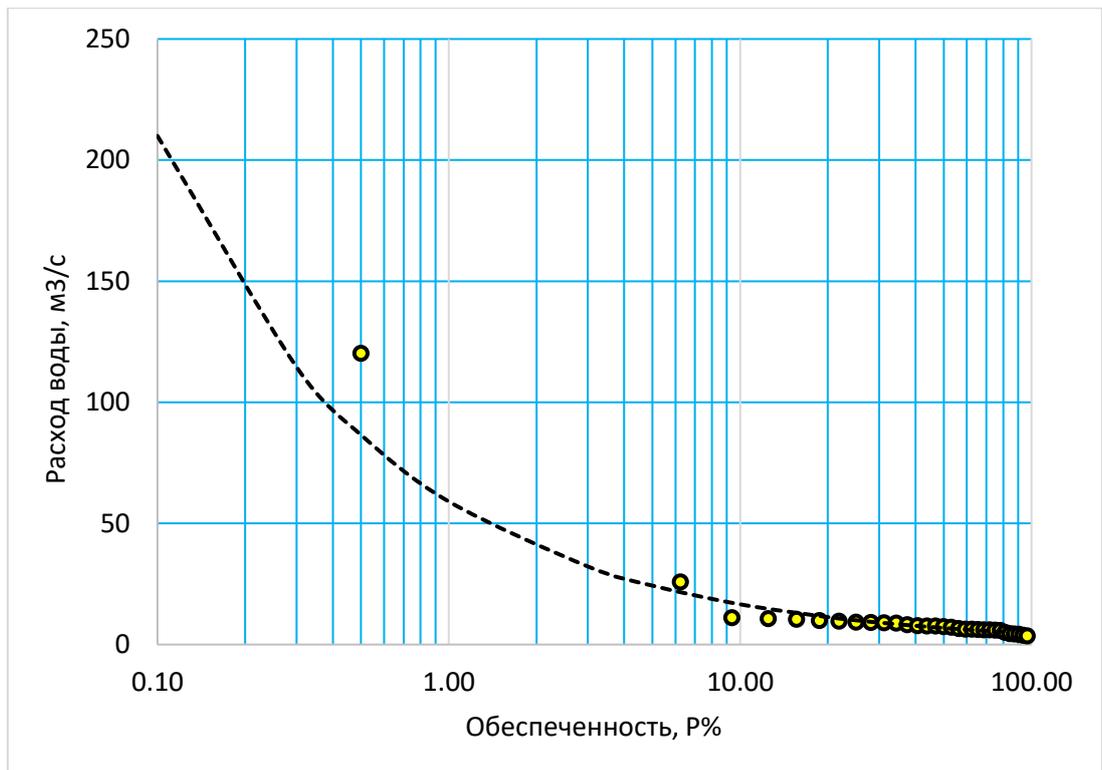


Рисунок 3.31 Кривая обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Гуругода – п. Голомбува. Усеченная кривая построены с использованием распределений Парето.

С использованием полученных параметров α и x_0 по формуле (3.2) рассчитываются ординаты верхней части кривой обеспеченностей от точки усечения до $P = 0,1\%$. Ординаты аналитической кривой приводятся в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Гуругода – п. Голомбува

Размерность	Обеспеченность в %										
	0.1	1	5	10	25	40	50	60	70	75	80
м³/с	210	59.1	24.3	16.6	39.9	7.74	6.84	6.19	5.68	5.47	5.28
л/с км²	1354.9	381.0	157.0	107.1	104.3	49.9	44.1	39.9	36.7	35.3	34.1

3.2.5. Река Ситавака в Дераниягале

Река Ситавака — это приток реки Келани, которая протекает через регион Дераниягале (Deraniyagala) расположенный в западной части Шри-Ланки. Она берёт начало в заповеднике Синхараджа (Sinharaja Forest Reserve), одном из важнейших тропических лесов страны. Река протекает через район Ависавелла (Avisawella), исторически известный как Ситавакапура.

Таким образом, Река Ситавака в Дераниягале — значимый водный объект, обеспечивающий экологическую и хозяйственную функцию в регионе, а гидрологическая станция р. Ситавака – п. Дераниягале служит важным пунктом наблюдения за её гидрологическим режимом.

Проверка на значимость трендов проводилась при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ – тренд незначим (рисунок 3.32).

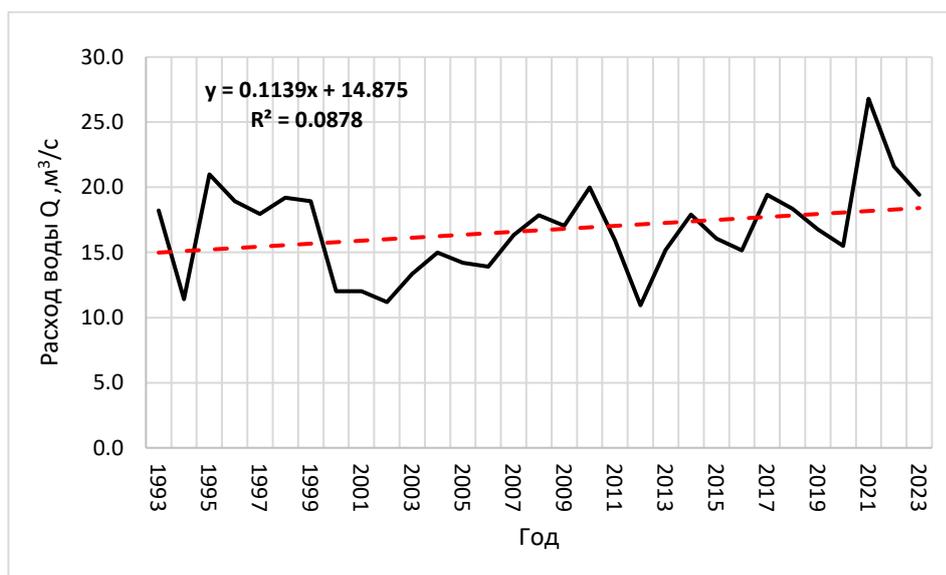


Рисунок 3.32 Хронологический график среднегодовых расходов воды на г.станции Р. Ситавака- п. Дераниягала

На гидрологической станции р. Ситавака-п Дераниягале можно выделить два периода дождей: с апреля по июль и с сентября по ноябрь. В первый период дождей максимум среднемесячных расходов воды обычно наблюдается в июне и в среднем составляет $28 \text{ м}^3/\text{с}$.

Во второй период дождей максимум в среднем приходится на октябрь и составляет в среднем 27 м³/с (рисунок 3.33). При этом абсолютный среднемесячный максимум наблюдался в первый период дождей в мае и составил 65 м³/с, а абсолютный среднесуточный максимум наблюдался 04 июня 1993 года и составил 434 м³/с.

Наиболее низкий сток наблюдается в период с января по март. Абсолютный среднемесячный минимум наблюдался в январе и составил 0,65 м³/с, а абсолютный среднесуточный минимум наблюдался 23.03.2014 и составил 0,22 м³/с (рисунок 3.33).

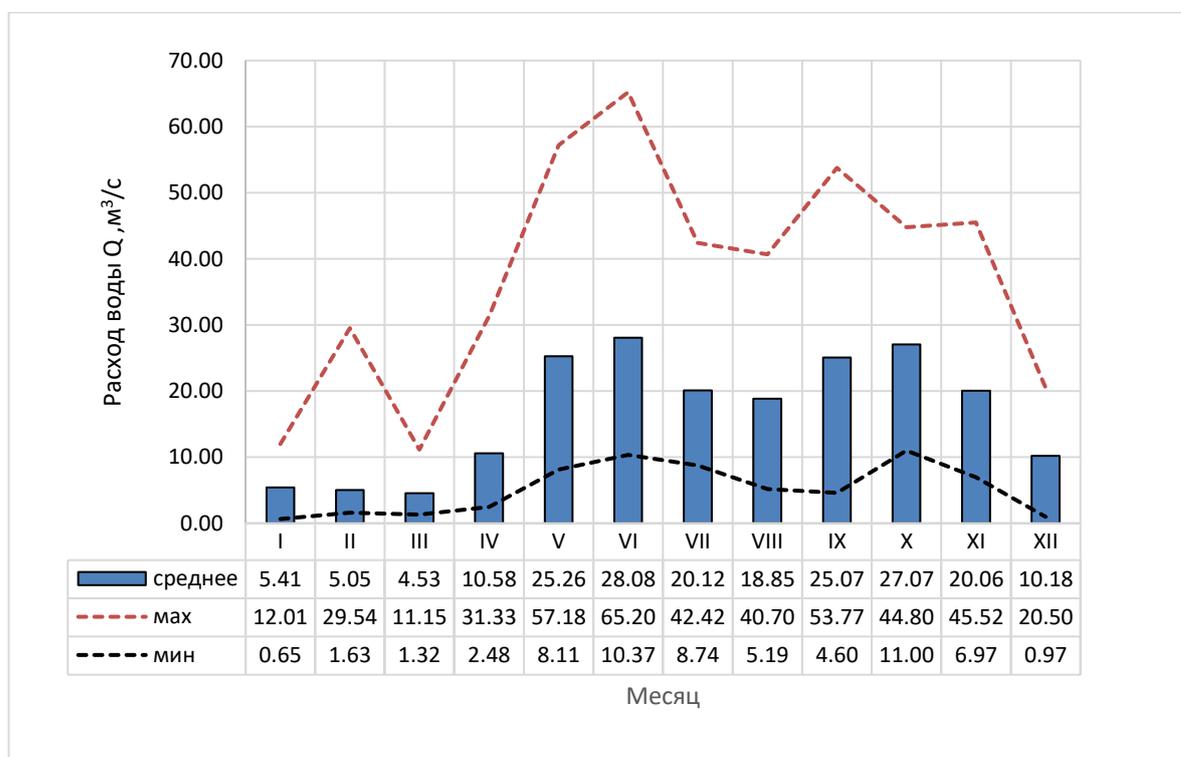


Рисунок 3.33 – Среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды реки Р. Ситавака- п. Дераниягала

На рисунках 3.34-3.36 представлены гидрографы р. Ситавака-п Дераниягале на за три характерных года.

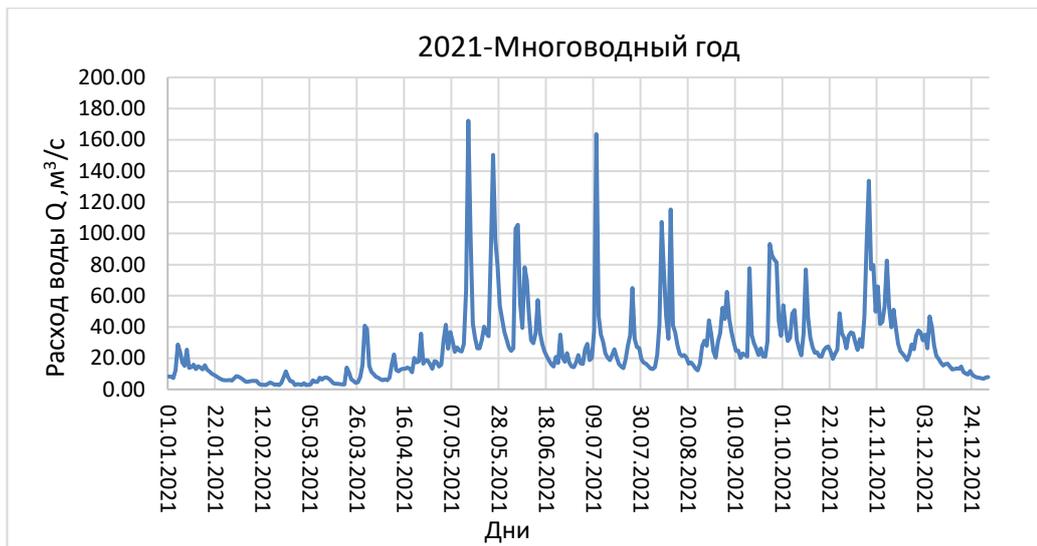


Рисунок 3.34 Гидрограф Р. Ситавака- п. Дераниягала за многоводный год.

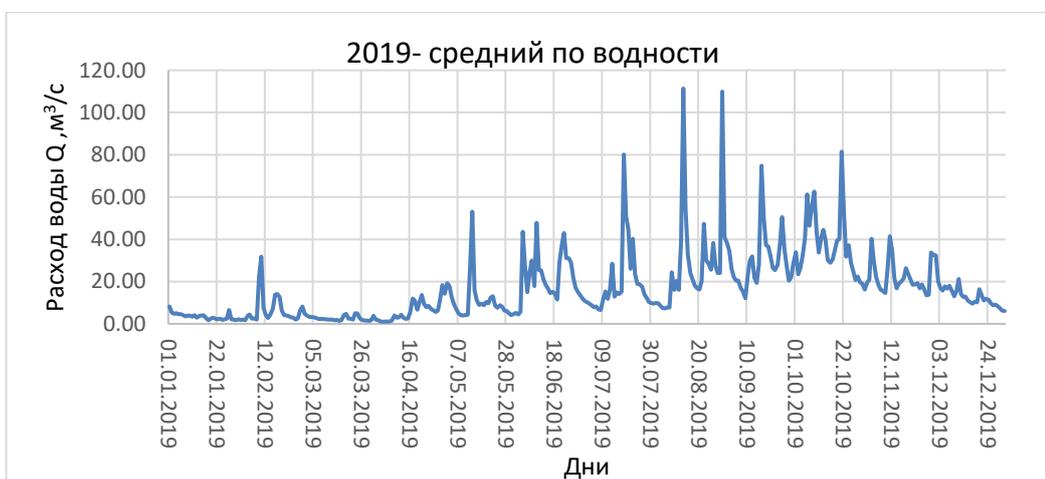


Рисунок 3.35 – Гидрограф Р. Ситавака- п. Дераниягала за средний по водности год.

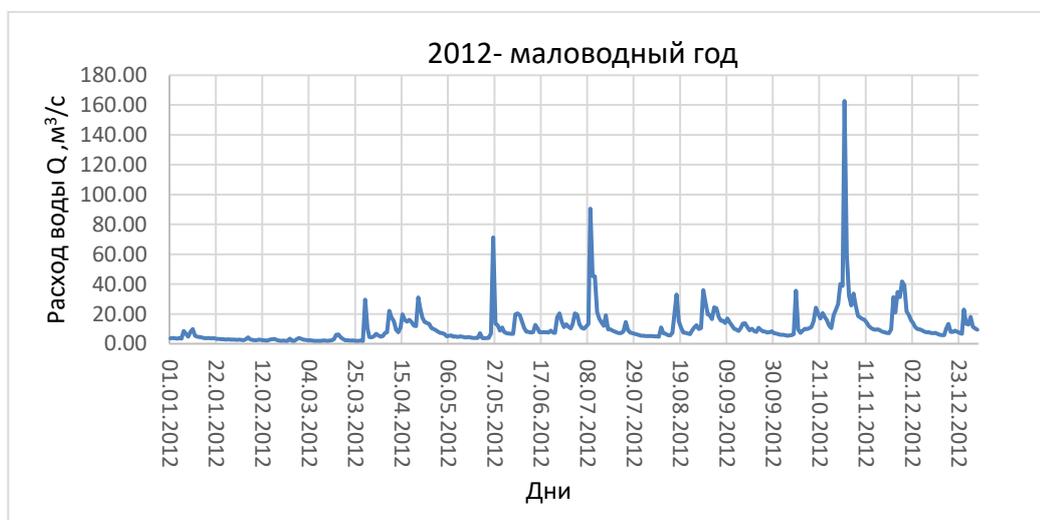


Рисунок 3.36 – Гидрограф Р. Ситавака- п. Дераниягала за маловодный год

Для ряда среднегодовых расходов воды была выполнена проверка на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента [10]. Гипотеза об однородности ряда по критериям Фишера и Стьюдента не опровергается при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Для ряда среднегодовых расходов воды были рассчитаны основные статистические характеристики и их погрешности. Расчет выполнялся методом моментов. Относительные ошибки среднего и коэффициента вариации не превышают 10-15 % – расчет можно считать надежным.

С использованием полученных статистических характеристик были построены эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей (рисунок 3.37). В качестве аналитической кривой использовалась кривая Пирсона III типа. Как видно на рисунке, аналитическая кривая хорошо соответствует эмпирическим точкам. Ординаты аналитической кривой приводятся в таблице 3.7.

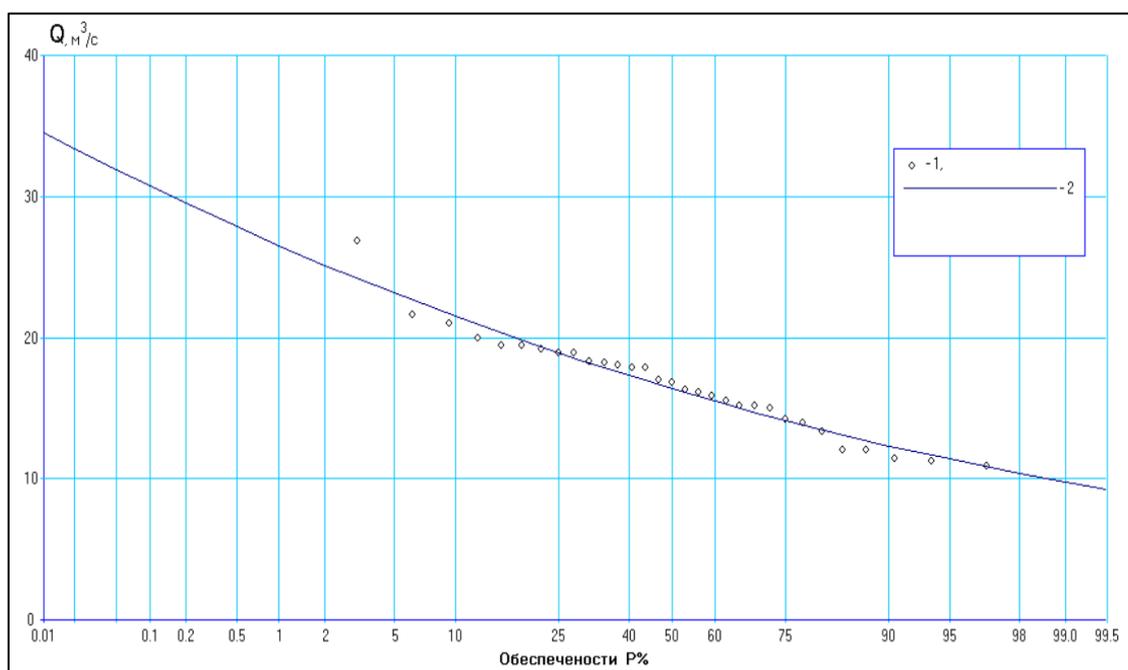


Рисунок 3.37 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки р.Ситавака- п. Дераниягала 1993-2023 ($Q_{cp} = 17 \text{ м}^3/\text{с}$; $Cv = 0.21$; $Cs = 0.46$).

Таблица 3.7 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей среднегодовых расходов воды; реки р.Ситавака- п. Дераниягала

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м ³ /с	29.9	26.0	22.9	21.3	18.9	16.4	14.2	12.4	11.5	9.8	8.2
л/с км ²	163.2	142.1	125.0	116.5	103.2	89.8	77.7	67.9	62.6	53.5	44.7

3.2.6. Река Кехельгаму в Норвуде

Гидрологическая станция река Кехельгаму - п. Норвуд расположена в верхнем течении реки Келани, в округе Нуvara-Элия, Центральная провинция.

Кехельгаму-Ойя - крупный верхний приток реки Келани в Шри-Ланке. Ее длина составляет около 50 км, и она берет начало на холмах национального парка Хортон-Плейнс, протекает через несколько важных гидрологических и гидроэлектрических объектов, прежде чем слиться с Маскеля-Ия в Калугале и образовать главную реку Келани. (25)

Плотина Castlereagh - самотечная плотина, построенная через реку Кехелгаму-Ойя, крупный приток реки Келани, примерно в 3 км к юго-западу от Хаттона, в Центральной провинции Шри-Ланки (Рисунок 3.38). Плотина создает знаменитое водохранилище Castlereagh, которое почти полностью поддерживается за счет притока воды из реки Кехалгаму-Ойя. Вода из водохранилища отводится на электростанцию Вималасурендра, расположенную примерно в 12 км (7,5 миль) ниже по течению. Электростанция состоит из двух энергоблоков мощностью по 25 мегаватт, общая мощность которых составляет 50 МВт.

Плотина Нортон (также иногда называемая плотиной Нортон-Бридж) - это еще одна гравитационная плотина, построенная через реку Кехелгаму-Ойя, которая является основным притоком реки Келани. Плотина построена у моста Нортон в центральной провинции Шри-Ланки (Рисунок 3.39).

Плотина создает относительно небольшое водохранилище Нортон, которое поддерживается за счет воды из реки Кехельгаму-Ойя и воды, сбрасываемой с гидроэлектростанции Вималасурендра, расположенной выше

по течению от водохранилища. Электростанция Вималасурендра или электростанция Нортон Бридж питается от водохранилища в Castlereagh, расположенного примерно в 2000 футах над водохранилищем Нортон.



Рисунок 3.38 - Плотина Castlereagh



Рисунок 3.39 - Плотина Нортон

Хронологический график среднегодовых расходов воды представлен на рисунке 3.40. Проверка на значимость трендов проводилась при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ – тренд незначим .

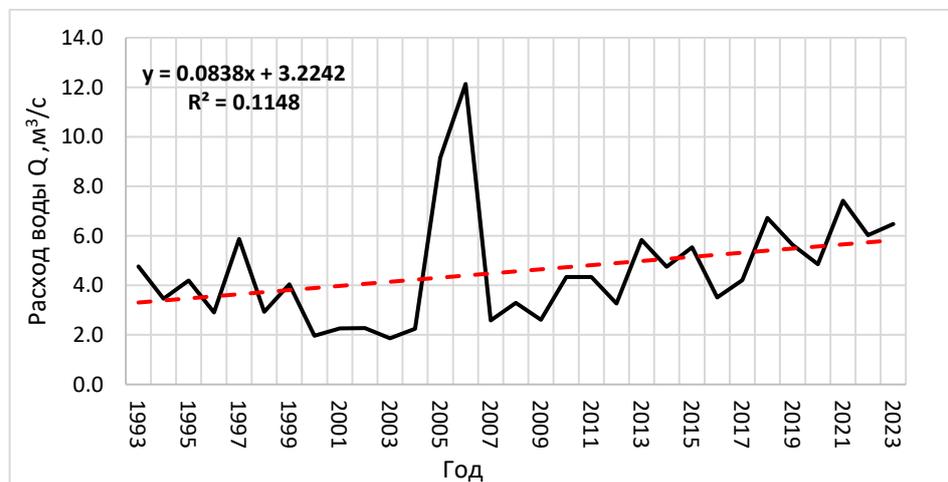


Рисунок 3.40 Хронологический график среднегодовых расходов воды на г.станции р. Кехельгаму - Норвуд

На станции р. Кехельгаму - Норвуд выделяется только один период дождей так же, как и горная метеорологическая станция Лаксапана: с апреля по декабрь максимум среднегодовых расходов обычно наблюдается в ноябре и составляет в среднем 7.7 м³/с (рисунок 3.41).

При этом абсолютный среднемесячный максимум наблюдался в мае и составил 24.3 м³/с, а абсолютный среднесуточный максимум наблюдался 29 апреля 2011 года и составил 266 м³/с. Наиболее низкий сток наблюдается в период с января по март.

Абсолютный среднемесячный минимум наблюдался в феврале и составил 2,29 м³/с, а абсолютный среднесуточный минимум наблюдался 18.08.2012 и составил 0.0 м³/с (наблюдалось пересыхание). На этой горной станции средний расход воды почти в 10 раз меньше, чем на нижнем участке.

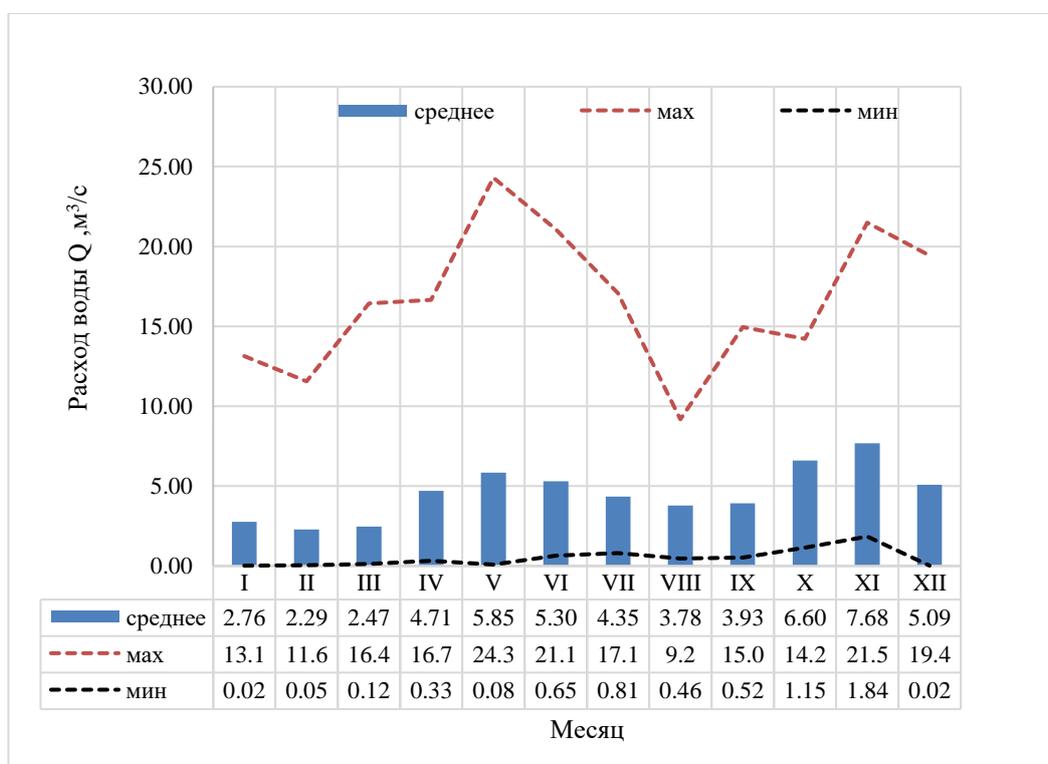


Рисунок 3.41 – Среднегодовые, максимальные и минимальные расходы воды реки г.станции р. Кехельгаму - Норвуд

На рисунках 3.42 - 3.44 представлены характерные гидрографы за многоводный, маловодный и средний по водности годы.

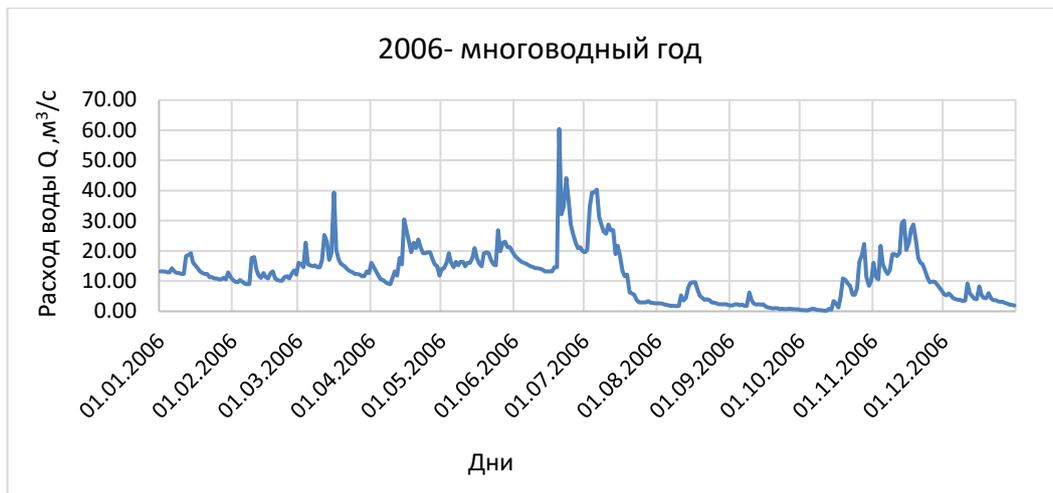


Рисунок 3.42 Гидрограф р. Кехельгаму - Норвуд за многоводный год.



Рисунок 3.43 – Гидрограф р. Кехельгаму - Норвуд за средний по водности год.

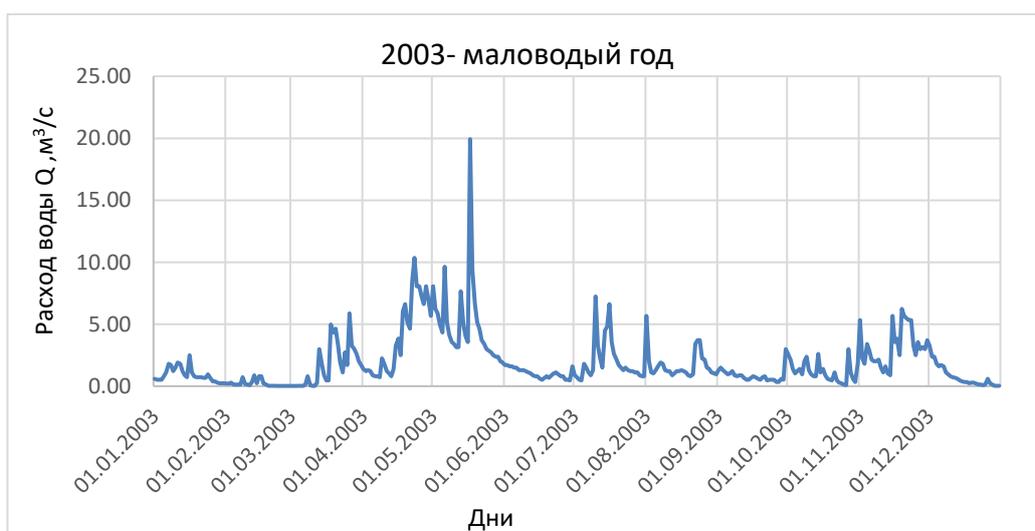


Рисунок 3.44 Гидрограф р. Кехельгаму - Норвуд за маловодный год.

Для ряда среднегодовых расходов воды была выполнена проверка на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента [10]. Гипотеза об однородности ряда по критерию Стьюдента не опровергается при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. По критерию Фишера гипотеза об однородности опровергается, что связано с наличием в ряду очень большого расхода (выброса), который был зафиксирован в 2006 году (модульный коэффициент $k = 2,66$). Учитывая это была выполнена дополнительная проверка однородности с использованием критерия Смирнова-Граббса [10]. Проверка показала, что $(G^* = 3,36) < (G_{\alpha=5\%} = 3,89)$, т. е. гипотеза об однородности ряда не опровергается.

Для ряда среднегодовых расходов воды были рассчитаны основные статистические характеристики и их погрешности. Расчет выполнялся методом моментов. Относительные ошибки среднего и коэффициента вариации не превышают 10-15 % – расчет можно считать надежным.

Ординаты аналитической кривой приводятся в таблице 3.8. График эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей представлен на рисунке 3.45. В качестве аналитической кривой обеспеченностей использовалась кривая Пирсона III типа.

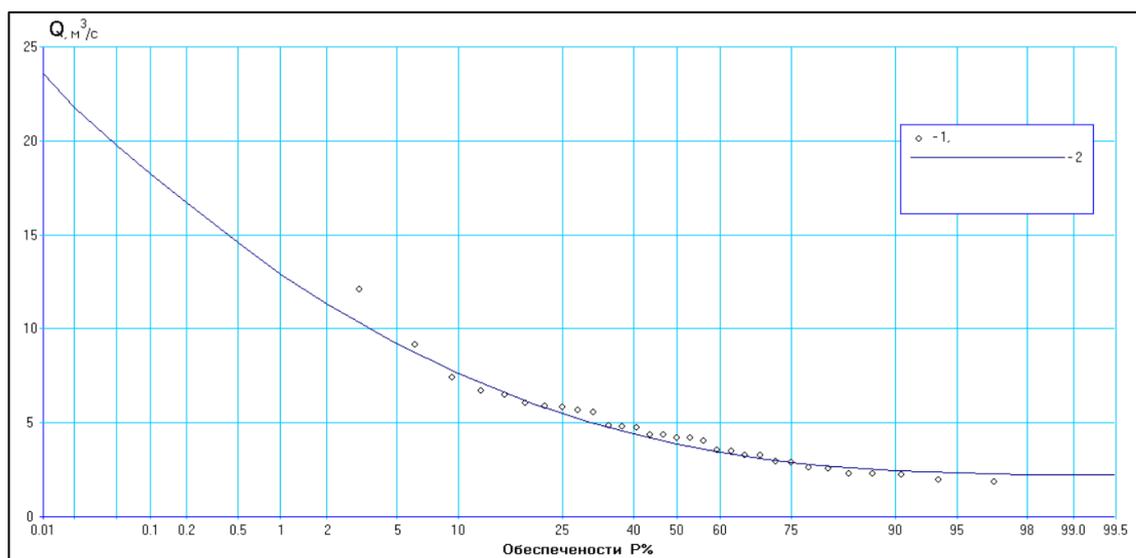


Рисунок 3.45 – Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей среднегодовых расходов воды реки г.станции р. Кехельгаму - Норвуд 1993-2023 ($Q_{cp} = 4.6 \text{ м}^3/\text{с}$; $Cv = 0.49$; $Cs = 1.48$)

Таблица 3.8 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей среднегодовых расходов воды; р. Кехельгаму - Норвуд

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м ³ /с	16.3	12.1	9.0	7.6	5.6	4.0	2.9	2.3	2.0	1.7	1.6
л/с км ²	168.4	124.32	92.32	78	58.1	41.5	30.06	23.45	20.84	17.93	16.27

4. МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК БАССЕЙНА РЕКИ КЕЛАНИ

В качестве исходных данных использовались ряды максимальных расходов воды по 6 гидрологическим станциям за период с 1993 по 2024 г., предоставленные Департаментом ирригации республики Шри-Ланка.

4.1. Проверка рядов максимальных расходов воды на значимость трендов

Для проверки стационарности рядов гидрометеорологических характеристик выполнялась оценка значимости трендов с использованием критерия Стьюдента. Тренд принимался значимым если выполнялось условие [7,8]:

$$\frac{|a|}{\sigma_a} = \frac{|R|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} > t_{2\alpha} \quad (4.1)$$

где a – коэффициент регрессии для зависимости $X = aT + b$; X – исследуемая гидрометеорологическая характеристика; T – время (годы); σ_a – стандартная ошибка коэффициента регрессии; R – коэффициент корреляции для зависимости $X = f(T)$; n – длина ряда; $t_{2\alpha}$ – стандартное значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Результаты проверки рядов на наличие линейного тренда представлены в таблице 4.1. Как видно из таблицы, для всех рядов тренд незначим.

Таблица 4.1 – Оценка значимости линейных трендов в рядах максимальных расходов рек бассейна реки Келани при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – пост	n	R	t*	t _{2α}	Тренд	
						значимость	интенсивность, м ³ /с за 10 лет
1	Кехельгаму Ойя в Норвуде	30	0,17	0,81	2,07	-	не значим
2	Ситавака Ганга в Дераниягале	30	0,36	2.045	2.048	-	не значим
3	Гуругода Ойя в Холомбуве	30	0,30	1.64	2.05	-	не значим
4	Келани Ганга в Китулгале	30	0,11	0.56	2.05	-	не значим
5	Келани Ганга на Гленкурсе	30	0,23	1.22	2.05	-	не значим
6	Келани Ганга в Ханвелле	30	0,21	1.11	2.05	-	не значим

Обозначения: ⊕ – тренд значим.

4.2. Проверка рядов максимальных расходов воды на однородность

В данной работе для проверки однородности используются два параметрических критерия: критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Проверка рядов на однородность проводилась с использованием критериев Фишера и Стьюдента. Критерий Фишера позволяет оценить однородность ряда по дисперсии. Эмпирическое значение Статистика Фишера рассчитывалось по формуле:

$$F^* = \frac{D_1^*}{D_2^*} \quad (4.2)$$

где D_1^* и D_2^* – дисперсии по первой и второй частям анализируемого ряда, при этом в качестве первой дисперсии обычно рассматривают ту, которая больше ($D_1^* > D_2^*$).

Критическое значение статистики Фишера определялось по таблицам, опубликованным в [10], в зависимости от числа степеней свободы $\nu_1 = n_1 - 1$, $\nu_2 = n_2 - 1$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ (n_1 и n_2 – длина первой и второй

частей ряда). Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялось условие:

$$F^* < F_{2\alpha} \quad (4.3)$$

Критерий Стьюдента позволяет оценить однородность ряда по среднему значению. Эмпирическое значение Статистика Стьюдента рассчитывалось по формуле:

$$t^* = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (4.4)$$

где \bar{x}_1 и \bar{x}_2 – средние значения по первой и второй частям анализируемого ряда; σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда. S – среднеквадратическое отклонение разности $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$, определяемое по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (4.5)$$

Критическое значение статистики Стьюдента определялось по таблицам, опубликованным в [10], в зависимости от числа степеней свободы $\nu = n_1 + n_2 - 2$ при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Гипотеза об однородности рядов не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (4.6)$$

Результаты проверки рядов на однородность для максимальных расходов воды представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты проверки рядов максимальных расходов воды на однородность при уровне значимости $2\alpha = 5\%$

№	Река – пост	n	t*	t _{2α}	F*	F _{2α}	Опровержение гипотезы об однородности	
							Стьюдент	Фишер
1	Кехельгаму Ойя в Норвуде	30	0,26	2,07	3,37	3,47	–	–

№	Река – пост	n	t*	t _{2α}	F*	F _{2α}	Опровержение гипотезы об однородности	
							Стьюдент	Фишер
2	Ситавака Ганга в Дераниягале	30	1.72	2.05	2.93	2.98	–	–
3	Гуругода Ойя в Холомбуве	30	-1.60	2.05	1.23	2.98	–	–
4	Келани Ганга в Китулгале	30	-0.47	2.05	5.51	2.98	–	⊕
5	Келани Ганга на Гленкурсе	30	-1.04	2.05	1.06	2.98	–	–
6	Келани Ганга в Ханвелле	30	-0.74	2.05	1.64	2.98	–	–

Обозначения: ⊕ – гипотеза об однородности опровергается.

Как видно из таблицы, все рассматриваемые ряды являются однородными как по критерию Стьюдента, так и по критерию Фишера, за исключением гидрологического поста Китулгала, расположенного в верхнем течении реки Келани, который по критерию Фишера является неоднородным по дисперсии. Примеры хронологических графиков представлены на рисунке 4.1

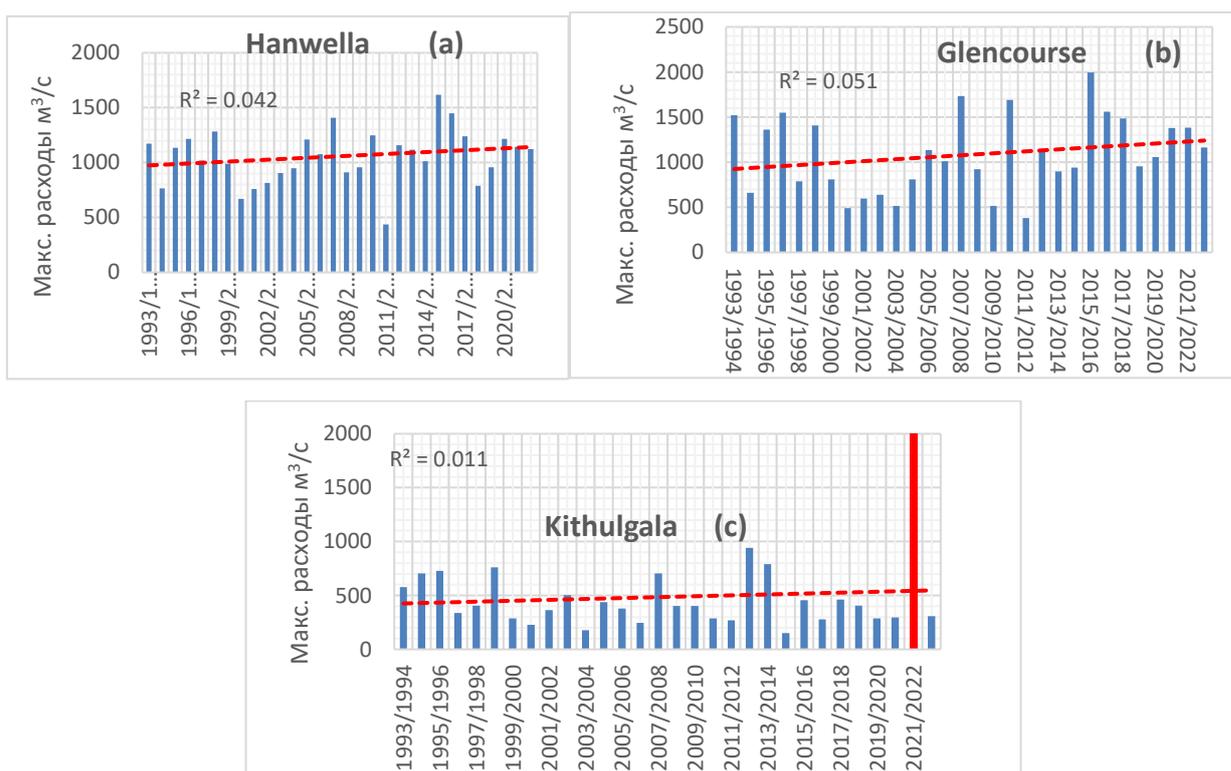


Рисунок 4.1 Хронологические графики максимальных расходов реки Келани а – Келани Ганга в Ханвелле, б – Келани Ганга на Гленкурсе, в – Келани Ганга в Китулгале.

Причиной этого является очень высокий расход, наблюдавшийся на данном посту 1 августа 2022 года. Анализ осадков в горной станции Лаксапана

в тот год показал, что сумма осадков превысили 6000 мм, что, вероятно, стало причиной такого резкого повышения стока в короткий промежуток времени.

Учитывая это была выполнена дополнительная проверка однородности с использованием критерия Смирнова-Граббса [10]. Проверка показала, что $(G^* = 4,36) < (G_{\alpha=5\%} = 4,59)$, т. е. гипотеза об однородности ряда не опровергается.

4.3. Расчет основных статистических характеристик и построение кривых обеспеченностей

Расчет основных статистических характеристик рядов максимальных расходов бассейна р. Келани выполнялся методом моментов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Основные статистические характеристики рядов максимальных расходов рек бассейна р. Келани

№	Река – пост	Площадь водосбора км ²	Длина ряда п	Средний расход м ³ /с	модуль стока, л/с км ²	Коэфф. вариации, C _v	Коэфф. асимметрии, C _s	Cs/C _v	относительная погрешность, %	
									среднего	C _v
1	Р.Кехельгаму п. Норвуд	97	24	115	1189	1.29	3.2	2.47	26.43	18.46
2	Р.Ситавака п.Дераниягала	183	30	478	2609	0.36	1.12	3.1	6.5	13
3	Р.Гуругода п.Холомбува	155	30	267	1722	0.39	0.87	2.3	7.1	14
4	Р.Келани п.Китулгала	383	30	486	1270	0.72	3.07	4.27	13.1	15
5	Р.Келани п.Гленкурс	1463	30	1082	740	0.39	0.22	0.57	7.2	14
6	Р.Келани п.Ханвелла	1782	30	1058	594	0.23	-0.19	-0.84	4.2	13

С использованием полученных статистических параметров были построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей в программе HydroStatCalc и рассчитаны максимальные расходы различной обеспеченности. В качестве аналитических кривых использовались кривая обеспеченностей Пирсона III го типа и Крицкого-Менкеля, расчет выполнялся

методом моментов. Графики кривых обеспеченностей представлены на рисунках 4.2-4.7.

1. Р.Келани - п.Ханвелла

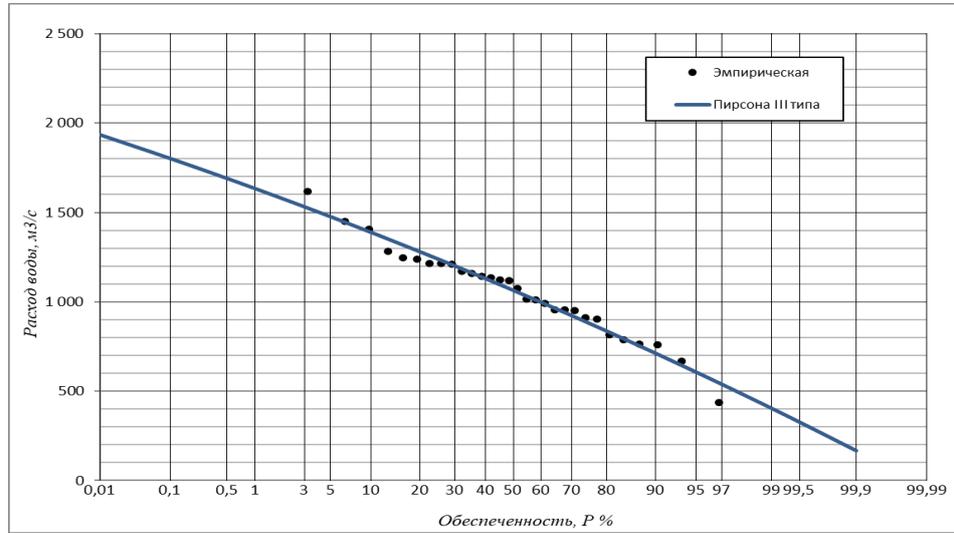


Рисунок 4.2 - Кривая обеспеченностей максимальных расходов Пирсона III го типа Келани Ганга -п. Ханвелла ($Q_{cp}= 1058 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0.23$; $C_s = -0,19$)

Таблица 4.4– Ординаты аналитической кривой обеспеченностей максимальных расходов воды; Келани Ганга -п. Ханвелла

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
$\text{м}^3/\text{с}$	1804	1636	1478	1391	1240	1066	884	714	609	406	169
$\text{л}/\text{с км}^2$	1012	918	829	781	696	598	496	401	342	228	95

2. Река Келани - п. Гленкурс

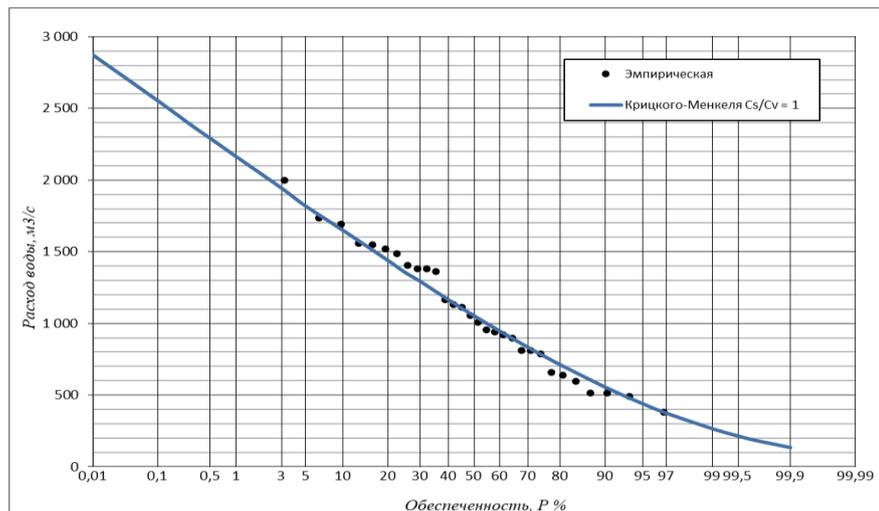


Рисунок 4.3 - Кривая обеспеченностей максимальных расходов Крещого-Менкеля $C_s/C_v=1$ ($Q_{cp}= 1082 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0.39$; $C_s=0,22$) река Келани п. Гленкурс

Таблица 4.5 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей максимальных расходов воды; река Келани - п. Гленкурс

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м3/с	2558	2168	1820	1652	1357	1053	775	554	440	265	132
л/с км2	1748	1482	1244	1129	928	720	530	379	300	181	90.2

3. Река Ситавака – п.Дераниягала

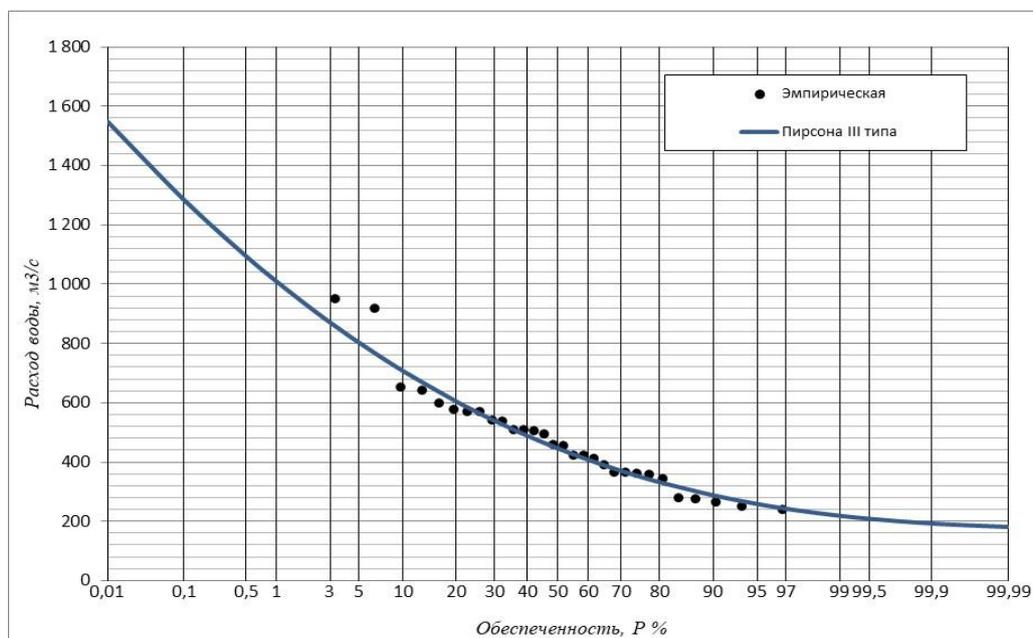


Рисунок 4.4 - Кривая обеспеченностей максимальных расходов Пирсона III го типа ($Q_{ср} = 478 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0.36$; $C_s = 1,12$) р.Ситавака – п.Дераниягала

Таблица 4.6 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей максимальных расходов воды; река Ситавака – п.Дераниягала

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м3/с	1286	1010	804	708	570	446	351	288	259	219	193
л/с км2	7026	5521	4392	3869	3114	2438	1920	1573	1414	1196	1052

4. Река Гуругода – п. Холомбува

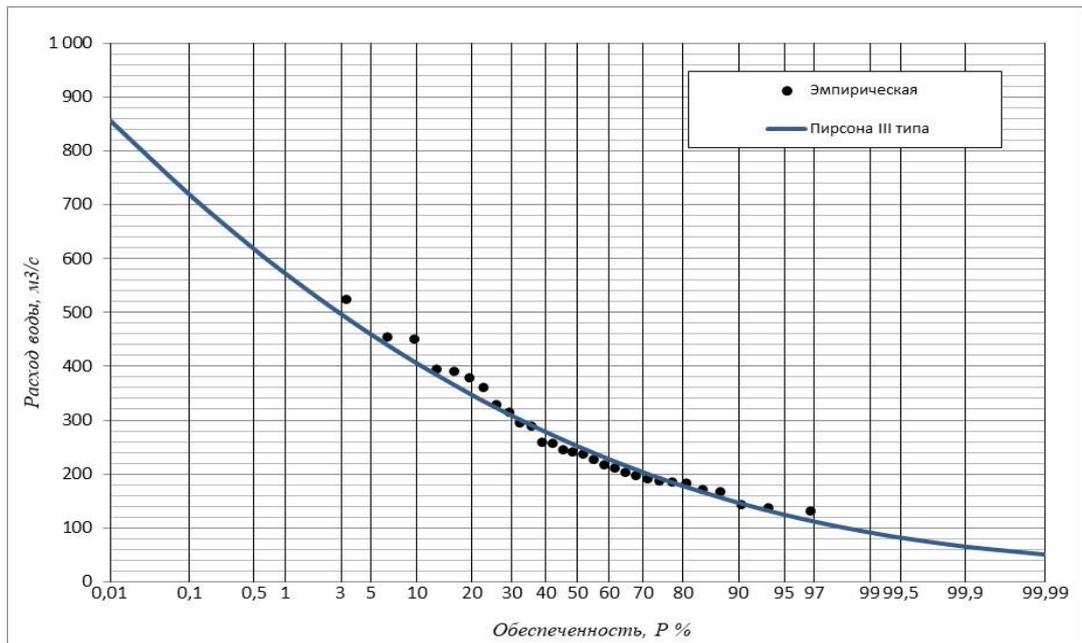


Рисунок 4.5 - Кривая обеспеченностей максимальных расходов Пирсона III го типа р.Гуругода – п. Холомбува $Q_{ср}= 267 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0,39$; $C_s = 0,87$)

Таблица 4.7 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей максимальных расходов воды; река Гуругода – п. Холомбува

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м3/с	719	573	460	406	327	252	191	147	125	91.8	65.5
л/с км2	4640	3695	2966	2621	2107	1626	1233	948	806	593	423

5. р. Келани – п.Китулгала

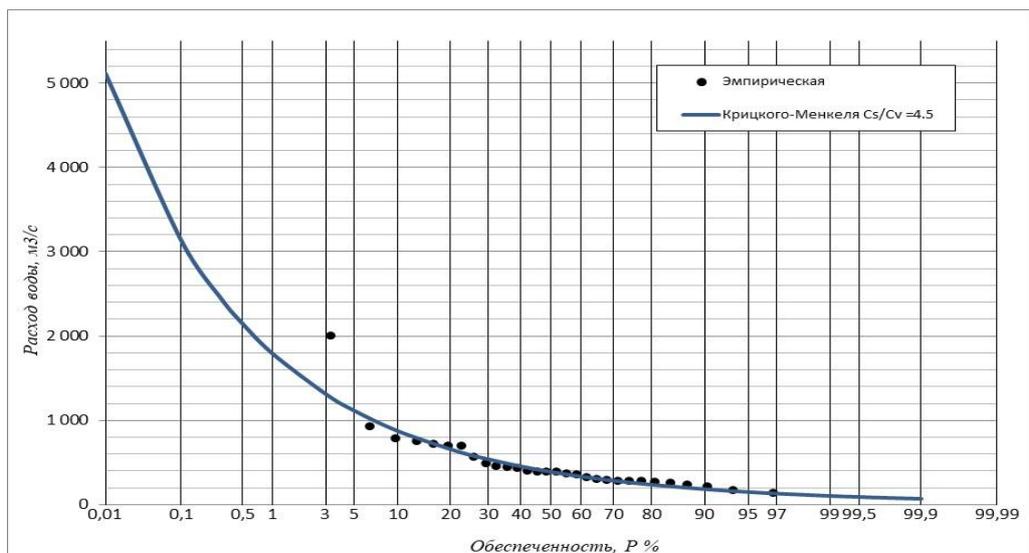


Рисунок 4.6 - Кривая обеспеченностей максимальных расходов Крицкого-Менкеля $C_s/C_v=4,5$ р. Келани – п.Китулгала $Q_{ср}= 486 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0,72$; $C_s = 3,07$)

Таблица 4.8 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей максимальных расходов воды; река Келани – п.Китулгала

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м3/с	3146	1797	1120	879	594	394	265	189	155	109	74.5
л/с км2	8129	4644	2895	2272	1535	1018	686	488	402	281	192

б. р.Кехельгаму - п. Норвуд

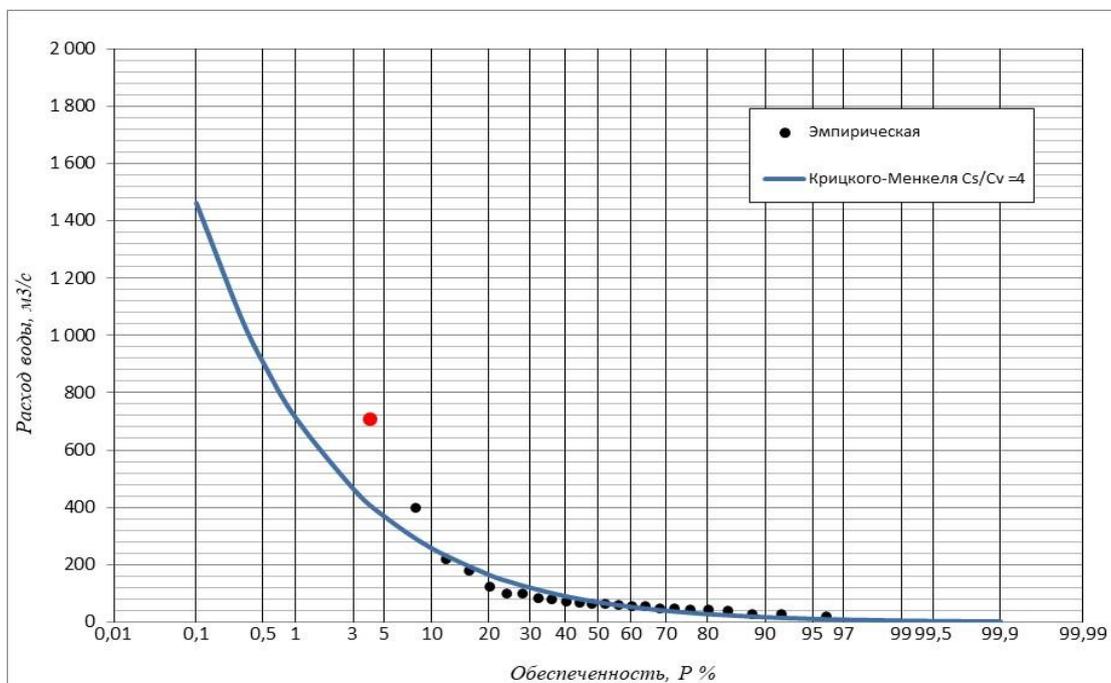


Рисунок 4.7 - Кривая обеспеченностей максимальных расходов Крицкого-Менкеля $C_s/C_v=4.5$ р.Кехельгаму п. Норвуд ($Q_{cp}=115 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v=1.29$; $C_s=3.2$)

Таблица 4.9 – Ординаты аналитической кривой обеспеченностей максимальных расходов воды; река Кехельгаму п. Норвуд

Размерность	Обеспеченность в %										
	0,1	1	5	10	25	50	75	90	95	99	99,9
м3/с	1462	712	369	258	140	69.4	33.8	17.4	11.6	5.36	2.17
л/с км2	15074	7343	3799	2656	1440	715	349	179	119	55.3	22.3

4.4. Построение районной редуционной зависимости для максимальных расходов воды в бассейне реки Келани

Для бассейна реки Келани была построена районная редуционная зависимость $\lg(q_{1\%}) = f[\lg(F+1)]$ (рисунок 4.8).

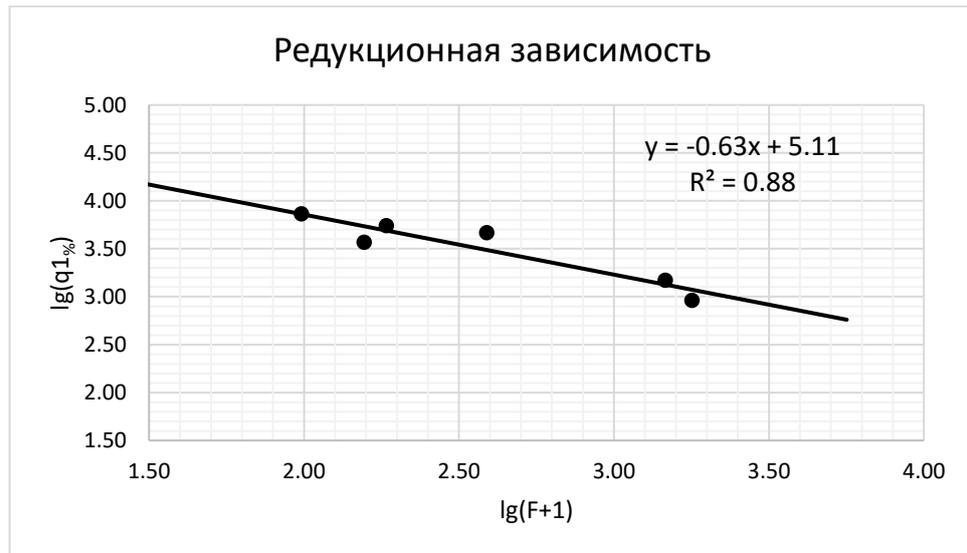


Рисунок 4.8 – Редуционная зависимость для рек бассейна р. Келани.

Зависимость можно аппроксимировать выражением:

$$q_{1\%} = \frac{A}{(F+1)^{0,63}} = \frac{129000}{(F+1)^{0,63}} \quad (4.7)$$

4.5. Риск наводнений в бассейне реки Келани

Наводнения чаще всего происходят во время юго-западного муссона (май–сентябрь), а пик их интенсивности приходится на май и октябрь. Однако значительные осадки в межмуссонный период также повышают риск наводнений. Из-за обильных осадков и крутого рельефа верхней части водосборного бассейна нижняя часть реки Келани подвержена сильным наводнениям. В частности, пойма формируется ниже уровня реки Гленкорс, которая находится примерно в 53 километрах вверх по течению от места

впадения в море. Ниже Ханвеллы (около 35 километров от моря), пойма становится шире, сменяясь равнинны ландшафтом [6].

Ряды максимальных расходов за период с 1993 по 2023 настоящее время можно считать условно стационарными, но изменения климата все таки сказываются на режиме максимального стока. В частности, в последние годы увеличилось число экстремальных явлений (Рисунок 4.9).

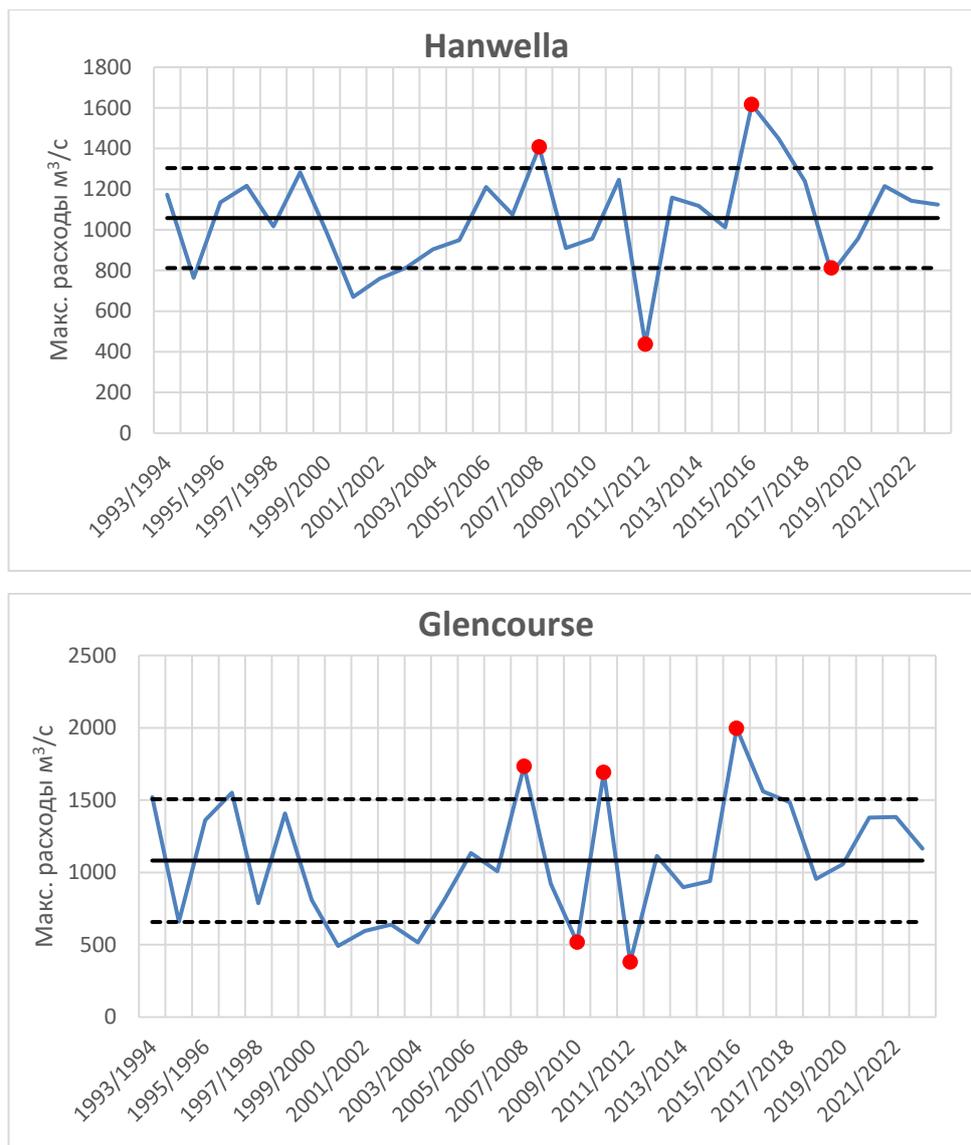


Рисунок 4.9 Хронологические графики максимальных расходов воды реки Келани -(пунктирные линии – $Q_{cp} \pm \sigma$)

Наиболее существенные изменения наблюдаются в нижнем течении реки Келани, где в последние годы увеличилось число наводнений. Наибольшие модульные коэффициенты максимальных расходов воды реки Келани за последние 15 лет приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Наибольшие модульные коэффициенты максимальных расходов воды реки Келани за последние 15 лет

Пост	Дата максимума паводка						
	04/2008	05/2011	05/2013	05/2016	05/2017	08/2022	
Hanwella	1,33			1,53	1,37		
Glencourse	1,60	1,56		1,84	1,44		
Kitulgala			1,93			4,13	

Наиболее значительное наводнение произошло в мае 2016 года. В течение этого периода на всей территории водосбора выпадали обильные и продолжительные дожди. Гидрограф за этот год представлен на рисунке 4.10. Число погибших составило 101 человек, ещё 100 пропали без вести. Нанесен ущерб экономике страны в 2 миллиарда долларов США[6]. Наводнение 2016 года было самым крупным после наводнения 1989 года (Рисунок 4.11)

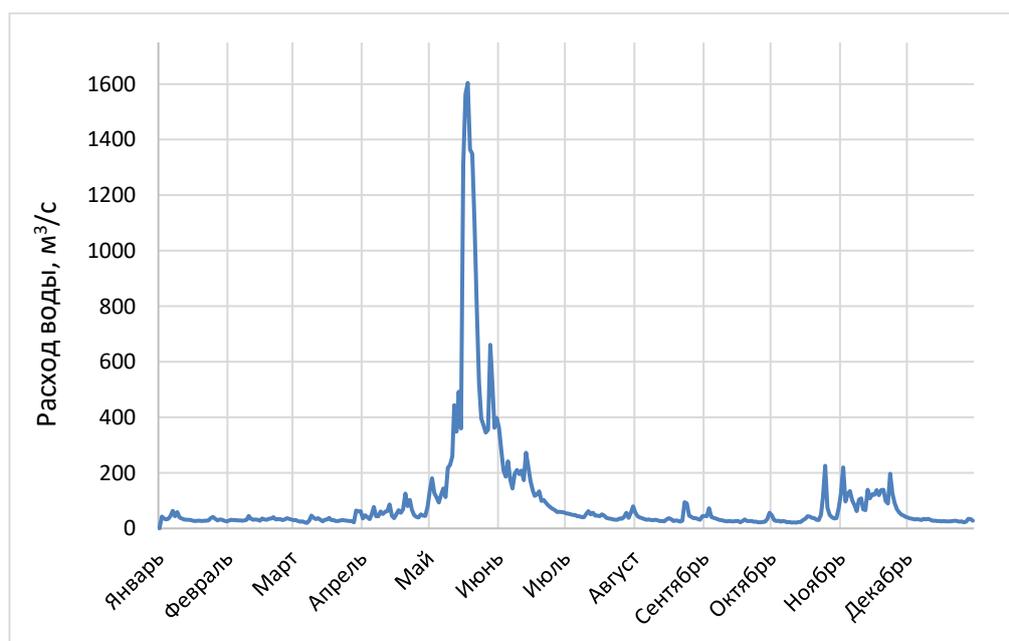


Рисунок 4.10 Гидрограф за 2016 год; р. Келани – п. Ханвеллла(в нижней части бассейна)

Общее количество осадков (за 8 дней), выпавших в районе водосбора Келани (выше улицы Нагалагам), было одинаковым во время обоих наводнений (около 558 мм).

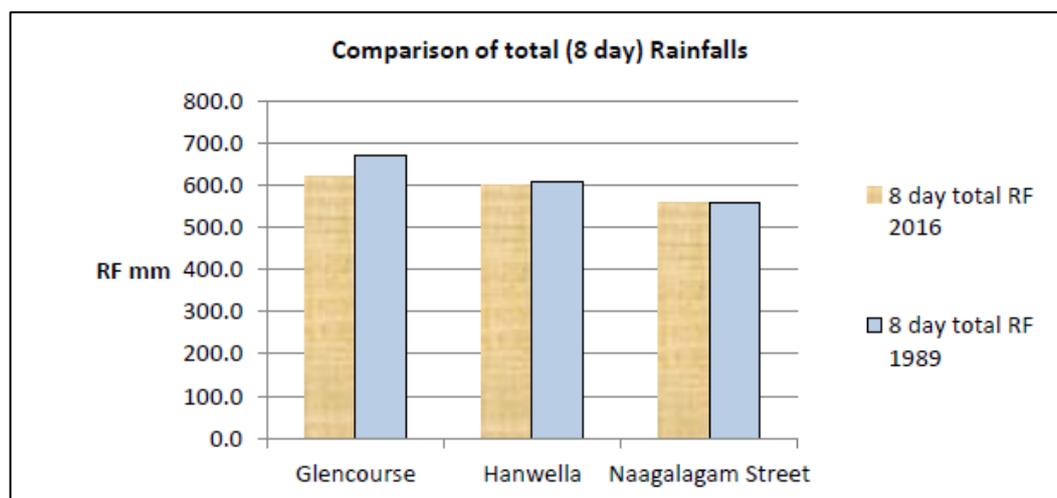


Рисунок 4.11 – Сравнение общего количества осадков, выпавших над водосбором реки Келани за 8 дней в 1989 и 2016 гг.[6].

Чтобы предотвратить наводнения в Коломбо, Департамент ирригации в период с 1923 по 1926 год (инженерные изыскания для этого были начаты в 1890-х годах) построил сложную инфраструктуру для защиты от наводнений, включающую дамбы, шлюзы и обводные каналы. Система состоит из двух отдельных схем, известных как Северная и Южная схемы.

На реках Келани Келани Ганга в Китулгале и Кехельгаму Ойя в Норвуде в последние 10-15 лет были зафиксированы очень высокие расходы повторяемостью примерно 1 раз в 100-150 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На интервале с 1869 по 2024 год ряды температур воздуха в бассейне реки Келани имеют значимый тренд на повышение. За последние 30 лет среднегодовая температура по сравнению с предшествующим периодом повысилась на 0,7-1,0 °С. Но в последние 25-30 лет рост температуры замедлился. Период с середины 90-х годов по настоящее время можно считать условно стационарным.

Анализ рядов годовых сумм осадков был выполнен за период с 1990 г. по 2023 г. по трем метеостанциям. Установлено, что на станциях Ханвелла Групп и Лаксапана ряды годовых сумм осадков являются стационарными. Ряд годовых сумм осадков по МС Честерфорд содержит значимый тренд на повышение; точка перелома на суммарной кривой осадков приходится на середину 2000-х годов.

Ряды среднегодовых и максимальных расходов за период с 1993 по настоящее время можно считать условно стационарными, но изменения климата все таки сказываются на режиме стока. В частности, в последние годы увеличилось число экстремальных явлений. Наиболее существенно эти изменения проявляются в нижнем течении реки Келани, где в последние годы увеличилось число наводнений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Liyanage, C.; Yamada, K. Impact of population growth on the water quality of natural water bodies. *Sustainability* 2017, 9, 1405.
2. Tropico-Srilanka. – URL: <https://tropico-srilanka.blogspot.com/2021/03/ras-titelnyi-pokrov-sri-lanki.html> (дата обращения 26.04.2025).
3. Silva, E.I.L., Jayawardhana, R.A.S.N., Liyanage, N. P.P. and Silva, E.N.S. (2015). Effects of construction and operation of mini-hydropower plants on fish fauna endemic to Sri Lanka – A case study on Kelani River basin, *Proceedings of the Water Professional Day 2015* (pp. 45-55).
4. MeteoCast: погода в мире: сайт. – URL: <https://ru.meteocast.in/windrose/lk/colombo/> (дата обращения: 11.01.2025).
5. Live wind map and wind forecast (<https://windy.app/map/>; обращения 23.01.2025)
6. Hydrological Report on the Kelani River Flood in May 2016, July 2020 Prema Hettiarachchi. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/342865359> (дата обращения 26.04.2025).
7. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: Том 2 Анализ временных рядов и случайных полей. СПб.: РГГМУ, 2020. – 196 с.
8. *Сукан А. В.* Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. – 278 с.
9. Irrigation heritage in srilanka URL: <https://irrigationsrilanka.wordpress.com>
10. Методические рекомендации по определению расчётных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 134 с.

11. Impacts of streamflow alteration on benthic macroinvertebrates by mini-hydro diversion in Sri Lanka, *Dinuke S. N. Munasinghe¹, Mohamed M. M. Najim, Silvia Quadroni & Muneeb M. Musthafa*
URL ; <https://www.nature.com/articles/s41598-020-79576-5>
12. *Сикан А.В.* Вероятностные распределения в гидрологии. Специальные главы теории и практики гидрологических расчетов: учебник. – СПб.: РГГМУ, 2020. – 286 с. – Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_87d638c890a947f99fcec9099b397e64.pdf (дата обращения 01.06.2025).
13. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчёты. – Л.: Гидрометеодат. 1990. – 365 с.
14. *Евстигнеев В. М.* Речной сток и гидрологические расчеты.– М.: Изд-во МГУ.1990. – 304 с.
15. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат. 1984. – 248 с.
- 16 irrigationsrilanka.wordpress.com
- 17 Дугганна Ралалаге Кавиша Бандара, Сикан А.В., Бродская Н.А. Гидрометеорологические условия республики Шри-Ланка, Сборник материалов конференции студенческого научного общества Института гидрологии и океанологии РГГМУ 19 апреля 2024 г(39-51) УДК 556.132.6(985) .
- 18 Дугганна Ралалаге Кавиша Аширвадани Бандара, Бродская Н.А. Особенности строения Острова Шри-Ланка и проблемы состояния природных вод. Сборник материалов конференции студенческого научного общества Института гидрологии и океанологии РГГМУ 20 апреля 2023 г (43-52) УДК [551.422:556.5](548.7)
- 19 Азимут геонаук - Выпуск 4, Материалы Всероссийской междисциплинарной молодежной научной конференции с международным участием *Томск — 2024 секция -Гидрология и*

- динамика гидро- и криосферы» Особенности формирования режима природных вод острова Шри-ланка. К.А.Б. Дугганна¹, Н.А. Бродская²
- 20 Гидрологические годовые отчеты за 2017/18 год. (www.irrigation.gov.lk)
- 21 Департамент метеорологии Шри-Ланки: офиц. сайт. URL: <https://nsdi.gov.lk/departement-meteorology> (дата обращения 24.02.2025)
- 22 Департамент ирригации Шри-Ланки: офиц. сайт. URL: https://www.irrigation.gov.lk/web/index.php?option=com_content&view=article&id=27&Itemid=128&lang=en3 (дата обращения 21.01.2025)
- 23 Погода и климат: сайт. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 01.03.2025)
- 24 Assessment of climate change impacts on extreme floods and land development in the Kelani river basin, Srilanka ;*Jayawardhana Mudiyanselage.*
- 25 Проблемы бассейна реки Келани. EDM.lk. Получено 21 января 2014 (дата обращения 23.04.2025)
- 26 The Assessment of Climate Change Impacts and Land-use Changes on Flood Characteristics: The Case Study of the Kelani River Basin, Sri Lanka. by Jayanga T. Samarasinghe¹, Randika K. Makumbura², Charuni Wickramarachchi³, Jeewanthi Sirisena⁴, Miyuru B. Gunathilake^{5,6}, Nitin Muttill^{7,8}, Fang Yenn Teo⁹ and Upaka Rathnayake²
- 27 ЭКОГИДРОМЕТ – НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ
IV Международной молодежной научно-практической конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» 13-14 марта 2025 года
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В БАСЕЙНЕ РЕКИ КЕЛАНИ. ШРИ-ЛАНКА; УДК [551.583:556.535](28)(548.7) Дугганна Ралалаге Кавиша Бандара, А.В. Сикан (43-45)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А1 – Суммы месячных осадков МС Ханвелла групп

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1990	174.3	58.5	360	216.9	356.4	191.4	235.4	21.6	100.6	464.7	740.7	169.3
1991	172.9	26	296	162.8	468.6	309.9	259.6	143.4	125.7	531.7	486.6	136.5
1992	105.3	0	9.7	257.9	418.2	474.2	408.5	148.1	554.1	290.9	387.6	110.1
1993	11.2	43.5	123.4	367	513.1	253.1	122.6	95.4	455.1	495.3	452.6	573.5
1994	3.5	183.6	269	158.1	589.9	115.2	157.7	98.7	298.6	713.9	294.5	87.8
1995	358.9	112	62.7	631.1	447.7	704.5	150.3	365	285.6	586.6	369.5	144.7
1996	9	192.7	26.4	87.1	112.4	158.4	199.4	331.6	504.7	383	257.6	112.5
1997	14	88.7	74.4	281.2	455	240.5	382.5	65	396.2	629.7	557.7	490.9
1998	286.9	1.8	125.1	126.3	473	303.5	643.7	268.4	385.6	511.5	405	537.3
1999	43.4	201.4	79.3	639.5	615.1	149.6	267.4	208	251.4	684.1	352.3	118.4
2000	327.5	199.3	156.9	94.3	358.8	166.8	68.4	304.6	577.3	275.1	201.7	206.1
2001	361.5	98.7	109.5	458.5	236.7	121.7	103.8	13.6	424	182.7	302.5	155.9
2002	166.4	111	179.2	638.9	372.9	141	78.7	74.3	57.6	484.9	263.1	266.4
2003	234.6	53.9	470.7	497.2	401.5	340.4	335.7	152.8	297	321.1	452.1	133.3
2004	46.5	32.9	67.7	385.2	255.4	255.7	327.1	142.4	554.1	414.4	678.5	227.5
2005	174.3	109.7	170.1	425.9	345.5	352	193.3	118.4	248	607.7	847.2	171.6
2006	186.4	95.1	257.3	110.3	211.7	282.9	124.3	392.9	182.2	771.8	671.1	95.1
2007	116.1	6.1	29	543.2	249.2	151.1	212.6	274.3	280	465	296.8	124.6
2008	50.7	315.7	354.2	645.7	344.5	397.4	345.2	162.4	219.9	667	203.9	141.8
2009	12.3	100.9	275.3	162.1	191.2	288.6	153.2	154.8	366.8	158.1	345.9	77.3

Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2010	55.2	17.2	139.7	421.6	554.4	200.8	129.2	33.6	265.5	314	486.4	153.8
2011	125	67.9	67.4	460.6	359.1	238.9	80.4	137.8	213.8	301.6	107.8	206
2012	92.5	181.1	139.8	259	185.9	127.7	86.2	289.6	246.7	648.1	243.3	139.3
2013	39.8	122.7	243	69.8	495.9	365.6	228.3	60.5	204	201	276.8	41.8
2014	89.5	3.2	101.9	375.8	168.4	450.4	87.7	349.8	249	498	267.8	284.1
2015	255.2	197.3	198.4	184.3	148.9	282.5	44.7	70.7	136.9	129.6	223	186
2016	42.9	24.5	123	193.1	533.5	74.9	53.6	6.5	12.2	85.8	116.5	113.2
2017	85.4	41.4	363.4	117.1	918.8	281.4	124.5	192.3	660.1	611.2	428.3	248.2
2018	75.7	143.2	75.2	542.5	565.5	341.4	117.5	119.3	203.9	616.1	570	238.6
2019	4.1	319.6	159.5	316.9	115.5	298.5	82.5	476.6	726.9	621.1	552.2	313.7
2020	35.1	52.4	107.8	254.5	288.1	288.9	220	123.4	778.9	126.7	418.7	310.5
2021	264.8	37.8	284.5	169.2	641.4	692.2	281.9	212.6	461	555.3	583.1	108.6
2022	123.6	84.7	58.3	391.4	695	128.3	38.2	269.8	294	754.5	291.2	311.2
2023	134.4	89.2	172.1	366.4	352.5	289.2	150.4	211.3	877.7	829.2	553.5	370.2

Приложение А2 – Суммы месячных осадков МС Честерфорд

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1990	140	69	452	156	340	193	281	13	34	532	588	205
1991	162	40	295	274	452	518	291	93	85	369	356	95
1992	12	0	0	270	434	276	271	153	339	602	454	117
1993	9	72	183	346	483	316	146	115	354	672	468	235
1994	76	159	152	229	417	175	155	108	229	728	573	18

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1995	179	36	33	563	549	442	123	152	191	399	321	34
1996	113	150	90	281	122	352	155	186	641	277	278	108
1997	87	53	67	296	527	182	512	124	626	951	787	342
1998	76	0	31	302	456	337	491	299	517	435	269	584
1999	123	149	228	540	556	333	173	216	201	751	504	55
2000	421	196	234	220	163	153	19	271	480	230	143	153
2001	260	169	35	580	117	123	114	34	400	325	214	141
2002	107	105	281	662	421	281	99	90	38	493	516	151
2003	250	170	363	414	235	366	432	252	174	355	175	61
2004	0	31	146	411	421	351	315	178	782	632	338	119
2005	52	42	186	176	162	251	113	170	201	608	898	210
2006	150	257	314	166	378	345	124	409	173	824	705	102
2007	82	25	102	582	282	418	281	257	467	567	325	304
2008	80	287	424	706	644	334	366	140	284	829	516	245
2009	119	18	382	385	292	397	176	370	374	547	448	212
2010	48	106	213	426	702	421	235	205	374	547	448	636
2011	301	168	131	577	644	397	235	205	374	547	448	212
2012	72	133	120	653	161	448	234	386	325	658	373	313
2013	184	145	277	239	812	801	435	90	499	261	483	358
2014	79	6	238	336	303	357	229	402	331	414	340	557
2015	70	0	367	565	350	430	75	236	328	764	547	0
2016	27	26	117	312	1335	248	143	30	76	195	348	75
2017	95	20	476	362	577	341	260	270	843	661	515	
2018	153	174	172	756	771	417	181	190	264	743	488	129
2019	3	206	23	353	204	411	214	480	691	857	500	279

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2020	26	0	124	369	616	303	412	227	901	181	533	314

Приложение А3 – Суммы месячных осадков МС Лаксапана

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1990	109.7	161.9	363.7	103.1	948.8	635.3	558.3	242.7	156.5	336.3	578.2	106.3
1991	159.3	86.3	125.2	349.7	318.2	924.8	448.7	433.1	206.5	561.7	310.3	132.2
1992	123.6	6.3	5.0	295.8	405.4	733.6	1186.5	798.4	456.9	843.2	533.3	111.0
1993	0.0	112.2	190.8	170.5	1008.6	1423.9	664.4	427.3	286.2	1031.9	366.2	281.2
1994	77.3	174.9	51.7	154.2	646.4	396.9	716.6	388.1	548.0	958.6	404.2	80.0
1995	106.4	47.8	177.1	543.8	1005.3	930.1	258.0	650.7	623.9	914.5	511.8	20.2
1996	125.2	79.6	29.5	543.4	48.2	507.9	661.9	643.7	952.4	377.4	275.3	34.3
1997	2.0	27.7	153.4	580.6	367.9	267.7	772.4	453.6	715.3	467.9	390.2	176.6
1998	35.9	142.4	53.1	122.3	465.3	764.8	582.3	638.9	891.7	599.7	464.7	249.0
1999	382.0	123.4	147.3	528.8	1116.8	765.3	358.4	523.3	291.5	724.1	211.9	103.7
2000	189.1	390.8	140.1	239.4	376.9	614.3	278.6	685.8	393.9	579.5	153.2	214.6
2001	158.4	123.4	67.0	292.5	380.3	323.7	585.5	176.0	580.8	591.7	405.5	149.7
2002	54.0	52.0	120.2	492.9	404.7	658.3	593.8	395.7	80.0	635.1	393.1	76.9
2003	120.8	110.5	260.6	462.8	743.8	417.9	620.5	580.8	417.8	238.1	295.9	29.8
2004	89.1	89.9	258.1	358.4	717.7	652.2	514.5	290.9	443.2	586.4	320.3	227.7
2005	97.5	97.6	224.6	226.3	253.0	480.4	417.2	318.0	528.5	666.2	361.0	70.8
2006	78.3	67.9	330.9	199.1	481.3	450.5	410.3	351.7	215.4	569.8	611.4	133.4
2007	91.1	67.1	147.8	389.8	518.4	697.6	551.6	478.8	508.4	436.0	278.0	65.4
2008	50.6	134.3	328.0	571.5	476.2	383.9	648.2	211.1	233.9	402.8	248.6	74.8

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2009	5.9	31.4	232.2	211.0	799.6	659.4	347.2	480.1	508.1	412.7	217.5	185.9
2010	42.5	5.0	163.0	408.0	667.8	609.7	609.9	676.2	436.8	568.4	534.1	289.4
2011	168.6	143.6	145.8	356.1	857.3	307.3	360.6	343.3	675.8	341.2	342.8	95.1
2012	67.5	70.1	154.4	320.0	130.1	261.9	436.8	383.6	235.2	755.6	400.6	183.1
2013	64.0	218.1	264.9	123.9	813.6	1157.4	785.8	419.7	640.9	430.9	173.7	131.6
2014	164.5	47.7	33.9	230.1	127.9	874.8	410.9	630.4	499.9	645.3	398.5	277.6
2015	6.1	245.0	119.8	293.8	278.5	414.5	361.7	447.1	443.8	602.8	519.5	145.2
2016	61.3	108.6	146.3	188.9	1126.3	536.0	263.9	352.7	210.8	475.7	279.2	45.5
2017	22.2	39.9	300.6	117.1	1022.8	486.3	284.7	397.4	472.7	823.6	239.3	189.7
2018	25.6	132.8	186.1	321.0	927.3	832.7	539.7	519.6	296.2	605.4	286.0	221.3
2019	86.9	256.2	87.9	348.1	155.0	496.2	499.0	767.5	458.3	627.0	422.8	227.3
2020	5.7	30.8	72.1	166.5	798.4	526.2	508.5	405.5	761.5	445.2	223.5	277.6
2021	254.5	120.8	328.4	364.1	1143.0	602.8	739.2	717.1	746.4	522.8	721.1	243.0
2022	114.6	86.0	295.4	435.6	1035.3	304.6	561.2	998.7	430.9	1014.4	322.9	221.9
2023	54.5	98.2	301.1	312.9	399.7	631.9	487.5	162.3	724.2	681.5	638.4	354.5

Приложение Б1 – Среднемесячные температуры воздуха, °С,МС Коломбо

ГОД	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
1872	25.9	26	26.5	27.1	28.4	27.3	27.1	26.3	25.4	26.6	26.6	26.1
1873	25.6	25.3	26.5	27.5	27.2	26.9	26.4	26.6	26.4	26.3	25.7	25.9
1874	25.5	25.7	26.6	27.8	27.1	26.9	26.3	26.5	26.4	26.1	25.6	25.6
1875	25.4	26.2	26.7	27.6	27.8	26.9	26.8	26.1	27	26.4	25.8	25.9
1876	25.7	25.4	27	28.1	27.6	27.2	26.8	26.5	27.1	26.4	25.5	25.2
1877	25.8	26.1	26.7	27.6	26.4	26.7	27.2	26.8	26.3	26.4	25.8	26.4
1878	26.3	26.9	27.7	28.6	27.6	27	27.1	26.4	27.4	26.6	26.3	26
1879	25.8	25.9	26.7	28.2	27.1	26.9	26.4	26.5	26.5	26.3	25.8	25.7
1880	25.5	26.7	27.4	27.6	27.4	27.7	26.6	26.5	26.9	27.4	25.7	26
1881	25.5	26.1	26.9	27.7	28.4	27.6	26.8	26.3	26.7	26.9	25.8	25.8
1882	25.6	26	27.2	27.6	27.3	26.8	26	26.2	27.1	26.3	26	25.4
1883	25.7	25.8	26.7	27.6	27.5	26.7	26.7	25.4	27	26.4	25	25
1884	25.2	25.8	26	26.7	27	27	27	26.3	25.5	25.8	25.3	25.5
1885	25.9	26	27.3	27.5	27.1	26	26.4	27	27.3	25.9	25.7	26.2
1886	25.8	26.3	27.4	27.3	27.5	27.3	26.5	25.8	26.2	26.6	25.9	25.5
1887	25.7	25.7	26.1	26.7	27.1	25.8	26.2	26	26.2	25.7	25.7	25.3
1888	25.3	25.8	26.9	27.2	27.2	26.7	27.1	26.5	26.6	26.4	25.9	25.5
1889	25.9	26	27.3	27.7	27.4	26.9	26.4	26.6	26.3	26.6	25.8	25.5
1890	25.3	25.7	26.7	26.8	27.5	27.1	26.3	26.4	26.5	26.1	25.3	26
1891	25.6	25.6	26.2	26.8	27.2	26.3	26.5	26.9	26.9	25.7	25.5	25.9
1892	25.1	26.2	26.9	27.1	28	27.1	26.8	26.1	26.8	26.2	25.7	25.8
1893	25.6	25.3	26	26.8	26.6	26.8	26.4	26.3	26.1	26	25.2	25.7
1894	25.3	25.9	26.7	26.8	27.8	26.7	26.5	26.2	26.6	26.4	25.7	26
1895	25.6	26.2	27	27.8	28.2	27.7	27	27.4	27.2	26.1	26.3	25.8

ГОД	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1896	26	26.4	27.4	28.2	28.2	27	27.4	26.6	27.1	26.5	26.4	26.5
1897	26.7	26.8	27.5	27.6	28.6	27.3	27.3	27	27.2	27.5	26.8	25.9
1898	25.9	26.5	27	27.7	27.7	27.6	27.4	27	26.8	26.5	25.7	26.5
1899	25.9	26	27.1	27.7	27.6	26.4	27.5	27.9	27.5	27.2	26.5	26.2
1900	26.5	27.5	28.4	27.9	28.3	27.8	26.8	27.1	26.9	27.4	26.5	25.7
1901	26.1	26.8	27.1	27.7	28.1	27	26.9	27.6	27.7	27.5	25.8	26.6
1902	25.4	26.3	27.3	28	27.9	28.1	26.8	27.4	26.9	26.3	26.2	26.3
1903	26.8	26.9	26	28	27.4	27.7	27.5	27	27.1	26.8	26.6	26.1
1904	24.6	25.7	26.4	27.9	27.3	26.4	26	26.6	26.7	26.3	26.4	25.7
1905	25.6	25.9	27.4	27.3	27.3	27.2	27.5	27.6	26.6	26.3	26.4	26.5
1906	26.1	26.8	27.2	28.5	27.7	27.5	27	26.5	27.5	26.2	25.5	25.8
1907	25.9	25.9	26.8	27.4	27.7	27.1	26.7	26.2	27.2	26.3	25.4	25.7
1908	25.9	25.8	26.9	28.1	27.5	27.1	26.8	26.7	26.8	26.4	25.8	25.8
1909	25.6	26.1	26.8	28	27.7	27.2	26.2	26	26.7	26.5	26	25.6
1910	26.3	26.4	26.9	27.8	28.4	27.7	27.2	27.3	27.2	26.6	26.1	25.9
1911	26	26.9	28.1	29.3	28.4	27.9	27.7	27.9	27.8	26.9	27.1	26.8
1912	25.9	27.3	28.3	28.2	28	27.3	27.7	27.7	27.4	26.7	26.2	25.9
1913	25.3	26.6	27.2	27.5	27.8	27.6	26.9	27.2	27.1	26.8	26.4	26
1914	26.8	26.6	27.6	28.2	28.3	27.6	27.5	27.2	27.6	26.7	26.9	26.4
1915	26.4	27.3	27.9	28.4	29	28.2	26.7	27.3	26.8	26.9	26.1	25.9
1916	25.7	26	27.2	28.1	27.2	27.1	26.8	27	26.9	26.9	25.9	25.7
1917	25.7	26	26.6	27.9	27.8	27.2	27.7	27.3	26.6	26.6	26.2	25.3
1918	25.3	25.2	27.1	27.8	27.4	27.7	27.9	27.4	27.7	26.8	26.9	26.3
1919	26.9	27.6	27.6	28.3	27.9	27.7	27.2	26.8	26.6	27.1	26.4	26.3
1920	26.1	26.5	27.4	27.3	28.3	27.1	27.1	27.1	27.1	26.9	26.3	25.9
1921	26.2	25.4	26.8	27.2	28.4	28	27.4	26.9	27.6	26.6	26.6	26.6
1922	26.3	26.2	27.2	27.8	27.6	27.4	26.5	26.9	26.8	26.2	25.8	25.2
1923	26	25.7	26.9	27.8	27.7	27	26.4	26.5	26.5	26.2	26.2	25.8

ГОД	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1924	26.4	26.8	27.1	27.7	27.6	26.9	26.8	27	26.6	26.4	26.2	26.1
1925	24.9	25.8	26.5	27.4	27.8	27.3	27	26.7	26.8	26.6	26.1	26.4
1926	26	26.6	27.6	28.2	27.7	27.4	26.9	27.2	27.1	26.8	26.2	26.2
1927	26	26.4	26.8	27.4	27.5	27.1	26.9	27.3	26.8	26.6	26.3	26.5
1928	26.3	25.9	27.2	27.6	28.2	27.7	27.4	27.4	28.1	26.6	26.6	26.3
1929	25.4	26.1	26.8	27.2	27.9	27.3	27.2	27.2	27.2	26.7	26.2	25.7
1930	26.1	26.7	27.4	27.9	27.6	26.8	27.4	27	26.9	26.2	26.7	26.4
1931	26.6	27.2	27.9	27.9	27.9	27.6	27.1	26.8	27	27.2	26.3	26.1
1932	26.9	25.4	27.2	27.7	27.3	27.7	27.2	26.8	27.1	26.6	26.1	25.9
1933	26.3	26.2	26.9	27.8	27.1	27	26.7	26.2	26.6	26.2	25.7	25.7
1934	25.6	25.8	26	27.1	27.9	26.9	27.2	27.2	27.3	26.2	25.7	26.2
1935	26.3	26.3	27.1	27.8	28.1	27	26.7	26.7	26.8	26.4	26.2	26.2
1936	25.7	26.6	27.1	28.4	27.1	27	27.3	27.2	27	26.8	26.3	26
1937	26.2	26.7	27.1	27.4	27.8	27.8	27.1	27.7	27.3	26.7	26.3	25.4
1938	26.8	26.7	27.1	27.2	28.5	28	27	27	27.1	26.6	26.5	26.3
1939	25.6	25.8	27.3	27.6	28	27.4	26.8	27	27.4	26.7	26.2	26.1
1940	25.9	27	27.7	28	28.1	27.8	27.3	27.3	27.6	26.6	26.4	26.6
1941	26.6	27.4	27.7	28.5	28.3	27.4	27.6	27.4	27.2	27.2	26.6	26
1942	26.4	27.2	27.3	27.6	27.9	27.3	27.2	27.1	27.4	26.8	26.2	26.1
1943	26.2	26.3	27.1	27.7	27.4	26.8	26.6	26.8	27.1	26.3	25.9	26.3
1944	26.1	26.4	26.7	27.7	27.7	27.4	27.3	27.5	27.3	26.8	26.1	26.2
1945	26	26.8	27.3	28.1	28.4	27.8	27.3	27.5	27.7	26.4	26.4	25.7
1946	25.9	27.3	27.3	27.8	28.7	27.9	27.8	27.6	27	26.6	26.3	26.2
1947	26.2	26.4	27.5	28.1	28.1	27.7	27.6	27	26.8	26.3	26.3	25.8
1948	26.7	26.7	27.4	27.6	28.2	27.6	27.3	27.1	27.4	26.9	26.7	26.2
1949	26.4	26.1	27.4	27.2	27.7	27.2	26.9	27.4	27.7	27.1	26.7	25.9
1950	26	26.7	27.4	27.8	28.8	27.4	26.8	27.3	27.1	26	26.3	26
1951	26.1	25.6	27	27.6	27.8	27.1	27.5	27.8	27.4	27.1	26.4	26.2

ГОД	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1952	26.1	26.7	27.4	27.5	28.2	27.3	27.2	27.6	27.8	26.8	26.2	26.4
1953	26.1	26.4	27.3	27.1	28.9	28.2	26.4	27.7	27.3	26.6	26	26.5
1954	26.2	26.4	26.7	27.7	27.7	27.7	26.9	26.7	26.8	26	25.9	25.5
1955	26.1	26	26.6	27.2	27.2	26.6	26.8	27.3	26.5	26.7	25.8	25.6
1956	25.6	25.6	26.7	27.8	27.8	27	26.9	26.9	26.8	25.9	26.1	25.8
1957	26	26.1	27	28.4	27.7	27.4	26.9	27.3	27.5	26.8	26.5	26.2
1958	26.9	26.3	27.4	27.9	27.9	27.6	28.1	27.3	27.7	27	26.4	26.8
1959	26.8	26.7	27.7	27.8	27.8	27	27	27	26.8	26.7	26.5	26.2
1960	26.4	26.3	26.9	27.5	27.5	27.7	26.9	27.2	26.7	26.3	25.6	26.6
1961	26.8	26.2	27.3	27.6	27.6	27.3	26.9	27.1	26.6	26.5	26.3	26.2
1962	25.9	26.9	26.9	27.6	27.6	28	27.7	27.1	26.9	26.7	26.4	26.4
1963	26.2	26.3	26.9	27.5	27.8	28.1	26.7	27.9	27.1	26.3	26.4	26.3
1964	26.4	27.1	27.4	28.3	28.6	27.8	27.1	27.3	27.4	26.9	26.5	26.3
1965	26.7	26.5	27.3	27.9	27.9	28.1	28	27.6	27.6	26.9	27.1	26.4
1966	26.6	27.3	27.7	27.9	28.8	27.7	27.9	28.6	27.6	26.9	26.8	26.6
1967	26.5	26.8	27.4	28.3	28.3	27.8	27.6	27.6	27.4	26.8	26.8	26.7
1968	26.2	26.3	27.9	27.8	28.7	27.9	26.9	27.8	27.4	27.2	26.4	26.6
1969	26.6	26.8	28.1	28.6	28.3	28.4	28.1	27.4	28.2	27.3	26.8	26.5
1970	26.4	27	27.7	27.9	28.1	28.6	27.5	27.6	27.5	26.9	26.6	25.8
1971	26.3	26.4	27.2	27.7	28.2	27.8	27.3	27.3	26.9	26.8	26.7	25.8
1972	27.6	26.1	27.5	28	27.9	28.6	28.4	28.2	27.9	26.9	26.9	27.3
1973	26.7	28.1	28.3	28.9	28.6	28.2	28.1	27.4	28.1	26.7	26.6	26.1
1974	25.7	26.7	27.4	27.6	27.9	27.9	27.2	27.3	26.8	26.6	26.5	26.4
1975	26	26.9	27.2	27.4	28	27.3	27.2	27.3	26.9	27.3	26.2	26.2
1976	26.3	26.7	27.4	28.1	28.4	28	27.6	27.4	27.8	26.8	26.7	26.6
1977	26.3	26.8	27.3	28.3	27.3	28	27.3	27.3	27.8	26.7	26.9	26.9
1978	27.3	27.8	28.1	28.3	27.9	27.7	27.1	27.2	28.1	27.1	26.6	27.1
1979	27.5	27.7	28.3	28.6	28.7	28.1	27.6	27.5	26.7	27.1	26.7	27.1

ГОД	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1980	27.3	27.5	28.2	28.2	28.9	28.2	28.2	27.1	28	27.1	27	26.6
1981	26.2	26.6	27.5	28.5	28.5	27.7	28.1	28	27.5	26.9	27.2	26.3
1982	26.9	27	27.7	28.5	27.9	27.8	27.4	27.5	27.6	27.1	26.4	26.3
1983	27.1	27.5	28.3	29.5	28.9	28.5	27.8	27.9	27.1	27.4	26.9	26.9
1984	26.5	26.6	27.3	27.7	28.5	27.5	26.9	27.4	27.3	26.7	26.5	26.5
1985	27	26.9	27.7	28.7	28.7	26.7	27.5	27.3	27.4	26.9	26.5	26.7
1986	26.3	25.5	27.4	28.2	28.9	27.5	28.3	27.1	27.6	27.5	27.3	27.5
1987	28.4	27.1	28.6	28.7	28.8	28.9	29	27.7	28.1	27.4	27.5	27.3
1988	28.1	27.5	28.8	28.5	27.7	28.1	28	27.9	27.5	28.1	26.9	27.2
1989	27.1	26.7	27.3	28.3	28.3	27.3	27.3	27.7	27.8	27.1	27.5	27.4
1990	27	27.6	28.5	28.5	28.5	28.5	27.3	27.9	28.5	27.5	26.7	26.3
1991	26.6	26.7	28.1	28.5	31.9	27.5	28.2	30	28.3	26.9	26.9	26.8
1992	27.1	27.1	28.1	29.2	28.4	28.1	27.5	27.7	27.5	27.2	26.8	26.6
1993	26.5	27.5	28	28.5	28.3	30.9	27.9	28	27.9	27.3	26.9	26.9
1994	27	27.3	28.1	28.5	28.5	28.3	28.1	26.9	27.5	26.5	26.9	27.6
1995	27.5	27.7	28.5	28.1	28.5	28.2	27.9	28	28.1	27.8	27.7	27.7
1996	27.3	27.1	28.4	28.5	29.5	27.1	27.6	28	27.6	27.3	27	26.6
1997	27	27	28.3	28.6	28.5	28.5	28.1	28.5	27.5	27.3	27.5	27.4
1998	27.9	28.9	29.3	29.7	29.8	27.9	27.9	28.1	28.3	27.7	27.2	27
1999	26.6	27.6	28	27.9	28	27.9	27.9	27.8	27.8	26.8	27.2	26.9
2000	27	27.2	27.9	28.9	28.8	27.9	28	27.6	27.3	27.6	27.4	27.2
2001	26.8	26.7	28.4	28.1	29.2	28.3	27.7	28.6	28.1	28.2	27.5	27.6
2002	27.4	27.9	28.5	28.3	28.8	28.5	28.4	28.3	28.7	27.1	27.2	27
2003	27.1	27.8	28	28.9	29.1	28.6	28.3	28.5	28.2	27.7	27.4	27.9
2004	28.3	28.1	28.6	29	28.6	28.3	28	28	27.2	27.1	27.1	27
2005	27.5	27.8	28.6	28.4	28.7	28.5	27.9	28.5	28	27.3	26.6	26.8
2006	26.7	27.7	27.7	28.8	28.5	28.1	28	27.6	27.9	27.4	27.1	27.2
2007	27.4	27.4	28.3	28.3	28.9	28.4	27.9	27.8	27.9	26.9	27.1	26.9

год	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
2008	26.9	27.1	27.4	27.5	28.7	27.9	27.5	27.6	27.8	27.3	27.3	27.2
2009	27	27	27.9	28.6	29.2	28	27.9	28.3	28	27.7	26.7	27.6
2010	27.2	28.1	28.7	28.5	28.6	28.6	27.8	28	27.9	27.9	27	26.5
2011	26.6	27	28.2	28	29	28.6	28.2	28.2	28.3	28.1	27.5	27.1
2012	26.8	27.5	28.2	27.5	29.2	28.7	28.5	28.1	28	27.3	27.1	27.3
2013	27.3	27.7	28.5	29.4	29	27.8	27.8	28.1	27.7	28	27.6	27.4
2014	27.5	27.6	28.6	28.7	29.1	29	28.8	27.9	28	27.5	27	26.7
2015	27.4	27.3	28	28.4	29.2	28.6	29.1	29	27.9	27.8	27.6	27.9
2016	28.3	28.7	29.5	29.9	28.7	28.9	28.2	28.5	28	28.4	27.5	27.8
2017	27.1	27.4	28.1	29.8	29.1	28.5	28.9	28.6	28.1	27.6	27.3	27.5
2018	27	27.8	28.4	28.6	28.2	28.4	28.3	27.8	28.1	27.4	27.4	27.2
2019	27.6	28.3	28.8	29	29.3	28.9	28.7	27.9	27.4	26.9	27.6	27.6
2020	28.2	29.2	29.3	29.3	29.3	29	28.3	28.5	27.6	28.4	28.1	27.6
2021	26.8	27.7	27.8	28.8	28.6	28.7	28.3	27.9	28.2	27.6	26.9	27.5
2022	27.9	27.8	28.9	28.3	28.9	28.6	28.2	27.8	27.9	27.3	27.2	26.6
2023	26.8	27.3	27.9	28.5	29	29	28.6	29	27.3	27	27.4	27.4
2024	27.4	28.5	29.1	29.2	28.5	28.3	28.3	28.2	28.6	27.3	26.7	27.6

Приложение Б1 – Среднемесячные температуры воздуха, °С, МС Нувара элия

год	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
1866	14.6	15.4	15.6	16.7	17.4	16.5	15.5	15.3	15.5	15.3	14.7	13
1867	13.2	14.5	14.7	15.5	17.7	16.5	16.1	15.3	15.6	15.8	15.1	15.5
1868	13.2	14.7	14.8	14.9	16	16.1	16.4	15.4	15.7	16	16.6	14.6
1869	14	17.8	16	16.2	17.9	17.7	16.4	16.9	15.5	15.4	14.1	14.2

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1870	14.7	15.5	15.6	16	17	16	14.8	14.8	14.7	15.8	14.7	14.1
1871	14.2	15.1	14.9	16.2	16.6	15	15.1	15.4	15.8	14.8	15.7	14.7
1872	14.7	14.7	15.2	15.9	16.4	15.9	15.9	15	14.3	15.3	15.3	14.9
1873	14.3	14.8	14.9	14.9	15.4	15	14.9	14.8	15.3	15.3	15.2	14
1874	15.3	14.6	14.9	15.8	15.5	15.1	15	15.1	15.1	14.6	15.3	14.4
1875	13.4	13.3	13.9	14.6	16	15.4	13.7	13.6	14.7	15.1	14.6	13.2
1876	13.5	13.1	13.8	15.5	16.3	15.7	15.1	15	15	15.4	14	13.4
1877	12.8	13.7	13.8	14.7	15.9	15.1	16.1	15.3	15.5	15.4	15	15.4
1878	15.1	15.9	15.9	16.8	16.7	15.4	15.7	15.1	15.5	15.6	15.4	14.9
1879	14.5	14.9	15.2	16.2	16.2	14.9	14.8	15	15.2	15.2	15.1	14.5
1880	13.2	14.7	14.7	16.1	16.4	14.9	14.3	14.6	14.6	15.4	15.1	13.6
1881	13.8	14.3	15	16	16.6	15.8	15.9	15.3	16.2	15.9	14.8	15.5
1882	14.4	14.8	15.1	15.7	15.6	15.1	14.2	14.5	14.5	15	14.8	14.7
1883	14.1	14.4	14.3	15.6	16.6	14.8	15.5	14.8	15.1	15	15	14
1884	13.6	14.2	14.6	15.2	15.9	15.7	15.2	14.9	14.9	15.3	14.8	13.2
1885	14.3	14.7	14.5	15.2	16.4	15.1	15.1	15	15.8	15.6	15.2	15.2
1886	15	15	15.9	15.8	16.5	15.6	15.2	14.7	14.5	15.3	14.9	13.5
1887	14.2	14.7	14.3	15.9	16.1	14.4	15.1	14.9	14.8	15.1	14.5	14.5
1888	13.6	15.4	15.4	16.4	16	14.8	15.7	16	16.2	16.3	16	15
1889	15.1	16.4	16.9	17.9	17.6	15	15.9	15.6	16.1	15.9	14.8	14.6
1890	15.6	15.7	16.3	16.8	17.3	15.6	14.8	14.5	14.8	15.4	14.2	14.3
1891	17.3	15.5	15.8	16.6	16.5	15.2	15.1	15.7	15.8	15.2	15.1	15.1
1892	14.1	15.1	16	16.6	17.1	15.9	14.8	15	15.3	15.5	16	14.6
1893	14.4	15.3	16.3	16.9	16.8	15.4	15.6	15.1	15.4	16.2	15.6	14.6

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1894	14.8	15.9	16.6	16.8	16.8	15.8	15.5	15.3	15.6	15.6	15.3	13.9
1895	14	14.1	14.8	15.9	16.9	15.9	15.3	15.5	15.9	15.8	15.4	14.6
1896	14.5	14.6	14.7	16.2	17.1	15.8	15.5	15.3	16.2	15.9	16.1	15.4
1897	15	15.5	15.1	16.3	17	15.6	16.2	15.3	16	16.1	15.6	15.1
1898	13.6	14.8	13.9	15.9	16.4	15.7	15.7	15.7	15.6	15.8	15.6	15
1899	13.6	13.8	14.1	16.2	15.4	15.2	15.6	15.6	15.5	15.8	15	15
1900	14.8	15	15.3	16.4	16.4	16	15.4	15.5	15.8	16.2	16.2	15.1
1901	15	15.1	14.8	16.3	16.7	15.5	15.5	15.4	16.1	15.9	15.7	14.3
1902	13.7	15.1	14.6	15.9	17.7	16.5	15.2	15.6	15.9	15.9	15.6	14.9
1903	15.2	15.4	13.7	16.3	17.1	17	15.4	15.9	16	16.2	15.5	14.5
1904	14.6	13.2	14	15.1	16.5	15.5	15	14.8	15.3	15.9	14.6	14.5
1905	14	15	15	16.1	16.6	15.7	15.4	16.2	16.1	15.9	16.5	14.5
1906	15.5	16.6	16.3	16.9	17.6	15.9	15.8	15.3	15.8	15.9	15.4	15.1
1907	14.6	15	15.5	16.3	16.7	15.6	15.5	14.7	15.8	16.2	15.2	14.1
1908	14.8	15.3	15.8	16.9	16.5	15.6	15.2	15.7	15.6	15.6	15.1	14.6
1909	14.6	15.9	15.7	16.6	16.6	15	14.8	15.2	14.9	16	15.5	14.6
1910	14.8	15.7	15.1	16.4	17.3	15.5	15.5	15.9	15.1	15.7	14.9	15
1911	14.7	15.1	15.8	16.7	17.3	15.5	15	15.6	15.7	16	15.7	15.5
1912	14.4	16.2	16.4	17.3	17.4	15.1	15	14.7	14.7	15.7	15.3	14.6
1913	15	15.7	15.4	15.4	16.5	16.8	16.3	15.9	16	16.4	16.3	15
1914	15.1	14.5	15.4	15.7	17.5	17	16.5	16.6	16.3	16.8	16.5	16.2
1915	15.5	15.7	15.6	16.2	18	17	16.9	16.5	16.4	16.7	16.6	14.9
1916	12.7	14.8	15.3	16.4	17.1	16.2	17.2	16.4	16.5	16.2	15.2	14.1
1917	13.6	15.3	15.8	15.4	16.1	16.4	16.5	16.4	16.4	15.9	15.4	14.6

год	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
1918	14.6	13.2	14.9	15	16.5	16.1	16.3	15.8	16.2	16.2	16.1	15
1919	15.2	16.1	14.5	16.1	17	16.1	16.4	16	16	16.4	15.4	15.8
1920	14.5	13.9	15.1	16.2	16.3	15.9	15.7	15.4	16.2	16.2	16.1	14.9
1921	14.9	13.5	14	15.7	17.1	16.4	16.1	16	16.1	16.1	15.3	14.6
1922	14	15	13.5	15.7	16.4	16	15.7	15.8	16.1	15.9	16	13.7
1923	15	13.6	14.7	15.8	16.2	16	15.4	15.6	15.8	15.7	15.8	15.2
1924	15	15.3	15.7	16	17.2	16	16	16.1	16.1	15.6	15.8	14.4
1925	13.6	14.5	15	15.3	16.6	16.1	16.2	15.6	15.7	16.2	15.4	15.7
1926	14.2	14.8	15.1	16	17.2	17	16.8	16	16.2	16.3	14.9	14.7
1927	14.8	15.4	15.7	15.1	16.5	16	15.7	15.8	15.3	15.6	15.8	15
1928	15	14.2	14.4	16.3	17.1	16.1	16.2	15.3	15.7	15.7	16	15.3
1929	13.2	13.8	15.1	16	16.9	16	16	15.6	16	15.6	15.6	14.6
1930	14.2	14.8	15.1	15.7	16.3	16.2	16.7	16.1	15.8	15.9	16.2	14.4
1931	15	15.5	15.1	16.4	17.2	16.2	16.6	15.5	16.1	16.2	15.9	16
1932	13.5	13.8	14.4	15.6	16.1	16.1	16	16.4	16.2	16.4	15.8	14.2
1933	15.1	15	14.8	16.1	16.1	16	15.6	16	15.7	15.6	15.1	14.4
1934	14.8	14.3	14.2	16	16.4	16.2	16.5	16.1	16.5	16.1	15.4	14.9
1935	15	14.7	15.2	15.6	17	16.9	16.2	15.8	15.6	15.8	15.4	15.1
1936	13.7	15.6	14.9	16.4	16.3	16.1	16.3	15.9	15.9	16.1	15.6	15.1
1937	15	15.5	14.6	16.7	17.1	16.4	16.3	16.1	15.8	15.7	16.2	13.7
1938	14.9	16	15.9	16.9	17.2	15.6	16.2	16	15.8	15.3	15	15.4
1939	14.4	13.8	14.8	16.4	17.4	16	15.8	15.3	15.9	16.4	15.7	14.6
1940	13.3	15	15	16.5	17	16.5	16.5	15.7	16.2	16.5	16.3	15.6
1941	15.2	15.8	15	17.4	17.2	16.2	16.3	16	16.4	16.7	16.7	15.1

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1942	15.1	15.4	15.4	16.5	17.5	16.3	16	15.7	16.2	15.6	15.1	15.4
1943	14.3	14.6	14.1	16	15.9	15.2	15	15.3	15.3	15.8	15.1	14.6
1944	13.7	15.7	15	15.8	17	16.3	16.4	16.3	16.1	16.2	15.7	14.9
1945	13.8	15.2	14.8	16.1	16.3	16	16.4	15.8	15.9	15.7	15.6	14.6
1946	14	15	15	16.2	16.8	16.2	16.3	15.8	15.7	15.7	15.5	15.4
1947	15.3	14.4	15.4	16.4	16.4	16.4	16.7	15.4	15.7	15.6	14.4	14.6
1948	14.7	14.5	15.2	15.7	17.2	15.9	16.3	16	16	15.9	15.2	15.6
1949	13.7	13.8	14.5	16.2	16.4	16.1	16.4	16.1	16.1	16.1	15.4	15.3
1950	13.5	15.3	15	15.4	16.2	15.6	15.7	15.9	15.4	15.4	15.1	14.2
1951	14.2	14.8	14.1	16	16.7	15.3	16.1	16.1	15.9	16.2	15.8	14.8
1952	15.5	16.1	15.2	16.7	16.5	16.5	16.3	15.9	15.9	15.5	15.5	15
1953	14.4	14.4	15.2	16.3	17	17	15.4	16.1	15.8	16.5	15.5	15.3
1954	15.6	15.1	16	16.1	17.2	16.1	16	15.6	15.8	15.6	14.8	15.2
1955	15	15.6	15.3	15.7	16.7	15.3	15.6	16.1	16	16.1	15.4	14.5
1956	14.1	14.2	15.2	16.2	16.7	15.7	15.6	15.3	15.8	15.9	15.7	14.1
1957	14.1	14.5	14.4	16	16.9	16.5	16	15.9	16.1	15.9	16.4	15.9
1958	15.6	15.3	15.9	16.8	17.6	17	16.7	16	16.5	15.8	15.9	15.9
1959	14.7	14.4	14.4	16.5	17.6	16.2	15.8	16.2	16.1	16.1	15.9	15.3
1960	15	15	14.6	16.4	16.8	16.4	15.8	16.1	15.4	16.2	15.7	15.3
1961	14.6	15	16.3	17	16.5	16	15.7	15.7	15.7	15.8	15.7	15
1962	15.2	15.4	16.1	17.3	16.7	16.4	15.2	15.5	15.5	15.8	15.7	15.3
1963	14.6	15.3	16	16.9	17.2	15.9	15.7	16.1	16.1	15.4	16	15.6
1964	15.5	15	16.6	17.1	17.4	16	15.5	15.3	15.3	15.7	14.4	14.5
1965	13.9	15	15.9	16.4	16.2	15.6	15.4	15.2	15.6	15.6	15.8	15.3

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1966	15.5	16	16.3	17.5	17.3	16.4	16	16.3	15.6	15.6	15.5	15.4
1967	15	15	16.1	16.9	17.3	16.3	15.3	15.7	15.9	15.5	15.8	15.3
1968	14.5	15.8	16.7	17.1	16.6	16.1	15	15.5	15.4	16	15.7	14.9
1969	15.3	16.2	16.9	18.3	17.5	16	15.7	16.2	15.8	15.9	15.8	15.7
1970	15.2	15.3	16.9	17.4	17.4	16.3	15.9	15.8	16.3	15.3	16.1	15.2
1971	15.4	14.8	15.8	17	16.8	15.1	15.4	15.4	15.5	15.4	15.4	15.4
1972	15.1	14.6	16.1	16.8	16.4	16.7	16.1	15.7	16.2	16.5	16.4	15.6
1973	14.8	16.1	17.1	18	17.5	16	16.3	14.3	15.8	15.8	14.8	14.6
1974	13.5	15.3	15.9	16.6	15.7	15.2	14.9	15	14.2	14.6	15	14.2
1975	13.5	15.1	16.1	16.5	16.6	14.6	15.3	15	15.1	14.5	15.1	14.3
1976	12.8	14.2	15.5	15.7	16.6	15.9	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	14.6
1977	13.2	14.3	15.5	16.2	16	15.3	15.2	15.3	15.4	16.1	15.9	14.9
1978	14.2	15	15.8	16.3	16.4	14.9	14.5	14.4	14.6	15.5	14.5	14.3
1979	14.1	15.2	15.4	16.3	16.3	15.8	14.9	15	15.1	15.5	15.4	15
1980	14	14.8	15.4	16.6	17.2	15.6	14.8	15.1	15.3	15.2	15.4	14.8
1981	13.7	14.7	16.3	16.6	17	15.4	15.1	15.1	14.8	15.4	15.6	14.2
1982	13.4	14.5	15.7	16.7	16.4	15.6	15	15.2	15.5	15.7	15.7	14.7
1983	14.4	16.5	16.9	18.1	17.5	16.7	16.5	16.7	15.7	15.8	14.9	15.4
1984	15.3	15.3	16.1	17	17.4	16.3	14.4	15.1	15.6	14.4	15.2	15
1985	15.2	15.7	16	17	16.9	15.1	15	15.7	15.2	15.3	15	15.6
1986	14.4	14.6	15.4	16.5	17	15.8	15.2	15.4	14.7	15.5	15	15.4
1987	15.2	15	16.5	17	17.1	16.1	16.1	15.7	16.2	16.9	15.6	15.6
1988	15.1	16	16.9	16.6	17	16	15.5	16.1	15.4	15.8	15.9	14.5
1989	14.5	14.8	15.8	16.5	16.3	15.3	15.2	15.6	15.5	15.5	16	14.9

год	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
1990	14.7	16.4	16.5	17.4	16.3	15.8	15.6	14.9	15.6	15.9	15.3	14.8
1991	14.5	15.3	16.3	16.5	17.1	15.9	15.6	15.6	15.8	14.9	15.3	14.4
1992	14.3	14.2	16.2	17.3	16.5	15.7	15	15	14.6	15.4	15.3	14.3
1993	14	14.9	16.1	16.7	16.7	16.1	14.6	15.3	15.6	15.3	15.5	15.5
1994	14.8	15.1	15.9	16.4	16.9	15.6	15.3	15.3	15.7	15.6	15.5	15.1
1995	14.9	14.9	16.2	17	16.8	16.1	15.5	15.2	15.6	15.5	15.5	14.1
1996	14	15.3	16.2	16.4	17.7	16.5	15.5	15.5	15.1	15.8	15.4	15.2
1997	14	14.7	16.8	16.9	16.7	17	16	16.5	15.6	15.9	16.3	16.2
1998	16.1	16.8	17.8	18.6	18.7	16.4	16.3	16.2	15.9	16.1	15.8	15.3
1999	15.3	15.9	16.3	16.5	16.6	15.7	15.4	16	15.4	15.7	15.9	15
2000	15	15.6	16.1	18	17.5	15.8	15.5	15.2	16.1	15.7	15.9	15.2
2001	15.6	15.7	16.8	17.1	17.8	16.1	16	15.9	16.2	16.1	15.7	15.1
2002	15.3	15.8	17	17.3	17.5	16.5	16.1	15.9	16.3	16.4	16.3	15.7
2003	15.3	16	16.6	17.1	17.6	17.3	16.6	16.1	16.5	16.5	16.4	15.3
2004	15.8	15.8	17.1	17.5	16.6	15.8	15.8	16.3	16.1	16.2	16.2	15.8
2005	15.8	16.4	17	17.8	17.7	16.5	15.9	16.5	15.9	16.1	16.2	15
2006	15.1	15.8	16.3	16.5	16.8	16.8	15.7	16.2	16.3	16.4	16.5	15.3
2007	14.9	15.1	16.5	17.1	17.7	16.8	16.3	16.4	16.1	15.4	15.9	15.3
2008	15.4	15.5	16.1	17.1	17.5	16.5	16	16.6	16.5	16.2	16.1	15.1
2009	14.3	14.9	16.5	16.6	16.3	15.8	15.4	16.5	16.3	16.1	15.6	16.3
2010	15.3	16.8	17	17.5	17.9	16.8	16.1	16.3	16.3	15.9	16	15.2
2011	15.1	15.6	16	16.4	17.2	16.7	16	16.4	16.5	16.3	15.7	15.1
2012	14.6	15.3	15.7	16.4	17.4	16.6	16.4	16.3	16.6	16	16	15.5
2013	15.2	15.3	16.6	17.3	17.7	15.6	15.6	16.2	15.6	16.1	15.8	15.2

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
2014	15.2	15.6	16.5	17	17.7	16.5	16	16.3	16	16.7	15.9	15.9
2015	14.3	14.9	16.1	17	18.1	17.1	16.4	16.7	16.9	16.9	16.7	15.9
2016	15.9	16.4	17.3	17.9	17.5	15.9	16	15.9	15.8	16	16.1	15.6
2017	14.4	14.9	16.2	16.6	17.5	16.8	17.3	16.8	16.8	16.2	16.1	15.9
2018	15.1	16.1	16.4	17.3	17.2	16.3	15.9	15.7	16.1	15.9	15.9	15.2
2019	14.7	16	16.5	17.2	17.7	17.5	17	16.2	16.5	16	16.1	15.5
2020	15.7	15.4	16.9	17.5	17.8	17.1	16.7	16.1	15.8	16	16.7	15.5
2021	15.5	15.4	16	16.4	17	16.4	16.2	15.9	16.1	16.1	15.8	15.3
2022	15.2	15.5	16.6	16.5	16.4	16.3	16.1	15.7	15.5	15.5	15.6	14.6
2023	14.2	15.2	16	16.7	17.4	17	16.4	16.8	16.1	16.4	16.5	16.2
2024	15.5	16.2	16.6	17.8	17.3	17.1	16.6	17	16.2	16.4	16	16