



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

Кафедра гидрофизики и гидропрогнозов

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(магистерская диссертация)

На тему **Оценка изменений водных  
ресурсов африканского континента**

Исполнитель Нийюбахве Жошуэ  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель К.т.н., Хаустов Виталий Александрович  
(ученая степень, ученое звание)

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

(подпись)

К.Т.Н., ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

Хаустов Виталий Александрович  
(фамилия, имя, отчество)

«06» 06 2022г.

Санкт-Петербург  
2022

## Оглавление

1. Физико-географическое описание континента Африки.....	7
1.1 Климат.....	7
1.2 Температура.....	13
1.3 Осадки.....	14
1.4 Испаряемость и испарение.....	15
1.4.1 Испарение.....	15
1.4.2 Испаряемость.....	18
1.5 Речной сток.....	19
1.5.6 Оранжевая река.....	32
1.5.7 Река Лимпопо.....	34
1.5.8 Река Вольта.....	34
1.5.9 Река Огоуэ.....	34
1.5.10 Река Гамбия.....	34
1.5.11 Самых Больших Озер В Африке.....	34
1.6.1 Массив Дракенсберг.....	40
1.6.3 Рельеф западной, центральной и северо-восточной Африка.....	41
1.6.4 Рельеф восточной Африки.....	41
1.6.6 Магриб.....	42
1.7 Растительность.....	43
1.8 Исходные данных для расчетов.....	44
1.8.1 Гидрологический режим климата и гидрологии.....	45
2 Математический аппарат.....	54
2.1 Оценка характеристик ряда наблюдения.....	54
2.2 Статистические характеристики.....	54
1.1 Статистический ряд.....	54

2.4	Расчет испарения и испаряемости по методу Тюрку .....	56
2.5.1	Теория случайных процессов.....	58
2.5.2	Неустойчивость процесса формирования стока.....	60
2.6	Расчет критерия водообеспеченности.....	63
2.6.1	Коэффициент водообеспеченности .....	65
<b>3</b>	.....	<b>66</b>
3.1	Сценария оценка зон избытка и недостаточности водных ресурсов .....	66
3.2	Методики восстановления среднемесячных и среднегодовых расходов воды. 67	
3.2.1	Построение уравнений множественной линейной регрессии по месячным данным	67
3.3	Методики восстановления среднемесячных и среднегодовых расходов воды. 68	
3.3.1	Восстановление годового стока по уравнению водного баланса .....	68
3.3.2	Плохое распределение воды и оценка избытка и дефицита водных ресурсов 69	
3.3.3	Факторы влияющие на гидрологический режим в Африке .....	71
3.4	Трудности, препятствия и ограничения, связанные с климатическими изменениями в Африке.....	74

## Список сокращений и аббревиатур

WMO: World Meteorological Organization

ГИС: геоинформационная система

ГП: Гидрологический пост

ОГХ: Основные гидрологические характеристики

БД: База данных

ФПК: Фоккера-Планка-Колморона

ГОСТ: Государственный стандарт

ЮАР: Южная Африканская Республика

АКФ – автокорреляционной функции;

Е: Испарение

$E_0$ : Испаряемость

## Введение

Вода – один из самых ценных ресурсов на планете ЗЕМЛЯ. Она играет важную роль в различных сферах жизни. По сравнению с другими континентами, Африка является одним из самых благоприятных по учету гидрологических ресурсов более 5000 миллиардов кубометров в год на действующих 17 крупных реках и 260 озерах. Несмотря ни на что, более 40% населения не имеет прямой доступ к воде во всех ее формах, будь то питьевая вода или вода для мытья. Из-за этого, более тысячи погибают и из-за катастрофических явлений, вызванных водой. Общей чертой гидрографии Африки является относительная самостоятельность рек, которые, в свою очередь, бедны притоками.

## Актуальность

Актуальность оценки водных ресурсов Африканского континента, нелегко определить из-за того, что большая часть континента испытывает нехватку воды в результате несоответствия термических и водных ресурсов. Текущее состояние водных ресурсов показывает необходимость улучшения управления этими ресурсами. Изменения характера и количества осадков, а также температура имеет важные последствия для производства земледелие, особенно растениеводство.

Определение и расчет качественного критерия дефицита и избытка, а также расчет обеспеченности водными ресурсами для достижения основной цели исследования, заключающейся в оценке изменения этих ресурсов на основе имеющихся гидрологических данных, а также современных климатических сценариев, обновление методологии количественного и качественного анализа долгосрочных изменений водных ресурсов в Африке и, точнее, в Бурунди которая является предметом исследования нашей работы.

Цель работы –

- Сформировать и восстановить пропуски в гидрометеорологических данных
- оценить современное состояние водных ресурсов континента Африки, в частности Бурунди и рассчитать их избыток и недостаток.
- Выполнить сценарную оценку изменений на перспективу:
  - статистических параметров и обеспеченных значений стока
  - водообеспеченности
- Выполнить оценку устойчивости решения для моментов распределения

Водообеспеченность в нашей работе принимается как отношение поверхностного стока ( $Y$ ) и водного дефицита которые характеризуют потребностью в воде для сельскохозяйственное производство и количество доступной воды, которая может быть использована для разных цели.

Их оценка позволяет получить уверенности или либо рассмотреть иные меры, принимаемые в случае дефицита этих ресурсов, а также в случае избытка водных ресурсов, принять меры гражданской защиты. Это заметно в большинстве районов, где часто бывают наводнения, когда реки не могут собрать дождевую воду и наносят большой ущерб.

Создана гидрометеорологическая база многолетних данных:

- приземная температура воздуха,
- осадки,
- сток реки и их восстановление в периоде недоступных данных,
- испарение (расчетное),
- испарение (расчетное).

## 1. -

Африканский континент является огромным и массивным с площадью 30.000.000 км<sup>2</sup>. Он простирается с севера на юг на 8 000 км и с запада на восток на 7 500 км.

Он омывается Атлантическим океаном на западе; на севере омывается Средиземным морем, а на северо-западе граничит с Красным морем. Он соединен с Азией Суэцким перешейком, и с Европой Гибралтарским проливом.

Африка разделена на 2 полушария с экватором: на севере расположены 2/3 ее площади, а 1/3 к югу. Рельеф Африки в основном состоит из плато. Тот факт, что Африку пересекают экватор и тропики, делает Африку самым жарким континентом, учитывая среднегодовые температуры по сравнению с другими континентами. Для этого Африка приспособляется к различным типам флоры и фауны, а также к различным типам водотоков, омывающих континент.

### 1.1 Климат

Африка является одновременно континентальным, сухим, океаническим и пустынным с разнообразным ландшафтами и рельефами. Его климат меняется и делится на сезон дождей и жаркий сезон.

Первый очень влажный, с обильными осадками, а второй гораздо более сухой, имеет тенденцию быть засушливым в районах, наиболее удаленных от побережья, в самом сердце континента.

На территории континента Африки подразделяется на четыре региона по природным условиям: Северная и Южная Африка (сухая Африка) где встречаются средиземноморские и тропические пустыни, экваториальная (центральная) Африка, где господствуют влажные и переменновлажные субэкваториальные леса и восточная Африка с умеренным увлажнением.

Африканский континент расположен в тропической области, где господствуют пассатные и экваториально-муссонные циркуляции (рисунок 1.1).

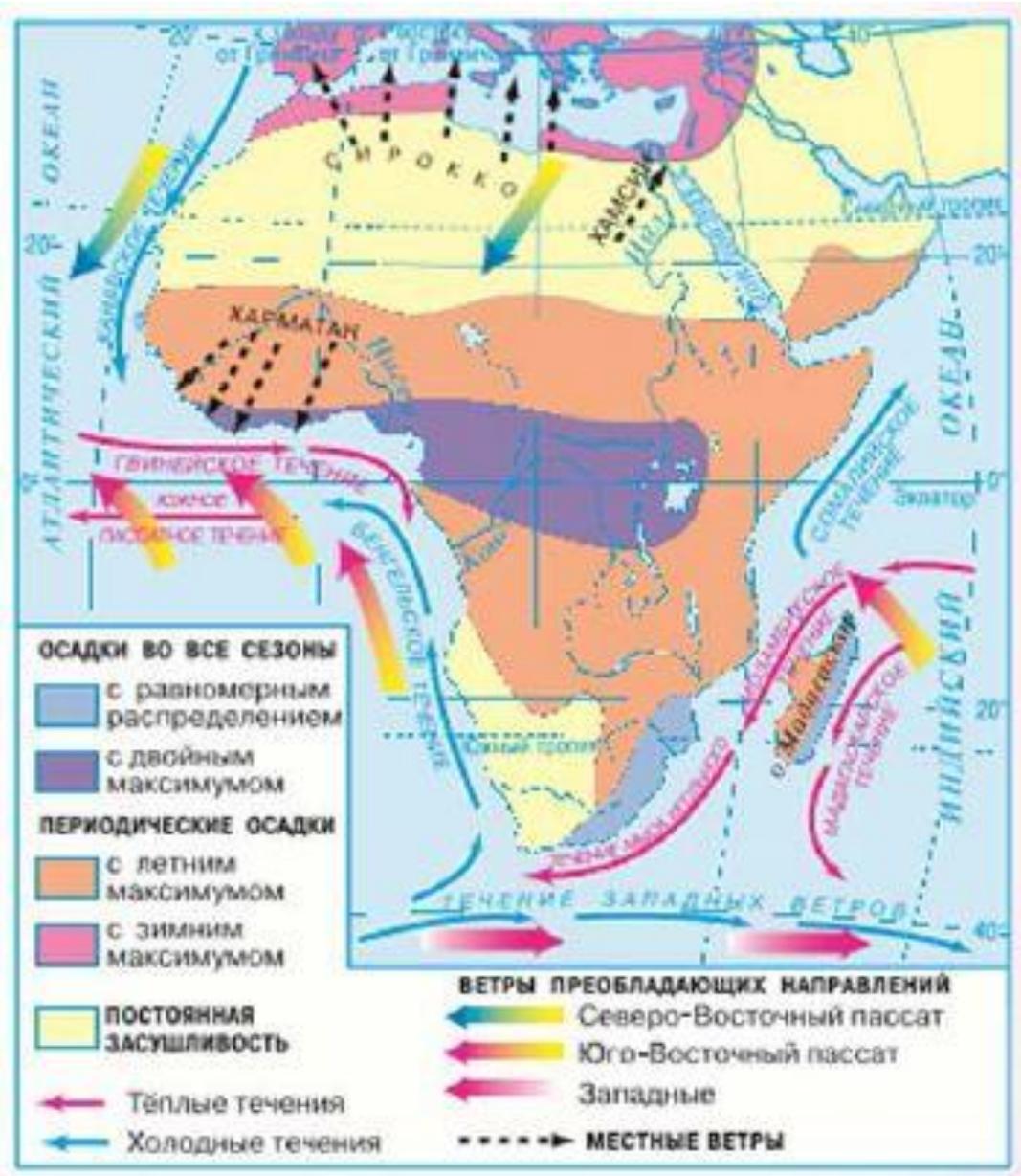


Рисунок 1.1 Климатическая карта Африки

### 1.1.1 Субтропический пояс

Субтропический пояс занимает крайние север и юг Африки. На побережье Средиземного моря и на юго-западной окраине материка формируется субтропический средиземноморский климат с сухим жарким летом (+28 °С) и теплой влажной зимой (+12 °С, осадки до 1000 мм). Субтропический влажный климат на юго-востоке Африки отличается равномерным распределением осадков в течение года. Зимой они связаны с западным переносом воздушных масс, а летом — на всем юго-восточном побережье дуют ветры с Индийского океана. Атмосферные осадки составляют 1500 мм. Летом значительное количество влаги остается на склонах Драконовых гор, зимой — на западных склонах Капских гор. Субтропический континентальный климат характерен для пустынь Капских гор и Кару.

### 1.1.2 Экваториальный пояс

Вокруг экватора господствует экваториальный климат, который характеризуется одним сезоном — летний с ежедневным выпадением после полудня сильных дождей.

Здесь господствует жаркий и сухой климат, включающий четыре сезона: два из которых дождливые, а два других сухие. Это в районе бассейна реки Конго между 5 с-ш и 5 ю-ш. и побережье Гвинейского залива до 7-8 с-ш. Влажность воздуха вокруг экватора очень высокая, а ветры довольно слабые. Средние месячные температуры +26 – +28 °С.

На самом деле существует две разновидности экваториального климата: разновидность с влажным климатом в центре и на западе, где среднегодовым количеством осадков более чем 1500 мм. Сухой сезон длится от 3 до 6 месяцев. Вторая разновидность более засушливая на востоке, где годовое количество осадков колеблется от 500 до 1200 мм. Здесь сухой сезон длится от 6 до 9 месяцев.

Экваториальный пояс охватывает узкую прибрежную полосу вдоль Гвинейского залива и бассейна реки Конго. В этом поясе в течение всего года преобладают теплые и влажные экваториальные воздушные массы, поэтому здесь один тип климата - экваториальный. Температура здесь высокая круглый год и достигает +26–28 °С. Суммарное годовое количество осадков превышает 2000 мм и распределяется в течение всего года.

### 1.1.3 Субэкваториальные пояса

Субэкваториальные климатические пояса, простираются в северном и в южном полушарии, с характерным для них типом субэкваториального климата опоясывают обе стороны от экваториального пояса примерно до 15-20° широты. Здесь в течение года также отмечается высокая температура (+25...28°C), но четко прослеживается чередование влажных летних и сухих зимних периодов. Это связано с изменением типов воздушных масс в зависимости от времени года. Летом здесь господствует влажная экваториальная воздушная масса, приносимая экваториальными муссонами, зимой сухой тропический воздух, приносимый пассатами. Здесь увеличиваются годовые амплитуды температур по сравнению с экваториальным поясом. В начале дождливого сезона, температура достигает +30 °С а в холодные месяцы, температуры ниже +18...+20°C. Влажный период сокращается от экватора к тропикам с 3...10 месяцев.

Субэкваториальный муссонный климат отличается от экваториального меньшего количества осадков и летним максимумом их выпадения (до 1500 мм). Он занимает почти 1/3 часть всей территории Африки. Летом здесь господствует экваториальный воздух, который приносится экваториальными муссонами. Здесь лето влажный климат. Зимой преобладает сухой тропический воздух, приносимый пассатами (зима сухая).

#### 1.1.4 Тропический пояс Африки

Южный и северный тропические пояса простираются до  $30^\circ$  с-ш. и  $30^\circ$  ю-ш. Особенностью климата этого пояса является сухая, жаркая погода и минимальное количество осадков, уменьшающееся по мере удаления от центра континента и дальше в его глубь.

Африка большей частью распространена в тропическом климате, поэтому здесь много пустынь, образованию которых способствует сухость воздуха, удаленность от океана, а также повышенный пресс со стороны масс тропического вида. Это идеальные условия для развития многих пустынь и саванн.

Тропические пояса (северный и южный) простираются до  $30^\circ$  с-ш. и  $30^\circ$  ю-ш. Они охватывают почти всю Сахару и котловину Калахари с ее краевыми поднятиями. В этих поясах круглый год держится континентальный тропический воздух и господствуют пассаты. Средние температуры самого теплого месяца  $+30\dots+35^\circ\text{C}$ , самого холодного — не ниже  $+10^\circ\text{C}$ . Очень значительны амплитуды температур: годовые — около  $20^\circ\text{C}$ ; суточные — до  $40\text{-}50^\circ\text{C}$ . Осадков мало — не более 50-150 мм в год. Выпадают они эпизодически, в виде редких и кратковременных ливней.

Особые климатические условия в пределах тропических поясов создаются на западном побережье Африки (приатлантическая Сахара и пустыня Намибии). Здесь проходят холодные течения. Относительная влажность воздуха велика, но осадков выпадает очень мало. Зато в холодные ночные часы на побережье образуются обильные росы и туманы. Температуры сравнительно низкие для тропических широт: летом — около  $+20^\circ\text{C}$ , зимой — около  $+15^\circ\text{C}$ .

На восточном побережье Южной Африки формируется влажный тропический климат. Этому благоприятствуют теплые течения у

побережья, над которыми юго-восточный пассат насыщается влагой и дает обильные осадки на наветренных склонах Драконовых гор.

### 1.1.5 Пустынный климат (около тропиков)

При выпадении осадков менее 200 мм в год, этот климат отличается большой неравномерностью осадков. Может быть, несколько последовательных засушливых лет (без дождя). Сухость воздуха, суточная (до 30°C) и годовая (более 50°C) амплитуда температур значительны.

### 1.1.6 Средиземноморский климат

Средиземноморский климат представляет собой метеорологическую мягкость бассейна, имя которого он носит. Занимает побережья Магриба до района южного мыса континента. Этот климат в основном характеризуется разделением на два сезона в течение года. Первый летний сезон очень жаркий и сухой, что говорит об умеренном климате, в отличие от тропического климата. Зимой климат характеризуется прохладным и дождливым зимним сезоном. Среднегодовое количество осадков составляет 700 мм вод.

Таблица 1

Общие характеристики климатических поясов Африки

Климатический пояс	Географический положение	Воздушные массы	Характеристики климата
Экваториальный пояс	Бассейн реки Конго и побережье гвинейского залива	ЭВМ	Жарко-влажный

Субэкваториальный пояс	До 15-20 градуса широты к северу и к югу от экватора	ЭВМ-летом, ТВМ-зимой	Жарко-влажный Жарко-сухой
Тропический пояс	До 25-30 ° северной широты и южной широты	ТВМ	Жарко-сухой
Субтропический пояс	Крайний север и крайний юг материка	ТВМ-летом УВМ-зимой	Жарко-сухо умеренно

## 1.2 Температура

Большая часть Африки (около четырех пятых) входит в тропический пояс. Только одна пятая часть относится к зоне умеренного климата, а еще большую часть этой пятой занимает пустыня Сахара на севере и степи Калахари на юге. Таким образом, Африка является самым жарким из шести континентов, особенно потому, что ее компактная форма предлагает Солнцу обширные поверхности для обогрева, а близость моря не охлаждает их и не смягчает климат. К счастью, во всем экваториальном и южном регионах высота компенсирует широту и значительно снижает среднюю температуру. В результате тепловой экватор никак не совпадает с географическим экватором. Он проходит дальше на север, через Сенегал, Дарфур и Нубию.

Пожалуй, самые жаркие районы земного шара — это берега Красного моря вокруг Массауа (Эритрея); жара там поднимается до 50°C, а в среднем будет 32°C; в апреле и мае достигает 40°C. Один наблюдал в Мурзуке в Феццане (Ливия) 56°C, в Джибути 53°C и песок нагревается так сильно, что можно сварить яйца, закопав их туда. В оазисе Сиуа солнце и инсоляция так

сильны, что все улицы покрыты сплошным мраком; никто не ходит там в полдень без лампы. Прозрачность воздуха, допускающая эти страшные жары, не препятствует излучению небесных пространств; также ночи очень холодные в самых жарких регионах. В Мурзуке мы наблюдали - 2,5°C, разница между крайними температурами 60 градусов.

В оазисе Бильма во время путешествия наблюдалось наблюдение с температурой 45°C между утром и днем (между 10°C и 55°C). Часто вода замерзает до восхода солнца. Желе регулярно встречается от 25° с-ш. до 15° ю-ш. К северу от Сахары, в Мзабе, после дня, когда температура была 21°C, выпало так много снега, что вся местность была покрыта им.

Изотерма средней температуры 28°C, которую можно наблюдать как тепловой экватор, входит в Африку на востоке на 10° с. ш., поднимается до 15° с. ш. в районе Судана и выходит в Гвинею на 6° с. В умеренном поясе климат еще очень жаркий; в среднем она достигает 22°C в Каире, 20°C в Александрии. В южной части немного прохладнее; в среднем 16°C в Кейптауне, немного выше на побережье Наталя. Юго-восточное побережье значительно теплее юго-западного, пальмы останавливаются на побережье Атлантического океана, на 16° южной широты, и поднимаются до 31° на побережье Индийского океана.

### 1.3 Осадки

Температура и выпадающие осадки являются двумя наиболее важными показателями состояния климата в Африке, которые постоянно влияют на условия жизни населения. Изменение этих двух показателей оказывают большое влияние на сельское хозяйство, продовольственную безопасность и водные ресурсы. Сельское хозяйство обеспечивает значительную долю валового внутреннего продукта (ВВП) многих африканских стран и является важным источником занятости. Поскольку

это в основном дождевое сельское хозяйство, урожайность очень чувствительна к колебаниям температуры и осадков.

Таблица 2

Среднее годовое количество осадков (мм) в Африке

Широта, град.	Долгота, Град.							среднее
	20-10 з.	10-0 з.	0-10 в.	10-20 в.	20-30 в.	30-40 в.	40-50 в.	
40-30 с.	-	374	210	151	84	74	-	220
30-20	70	56	55	26	9	16	-	37
20-10	995	682	595	418	369	472	373	550
10-0	3380	1920	1620	1730	1670	1065	357	1380
0-10 ю.	-	-	-	1460	1575	990	792	1320
10-20	-	-	-	772	1000	1000	1920	1070
20-30	-	-	-	163	440	440	1210	570
30-40	-	-	-	505	510	510	-	509

#### 1.4 Испаряемость и испарение

##### 1.4.1 Испарение

Расчет испарения, производился без учета потерь воды из русел рек. Определяющие факторы испарения с подстилающей поверхности при среднем метеорологическом режиме являются ресурсы тепла и количество выпадающих осадков. Чрезвычайное разнообразие условий увлажнения континента является причиной того, что испарение на рассматриваемой территории изменяется от нескольких миллиметров в некоторых районах Сахары и Намибии до 1300мм в год в средней части бассейна р. Конго.

В субтропическом поясе, охватывающем северо-западное побережье Африки и южную оконечность материка, годовые величины испарения, изменяются от 200-600мм в северном полушарии до 300-800мм в южном. Из-за этого испарение убывает от побережий в глубь континента.

Диапазон изменения годовых величин испарения в зоне тропического воздуха превышает 1000 мм. В зоне тропического воздуха северного полушария (Сахара, северное побережье полуострова Сомали), испарение менее 100 мм влаги в год.

В зоне тропического воздуха южного полушария, диапазон изменения испарения отличается от близких к нулю величин в пустыне Намиб до 1000-1100 мм в год в нижнем течении р. Конго и на юго-восточном побережье Индийского океана.

В зоне экваториальных муссонов и в рассмотренных выше зонах, испарение существенно отличается в разных районах в связи с большим разнообразием географических условий и характера увлажнения. Годовые суммы испарения возрастают с увеличением мощности летнего муссона от 100мм в северном полушарии на границе с тропической зоной до 1000-1100мм в бассейне р. Конго. В муссонной зоне южного полушария испаряется 400-500мм влаги в год на северо-востоке территории вблизи экватора и 1000мм в бассейне р. Конго. В западной части Эфиопского плоскогорья, испарение значительно-600-800 мм в год. На севере полуострова сомали испаряется менее 100 мм, т.е. практически все выпадающие осадки. К югу испарение возрастает вместе с увеличением осадков, и на юге полуострова сомали вблизи экватора испарение составляет около 400 мм в год.

В зоне южного полушария континентальной области муссонной, испарение меняется с севера на юг вместе с убыванием осадков от 1100 мм в верхнем течении р. Конго до 500 мм на юге зоны.

На побережье Гвинейского залива наибольшее испарение наблюдается на северо-западе и составляет 1000-1100 мм. на северном низменном побережье испарение существенно уменьшается в связи с уменьшением осадков. К востоку испарение увеличивается и большей части бассейна р. Конго оно превышает 1000 мм, а в северной части бассейна отмечается замкнутая область с величинами испарения больше 1250 мм.

Поскольку основная часть территории Африки расположена в тропических широтах, характеризуемых большими величинами радиационного баланса в течение всего года, внутригодовое распределение испарения в основном определяется в зависимости от количеств выпадающих осадков и их годовым ходом.

Произведенные расчеты испарения позволяют оценить средние широтные значения испарения с поверхности Африки в целом.

Таблица 3

Среднее величины испарения в Африке (включая острова)

Широта, град.	40-30	30-20	20-10	10-0 с.	0-10 ю.	10-20	20-30	30-40	40-0 с.	0-40 ю.
Испаряемость, мм/год	200	30	400	840	930	700	420	400	410	720
Континент в целом	500									

### 1.4.2 Испаряемость

Большая часть Африки расположена в тропических широтах. Вследствие этого большое количество солнечного тепла и величины радиационного баланса на поверхности континента составляют  $70 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{год})$ . Расчеты потенциально возможно испарения показали, что испаряемость в Африке может достигать 2500 мм влаги в год. В зонах тропического воздуха отмечаются наибольшие величины испаряемости в Африке. Величины испаряемости выше в зоне северного полушария, чем в зоне тропического воздуха.

В сахаре, максимальные значения испаряемости превосходят 2500 мм в год, а в зоне южного полушария наибольшие значения в западной части зоны составляют около 2000 мм в год.

По экватору, испаряемости уменьшается вследствие увеличения увлажненности климата и роста облачности, которые мешают солнечные радиации достигать поверхностью земли, понижающих энергетические возможности испарения и, следовательно, испаряемость. На побережье Гвинейского залива, величины испаряемости самые низкие. Они немного превышают 1000мм. В бассейне р. Конго, испаряемость составляет 1300-1500 мм в год.

Расчеты показали, что испаряемость уменьшается с увеличением высоты места с градиентом 10-30 мм/год на 100 м поднятия. От тропических к субтропическим зонам потенциальные возможности испарения понижаются, с следствие уменьшения радиационного баланса с увеличением широты места.

Таблица 4

Среднее величины испаряемости в Африке (включая острова)

Широта, град.	40-30	30-20	20-10	10-0 с.	0-10 ю.	10-20	20-30	30-40
Испаряемость, мм/год	1700	2300	2100	1400	1400	1600	1600	1400
Континент в целом	1800							

### 1.5 Речной сток

Африка, малоизученный континент в гидрологическом отношении. Он характерна большая контрастность распределения среднего многолетнего стока по территории. Огромные пространства северной и южной и южной частей континента заняты пустынями и полупустынями Сахара, Калахари, Намиб, где местами выпадает от 1 до 10 мм осадков, в связи, с чем сток практически отсутствует. В то же время в экваториальной области осадки и сток достигают наибольших на континенте значений, превышающих 3000–4000 мм.

В целом, для континента характерно уменьшение стока от экватора к тропикам: в северном полушарии примерно до 15 ° с-ш. (пустыня Сахара), в южном-до 20 ° ю-ш. (полупустыня Калахари), и увеличение его в субтропических областях.

В Африке девять гидрографических регионов, а именно водосборные бассейны крупных рек, таких как Нил, Конго, Нигер и Замбези, бессточные бассейны озер Чад и Нгами (или Окованго), а также прибрежные бассейны Средиземноморья, Индийский океан и Атлантический океан.

Есть две общие характеристики, которые монотонно повторяются для африканских рек: все они имеют почти регулярные половодья, начинающиеся после начала сезона дождей, а также периодические катаракты, характеризующиеся быстрыми падениями, которые затрудняют доступ к ним, которые могли бы предложить их судоходство по их берегам. гидрографические сети. Суда, идущие из моря или океанов, не могут подойти для исследования большинства африканских рек.

Наиболее интересными и важными регионами являются четыре основных бассейна: Конго, Нигер, Нил и Замбези. Из этих четырех великих рек три берут начало на больших плоскогорьях Южной Африки, на пространстве между 4° и 12° южной широты; все три происходят из более или менее заболоченных озер и пересекают или текут к Великим озерам Южной Экваториальной Африки. Обычно их кормят проливные дожди летнего сезона. Это также относится к Нигеру, который берет свое начало в горах Фута-Джалон, но не уступает другим рекам тропической зоны.



Рисунок 1.2 Распределение гидрографии Африки

### 1.5.1 Река Нил

Нил — одна из африканских рек с длиной 6700 км. это самая длинная река в мире. Его водораздел занимает 3 254 555 км<sup>2</sup>, что составляет примерно 10 % площади Африки.

Самый южный его исток находится в Восточной Африке южнее Бурунди в, где построен “Пирамида Источника НИЛ”.

Нил протекает через различные страны, именно Бурунди, Руанду, Танзанию, Уганду, Эфиопию, Южный Судан, Судан и Египет. Он также граничит с Кенией и Демократической Республикой Конго, а его водораздел также включает Эритрею.

Воды Нила представляют собой гораздо более важный ресурс для разных стран, разделяющих водораздел этой реки. Египет является одной из тех стран, которые в значительной степени зависят от вод Нила в плане водоснабжения, поэтому он уделяет особое внимание попыткам стран, расположенных ниже по течению, бросить вызов установившемуся вододелению или построить новую инфраструктуру.

Нил встречается с Голубым Нилом, берущим начало в Эфиопии, и Белым Нилом, впадающим в озеро Виктория. Эти две ветви пересекают 7 стран и встретятся в Хартуме, Судан. В конечном итоге она впадает в Средиземное море, образуя дельту к северу от Египта.

Для египтян, Нил приносит жизнь и изобилие гражданам и позволяет осуществлять экономический обмен посредством морского судоходства. Вокруг реки построены крупнейшие города. Ежегодное разливание Нила с июля по декабрь обильно удобряет его долину благодаря растительным остаткам, приносимым этими реками. Этот паводок приносит черный ил, который способствует земледелию вдоль его берегов. Именно от этого черного ила произошло древнее название Египта Кемет, что означает «черная земля».

#### 1.5.1.1 Бассейн Нила.

Бассейн Нила состоит из четырех совершенно разных частей, соответствующих четырем орографическим регионам, омываемым великой африканской рекой. Это: район Великих озер; равнина среднего Нила; бассейн Голубого Нила; нижняя долина.

Район Великих озер, расположенный на высоком экваториальном плато, — это место, где воды, приносимые летними дождями, собираются в обширные водохранилища. Образуются Белый Нил, Бахр-эль-Абиад, главная река бассейна, та, которая навязывает свое имя другим и которая отмечает основное направление вод. Обычно Нил начинается на выходе из

озера Виктория; однако мы можем, как уже предлагал Стэнли, распространить это название на главный из 200 притоков озера. Его самый дальний источник находится в пяти градусах к югу от экватора, в Бурунди.

Средний бассейн Нила заключен между Эфиопским плато и горами, продолжающимися его на юг, с одной стороны, и, с другой стороны, плато Дарфур и нагорьями, где Уэльль, притоки правого Конго и левые притоки Нила. Это очень болотистая равнина на юге; мы знаем, с каким трудом пришлось Бейкеру пробираться через эти болота, Судд или Судуд, простирающиеся на большой территории (около 57 000 км<sup>2</sup>) вблизи устья Бахр-эль-Газала в Ниле.



Рисунок 1.3 Река Нил

### 1.5.2 Река Конго

Конго — вторая река по длине в Африке, ее длина составляет почти 4700 километров. Это вторая река в мире после Амазонки. Он течет со скоростью 40 000 м<sup>3</sup>/с. Она берёт его начало к югу от Катанги на конголезской стороне и к северу от Замбии. Она пересекает 3 страны: Демократическую Республику Конго, одну из крупнейших стран Африки (Конго Киншаса, бывший Заир) и Республику Конго (Конго Браззавиль) и Замбию. Она доставляет пищу и энергию в виде электричества, что способствует развитию торговли в Африке. От своих рек он обеспечивает 14 000 км водных путей, хотя некоторые участки невозможны из-за сложных местных родников. Впадает в Атлантический океан.

Поверхность бассейна реки Конго составляет 3,68 млн м<sup>2</sup>. Течение этой реки в ее устье, эстуарии Бомы, исключительное. Потому что, там средний расход 41 000 кубометров в секунду.

#### 1.5.2.1 Бассейн Конго

Этот бассейн организован вокруг реки Конго на протяжении около 4700 км со среднегодовым стоком 41000 м<sup>3</sup>/с. Ему известны притоки, главные из которых Убанги (1060 км с расходом 11 000 м<sup>3</sup>/с в Банги), Сангха (790 км; 1714 м<sup>3</sup>/с в Уэссо) и Касай (2153 км; 9873 м<sup>3</sup>/с), а также озеро Танганьика считается вторым по глубине и величине озером в мире по объему пресной воды. Водораздел Конго распространяется на Республику Конго, Камерун, Центральноафриканскую Республику, Демократическую Республику Конго, Анголу, Руанду, Бурунди, Танзанию и Замбию (см. рис. 1.4.).

В Конго есть поток, который вливает в Атлантику 50 000 кубометров воды в секунду; имеет в 1000 км от устья ширину 10 и 20 км. Она оттесняет и опресняет морскую воду почти так же далеко вперед, как Амазонка,

единственная, которая ее обгоняет. Длина его хода 4400 км; он принимает большое количество притоков, поэтому они длиннее и обильнее, чем Луара или Рейн.

Образован двумя Луалабасами (один из которых также называется Луапула), он собирает воды часто заболоченных озер, а именно Бангуэло, Моэро, Лохемба, Кассали, Ландчи, Санкуру и др.; вообще в него впадают все воды северного склона южного плато. В него впадает Лукуга, прерывистый водосброс озера Танганьика площадью 28 000 км<sup>2</sup> и на протяжении 750 км, питаемый несколькими реками, в том числе Муовозы, которые берут начало в Танзании.



Рисунок 1.4. Река Конго

### 1.5.3 Река Нигер

Река Нигер, третья по длине в Африке Нила и Конга, протяженностью на 4200 км. Она берет свою источник в Гвинея в горных массивах Фута-Джаллон, недалеко от горы Ломи, на границе со Сиелла-Леоне. Это регион,

состоящий из высокогорья высотой до 1100 метров. Она дает жизнь более 110 миллионам жителей и орошает 5 стран, охваченных засухой: Мали, Гвинею, Бенин, Нигер и Нигерия. Его сток сокращается и из-за этого он теряет половину своих вод.

Несмотря на низкую антропоизацию вдоль реки, это одна из таких рек (например, Сенегал), которая с 1980-х годов широко обрабатывалась различными видами деятельности человека и искусственными экосистемами для борьбы с усилением засухи.

### 1.5.3.1 Бассейн Нигера

Бассейн Нигера или Дхиолиба почти полностью состоит из равнин. он заключен между плоскогорьями центральной Сахары и областью холмов, идущих от Гвинеи до Камеруна, то есть между массивом Фута-Джалон и горами Адамауа. Его размеры составляют почти 3000 км с востока на запад и 2500 км с севера на юг. Его площадь составляет около 2,1 миллиона квадратных километров. Река Нигер, образующаяся в высокогорьях Гвинеи, на границе Сьерра-Леоне и Либерии, имеет течение 4200 км, в нижней части загороженная низменностями, загромаждающими ее дельту, в Нигерии, а выше, порогами, которые следуют один за другим от Рабби.



Рисунок 1.5 Река Нигер

Река Нигер имеет очень большое наводнение, которое очень похоже на Нил. Паводки начинаются в конце июля в районе Бамбы и продолжаются до августа, когда воды этого паводка достигают района Уанга. Его максимальный паводок приходится на район Тимбукту в последние три месяца года, образуя зону затопления, Мачину, внутреннюю дельту, простирающуюся между Сегу и Тимбукту, которая может достигать 40 000 км<sup>2</sup> и не имеет ничего общего с Суддом. Эти средства теперь поддерживают уровень еще три месяца. Затем, затем до июля воды реки понемногу уменьшаются.

#### 1.5.4 Река Замбези

Река Замбези — четвертая по длине река в Африке, первой и самой важной питающей артерией водного потока считается река Кабомпо. Она берет свое начало в холмах, где неподалеку друг от друга находятся истоки Конго и Замбези, на северо-западе Замбии на границе между Анголой и Конго. Длина этой реки 2700 километров и пересекает Анголу, Намибию, Замбию, Зимбабве и Мозамбик.

Это одна из наименее ископаемых рек по сравнению с другими реками. Его сила сформировала красивейший водопад Виктория. Две крупные гидроэлектростанции построены на реке. Это Карибский-ГЭС, обеспечивающий электроэнергию Замбию и Зимбабве, и Кахора-Басса-ГЭС в Мозамбике.

Есть еще в городе Виктория Фолс небольшая электростанция. Это великая река, носящая свое легендарное имя, завершает маршрут и впадает в Индийским океаном.

#### 1.5.4.1 Бассейн реки Замбези.

Бассейн, в который впадает река Замбези, полностью принадлежит ее южному плато, где река не прокладывает даже очень глубоких борозд. Этот бассейн, кроме того, намного меньше трех других, несмотря на его значительную площадь, которая составляет 1,5 млн км<sup>2</sup>. Происходило из озера Дилоло в Анголе и образовалось в основном Лиамбаи; Замбези еще не спустился на половину склона у знаменитого водопада Виктория. Его притоки приходят с севера и приносят ему обильные воды южного склона собственно южного плато. Он также впадает в озеро Ньяса через реку Чире.

Издали озеро Чирва представляет собой центр небольшой замкнутой котловины, не имеющей течения в сторону океана.



Рисунок 1.6 Река Замбези

### 1.5.5 Река Сенегал

Река Сенегал — вторая по значимости рек Западной Африки после Нигера. Она берет свое начало у истоков двух своих основных притоков Бафига и Бафойе. Он образует границу с Мали на востоке и Мавританией на севере. Он также проходит через Гвинею, Мавританию и Сенегал. Он представляет собой один из основных источников жизни и плодородия почв региона, имеющего выход к этой реке. Его поток меняется в зависимости от сезона дождей или сухого сезона. Основными работами на этой реке являются орошение и эксплуатация ее ресурсов. Два его притока встречаются в Мали и до Сент-Луиса в Сенегале. в конечном итоге он впадает в Атлантику.

#### 1.5.5.1 Бассейн Реки Сенегала

Водораздел реки Сенегал, который простирается от влажных тропиков до сухих тропиков занимает площадь более 340 000 км<sup>2</sup>.

Протяженностью 1750 километров, Сенегал, четвертая африканская река, описывает большую дугу окружности. Бассейны рек Сенегал и Нигер были колыбелью великих западноафриканских королевств и империй средневековья.

Крупный центр расселения и аграрных цивилизаций, Сенегальская долина подвергалась развитию с колониального периода до обретения независимости соседними государствами. Он пересекает различные биофизические среды высоких гор, а также проходит через районы пустыни к югу от Сахары.

Таким образом, река Сенегал, образованная слиянием небольших рек, таких как Бафинг и Бакойе, также принимает притоки Колимбине, затем Карокоро, которая находится на правом берегу, и Фалеме, расположенная на левом берегу, в 50 км вверх по течению от Бакеля. Река Колимбин по прозвищу Уаду, ее родной исток в юго-восточном районе Ниоро Сахеля в Мали на небольшой высоте около 300 м.

Водный режим реки Сенегал и ее притоков носит прежде всего чисто тропический тип. Его уровень повышается в июле; максимум паводка приходится на начало сентября в Бакеле, но не достигает Сен-Луи до начала ноября. Затем воды затапливают аллювиальную долину, ширина которой местами достигает 25 километров. Наводнение в Сенегале также заполняет озера Гиерс и Ркиз, расположенные по обе стороны нижней долины, но также питает грунтовые воды и другие водоносные горизонты. Значение паводка меняется от года к году и свидетельствует о неравномерности стока реки. С декабря-января (период спада) морские воды постепенно поднимаются в низовьях Сенегала.

Бакулевская гидрометрическая станция позволяет судить о состоянии водности в месте, где река приняла вклад большинства своих притоков.

Действительно, Бакел, рассматриваемый как «граница между верхним бассейном и нижним течением реки, представляет собой реперную станцию реки, поскольку она расположена ниже по течению от последнего важного притока.

Эти две плотины, построенные соответственно в 1988 и 1986 годах, позволяют:

- орошать 375 000 га земли;
- прекратить попадание соленой воды в русло реки;
- сделать реку от Кайеса до Сен-Луи судоходной;
- производить 800 ГВт гидроэлектроэнергии в год.

Население около 3,5 миллионов человек получает большую часть доходов от ресурсов бассейна, образованного рекой Сенегал.

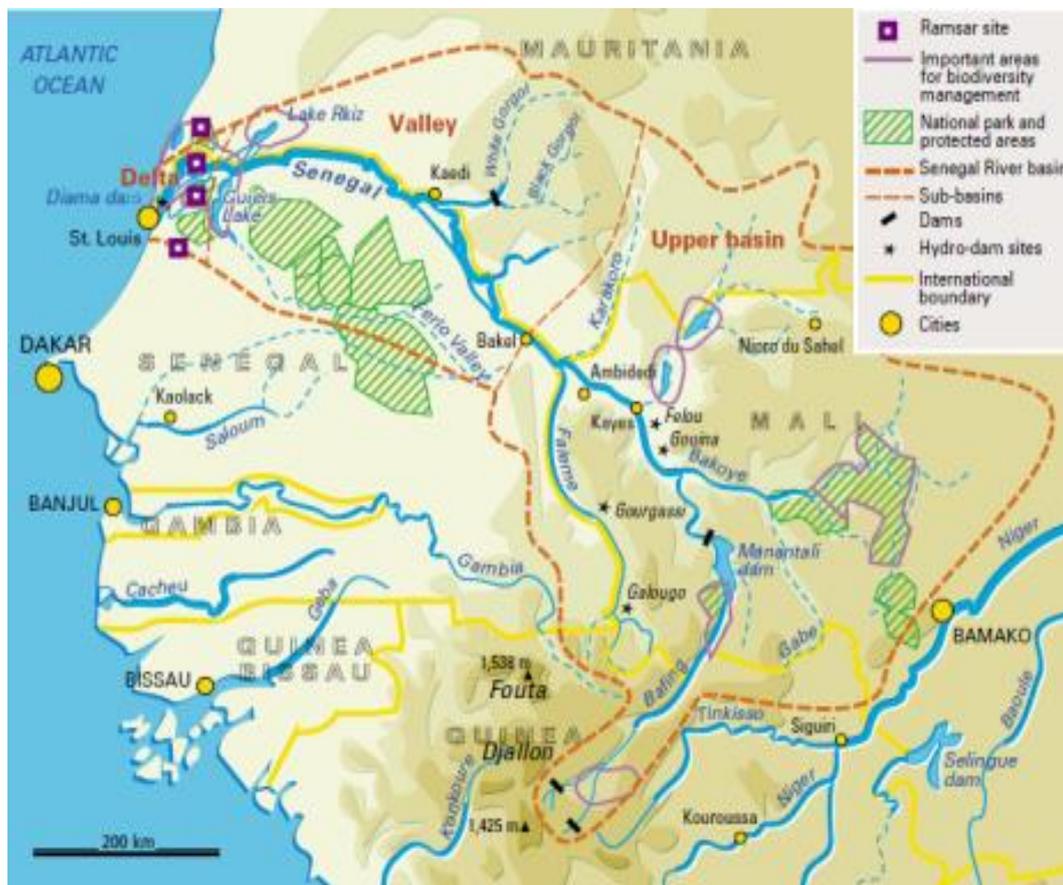


Рисунок 1.7 Река Сенегал

### 1.5.6 Оранжевая река

Оранжевая река, длиной почти 2160 км является самой длинной рекой в Южной Африке, берёт свое начало в горах Дракенсберг в Лесото и пересекает почти всю Южную Африку прежде, чем он впадает в Атлантическом океане. Русло Оранжевой реки пересекает почти всю Южную Африку с востока на запад, разграничивая ЮАР с небольшим королевством Лесото и республикой Намибией, и впадает в Атлантический океан.

Отделяя Оранжевое Свободное Государство от Капской провинции путем пересечения с Востока на Запад засушливых районов, его русло отрезано от водопадов. После слияния течет с востока на запад и служит для обозначения Граница между ЮАР и Намибией. Площадь его бассейна составляет 973 000 км<sup>2</sup>. Он имеет тропический режим с высокой водой в сезон дождей (около 3500 м<sup>3</sup>/с). Она впадает в Атлантический океан.

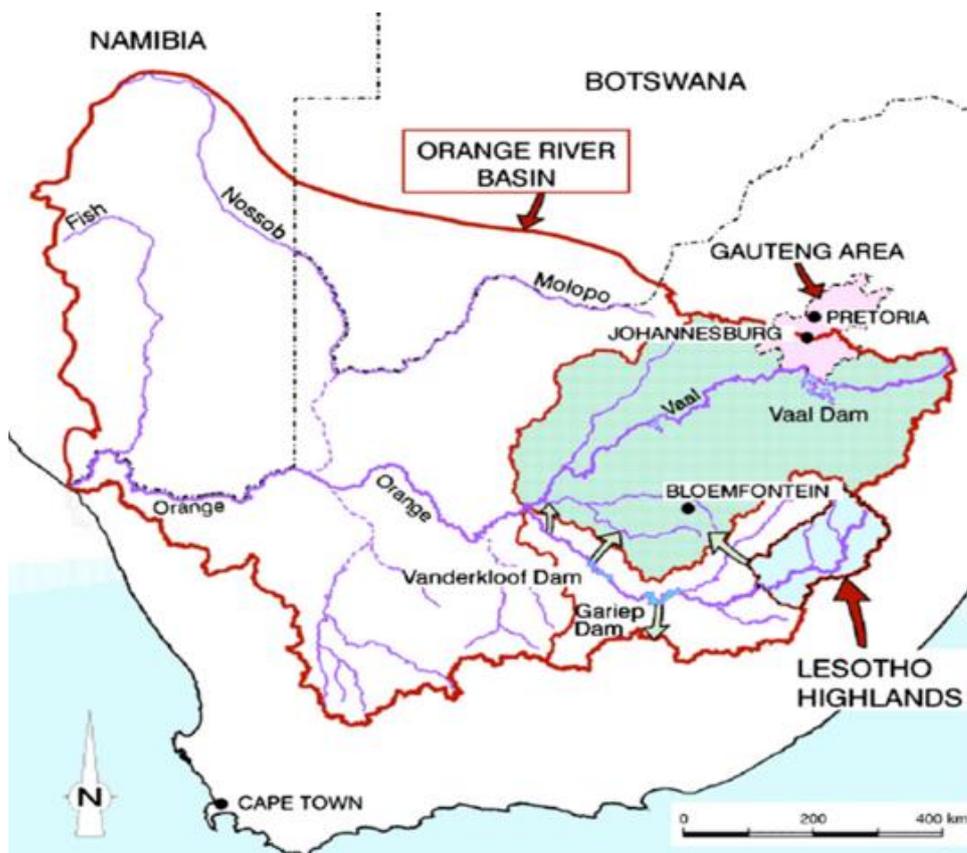


Рисунок 1.8 Река Оранжевая

Эта великая река с гидрографической площадью более 960 000 км<sup>2</sup>, представляет собой реку степную и пустынную, неравномерную, большей частью бедную, в русле, прегражденном водопадами. На этом пути Оранжев спускается по плато Вельда, затем перестает принимать многочисленные притоки, пока не встречается с Ваалом, описывающим симметричную кривую; затем он принимает только временные реки. Он имеет тропический режим с высокой водой в сезон дождей (около 3500 м<sup>3</sup>/с). Он входит в докембрийский край Вельских плато через Анграби (или Сотню водопадов), серию бурных порогов, затем течет, врезаюсь в гранитные нагорья, через глубоко вырытое русло, вынужденное бросаться в Атлантический океан через лишь устье, на 28°32' южной широты, пройдя 1860 км.

### 1.5.7 Река Лимпопо

Это река, которая течет в основном в сторону Южной Африки. Его длина составляет около 1700 км.

Исток этой реки находится на высоте 1800 метров. Пересечение некоторых стран, таких как Ботсвана, Зимбабве, Мозамбик и Южная Африка; он заканчивает свой путь, бросаясь в один из великих океанов мира; Индийский океан. Его площадь водосбора составляет 413 000 км<sup>2</sup>, а расход составляет 265 кубометров в секунду.

### 1.5.8 Река Вольта

Эта река длиной 1346 км пересекает Буркина-Фасо, Гану и заканчивается в Кот-д'Ивуаре. Таким образом, река впадает в Гвинейский залив – Атлантический океан. Эта река фактически состоит из 3 притоков. Белая вольта берет свое начало в регионе Уахигуя, красная вольта и черная вольта берут свое начало в регионе Банфора.

### 1.5.9 Река Огоуэ

Река Огуэ протяженностью около 1200 километров протекает исключительно в Габоне. Река впадает в Атлантику, и в ее устье измеряется расход около 4700 м<sup>3</sup> в секунду.

### 1.5.10 Река Гамбия

Река Гамбия длиной 1130 километров берет начало в Гвинее, пересекает Сенегал, а затем Гамбию. Именно в Гамбии эта одноименная река заканчивает свое русло, впадая в Атлантический океан.

### 1.5.11 Самых Больших Озер В Африке

подавляющее большинство крупнейших озер Африки расположено в одном географическом районе, известном как район Великих озер. Этот район расположен чуть ниже экватора в Восточной Африке.

#### 1.5.11.1 Озеро Виктория

Это самое большое озеро в Африке, его площадь составляет более 68 100 км<sup>2</sup>. Это большое озеро расположено между Кенией, Угандой и Танзанией, в Великой лифтовой долине, и даже является официальным источником Белого Нила. К сведению, Белый Нил является самым длинным притоком реки Нил.

Длина озера составляет 337 километров, ширина - 240 километров, средняя глубина - 40 метров. На озере Виктория насчитывается более 3 000 небольших озер. Озеро расположено на высоте 1 133 метра над уровнем моря. Объем озера составляет 2 750 кубических километров воды. Такой внушительный объем делает озеро Виктория одним из десяти крупнейших озер в мире.

#### 1.5.11.2 Озеро Танганьика

Это озеро образует естественную границу между 4 странами. Бурунди, Танзания, Замбия и Демократическая Республика Конго — это страны, которые граничат с озером Танганьика. Площадь озера составляет 32 900 км<sup>2</sup>, и оно является одним из крупнейших озер в Африке.

Озеро длиной 677 километров и шириной 72 километра находится на высоте 775 метров над уровнем моря. Максимальная глубина озера составляет 1 471 метр, а средняя глубина озера - 570 метров.

#### 1.5.11.3 Озеро Малави, одно из самых больших озер в Африке

Это озеро площадью 32 900 км<sup>2</sup> также является одним из самых глубоких в Африке. С максимальной глубиной 704 метра и средней глубиной 290 метров, озеро Малави является вторым по глубине озером на

континенте. Это третье по глубине озеро в Африке. Объем воды в озере оценивается в 8 400 кубических метров.

#### 1.5.11.4 Озеро Вольта (озеро с плотиной)

Площадь этого озера, которое значительно расширилось благодаря строительству плотины, составляет 8 502 км<sup>2</sup>.

#### 1.5.11.5 Озеро Туркана (Родольф)

Площадь шестого по величине озера в Африке составляет 6 405 км<sup>2</sup>. Размеры озера вполне приличные. Длина составляет 290 километров, а ширина - 32 километра. Максимальная глубина озера составляет 110 метров, а средняя глубина - около 30 метров.

В отличие от вышеупомянутых озер, в озере Туркана всего 3 острова. Географически он расположен на границе Кении и Эфиопии.

#### 1.5.11.6 Кения и тайны озера Туркана

Чтобы добраться до озера Туркана, проще всего отправиться в деревню Калокол в Кении. Еще один важный момент: в 2016 году археологи обнаружили человеческий скелет, относящийся к каменному веку. Были обнаружены останки восьмилетнего ребенка. Эти человеческие останки прекрасно сохранились, потому что были защищены, а затем со временем превратились в песчаник под воздействием осадков озера. Надо сказать, что местность вокруг озера Туркана полна доисторических останков. Например, в 1972 году были обнаружены череп и некоторые кости Homo Rudolfensis, датированные 1,9 миллиона лет назад.

#### 1.5.11.7 Озеро Руква

Озеро Руква расположено полностью в Танзании, недалеко от озера Танганьика и в продолжении озера Малави. Воды озера неглубокие, но

известны высокой популяцией крокодилов. Население, которое смогло развиваться благодаря своим болотистым берегам.

Максимальная глубина озера составляет 5 метров, средняя глубина - около 3 метров. Район озера доступен только в сухой сезон. Чтобы добраться до озера, нужно направиться в деревню Чуня, озеро находится примерно в 80 километрах от этой деревни.

Озеро является седьмым по величине озером в Африке и занимает площадь более 5 760 квадратных километров, а его высота составляет почти 800 метров. Длина озера составляет почти 150 километров, а ширина - 35 километров. Следует отметить, что размер озера мог измениться за последние несколько десятилетий.

#### 1.5.11.8 Озеро Кария

Это озеро расположено между Замбией и Зимбабве и занимает площадь около 5 400 км<sup>2</sup>. Его длина составляет 220 километров, максимальная глубина - 78 метров, а объем - около 160 кубических километров.

#### 1.5.11.9 Озеро Альберт

Озеро Альберт площадью 5 300 км<sup>2</sup> является шестым по величине озером в Африке. Озеро частично расположено в Уганде. Его длина составляет 160 километров, а ширина - около 30 километров. Средняя глубина озера составляет около 25 метров.

Однако ожидается, что добыча нефти начнется к 2020 году. Под озером Альберт были обнаружены запасы сырой нефти. Доступ к озеру Альберт осуществляется через небольшую рыбацкую деревню Кайсо.

## Среднего годового стока наиболее крупных рек Африки

Река	Площадь водосбора	Средний годовой сток		
		М <sup>3</sup> /С	ММ	КМ <sup>3</sup>
Конго	3822	44893	370	1414
Замбези	1330	3378	80	106
Нигер	2090	8500	128	268
Оранжевая	1020	486	15	15,3
Нил	2870	2 322	25	73,1
Джуба	750	546	23	17,2
Сенегал	441	735	52	23,2
Лимпопо	440	824	59	26,0
Вольта	394	1288	103	40,6
Огове	203.5	4 729	732	149
Руфиджи	178	1 119	198	835,2
Санага	135	2 156	503	67,9
Кванза	149	946	200	29,9
Сассандра	72	827	362	26,1
Куилу	62	1102	560	34,7

## 1.5.12 Закрытые бассейны.

В Африке существует несколько закрытых или индоарийских бассейнов. Двумя основными из них являются озеро Чад и озеро Окованго. Ни одна из них не сравнима по протяженности с четырьмя великими реками.

#### 1.5.12.1 Бассейн озера Чад.

Озеро Чад, разделенное между Чадом; Нигер, Нигерия и Камерун, по сути, представляют собой огромное болото, в котором теряются Уамбе, приходящие с запада, и особенно Чари, приходящие с юго-юго-востока. Последняя, гораздо более многочисленная, образует со своими притоками и рукавами очень сложную сеть. Чад, протяженность которого меняется от года к году, но который в конце концов продолжает неизбежно сокращаться, прежде протекал через Бахр-эль-Газаль в озерную котловину Боделе; река и озеро уже пересохла.

Вокруг большого озера другие, более мелкие, такие же, как и без проблем, такие как озеро Фиттри, питаемое саламатами, прибывающими из Удаи, безусловно, являются независимыми. Похоже, что раньше с гор Тибести, как и с гор Аира, спускались реки, доходившие до озера Чад. К нему примыкает южная часть центральной Сахары, как с гидрографической точки зрения, так и с других.

#### 1.5.12.2 Бассейн Окованго.

Окованго, также называемая Куханго или Туке, представляет собой реку Длинной 1600 км позволяющая ей фигурировать в рейтинге 10 крупнейших рек Африки. Окованго пересекает 3 страны, а именно Анголу, Намибию и Ботсвану.

По ответвлению, Таохе, она впадает в небольшое озеро Нгами. Ливингстоном и настолько мелкое, что его пересекают, продвигая лодки с помощью шестов; в окружности не более 150 км. У него высокий уровень летом (июнь-август), низкий зимой.

Его площадь составляет в среднем 721.200 км<sup>2</sup> со средним расходом в устье 475 м<sup>3</sup>/с.

## 1.6 Рельеф

Рельеф Африки однообразен, где преобладает форма плоскогорья, так что Африка имеет в среднем высоту своих земель выше, чем вся Азия (от 580 до 660 м).

### 1.6.1 Массив Дракенсберг

Африка, у которой Мадагаскар является единственным крупным островом на всем континенте, имеет плоскую морфологию вдоль 8000 км, отделяющих мыс Бон от мыса Доброй Надежды. Поскольку его основание довольно жесткое, большая часть континента состоит из более или менее возвышенных равнин и плато. Они ограничены труднодоступными склонами, такими как Дракенсберг в Южной Африке. Большой бассейн Калахари окаймлен плоскогорьями, высота которых достигает 3000 м и резко возвышается над прибрежными районами. Плато Сахары часто увенчаны изолированными рельефами (инзельбергами), плитчатыми насыпями или куполами, свидетельствующими о предшествующих геологических слоях. Иногда они покрыты «корками» чрезвычайно твердых глин, препятствующих возделыванию: эти латериты возникают в результате осаждения (затвердевания) содержащегося в почве железа. На краю Африки расположены узкие прибрежные равнины, чаще прямолинейные, покрытые в дельтовых зонах болотами и мангровыми зарослями. Берега господствуют в основном на узких континентальных платформах, рельеф которых с западной стороны определяет океанографическое явление баров, постоянно ломающихся крупных прямолинейных валов.

### 1.6.2 Бассейн Конго

В геологическом отношении это осадочная область, ограниченная гранитными массивами с запада (Габон), юга (Касай) и востока (Киву). Его

можно связать малой высотой с предыдущим набором. Однако его четко отделяют от него высокогорья плато Адамауа и Убанги.

### 1.6.3 Рельеф западной, центральной и северо-восточной Африка

Западная, Центральная и Северо-Восточная Африка представляют собой обширную совокупность в целом небольших высот от 200 до 500 м, на которых преобладают огромные пространства плато, часто покрытые в Западной Африке железистыми панцирями. Центральнo-северная и северо-восточная часть соответствует самой большой пустыне в мире, Сахаре, с ее просторами из щебня, такими как Танезруфтет на плато Тадемайт, и ее дюнными полями (большой западный эрг, большой восточный эрг, так далее). В других регионах, в бассейнах Чада, Нигера или Бахр-эль-Газалья, есть обширные болота. С юго-западной стороны к этому комплексу примыкают более высокие плато: Фута-Джалон, плато Баучи, Адамауа. В центре важные массивы Хоггар и Тибести приближаются или превышают 3000 м, а также Эннеди и Дарфур.

### 1.6.4 Рельеф восточной Африки

Восточная Африка, в отличие от двух предыдущих образований, находится на умеренно большой высоте, обычно выше 1000 м. Доминантой является система рифовых долин, окруженных с каждой стороны высокими плато. В южной части есть только одна основная лифтовая долина, перемежающаяся долиной Шир в Малави и озером Малави. В бывшей Британской Восточной Африке эта система делится на западную рифтовую долину, перемежающуюся озерами Танганьика, Киву, Эдвард, Альберт, и восточную рифтовую долину с озерами Эяси, Маньяка, Натрон, Найваша, Накуру, Баринго и Туркана. Между этими двумя крупными пучками разломов озеро Виктория занимает вдавленную центральную часть крупного фундамента, деформированного движениями с большим радиусом кривизны. На севере снова есть только одна лифтовая долина,

перемежающаяся озерами Чамо, Абая, Шала и Звай; Широкая, на широте Аддис-Абебы, сто километров, лифтовая зона значительно расширяется в северной части Сомали и восточной Эфиопии, где она включает Афарскую равнину, Данакильскую впадину и Эритрею. Высокие плато, примыкающие к лифтовым долинам, — это плато Иринга и Рунгве в Танзании, высокогорье Кении и западной Уганды; наконец, большую часть Эфиопии составляют высокогорья выше 2000 м над уровнем моря.

#### 1.6.5 Рельеф южной Африки

Южная Африка похожа на Восточную Африку своей большой средней высотой над уровнем моря. По обе стороны от центрального бассейна Калахари высокогорья краевого ручья резко возвышаются над прибрежной зоной благодаря большому откосу высотой от 1500 до 2500 м. Дракенсберг — часть этого большого откоса, возвышающегося над прибрежной равниной Натала.

#### 1.6.6 Магриб

Магриб имеет большую среднюю высоту. Это регион с ухабистым и расчлененным рельефом (Высокий Атлас, Анти-Атлас, Средний Атлас, цепь Риф в Марокко; Атлас Теллиана и Атлас Сахары, охватывающий высокие плато, и цепь Орес в Алжире и Тунисе), больше похожая на Средиземноморскую Европу, чем на Африку.

## 1.7

### 1.7.1 Саваны и степи

Чем дальше от экватора, тем скуднее растительность и постепенно происходит переход к более открытым ландшафтам саванн и степей — наиболее распространённым растительным образованиям на континенте.

Саванна — растительная формация из высоких многолетних трав, характерная для районов с ярко выраженным засушливым периодом (от четырех до восьми месяцев). Большая часть саванн усеяна разбросанными кустарниками и деревьями (баобаб, ши, сыр, масличная пальма и др.). Это территория обитания крупных травоядных (газелей, антилоп, жирафов, буйволов, бородавочников) и некоторых плотоядных, таких как лев и пантера. Их пересекают вдоль рек «галерейные леса».

Степь, составляется с преобладанием однолетних трав, иногда усеяна деревьями и растениями (акациями, колючими, мармеладными и др.), приспособленными к засушливости. Он охватывает Сахель, край Сахары, сомалийские плоскогорья, север Кении, а также весьма обширен на юге Африки, в Калахари (лесостепи). В тропических горах высота леса на влажных склонах может достигать более 3000 м. Склоны высотой от 1500 до 3000 м покрыты лесом из деревьев средней величины (кедры, камфорные деревья). Между 2700 и 3000 м преобладают эпифиты, а затем бамбук. На высоте более 3000 м луга и вересковые пустоши занимают склоны, усеянные гигантским вереском и древовидными папоротниками.

## 1.8

Для решения поставленной задачи об оценке изменении водных ресурсов Африканского континента, создана гидрометеорологическая база данных:

- приземной температуры воздуха,
- среднемесячных осадков,
- речного стока,
- испарения (рассчитана),
- испаряемости (рассчитана).

Такие исходные данные делятся на два типа. Первый тип составляют картографические сведения, представляющие собой карты мирового водного баланса, «фиксирующие» гидроклиматическую обстановку Африканского континента с начала наблюдений до 1965 года.

Второй тип — материалы наблюдений за температурой, осадками и сток, по которым строятся карты для современного (текущего) климата.

Перечисляемые исходные данные.

- а) Атлас мирового водного баланса (приложение к монографии Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли) издания 1981 г,
- б) Ежедневные расходы воды за период с 1990 по 2020 гг. (30 лет)
- с) Среднемесячные значения приземной температуры воздуха за период 1981 по 2021 гг. (41 год),
- д) Данные по речному стоку для гидрологических постов Бурунди 1981 по 2021 гг. (41 год).

### 1.8.1 Гидрологический режим климата и гидрологии

Разнообразие природной среды страны обусловлено многослойностью на высоте и контрастами, существующими по обе стороны хребта Конго-Нил. Запад Бурунди связан с равниной Имбо, которая, в свою очередь, обрамлена рекой Мирва.

Имбо — это жаркая равнина, где температура или средняя температура составляет около 23 градусов. Осадки невелики и нерегулярны. Интенсивное и усиленное естественное испарение делает желательным орошение.

Мирва, наоборот, влажный регион, но крутизна склонов заставляет контролировать сток, гидравлическое развитие этих двух сред дополняет друг друга.

В свободной атмосфере температура снижается на 0,6 градуса Цельсия каждые 100 м. Это значение соответствует среднему градиенту охлаждения.

Примеры внутригодового распределения гидрометеорологических характеристик

Пример графиков представлен по станции р. Рувубу (Гитега)

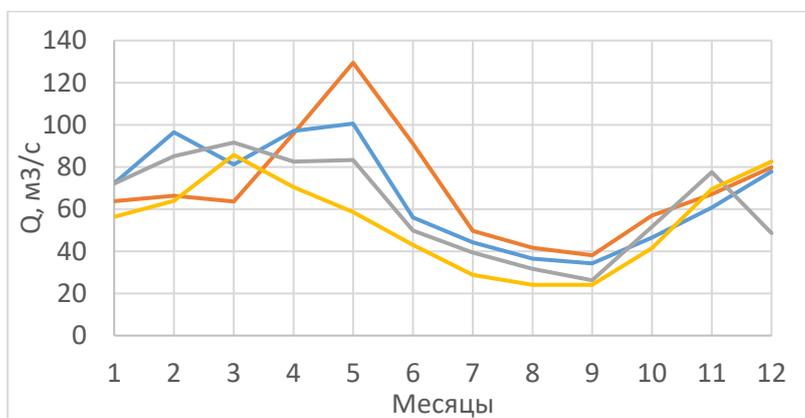


Рисунок 1.10 Среднемесячные расходы воды в Гитеге

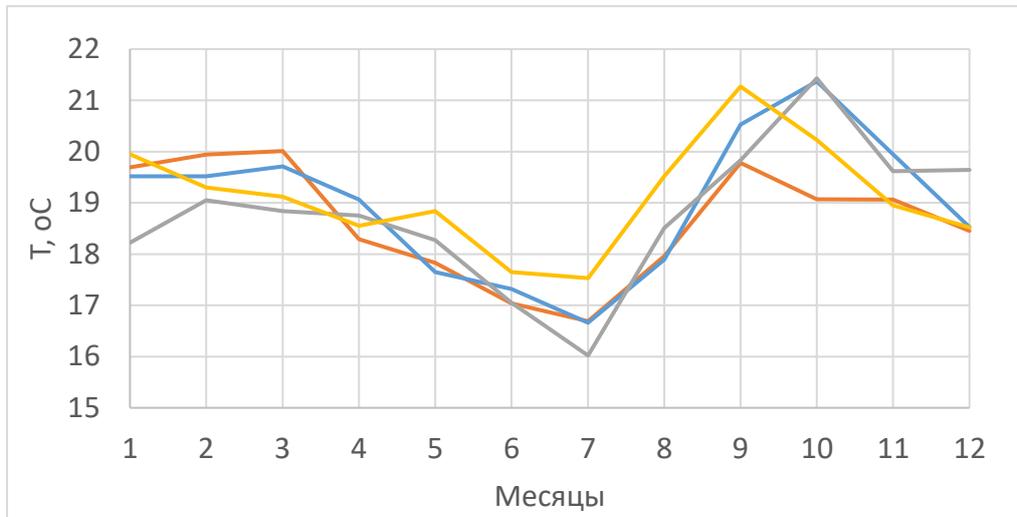


Рисунок 1.11 Среднемесячная температура в Гитеге

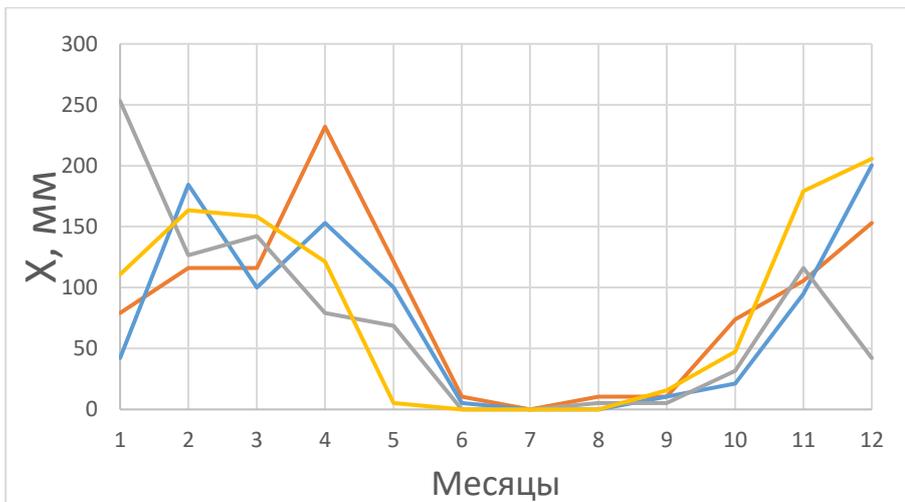


Рисунок 1.12 Сумма месячных осадков в Гитеге

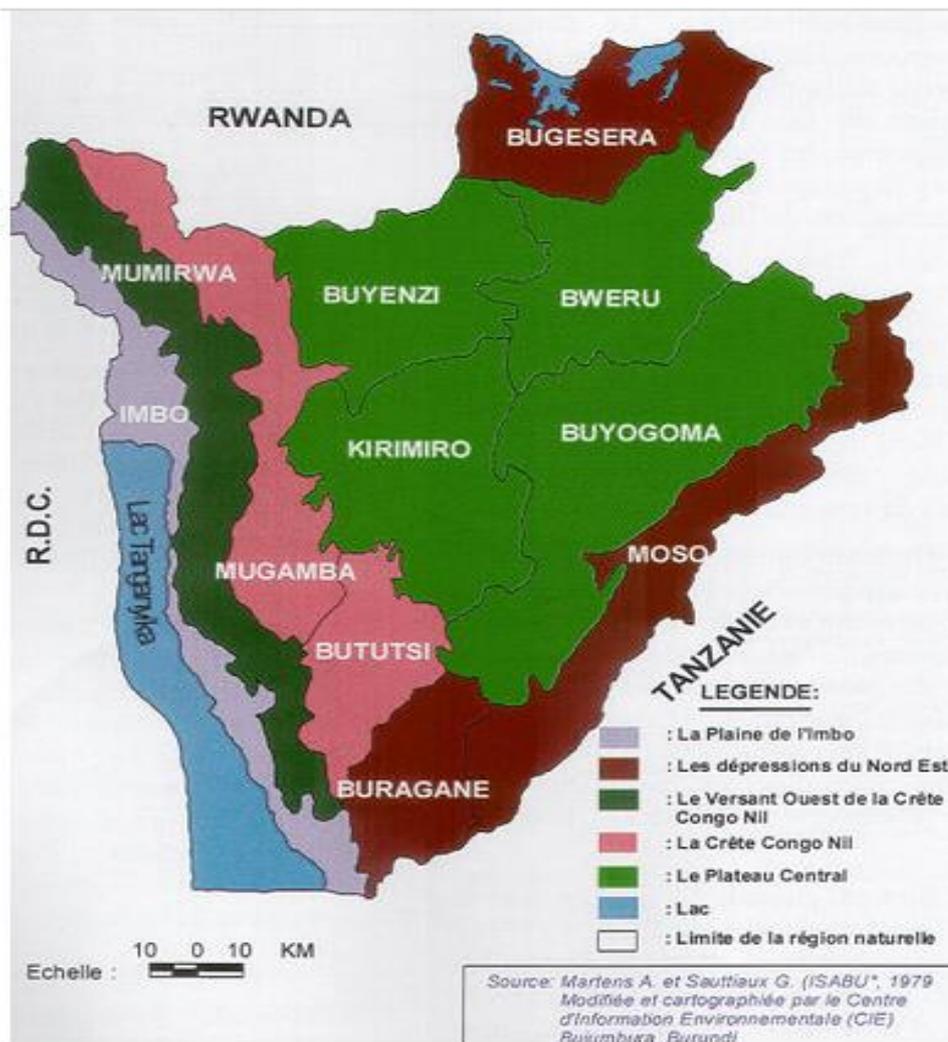


Рисунок 1.13 Карта эко климатических регионов Бурунди

### 1.8.1.1. Район ИМБО,

Район Имбо, образованный низкими равнинами (774-1000м) с жарким тропическим климатом (23°C) и малым количеством осадков.

Бужумбура находится в этом регионе, как и некоторые западные провинции, такие как Румонге, Часть Макамбы, Бубанза и Чибитоке. Главные реки этого региона есть Русизи, Муремвуге.

На этой части страны, климат местный и степной. В течение выпадает мало осадков. Среднегодовая температура составляет 20,7 ° C.

Между самым засушливым месяцем и самым влажным месяцем зафиксирована разница в 180 мм. Между самой низкой и самой высокой температурой года разница составляет 1,3°C. В среднем за год выпадает 1400 мм осадков.

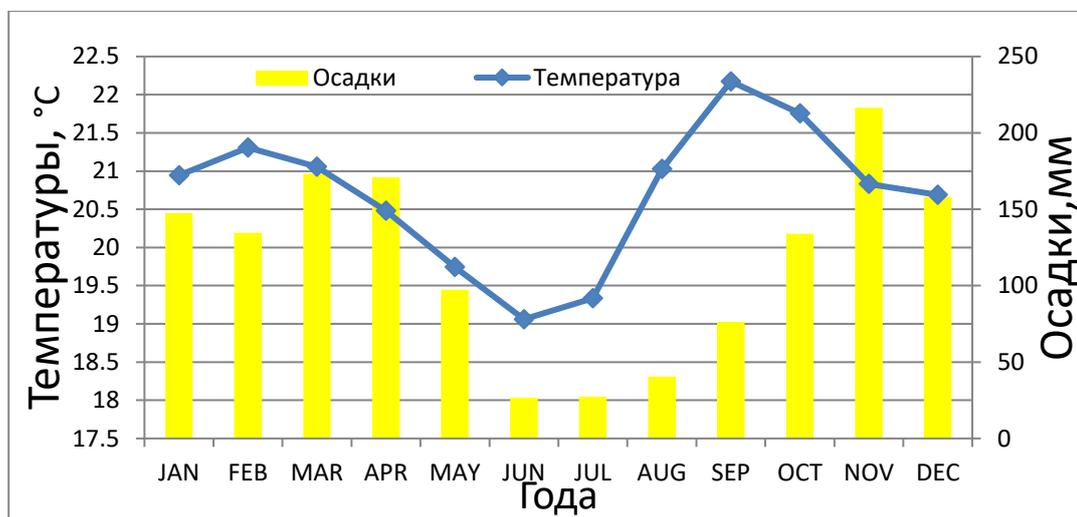


Рисунок 1.14 Общая годовая зависимость температуры и осадков от времени года (Бубанза).

Годовое распределение температуры и осадков в западной части Бурунди (Имбо), в период осадков температура повышается и что влияет на выпадение осадков. Сентябрь — самый жаркий месяц в году. Средняя температура в это время составляет 22,2°C. Самый холодный месяц года — Май со средней температурой 19,2 °C.

На эту неравномерность температуры влияют местные факторы, такие как облачность, экспозиция и топография, которые изменяют градиент охлаждения.

Самые низкие районы - самые сухие, а высокогорья, наоборот, хорошо орошаются. В Имбо выпадает в среднем 1000 мм осадков в год.

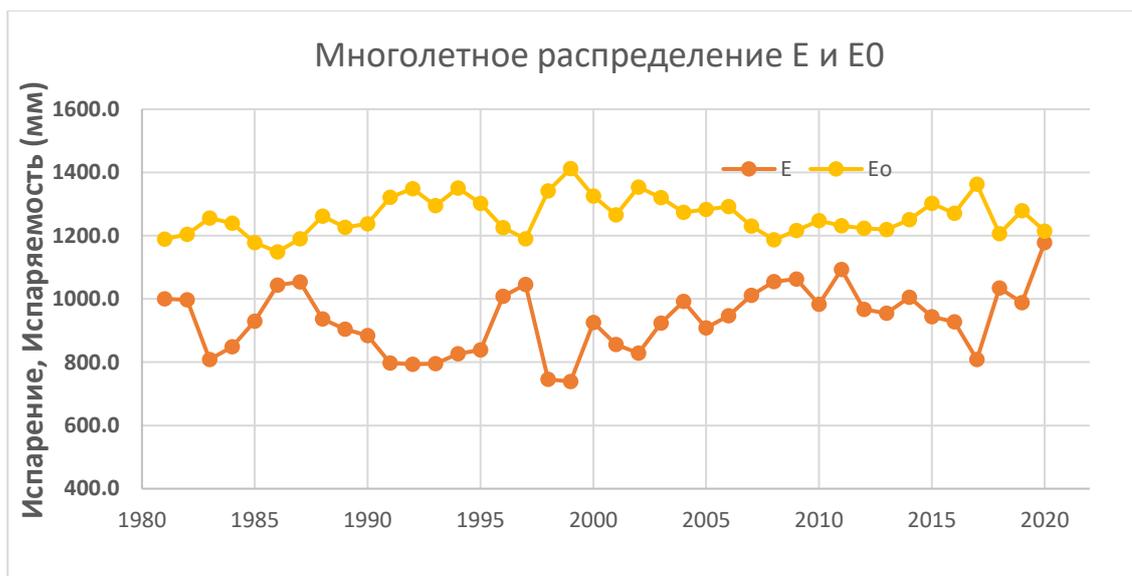


Рисунок 1.14 График многолетнего распределения испарений и испаряемости в зависимости от времени

На графике многолетнего распределения осадков, испарения и температуры на западе страны (Бубанза), заметно что в период, когда выпадает достаточное количество осадков, испарения уменьшается.

Также замечается пропорциональная зависимость испарения, которое увеличивается зависимо от количества осадков. Испарение обусловлено природой почвы с трудностями, связанными с климатом. Сухой сезон длится долго, а сезон дождей часто прерывается.

### 1.8.1.2. Мирва

Мирва близко к востоку от Имбо. Единица х этой природной области обусловлена не изменением климата вдоль склона, а тем, что склоны налагают ограничения на все компоненты окружающей среды.

Вдоль склонов температуры регулярно снижаются. Количество осадков увеличивается с высотой, гораздо быстрее, чем на восточной стороне хребта.

Годовое количество осадков включено от 1100 мм до 1800 мм, а температура варьируется от 19°C до 24°C;

Смотря на многолетние среднемесячные температуры и осадки в период 39 лет, заметно что, среднее количество осадков 1400 мм/год, а самая влажная месяца с достаточными осадками—Ноябрь. Летом выпадает мало осадки (Июнь и Июль).

В 2020 году выпало большое количество осадков (3140 мм/год), а 1998 год — меньше (865 мм). В среднем за этот период в этом регионе выпадает 934,81 мм осадков за год. Следовательно, в то же время (2020 г), замечается большие значения испарении (1247 мм/год) а в 1998 году самые низкие значения (820 мм/год) (рис. 2.6).

Гидрологические особенности рек Мирва вытекают из следующих характеристик. Их коэффициенты стока очень высоки - 40 % воды, выпадающей на водоразделах, эвакуируется по гидрографической сети. Площадь водоразделов составляет от 200 до 600 км<sup>2</sup>. Несмотря на обильные осадки, реки, которые здесь берут начало, имеют очень скромный сток, но их разлив ужасен. Реки Рухва, Кабурантва и Кагунузи в устьях Лимбо-Норда имеют модуль, превышающий 10 м<sup>3</sup>/сек. Нтахангва, которая пересекает столицу Бужумбуру, может иметь скорость более 50 м<sup>3</sup>/сек, тогда как ее начало составляет 1,8 м<sup>3</sup>/сек, Кагунузи может течь более 100 м<sup>3</sup>/сек при среднем расходе 11,5 м<sup>3</sup>/сек. Неравномерность течения Мирвы контрастирует с утяжелением Русизи (см. главу 3).

### 1.8.1.3. Конго-Нильский хребет

Этот регион составляет 20% территории страны. он образован линией хребта, обычно называемой линией водораздела двух бассейнов, где

вершины превышают 2600 м на юге, с другой стороны, высота над уровнем моря значительно ниже.

Прохладный климат и обильные осадки создают длительную влажность. На севере всего 3 засушливых месяца, а на юге вообще 4 засушливых месяца.

На юге в низовьях Бутуци еще очень прохладно. Средние годовые значения температуры 15 °С.

С высотой от 2000 м до 2670 м, в районе хребет регистрируются среднегодовые осадки, включая от 1500 мм до 2000 мм при среднегодовым температурах годовая 16°С;

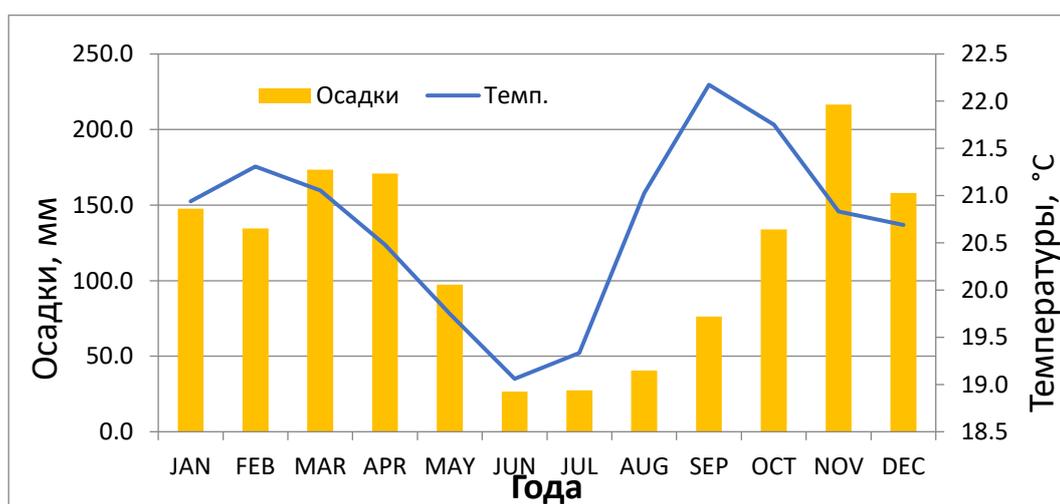


График 1.15 Среднегодовое распределение температуры и осадки (Мурамвиа)

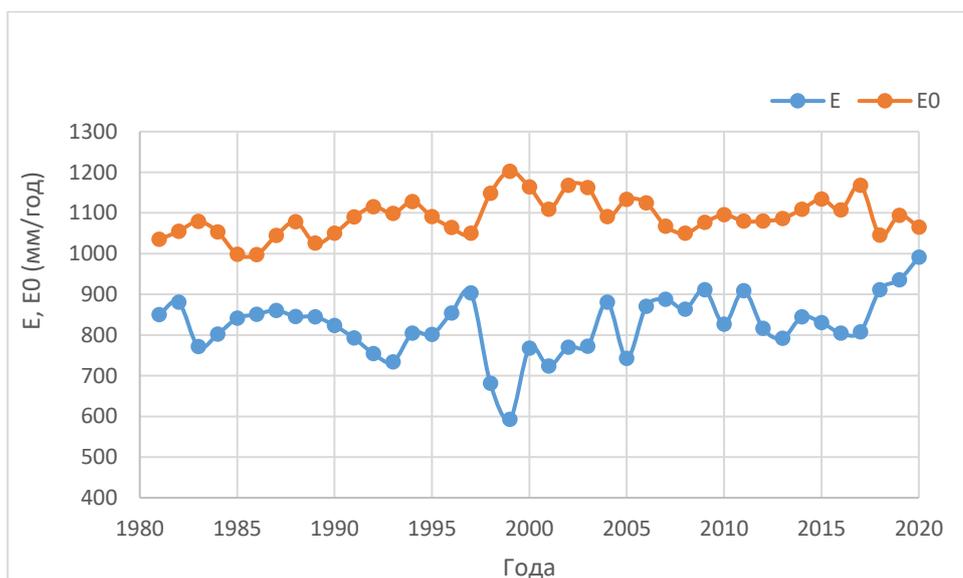


График 1.16 среднегодовое распределение испарений и испаряемости.

#### 1.8.1.4 Область центральных плоскогорий

Кажущуюся монотонность в отношении основных климатических параметров. Средняя температура составляет от 1 до 19 °. Различия зависят от высоты. Очень однородное общее количество осадков немного увеличивается на восток (1200 мм) по направлению к западу (1400 мм). мм) в течение 8 или 9 месяцев. Количество осадков практически не дифференцируется из-за вариаций, зависящих от местной топографии. Бурунди получает обильные осадки, за исключением запада и востока.

#### 1.8.1.5 Восточные депрессии

Они образуют фрагментированную область: впадина Бугесера на севере, которую разделяет Руанда, впадина Мусинге и Ушиба, разделяемая Танзанией, а также Кумосо, которая обширна и в значительной степени открыта на юг. С климатической точки зрения восточные впадины

представляют собой обширные и разрозненные пристройки. Возвышения довольно разнообразны, что делает их менее жаркими, чем Имбо.

Осадки вносят элемент дифференциации: дно Бугесеры такое же сухое, как и Имбо.

Таблица 6

Распределение осадков и температуры по высоте в Бурунди.

Экоклиматические регионы	Процент от общей площади (%)	Высота над уровнем моря (М)	Среднегодовая температура (°С)	Среднегодовое количество осадков (мм)
Западная равнина Имбо	7%	800 - 1100	> 23 °С	800-1100
Западный откос Мирва	10%	1000 – 1700	18°С – 28°С	1100 - 1900
Конго-Нивский хребет (Мугамба-Бутутси)	15%	1700 - 2500	14°С -18°С	1300 – 2000
Центральное нагорье	52%	1350 - 2000	17°С – 20°С	1200 – 1500
Впадины Кумосо и Бугесера	16%	1100 - 1400	20°С – 23°С	1100 - 1550

## 2 Математический аппарат

### 2.1 Оценка характеристик ряда наблюдения

Для анализа изменения гидрологических ресурсов, рассмотрим оценку однородности рядов стока, проводимую на основе генетико-статистического анализа. Эти статистические методы оценки однородности гидрологических данных наблюдения, характеризующиеся количественными показателями, которые, в свою очередь, завершат качественный анализ исходные данные.

### 2.2 Статистические характеристики

Разработан в статистике ряд с достаточными простыми и наглядными характеристиками. Их необходимо иметь в виду, что так как гидрологические ряды наблюдений являются выборочными, то их характеристики также должны быть выборочными или статистическими. Эти характеристики могут отличаться от действительных характеристик, полученных по рядам бесконечной продолжительности.

#### 1.1 СТАТИСТИЧЕСКИЙ РЯД

Статистический ряд — это первичная форма записи статистического материала  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) либо в табличном виде составлено из двух-трех строк или колонок.

Указываются номер ряд и последовательно значения исходного ряда наблюдений и какие-то другие характеристики наблюдений.

Для более наглядного представления статистического материала по данным статистического ряда строится график последовательности значений рассматриваемой величины во времени или пространстве. Такой графики может быть гидрограф стока показывающий изменение стока во времени и по этому графику можно составить определение представление о

рассматриваемом процессе: об амплитуде его колебаний, тенденции изменений значения и размаха колебаний, регулярности наблюдений и т.д.

Набор гидрологических данных представляет собой значительный объем информации, которую желательно сжать, используя хорошо подобранные характеристики. Таким образом, законы и другие статистические методы применяются к записям данных, чтобы извлечь из них полезную информацию для запланированных исследований и работ.

От ряда наблюдения определяется некоторые статистические характеристики такие как:

- Метод моментов:

Для вычисления оценок параметров распределения получил метод моментов. Формулы расчета числовых характеристик методом моментов

- Математическое ожидание (средние значения),

$$\hat{m}_x = \bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

- Дисперсия или флуктуация вокруг центрального значения,

$$\hat{D}_x = \bar{x} = (1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.2)$$

- Среднего квадратического отклонения,

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\hat{D}_x} = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

- Коэффициента вариации,

$$\hat{C}_v = \hat{\sigma}_x / \bar{x} = \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2} \quad (2.4)$$

Коэффициента асимметрии

$$\hat{C}_s = \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 / (n \hat{C}_v^3) \quad (2.5)$$

➤ Характеристики формы (коэффициенты Юлиа, Фишера, Пирсона, Келли),

На основе этих точечных значениях в статистическую форму, используются их анализ для оценки изменения водных ресурсов для регионов, имеющих общие климатические характеристики.

### 2.3 Разностные интегральные кривые

Разностная интегральная кривая стока: кривая, которая представляет возрастающая сумма отклонений модульных коэффициентов от среднего значения для временного ряда в конце каждого года.

### 2.4 Расчет испарения и испаряемости по методу Тюрку

Во Франции, в 1955 году, Л. Тюрк издал работу по водному балансу, в составе которой приведена зависимость для суммарного испарения. Формула годового испарения по методу Тюрка разработана на основе результатов исследований процесса испарения имеет следующий вид:

$$E = X / \sqrt{0,9 + \frac{X^2}{(300 + 25T + 0,05T^3)^2}}, \quad (2.6)$$

где  $E$  – суммарное годовое испарение, мм/год;

$X$  – годовое количество осадков, мм/год;

$T$  – среднегодовая температура воздуха, °С.

Для расчетов годовых значений  $E_0$  (мм), Тюрк рекомендует формулу

$$E_0 = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad (2.7)$$

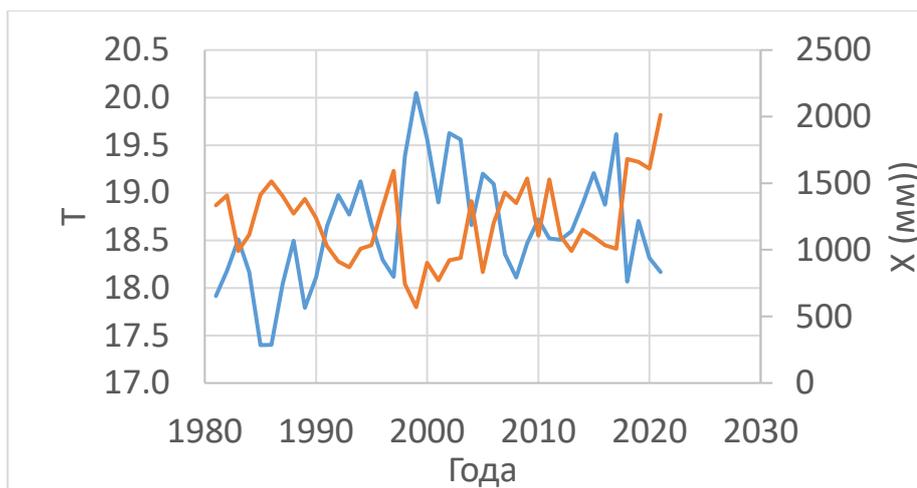


Рисунок 2.1 График распределения температуры и испарения

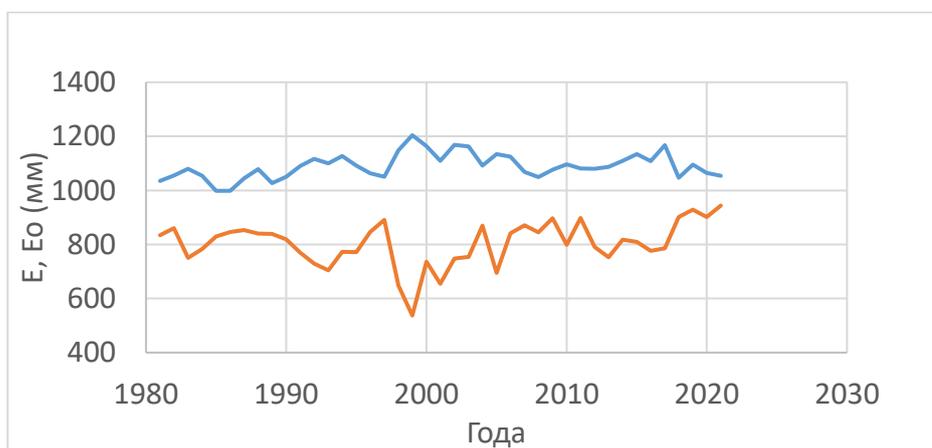


Рисунок 2.2 График распределения испарения и испаряемости

Метод Тюрка обладает универсальным характером, так как применяется для любых сочетаний значений температуры и осадков. Но, с другой стороны, данный метод, по сути своей, не особо отличается от метода водного баланса, потому что по нему можно определить не реальное испарение с поверхности водосбора, а совокупность потерь, включающую, например, инфильтрацию. Следовательно, можно сказать, что полученные потери (дефицит стока) этим методом будут сопоставимы с реальными значениями испарения для тех территорий, где испарение является

преобладающим из всех потерь, т. к. остальные потери настолько малы по сравнению с испарением, что ими можно пренебречь.

## 2.5 Расчет критерия устойчивости

Все виды многолетнего речного стока (годового, минимального и максимального) описываются асимметричными одномодальными кривыми плотности вероятности, которые укладываются в семействе кривых Пирсона и являются решением одномерного уравнения:

$$\frac{dp}{dQ} = \frac{Q-a}{b_0+b_1Q+b_2Q^2} p, \quad (2.8)$$

Где  $p$ -плотность вероятности расхода воды;  $a$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ -коэффициенты.

Математическая описание речного стока характеризуется кривой плотности вероятности ( $p$ ) или кривой обеспеченности ( $P$ ), рис. (2.1.)

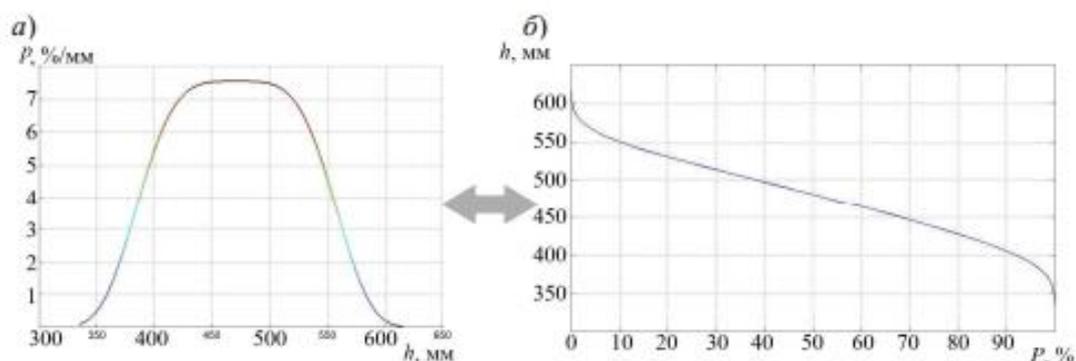


Рисунок 2.3 Кривые плотности вероятности (а) и обеспеченности (б).

Связь между плотностью вероятности и обеспеченности:  $\frac{\partial P}{\partial Q} \sim p$ .

### 2.5.1 Теория случайных процессов

Уравнение Фоккера-Планка-Колморова (ФПК) используется для описания процесса формирования стока. Такое уравнение при стациональном режиме (когда не происходит изменение статистических

характеристик:  $\frac{\partial p}{\partial t} = 0$ ) преобразуется в уравнение Пирсона при этом коэффициенты  $a, b_0, b_1, b_2$  приобретают физический смысл.

$$(a, b_0, b_1, b_2) = f(\bar{c}, G_{\bar{c}}, G_{\bar{c}\bar{N}}, G_{\bar{N}}),$$

$$a = (G_{\bar{c}\bar{N}} + 2\bar{N}) / (2\bar{c} + G_{\bar{c}}),$$

$$b_0 = -G_{\bar{N}} / (2\bar{c} + G_{\bar{c}}),$$

$$b_1 = G_{\bar{c}\bar{N}} / (2\bar{c} + G_{\bar{c}}),$$

$$b_2 = -G_{\bar{c}} / (2\bar{c} + G_{\bar{c}}),$$

где  $c = 1/k\tau$ ;

$k$ - коэффициент стока,

$\tau$ - время релаксаций речного бассейна;

$G_{\bar{c}}$ - интенсивность белого внутреннего шума, характеризующая скорость изменения дисперсии параметра  $c$ ;

$G_{\bar{N}}$ -интенсивность белого климатического шума, характеризующая скорость изменения дисперсий параметра  $\bar{N} = \dot{X}/\tau$ ;  $\dot{X}$ - интенсивность осадков;

$G_{\bar{c}\bar{N}}$  – интенсивность белого взаимного шума, характеризующая коэффициент корреляции между  $G_{\bar{c}}$  и  $G_{\bar{N}}$ .

Уравнение ФПК можно считать генетической моделью формирования стока, дающую решение в виде кривых плотности вероятности, эволюционирующих во времени. Динамическим ядром

уравнения ФПК является модель формирования речного стока с сосредоточенными параметрами:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{k\tau} + \frac{\dot{X}}{\tau}, \quad (2.9)$$

$K$  – коэффициент стока;

$\tau$  – время релаксаций речного бассейна.

### 2.5.2 Неустойчивость процесса формирования стока

На практике достаточно аппроксимировать кривую  $p(Q)$  тремя начальными моментами  $m_n$ :

$$m_n = \int_{-\infty}^{\infty} Q^n p(Q) d(Q) \quad (n=1,2,3), \text{ то есть } p(Q) \sim m_1, m_2, m_3.$$

Каждый из этих моментов имеет определенный геометрический смысл, (на рис. 2.3), и в совокупности, они характеризуют одномодальную кривую.

Момент можно определить если известна функция распределения:

$n=1$ :  $\bar{Q}$  – среднее значение речного стока;

$n=2$ :  $D, C_v$  – дисперсия и коэффициент вариации;

$n=3$ :  $C_s$  – Коэффициент асимметрии;

$n=3$ :  $Eh$  – Коэффициент эксцесса.

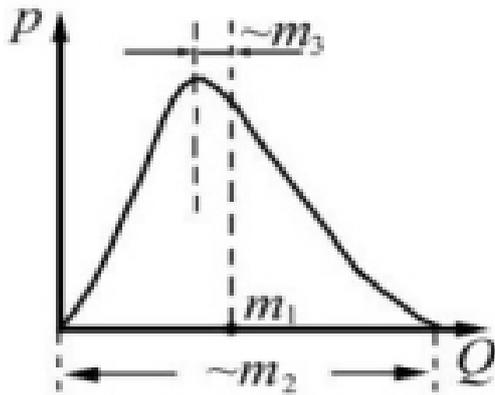


Рисунок 2.3 Иллюстрация статистических моментов, описывающих кривую плотности вероятности (начальные моменты  $m_2$  и  $m_3$ ).

Реально эмпирические кривые часто совпадают с одно модальными асимметричными кривыми. Гистограммы бывают многомодальными, а хвосты распределений меняются не по экспоненте, а по степенному закону.

Двух модальных распределений уравнение ФПК не описывает, для этого формирующий фильтр должен быть нелинейным, но может объяснить появление толстых хвостов и неустойчивости решений при оценке моментов.

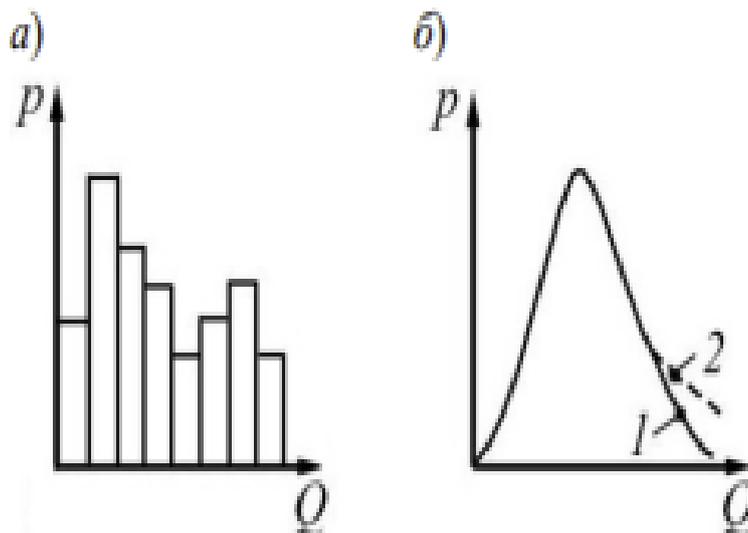


Рисунок 2.4 Эмпирическая многомодульная гистограмма (а) и кривая плотности вероятности хвостами (б), опускающимися: 1- по экспоненциальной и 2- по степенной зависимости.

Как показано выше, задание плотности вероятности равносильно заданию определенного числа моментов:  $p(Q) \sim m_1, m_2, m_3, \dots$ . Известна процедура, позволяющая аппроксимировать уравнение ФПК системой уравнений для начальных моментов:

$$dm_1/dt = -(\bar{c} - 0,5G_{\bar{c}})m_1 - 0,5G_{\bar{c}\bar{N}} + \bar{N};$$

$$dm_2/dt = -2(\bar{c} - G_{\bar{c}})m_2 + 2\bar{N}m_1 - 3G_{\bar{c}\bar{N}}m_1 + G_{\bar{N}};$$

$$dm_3/dt = -3(\bar{c} - 1,5G_{\bar{c}})m_3 + 3\bar{N}m_2 - 7,5G_{\bar{c}\bar{N}}m_2 + 3G_{\bar{N}}m_1;$$

$$dm_4/dt = -4(\bar{c} - 2G_{\bar{c}})m_4 + 4\bar{N}m_3 - 14G_{\bar{c}\bar{N}}m_3 + 6G_{\bar{N}}m_2$$

или обобщая и приводя только те члены правой части, которые не обходимы для вычисления условий устойчивости

$$dm_n/dt = -(\bar{c} - 0,5nG_{\bar{c}})m_n + \dots \quad (n=1,2,3,4.) \quad (2.10)$$

Из системы (2.10) видно, что при  $\bar{c} < 0,5nG_{\bar{c}}$  производная  $dm_n/dt > 0$ , т.е.  $m_n$  стремится к нулю. Это есть формальный признак неустойчивости решений за класс распределений К. Пирсона.

Если обозначить  $\beta = G_{\bar{c}}/\bar{c}$  то неустойчивость для момента n-го порядка  $m_n$  возникает при  $\beta > 2/n$  ( $m_3$ -  $\beta > 2/3$ ,  $m_2$ -  $\beta > 1$ ).

Для вычисления критерия устойчивости  $\beta$  была получена формула:  
 $\beta = k \ln 2 r(1) + 2 \quad (2.11),$

где  $k$  – коэффициент стока;  $r(1)$  – значение коэффициента автокорреляции при годовой сдвиге в рядах многолетнего стока.

Чтобы использовать выражения (2.11) необходимо знать значений величин коэффициента стока  $k$  и автокорреляций  $r(1)$ , которые можно вычислять по данным стандартных наблюдений.

Для районирования Африки по критерию устойчивости из база данных о почти по всей территории, наблюдается неустойчивость второго ( $\beta > 1$ ), а, следовательно, и третьего ( $\beta > 0,67$ ), что значит что в Африке процесс формирования годового стока имеет сложный характер, для описания вероятностного распределения.

Формула (2.11) является следствием экспоненциального решения

$$r = \exp [-(\bar{c}-0.5 G_{\bar{c}})\Delta t] \quad (2.12)$$

Уравнение ФПК, определяющего изменение автокорреляционных функций для простых марковских процессов (время релаксаций бассейнов для многолетнего стока  $\tau = 1$  год), к которым приводит использование линейного формирующего фильтра. При годовой сдвиге  $\Delta t = 1$  из данного выражения и следует формула.

## 2.6 Расчет критерия водообеспеченности

Оценка водообеспеченности проводится для решения задач различного уровня детализации. Укрупненная оценка обеспеченности водными ресурсами территории проводится с целью выделения природно-климатических зон и визуализации результатов агроклиматического районирования, текущая – для мониторинга водообеспеченности, краткосреднесрочного прогноза динамики развития ситуации с целью задействования возможных адаптационных мероприятий для смягчения негативного влияния засухи (или избыточного количества осадков) на рассматриваемую территорию, а также для использования в задачах страхования или начисления компенсационных выплат.

Оценка водообеспеченности любой территории является важным признаком для изучения и оценки формирования политики в области управления водными ресурсами и разработки принципов рационального использования ее ресурсов в определенном регионе.

Вод обеспеченность поверхности территории выражается средним модулем речного стока, а также особенностями его изменения с учетом как местных водных ресурсов, формирующихся в ее пределах, так и дополнительных, поступающих территории данного субъекта из соседних регионов.

Однако водообеспеченность территории определяется не только режимом водных ресурсов, имеющихся для удовлетворения нужд населения, но и суммарной потребностью в воде отраслей экономики и основных нужд потребителей, т. е. водным хозяйством. баланс.

Приведен перечень показателей (коэффициентов, индексов, критериев), позволяющих получать оценки водообеспеченности территории на разных уровнях детализации, как в пространственном, так и во временном отношении на уровне местности и суточного интервала, региона и временные тенденции за период в несколько лет.

В то же время для получения достаточного количества показателей необходимо иметь дополнительную информацию (например, данные о влажности почвы, температуре и осадках). Это часто создает значительные проблемы для их использования в областях, где такие данные недоступны, недостаточны или отсутствуют.

Наличие измеренных или расчетных данных для оценки суммарных потенциальных и суммарных фактических параметров испарения очень полезно для оценки, так как позволяет вместе с данными, блок-схемой внутрихозяйственного управления водными ресурсами и/или данными дистанционного зондирования, получить сравнительные оценки

современного уровня использования водных ресурсов и возможного уровня повышения их эффективности.

#### 2.6.1 Коэффициент водообеспеченности

$$\text{Коэффициент водообеспеченности} = \frac{\text{Фактическая водоподача}}{\text{Плановая водоподача}}$$

Когда коэффициент водообеспеченности равен 1, то случай является оптимальным. Практически, коэффициент водообеспеченности не всегда точно отражает степень водообеспеченности.

### 3

#### 3.1 Сценария оценка зон избытка и недостаточности водных ресурсов

Использование воды, в частности для орошения или для других сельскохозяйственных работ, в целом увеличивается в период засухи из-за большой испарении и испаряемости. Однако нет никаких доказательств того, что связанная с климатом долгосрочная тенденция использование воды в прошлом. Отчасти это связано с тем, что вода используется в основном обусловлено не климатическими факторами, а также обусловлено низкое качество данных об водопользовании в целом и временных рядов частности, данные.

Элементы водного баланса атмосферные осадки, сток рек, испарение и влагозапасы имеют огромное значение в жизни людей, а их качественное прогнозирование является основной задачей нашей работы. Их применение позволяют для достижения цели исследования качественного критерия дефицита и избытка водных ресурсов и оценка его изменений на основе современных климатических сценариев являются актуализацией методики при анализе долгосрочных изменений водных ресурсов Африки.

Наблюдения, проведенные в Западной Африке за последние несколько десятилетий, пришли к выводу, что непрерывная деградация водных ресурсов, как в количественном, так и в качественный приводит к следующим симптомам:

- изменение гидрологического режима,
- высыхание пружинных головок,
- увеличение мутности водотоков,
- заиливание русла ручьев и водоемов,
- уменьшение запасов подземных вод и прогрессирование соляного клина в прибрежная зона,



десятки тысяч гибнут в результате катастрофических событий, связанных с водой.

### 3.3 Методики восстановления среднемесячных и среднегодовых расходов воды

#### 3.3.1 Восстановление годового стока по уравнению водного баланса

Пример уравнения связи для восстановления изменения влагозапасов на каждый год по данным об осадках и испарении

$$U = -0.96 + 1.11 W_X - 1.46 W_E$$

Вывод итогов								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множествен	0.9426685							
R-квадрат	0.8886239							
Нормирован	0.8797138							
Стандартная	0.4754092							
Наблюдения	28							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>значимость F</i>			
Регрессия	2	45.081796	22.540898	99.73235	1.216E-12			
Остаток	25	5.6503476	0.2260139					
Итого	27	50.732143						
<i>Коэффициент стандартная ошибка статистики P-Значение Нижние 95% Верхние 95% Нижние 95.0% Верхние 95.0%</i>								
Y-пересечен	-0.958896	1.4700887	-0.652271	0.5201794	-3.9866	2.0688087	-3.9866	2.0688087
Переменная	1.1145734	0.1611963	6.9143855	3.012E-07	0.7825834	1.4465634	0.7825834	1.4465634
Переменная	-1.456405	0.5101309	-2.854963	0.0085311	-2.507039	-0.405771	-2.507039	-0.405771

Таблица 3.2 Восстановление годового стока по уравнению водного баланса

Среди прочего, плохое распределение воды, плохое управление, изменение климата, засуха, это очень важные проблемы, связанные с управлением водными ресурсами, которые остаются наиболее важными.

«Всеобщий и справедливый доступ к питьевой и доступной воде для всех к 2030 году», согласно ООН в ее целях устойчивого развития, близок к провалу. Менее чем через 10 лет после установленной даты большинство

африканских стран пытаются найти эффективную стратегию управления водными ресурсами. Эти трудности находятся на разных уровнях.

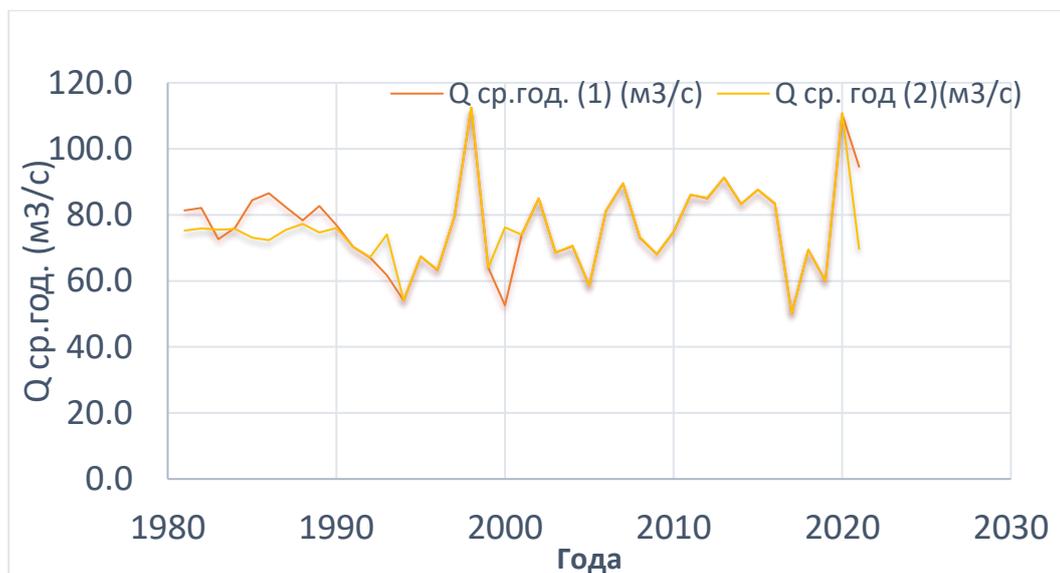


Рисунок 3.3 Фактические и восстановленные среднегодовые расходы воды на р. Рувубу (Гитега) за период с 1981 по 2021 гг. двумя методами

### 3.3.2 Плохое распределение воды и оценка избытка и дефицита водных ресурсов

В нашей случи, оценивается какую оценку нашей реки. Дефицит (избыток) водных ресурсов определяется формулой  $(Iв = Y - Dв)$ , мм

$$I \quad Y \quad (E_0 \quad E)$$

Год	Показатель	Ив	Год	Показатель	Ив
1981	ИЗБ	1.31	2002	ИЗБ	0.07
1982	ИЗБ	1.38	2003	НЕД	-0.38
1983	ИЗБ	0.25	2004	ИЗБ	0.85
1984	ИЗБ	0.72	2005	НЕД	-0.89
1985	ИЗБ	1.61	2006	ИЗБ	0.80
1986	ИЗБ	1.78	2007	ИЗБ	1.60
1987	ИЗБ	1.41	2008	ИЗБ	1.04
1988	ИЗБ	0.99	2009	ИЗБ	1.03
1989	ИЗБ	1.44	2010	ИЗБ	0.51
1990	ИЗБ	0.99	2011	ИЗБ	1.58
1991	ИЗБ	0.22	2012	ИЗБ	0.89
1992	НЕД	-0.29	2013	ИЗБ	0.81
1993	НЕД	-0.51	2014	ИЗБ	0.82
1994	НЕД	-0.50	2015	ИЗБ	0.74
1995	ИЗБ	0.13	2016	ИЗБ	0.58
1996	ИЗБ	0.65	2017	НЕД	-0.79
1997	ИЗБ	1.52	2018	ИЗБ	1.29
1998	ИЗБ	0.43	2019	ИЗБ	0.86
1999	НЕД	-2.12	2020	ИЗБ	2.48
2000	НЕД	-1.00	2021	ИЗБ	2.31
2001	НЕД	-0.49	<b>Среднее:</b>	<b>ИЗБ</b>	<b>0.64</b>

Рисунок 3.4 Таблица избытки и недостатки водных ресурсов реки Рувубу

$I_v > 0$  – избыток водных ресурсов

$I_v < 0$  – недостаток водных ресурсов

вода остается общим делом для разных стран. Возобновляемые водные ресурсы составляют 3931 км<sup>3</sup> по данным ФАО, но распределяются неравномерно. Его сети и пространства, неравномерно распределенные по территории, образуют границы и политико-административные размежевания, что усложняет устойчивое управление водными ресурсами.

В некоторых регионах речное сообщение между странами есть источником напряженности, как в случае с Нилом, местом разногласий между Египтом и Эфиопией: Аддис-Абеба, таким образом, начала строительство плотины гидроэлектростанции, которая может затронуть страны нижнего течения.

Несмотря на все это; однако есть много примеров сотрудничества. В случае реки Сенегал несколько гидроэлектростанций находятся в ведении регионального учреждения, Организации развития реки Сенегал (OMVS), в интересах всех стран региона.

Сотрудничество также необходимо для Великих озер, граничащих с несколькими странами, чье хорошее экологическое состояние является серьезной региональной проблемой: озеру Виктория, второму по величине пресноводному водоему в мире, серьезно угрожает риск эвтрофикации, дисбаланса, вызванного чрезмерным содержанием азота. и поступление фосфора, который приводит к увеличению биомассы растений, делая окружающую среду все менее и менее пригодной для жизни.

Океан имеет важное значение для развития, продовольствия, занятости и экономики многих прибрежных стран. Экосистема, связанная постоянной циркуляцией водных масс, является ареной общих проблем, выходящих за установленные морским правом морские границы: загрязнение, пиратство и другие незаконные действия или управление рыбными ресурсами.

### 3.3.3 Факторы влияющие на гидрологический режим в Африке

#### 3.3.3.1 Сценарная оценка изменений метеорологических параметров

В более широком смысле, изменение климата, вероятно, приведет к увеличению или уменьшению гидрологических и изменчивость



меньше, и они слабее, а последние подвержены значительному испарению поверхностных вод, нарушению гидрологических циклов. Эти явления, связанные с изменением климата, увеличили дефицит водоснабжения. Это создает серьезную проблему для стран, большинство из которых сильно зависят от интенсивности осадков.

Кроме того, засуха принимает тревожные масштабы, вызывая голод у миллионов жителей. В последние годы наводнения нанесли значительный материальный ущерб и унесли тысячи жизней. Неадекватные инвестиции и инфраструктура в сочетании с разрушительным воздействием сточных вод являются не менее важными проблемами, для решения которых следует рассмотреть комплексные решения с сильным воздействием на общество.

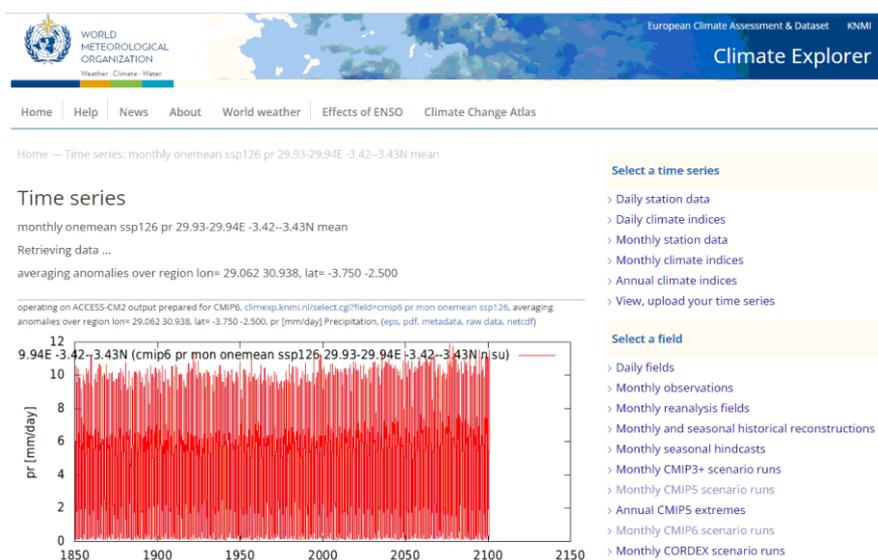


Рисунок 3.6 Изменение сценарии осадков на сайте climate explorer .

### 3.3.2.3 Испарение

В Африке, естественно, максимальное испарение наблюдается в районе пустынь, в частности в пустыне Сахара. В центральных частях пустыни она превышает 4500 мм. Тогда испарение ограничивается очень минимальным количеством осадков; не более 100 мм в год. Здесь весь

дождь, выпадающий на поверхность, а также подземные воды, стекающие с Атласских гор и Центральноафриканского бассейна, расходуются на испарение.

Разница между потенциальным (4500 мм) и действительным (около 100 мм) испарением выражает степень сухости Сахары.

Наибольшее испарение (около 1200 мм) приходится на заболоченные низменности Центральной Африки, в бассейне оз. Чад и Верхнего Нила. Обеспеченные здесь теплом и влажностью растения дают наибольший прирост растительной массы на Земле. В экваториальной Африке за год испаряется слой воды в 1000 мм.

#### 3.4 Трудности, препятствия и ограничения, связанные с климатическими изменениями в Африке

Низкая адаптационная способность африканских стран, а также последовательные засушливые годы с широкомасштабными разрушениями снижают способность общества справляться с засухами, предоставляя меньше времени на восстановление и подготовку между событиями. Кроме того, будущее распределение осадков не однозначно, но вполне вероятно, что в течение следующих 50 лет количество осадков уменьшится на 10–25 % над северными частями Африки в июне, июле и августе и на 10–60 % снижения в марте, апреле и мае. Напротив, в Западной Африке может наблюдаться увеличение количества осадков на 10–35% в период декабря, января и февраля, который обычно является засушливым временем, с увеличением также в сентябре, октябре и ноябре от 7% до 28%.

Еще одна трудность возникает из-за низкой плотности размещения метеостанций, которая составляет одну на 26 000 км<sup>2</sup>, что в восемь раз ниже минимального рекомендуемого уровня Всемирной метеорологической организации. В дополнение к отсутствию надлежащего мониторинга Эль-

Ниньо Южного колебания в отношении Африки; начало выпадения осадков в Сахеле и взаимодействие пыли Сахары с климатом.

В качестве вывода, в целом поверхностные водные ресурсы на Африканском континенте гораздо более недостаточны по количеству по сравнению с другими континентами (единственным исключением является Австралия, которая также страдает от нехватки водных ресурсов). Эти ресурсы оцениваются около 4000 км<sup>3</sup>. Взяв среднее значение на одного жителя, мы находим, что примерно 5000 м<sup>3</sup> потребляются ежегодно.

Относительно дефицитное количество этих ресурсов зависит от природные характеристики континента, зная, что 45% континента расположены в чрезвычайно засушливых регионах, а 22% - в полусушливых регионах. Остальную часть континента (33%) составляют субтропические и тропические регионы, которые часто подверженность засухе вызвана обезлесением и быстрым отсутствием лесовосстановления, что в конечном итоге приводит к опустыниванию.

- За период с 1981 по 2021 гг. (41 год) сформированы ряды и восстановлены двумя способами пропуски среднегодовых расходов воды.
- Составлено уравнения водного баланса и рассчитаны его составляющие, построены значимые зависимости изменения влагозапасов от испарения и осадков.
- Выявлены обратные связи испарения и осадков от приземной температуры воздуха.
- Дана оценка водности по разностным интегральным кривым с выделением соответствующих периодов; по критерию Ив исследуемые водосборы в целом относятся к зоне избыточного увлажнения.
- Рассчитаны статистические параметры годового стока и построены кривые обеспеченности Пирсона III типа.
- Дана сценарная оценка изменений обеспеченных значений стока на два 40-летних периода. Ожидается незначительное изменение статистических параметров и обеспеченных значений стока при переменном коэффициенте стока  $k$ . Выявлен эффект саморегулирования гидрометеорологической системы.
- Выполнена оценка устойчивости решения для моментов распределения, в результате которой выявлено неустойчивое решение для 3-го момента распределения ( $C_s$ ).

## Список используемых литератур

1. Монография «Мировой водный баланс»
2. Лебедев А. Н. Некоторые особенности термического режима Африки. Труды ГГО, вып. 182, 1965.
3. Климатический справочник Африки, часть1 Температура, воздуха, осадки под редакцией д-ра геогр. наук А.Н ЛЕБЕДЕВА; гидрометеорологическое издательство Ленинград. 1968.
4. Дмитровский Ю.Д. Внутренние воды Африки и их использование. Л., гидрометеиздатель, 1967. 382с с.
5. Kovalenko, Viktor V. Assessment of changes in characteristics of runoff of Africa for various climate scenarios [Текст] / Viktor V. Kovalenko, Ekaterina V. Gaidukova, M. Kuassi, H. Diawara, Ernesto S. Bongu // International Conference on Engineering Technology, Engineering Education and Engineering Management (ETEEEM 2014)
6. Догановский А.М. Гидрология суши (общий курс) СПб. Изд. РГГМУ, 2012, стр. 17-18
7. <https://natworld.info/nauki-o-prirode/klimat-afriki-osobennosti-klimaticheskie-poyasa-karta-i-tablicza>
8. В.А. ШЕЛУТКО Численные методы в гидрологии ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ, 1991
9. <https://geographyofrussia.com/klimat-afriki-2/>
10. Géographie du Burundi J.-E BIDOU, S. NDAYIKURIYE, J.-P NDAYISHIMIYE, P. SIRVEN, 1991
11. А .М . Догановский , С Б О Р Н И К практических задач по определению основных характеристик водных объектов суши и (практикум по гидрологии)
12. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, ГГИ 1984



Приложение

i. Таблица Водный баланс р. Нила

Река	Площадь водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	Осадки		Речной сток						Испарение		Коэффициент стока $\frac{Q}{P}$
				в бассейне Qc		В пункте Q		Потери на Испарение Qc-Q		E		
		мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	
Исток виктория –Нил- Юния	262.3	1310	34	286	75.1	80	21.1	20	54.	110	29	0.22
Белый Нил- с. Монгалла	494.4	1200	59	183	91.0	54.	27.0	12	64.	102	51	0.15
Б. Нил до устья р. Собат	978.0	1070	10	381	106.	14.	14.4	94	91.	945	92	0.10
Б. Нил п. Малакал	1328	1000	13	90	119.	21.	27.9	69	91.	907	12	0.09
Б. Нил п. Малакал до	1659	952	15	74	122.	15.	25.9	58	96.	829	13	0.08

Голубого Нила												
Белый Нил– ниже гол. Нила	1964	1040	20 42	89	174. 3	39. 0	76.7	50	97. 9	809	15 89	0.08
Нил с. Вади– Хальфа	2726	768	20 95	70	189	32. 0	88.5	37	10 0	639	17 42	0.08
Нил – устье (Весь бассейн)	2870	730	20 95	70	202	25. 0	73.1	45	12 9	620	17 78	0.03

Пункт истока	Площадь водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	Осадки		Речной сток				Испарение		Коэф фицие нт стока $\frac{Q}{P}$
		Мм	Км <sup>3</sup>	в бассейне Qс		В пункте Q		Е		
				мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	
Водопад Шавума	75.9	1200	91. 1	312	23.7	31 2	23.7	90 0	68.3	0.26
Ливингсто н	360.7	1000	36 0	136	49.2	13 6	49.2	68 0	245	0.13
Ширунди	667.7	980	65 4	125	83.3	11 7	77.8	77 5	518	0.13

Весь бассейн	1330	990	13 17	115	153	80	106. 4	87 0	1000	0.12
-----------------	------	-----	----------	-----	-----	----	-----------	---------	------	------

ii. Таблица водного баланса р. Замбези

iii. Таблица Водный баланс р. Нигера

Пункт истока	Площадь водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	Осадки		Речной сток				Испарение		Коэффициент стока $\frac{Q}{P}$
		мм	км <sup>3</sup>	в бассейне Qс		в пункте Q		мм	км <sup>3</sup>	
				мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>			
С. Фаранак	3.18	2000	6.36	685	2.18	685	2.18	1050	3.14	0.34
С. Куоликок	120	1660	19.9	405	48.6	405	48.6	940	11.3	0.24
С. Ниамей	1090	558	60.8	74	80.3	74	80.3	432	47.1	0.52
Весь бассейн	2090	798	16.67	153	320	153	320	558	12.28	0.16

iv. Таблица Водный баланс речных бассейнов Африки

Река	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Осадки		Речной сток						Суммарное испарение E		Невязка баланса P-Q-E	Коэффициент стока $\frac{Q}{P}$
		мм	Км <sup>3</sup>	Суммарный в бассейне Qc		В устье Q		Потери на Испарение Qc-Q		мм	Км <sup>3</sup>		
				мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>	мм	Км <sup>3</sup>			мм	Км <sup>3</sup>
Склон бассейна Атлантического океана													
Нил	2870	730	2095	70	202	25	73,1	45	129	620	1778	11,6	0,03
Меджерда	22,0	560	12,3	50	1,1	40	0,88	10	0,2	510	11,2	1,8	0,07
Себу	39,0	710	27,7	162	6,48	162	6,48	-	-	500	19,5	6,8	0,23
Умм-эр-Рбия	34,4	510	17,5	119	4,09	119	4,09	-	-	360	12,4	6,1	0,23
Дра	15,1	240	3,6	28	0,42	28	0,42	-	-	200	3,0	5,0	0,12
Сенегал	441	510	22,5	110	48,5	52	22,9	58	25,6	450	19,8	1,6	0,10
Нигер	2090	798	16,67	153	320	130	270	153	48,3	588	12,28	7,8	0,16

Нигер-п. Куолико ро394	120	1660	19 9	405	48,6	40 5	48,6	-	-	940	11 3	19,0	0,24
Вольта	394	1050	41 4	118	46,5	10 3	40,6	15	5,9	920	36 2	2,6	0,10
Конго	3822	1550	59 24	382	1460	37 0	141 4	12	45, 8	107 0	40 90	7,1	0,2
Оранжев ая	1020	367	37 4	27	27,5	15	15,3	12	12, 2	352	35 9	0	0,04
Склон бассейна Индийского океана													
Лимпопо	440	580	25 5	59	26,0	59	26,0	-	-	521	22 9	0	0,10
Замбези	1330	990	13 17	115	153	80	106	35	46, 5	870	10 00	4,0	0,08
Тана	91,0	730	66, 4	82	7,46	82	7,46	-	-	648	59, 0	0	0,11
Джуба	750	410	30 8	382	28,5	23	17,2	-	-	375	28 1	2,9	0,06
Мангуки (Мадагас кар)	53,9	1000	53, 9	274	14,8	27 4	14,8	15	11, 2	700	37, 7	2,6	0,27

- v. Сценарная оценка гидрологических последствий изменений климата на перспективу периода 2021–2060 гг.

**Исходные данные для сценарной оценки и ее результаты**

Период	Лет	Температура T, оС		Осадки X, мм		Сток			
		факт.	мод.	факт.	мод.	Q <sub>ср.</sub> , м <sup>3</sup> /с	У <sub>ср.</sub> , мм	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>
1981 - 2020	40	18.6	20.6	1207	1664	75.7	384	0.17	0.55
2061 - 2100	40	19.8	21.9	1277	1761	76.6	389	0.17	0.54

**Оценка изменений коэффициента стока k**

Период	k <sub>факт.</sub>	E <sub>о</sub>	k <sub>мод.</sub>
1981 - 2020	0.32	1089	0.28
2061 - 2100	0.31	1185	0.27

**Расчет по модели ФПК**

Исходные данные										
Y, мм	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	X, мм						
384	0.17	3.2	0.55	1207						
Параметризация										
a	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	k	G <sub>cN</sub>	G <sub>N</sub>	c	1/k			
365.92	2646.97	-18.58	0.32	-59.74	-17025.66	3.22	3.14			
Сценарий										
1/k <sub>пр</sub>	G <sub>cN</sub>	G <sub>N</sub>	c	N <sub>пр</sub> , мм	a	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>
3.28	-59.74	-17025.66	3.36	1277	371.22	2533.76	-17.78	389.00	155701	64133161
Сценарий параметров стока				Изменения в %						
Y	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	ΔX	ΔT	Δk	ΔY	ΔC <sub>v</sub>	ΔC <sub>s</sub>	
389	0.17	3.16	0.54	6	6	-4	1	-2	-3	

- i. Сценарная оценка гидрологических последствий изменений климата на перспективу периода 2021–2060 гг.

#### Исходные данные для сценарной оценки и ее результаты

Период	Лет	Температура T, оС		Осадки X, мм		Сток			
		факт.	мод.	факт.	мод.	Qср., м <sup>3</sup> /с	Уср., мм	Cv	Cs
1981 - 2020	40	18.6	20.6	1207	1664	75.7	384	0.17	0.55
2061 - 2100	40	19.8	21.9	1277	1761	76.6	389	0.17	0.54

#### Оценка изменений коэффициента стока k

Период	кфакт.	Eo	кмод.
1981 - 2020	0.32	1089	0.28
2061 - 2100	0.31	1185	0.27

#### Расчет по модели ФПК

Исходные данные										
Y, мм	Cv	Cs/Cv	Cs	X, мм						
384	0.17	3.2	0.55	1207						
Параметризация										
a	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	k	G <sub>сN</sub>	G <sub>N</sub>	c	1/k			
365.92	2646.97	-18.58	0.32	-59.74	-17025.66	3.22	3.14			
Сценарий										
1/k <sub>пр</sub>	G <sub>сN</sub>	G <sub>N</sub>	c	N <sub>пр</sub> , мм	a	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>
3.28	-59.74	-17025.66	3.36	1277	371.22	2533.76	-17.78	389.00	155701	64133161
Сценарий параметров стока				Изменения в %						
Y	Cv	Cs/Cv	Cs	ΔX	ΔT	Δk	ΔY	ΔCv	ΔCs	
389	0.17	3.16	0.54	6	6	-4	1	-2	-3	

i. Таблица Пирсона

Cs \ P %	0.01	0.1	1	5	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99.9
-2.4	0.84	0.83	0.83	0.82	0.79	0.72	0.62	0.51	0.35	0.17	-0.12	-0.29	-0.52	-1.25	-2	-2.6	-3.78	-6.37
-2.3	0.88	0.87	0.87	0.85	0.82	0.74	0.63	0.51	0.34	0.15	-0.14	-0.32	-0.55	-1.26	-2.01	-2.57	-3.73	-6.26
-2.2	0.91	0.91	0.9	0.88	0.84	0.75	0.64	0.5	0.33	0.12	-0.16	-0.35	-0.57	-1.27	-2.02	-2.54	-3.68	-6.14
-2.1	0.96	0.96	0.95	0.92	0.87	0.77	0.64	0.5	0.32	0.11	-0.18	-0.37	-0.59	-1.29	-2.01	-2.53	-3.64	-6.03
-2	1.01	1	0.99	0.95	0.9	0.78	0.64	0.49	0.31	0.09	-0.2	-0.39	-0.61	-1.3	-2	-2.51	-3.6	-5.91
-1.9	1.06	1.06	1.04	0.99	0.92	0.79	0.64	0.49	0.3	0.07	-0.22	-0.41	-0.63	-1.31	-2	-2.49	-3.55	-5.78
-1.8	1.11	1.11	1.09	1.02	0.94	0.8	0.64	0.48	0.28	0.05	-0.24	-0.42	-0.64	-1.32	-1.99	-2.46	-3.5	-5.64
-1.7	1.19	1.18	1.15	1.06	0.97	0.81	0.64	0.47	0.27	0.04	-0.26	-0.44	-0.66	-1.33	-1.98	-2.44	-3.45	-5.51
-1.6	1.26	1.24	1.2	1.1	0.99	0.81	0.64	0.46	0.25	0.02	-0.28	-0.46	-0.68	-1.33	-1.97	-2.42	-3.39	-5.37
-1.5	1.34	1.32	1.26	1.14	1.02	0.82	0.64	0.45	0.24	0	-0.3	-0.48	-0.7	-1.34	-1.96	-2.4	-3.33	-5.23
-1.4	1.41	1.39	1.32	1.17	1.04	0.83	0.64	0.44	0.22	-0.02	-0.31	-0.49	-0.71	-1.34	-1.95	-2.37	-3.27	-5.09
-1.3	1.55	1.49	1.39	1.21	1.06	0.84	0.64	0.43	0.21	-0.04	-0.33	-0.51	-0.72	-1.34	-1.94	-2.34	-3.21	-4.95
-1.2	1.68	1.58	1.45	1.24	1.08	0.84	0.63	0.42	0.19	-0.05	-0.35	-0.52	-0.73	-1.34	-1.92	-2.31	-3.15	-4.81
-1.1	1.8	1.69	1.52	1.28	1.11	0.85	0.63	0.41	0.18	-0.07	-0.37	-0.54	-0.75	-1.34	-1.9	-2.28	-3.09	-4.67
-1	1.92	1.79	1.59	1.32	1.13	0.85	0.62	0.39	0.16	-0.09	-0.38	-0.55	-0.76	-1.34	-1.88	-2.25	-3.02	-4.53
-0.9	2.08	1.91	1.67	1.35	1.15	0.86	0.61	0.38	0.15	-0.11	-0.4	-0.57	-0.78	-1.34	-1.86	-2.22	-2.96	-4.39
-0.8	2.23	2.02	1.74	1.38	1.17	0.86	0.6	0.37	0.13	-0.12	-0.41	-0.58	-0.79	-1.34	-1.84	-2.18	-2.89	-4.24
-0.7	2.4	2.15	1.81	1.42	1.19	0.86	0.6	0.36	0.12	-0.14	-0.43	-0.6	-0.8	-1.34	-1.82	-2.15	-2.82	-4.1
-0.6	2.57	2.27	1.88	1.45	1.2	0.85	0.59	0.34	0.1	-0.16	-0.44	-0.61	-0.8	-1.33	-1.8	-2.12	-2.75	-3.96
-0.5	2.78	2.41	1.96	1.49	1.22	0.85	0.58	0.33	0.09	-0.18	-0.46	-0.62	-0.81	-1.33	-1.78	-2.08	-2.68	-3.81
-0.4	2.98	2.54	2.03	1.52	1.23	0.85	0.57	0.31	0.07	-0.19	-0.47	-0.63	-0.82	-1.32	-1.75	-2.04	-2.61	-3.66
-0.3	3.18	2.68	2.11	1.55	1.25	0.85	0.56	0.3	0.05	-0.21	-0.49	-0.64	-0.83	-1.31	-1.73	-2	-2.54	-3.52
-0.2	3.37	2.81	2.18	1.58	1.26	0.85	0.55	0.28	0.03	-0.22	-0.5	-0.65	-0.83	-1.3	-1.7	-1.96	-2.47	-3.38
-0.1	3.55	2.95	2.26	1.61	1.27	0.85	0.54	0.27	0.02	-0.24	-0.51	-0.66	-0.84	-1.29	-1.67	-1.92	-2.4	-3.24
0	3.72	3.09	2.33	1.64	1.28	0.84	0.52	0.25	0	-0.25	-0.52	-0.67	-0.84	-1.28	-1.64	-1.88	-2.33	-3.09
0.1	3.94	3.24	2.4	1.67	1.29	0.84	0.51	0.24	-0.02	-0.27	-0.54	-0.68	-0.85	-1.27	-1.61	-1.84	-2.26	-2.95
0.2	4.16	3.38	2.47	1.7	1.3	0.83	0.5	0.22	-0.03	-0.28	-0.55	-0.69	-0.85	-1.26	-1.58	-1.79	-2.18	-2.81
0.3	4.39	3.52	2.54	1.73	1.31	0.83	0.49	0.21	-0.05	-0.3	-0.56	-0.7	-0.85	-1.25	-1.55	-1.75	-2.11	-2.68
0.4	4.61	3.66	2.61	1.75	1.32	0.82	0.47	0.19	-0.07	-0.31	-0.57	-0.71	-0.85	-1.23	-1.52	-1.7	-2.03	-2.54
0.5	4.83	3.81	2.68	1.78	1.33	0.81	0.46	0.18	-0.09	-0.33	-0.58	-0.72	-0.85	-1.22	-1.49	-1.66	-1.96	-2.41
0.6	5.05	3.96	2.75	1.8	1.33	0.8	0.44	0.16	-0.1	-0.34	-0.59	-0.72	-0.85	-1.2	-1.45	-1.61	-1.88	-2.27
0.7	5.28	4.1	2.82	1.82	1.34	0.79	0.43	0.14	-0.12	-0.36	-0.6	-0.73	-0.86	-1.19	-1.42	-1.57	-1.81	-2.15
0.8	5.5	4.24	2.89	1.84	1.34	0.78	0.41	0.12	-0.13	-0.37	-0.6	-0.73	-0.86	-1.17	-1.38	-1.52	-1.74	-2.02
0.9	5.73	4.39	2.96	1.86	1.34	0.77	0.4	0.11	-0.15	-0.38	-0.61	-0.73	-0.86	-1.15	-1.35	-1.47	-1.67	-1.91
1	5.96	4.53	3.02	1.88	1.34	0.76	0.38	0.09	-0.16	-0.39	-0.62	-0.73	-0.85	-1.13	-1.32	-1.42	-1.59	-1.79
1.1	6.19	4.67	3.09	1.9	1.34	0.75	0.37	0.07	-0.18	-0.41	-0.63	-0.74	-0.85	-1.11	-1.28	-1.38	-1.52	-1.69
1.2	6.41	4.81	3.15	1.92	1.34	0.73	0.35	0.05	-0.19	-0.42	-0.63	-0.74	-0.84	-1.08	-1.24	-1.33	-1.45	-1.58
1.3	6.64	4.95	3.21	1.94	1.34	0.72	0.33	0.04	-0.21	-0.43	-0.64	-0.74	-0.84	-1.06	-1.21	-1.28	-1.39	-1.49
1.4	6.87	5.09	3.27	1.95	1.34	0.71	0.31	0.02	-0.22	-0.44	-0.64	-0.73	-0.84	-1.04	-1.17	-1.23	-1.32	-1.39
1.5	7.09	5.23	3.33	1.96	1.34	0.7	0.3	0	-0.24	-0.45	-0.64	-0.73	-0.83	-1.02	-1.14	-1.19	-1.26	-1.32
1.6	7.31	5.37	3.39	1.97	1.33	0.68	0.28	-0.02	-0.25	-0.46	-0.64	-0.73	-0.81	-0.99	-1.1	-1.14	-1.2	-1.24
1.7	7.54	5.51	3.45	1.98	1.33	0.66	0.26	-0.04	-0.27	-0.47	-0.64	-0.73	-0.81	-0.97	-1.06	-1.1	-1.15	-1.18
1.8	7.76	5.64	3.5	1.99	1.32	0.64	0.24	-0.05	-0.28	-0.48	-0.64	-0.72	-0.8	-0.94	-1.02	-1.06	-1.09	-1.11
1.9	7.99	5.78	3.55	2	1.31	0.63	0.22	-0.07	-0.3	-0.49	-0.64	-0.72	-0.79	-0.92	-0.99	-1.02	-1.04	-1.06
2	8.21	5.91	3.6	2	1.3	0.61	0.2	-0.08	-0.31	-0.49	-0.64	-0.71	-0.78	-0.9	-0.95	-0.97	-0.99	-1
2.1	8.42	6.03	3.64	2.01	1.29	0.59	0.18	-0.1	-0.32	-0.5	-0.64	-0.7	-0.77	-0.87	-0.92	-0.94	-0.95	-0.96
2.2	8.63	6.14	3.68	2.02	1.27	0.57	0.16	-0.12	-0.33	-0.5	-0.64	-0.69	-0.75	-0.84	-0.88	-0.9	-0.9	-0.91
2.3	8.82	6.26	3.73	2.01	1.26	0.55	0.14	-0.13	-0.34	-0.51	-0.63	-0.68	-0.74	-0.82	-0.85	-0.87	-0.87	-0.87
2.4	9	6.37	3.78	2	1.25	0.52	0.12	-0.14	-0.35	-0.51	-0.62	-0.67	-0.72	-0.79	-0.82	-0.83	-0.83	-0.83