

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(РГГМУ)

УДК [556.13.06:551.583](6)"45"

На правах рукописи

Диавара Хамиду

Долгосрочная оценка вероятностных распределений
многолетнего годового испарения с территории
Африки при изменении климата

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Научный руководитель:
доктор тех. наук, профессор

В. В. Коваленко

Научный консультант:
кандидат тех. наук, доцент

Е. В. Гайдукова



Санкт-Петербург 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Список сокращений и аббревиатур	4
Введение	5
1 Гидрометеорологический режим африканского континента и постановка задачи исследования	10
1.1 Физико-географические условия формирования многолетнего режима стока и испарения	12
1.2 Фрактальная диагностика рядов стока и испарения	31
1.3 Постановка задачи исследования	43
2 Выбор метода расчета испарения и создание базы данных гидрометеорологических элементов	45
2.1 Методы расчета испарения и их применимость для условий Африки	45
2.2 Формирование многолетних рядов данных по температуре воздуха и осадкам	57
2.3 Генерирование рядов многолетнего испарения	63
3 Статистическая обработка рядов испарения и картирование расчетных характеристик	67
3.1 Выявление рядов, удовлетворяющих нормативным требованиям по их статистической обработке	68
3.2 Расчет статистических характеристик рядов испарения	77
3.3 Картирование расчетных характеристик испарения	88
4 Ретроспективные прогнозы и сценарные оценки кривых плотности вероятности многолетнего испарения	105
4.1 Методология сценарных оценок статистических характеристик испарения	106

4.2	Проверка методики на ретроспективном материале	110
4.3	Сценарные оценки суммарного испарения с речных бассейнов Африки	119
	Заключение	128
	Список использованных источников	129
	Приложение А – Сведения о гидрометеорологических станциях, среднемноголетние значения осадков (в мм) и температуры воздуха (в °С)	138
	Приложение Б – Текст персональной программы для интерполяции метеорологических данных	147
	Приложение В – Нормы слоев стока, коэффициенты стока и испарения и отклонений их суммы от 1	154
	Приложение Г – Автокорреляционные функции рядов суммарного годового испарения, неоднородных по математическому ожиданию и дисперсии	156
	Приложение Д – Кривые обеспеченности ретроспективных прогнозов испарения	159
	Приложение Е – Сценарные оценки моментов распределения суммарного годового испарения	169
	Приложение Ж – Фактические и сценарные карты-схемы распределения по территории Африки нормы метеорологических элементов и суммарного годового испарения	184
	Приложение З – Справки об использовании результатов диссертации	188

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

- у.м. – Уровень моря;
- ЮАР – Южная Африканская Республика;
- ВЗК – Внутритропическая зона конвергенции;
- РГГМУ – Российский государственный гидрометеорологический Университет;
- ФПК – Фоккер–Планк–Колмогоров;
- ГГИ – Государственный гидрологический институт;
- РПВ – Размерность пространства вложения;
- ФАО – Продовольственная и сельскохозяйственная организация;
- ООН – Организация Объединенных Наций;
- МКИД – Международный Комитет по ирригации и дренажу;
- ВМО – Всемирная метеорологическая организация;
- НОАА – National Oceanic and Atmospheric Administration;
- США – Соединенные Штаты Америки;
- VBA – Visual Basic of Applications;
- РИК – Разностно-интегральная кривая;
- у.з. – Уровень значимости;
- ПКФ – Пространственная корреляционная функция;
- МНК – Метод наименьших квадратов;
- ПМП – Простой марковский процесс;
- АКФ – Автокорреляционной функции;
- СМIP4 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 4;
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change;
- DDC – Data Distribution Centre;

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Определение оценок суммарного испарения с речных бассейнов является одной из основных задач, решаемых в гидрометеорологии. Исследованием процесса суммарного испарения с поверхности суши занимались выдающиеся русские ученые климатологи и гидрологи, такие как А. Р. Константинов, М. И. Будыко, и др. В обычной гидрологической практике, основной интерес при исследовании испарения уделяют определению его суточных, месячных, сезонных, годовых и многолетних значений или их норм. Последние (нормы суммарного испарения) часто используются при воднобалансовых расчетах. Однако обеспеченные значения суммарного испарения с суши также рекомендуют использовать при решении некоторых специфических гидрологических задач. Так сотрудницей ГГИ Л. Г. Бавиной была предложена расчетная схема получения обеспеченного водного баланса неосушенных болот, в которой обеспеченное значение стока $Q_p\%$ определяется разностью осадков той же обеспеченности ($X_p\%$) и испарения, обеспеченностью $(100-P)\%$, т. е. с использованием обеспеченных значений испарения [1]. Обеспеченные значения суммарного испарения с суши по рекомендациям С. В. Сольского следует учитывать при расчете гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий [2]. Они также используются при выборе пункта и площадки атомных электростанций: месячные и годовые суммы испарений с водной поверхности и с поверхности суши [3].

Проблемы возникают в связи с глобальными изменениями климата [4], происходящими в последние десятилетия. С появлением сценарных оценок элементов климата (температура воздуха, осадки) стала актуальной задача долгосрочной оценки последствий изменений климата для различных отраслей экономики. Повышение глобальной приземной температуры воздуха

(как одного из аспектов изменений климата на Земле) [5] приводит, с одной стороны, к увеличению объема суммарного испарения с суши (с речных бассейнов), а с другой стороны, к увеличению количества осадков, вследствие усиления испарения с поверхности океана.

Исследования, выполненные на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета, выявили существование функциональной связи между фрактальной размерностью [6] рядов среднемноголетнего годового стока и климатической нормой приземной температуры воздуха [7, 8]. Фрактальная размерность стока, при норме температуры воздуха больше $+20^{\circ}\text{C}$, принимает дробное значение в диапазоне от 1 до 2. Такие нормы характерны почти для всей территории Африки. Следовательно, для вероятностного описания процесса формирования годового стока на африканском континенте необходимо учитывать только два фактора расходной части уравнения водного баланса. Для Африки, в качестве второго фактора после стока, выступает суммарное испарение с поверхности речных бассейнов. Такая роль приписывается суммарному испарению неслучайно, так как большинство речных бассейнов в Африке относится к бассейнам первого типа по классификации Э. М. Ольдекопа [9], для которых основное влияние на сток оказывает суммарное испарение с бассейна. В среднем для Африки, суммарное испарение за год составляет больше 70 % от годовой суммы осадков [10].

Методика исследования и исходный материал. Достижение основной цели исследования основано на адаптации к испарению модели долгосрочной оценки вероятностного распределения многолетнего речного стока, разработанной на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов. Исторические данные (фактические) о температуре воздуха и осадках получены из архива данных национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) Соединенных Штатов Америки (США); а сценарные –

из отчета четвертого доклада (СМIP4) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC).

Расчеты выполнены в среде *Microsoft Excel* и при построении карт были использованы компьютерные программные обеспечения *ArcView* и *Surfer*.

Научная обоснованность и достоверность. Научная обоснованность проведения данного исследования заключается в том, что рассчитанные фрактальные размерности многолетнего речного стока для Африки меняются от 1 до 2. Следовательно, в процессе формирования вероятностного распределения речного стока в Африке активно участвует дополнительная фазовая переменная, в качестве которой выступает суммарное испарение с речных бассейнов.

Результаты (оценки характеристик и гидрологические карты) и сделанные основные выводы в ходе исследования, получились в рамках, существующих в настоящее время, гидрологических нормативов и базируются на моделях, прошедших широкую апробацию почти на всех континентах.

Научная новизна и практическая значимость. По ходу решения задач настоящего исследования были получены следующие основные результаты:

1. Создана база данных (фактические и сценарные) о температуре воздуха и осадках на 356 гидрометеорологических станциях в Африке; впервые сгенерировано и статистически обработано столько же рядов суммарного годового испарения с речных бассейнов.

2. Обновлено карты статистических характеристик (нормы, коэффициента испарения, и т.д.) фактического суммарного испарения для Африки, построенные российскими учеными в 1970х годах.

3. Впервые для Африки получена региональная зависимость нормы коэффициента суммарного испарения от норм метеорологических факторов (температуры воздуха и осадков) и впервые разработана методика

долгосрочного прогнозирования вероятностного распределения многолетнего испарения.

4. Впервые (на примере Африки) произведен сравнительный анализ фактических и условно-прогнозных (ретроспективных) вероятностных распределений испарения, показывающий приемлемость методики на 5 %-ом уровне значимости.

5. Впервые получены и проанализированы распределения по территории Африки многолетних характеристик сценарных значений испарения.

Диссертационное исследование выполнялось в рамках Научно-исследовательской работы (НИР) «Адаптация математических моделей формирования вероятностных характеристик многолетних видов речного стока к физико-географическим условиям России для целей обеспечения устойчивости их решений при моделировании и прогнозировании» (№ госрегистрации 01 2014 58678). Результаты исследования переданы в метеорологическую службу Республики Мали для внедрения.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты генерирования рядов суммарного годового испарения с речных бассейнов Африки и их статистической обработки, включая оценку трендов на значимость и проверку их (рядов) на однородность по объективным критериям Фишера и Стьюдента.

2. Пространственное распределение по территории Африки нормы фактического суммарного испарения с речных бассейнов и оценка погрешности построенной карты.

3. Методика долгосрочной оценки вероятностного распределения многолетнего суммарного испарения в Африке и региональная зависимость нормы коэффициента испарения от норм температуры воздуха и осадков.

4. Ретроспективные прогнозы и результаты проверки на согласие расчетных вероятностных распределений многолетнего испарения с фактическим распределением.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на заседаниях Итоговой секции Ученого Совета РГГМУ в 2014 и 2015 гг., и семинарах кафедры гидрофизики и гидропрогнозов гидрологического факультета РГГМУ. Также промежуточные результаты работы были представлены на конференциях, в том числе: XXIV и XLI международные заочные научно-практические конференции 2013 и 2014 гг. «Технические науки – от теории к практике» (г. Новосибирск), XVI «Международная научно-практическая конференция» 2014 г. (Институт стратегических исследований) (г. Москва), VIII всероссийская научная экологическая конференция «Вода – источник жизни на Земле» 2015 г. (Санкт-Петербург), XI международный Большой географический фестиваль (БГФ-2015) «Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета» (Санкт-Петербург), и *International Conference on Engineering Technology, Engineering Education and Engineering Management* 2014 в Китае (*China*).

По теме диссертации опубликовано 10 статей, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 в зарубежных изданиях (1 – в высокорейтинговом журнале).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и 8 приложений. Работа изложена на 190 страницах и включает 34 рисунок и 16 таблиц. Список использованных источников состоит из 83 источников российских и зарубежных авторов.

1 ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АФРИКАНСКОГО КОНТИНЕНТА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Африканский континент расположен между морями и океанами, практически, отдельно от всех других континентов суши. На севере Африка простирается до Средиземного и Красного морей, на востоке находится Индийский океан, на западе – Атлантический океан. Африка, с площадью около 30 мл. км², является вторым, по величине, материком Земли после Азиатского континента. Располагаясь на северном и южном полушариях, от 37°20' с.ш. до 34° 50' ю.ш., Африка делится экватором на две почти равные части, но при этом, 2/3 ее площади расположены к северу, а одна 1/3 к югу от экватора (см. рисунок 1.1).

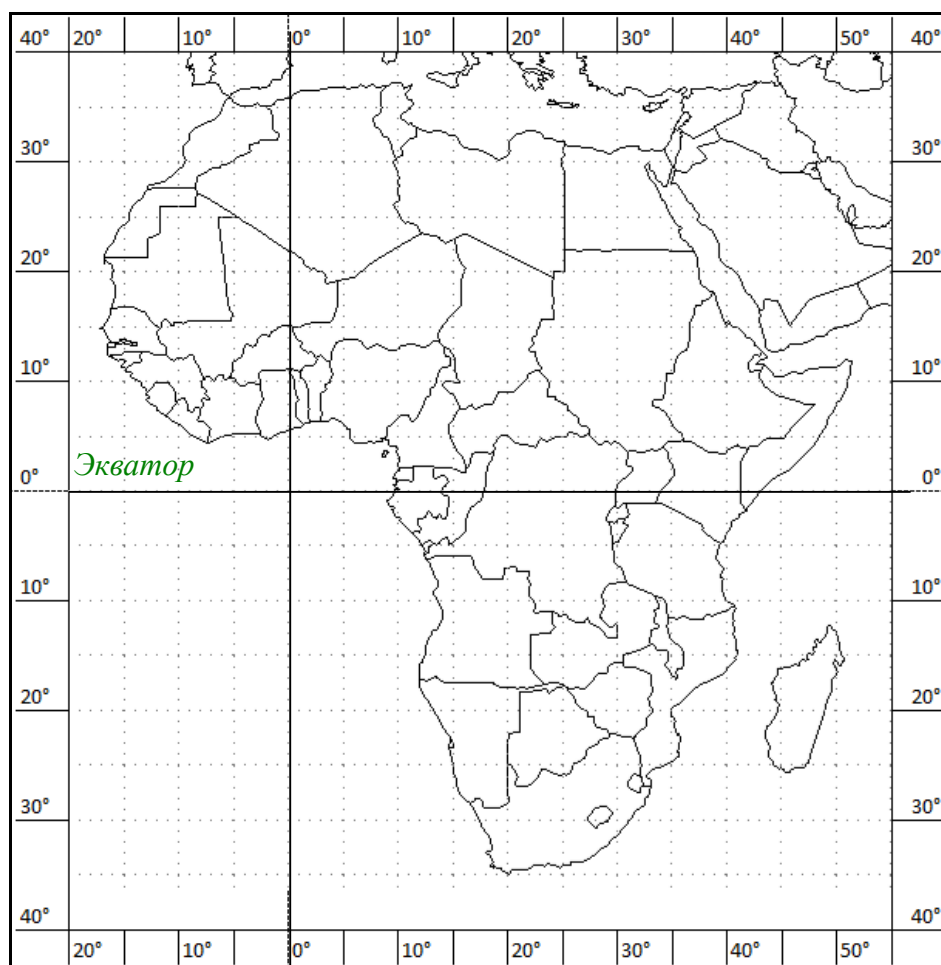


Рисунок 1.1 – Географическая карта Африки.

Африка протянулась на 8015 км от ее самой северной точки, находящейся в Тунисе, до ее самого южного пункта в Южной Африканской Республике (ЮАР). Ее максимальная ширина, измеренная от западного края Сенегала (мыс Альмади 17° 34' з.д.) до восточного края Рас-Хафун (51° 16' в.д.) в Сомали на востоке, равняется приблизительно 7630 км [11], которая в два раза больше максимальной ширины ее южной половины.

Протяженность береговой линии составляет приблизительно 30500 тыс. км, из которых на Средиземное море приходится 19,0 %, на Атлантический океан – 39,2 %, на Индийский – 31,1 % и на Красное море – 10,7 % км. Свыше одной пятой площади удалено от океанов и морей на расстояние от 1000 до 1500 км. Самая высокая точка, вершина горы Килиманджаро, располагается на 5895 м выше уровня моря (у.м.), а самая низкая точка – на 153 м ниже уровня моря, оз. Ассаль. Средняя высота Африки над уровнем моря составляет 750 м. Основные черты орографии – равнина; как представлено на рисунке 1.2, имеются плато и плоскогорья, лежащие на высоте от 200 до 500 м над уровнем моря (39,0 % площади) и от 500 до 1000 м над уровнем моря (28,1 % площади).

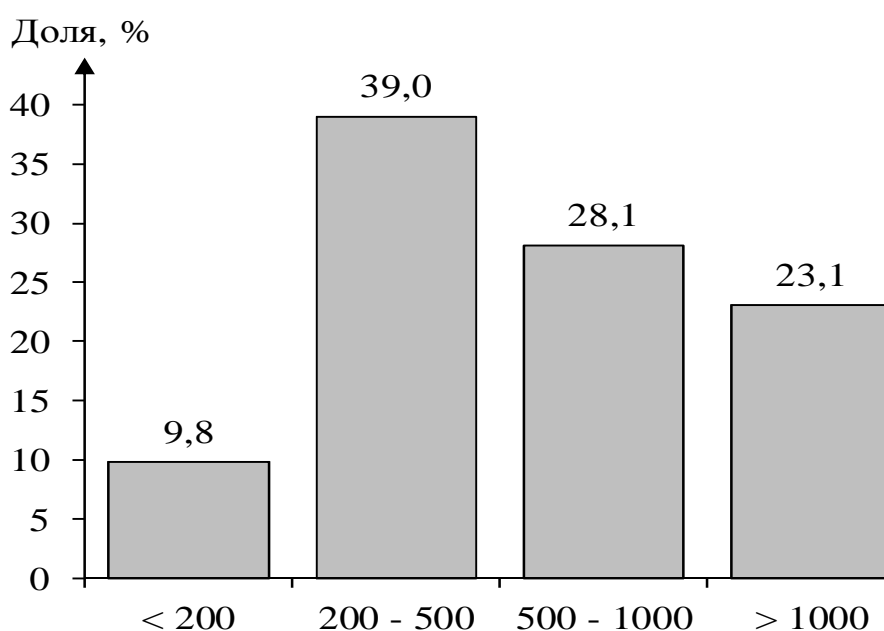


Рисунок 1.2 – Доли площади Африки в заданном интервале высоты над уровнем моря.

Низменности занимают лишь 9,8 % площади, главным образом, вдоль прибрежных окраин. Африка является вторым по величине материком с площадью 29,2 млн. квадратных километров (с островами 30,3 млн. км²), что составляет одну пятую всей площади поверхности Земли [12], и 1/17 всей земной поверхности.

1.1 Физико-географические условия формирования многолетнего режима стока и испарения

Климатическое описание

Располагаясь примерно на одинаковом расстоянии в северном и южном полушарии по обе стороны экватора, и заключенная, в основном, между тропиками Рака и Козерога (внутритропическая зона), Африка является континентом с жарким климатом, интенсивность солнечной радиации на нем постоянно велика. В течении 90 лет температура воздуха (58,2 °С), измеренная 13 сентября 1922 в Эль-Азизии (Ливия) на высоте 112 м, считалась рекордом максимальной земной температуры. Но это официально было опровергнуто Всемирной метеорологической организацией (ВМО) в 2012 году [13].

Климаты и растительности Африки различаются в зависимости, прежде всего, от пространственного изменения количества осадков. За исключением крайних северной и южной частей, климатической характеристикой Африки является высокая температура. Появление сухого сезона и увеличение его продолжительности по мере удаления от экватора приводит к переходу от одной климатической зоны, с определенными видами растений, к другой климатической зоне соответственно с другими видами растений.

Африка, в связи с особенностями географического положения, является единственным материком, где климатические пояса повторяются дважды: на

одних и тех же широтах в обоих полушариях. На территории Африки господствуют экваториальные и тропические воздушные массы. В результате взаимодействия климатообразующих факторов складывается климатический облик материка. По генетической классификации климатов, предложенной Б. П. Алисовым [14, 15], в Африке различаются следующие климатические пояса: экваториальный, субэкваториальный, тропические (влажный и сухой) и субтропический (рисунок 1.3).

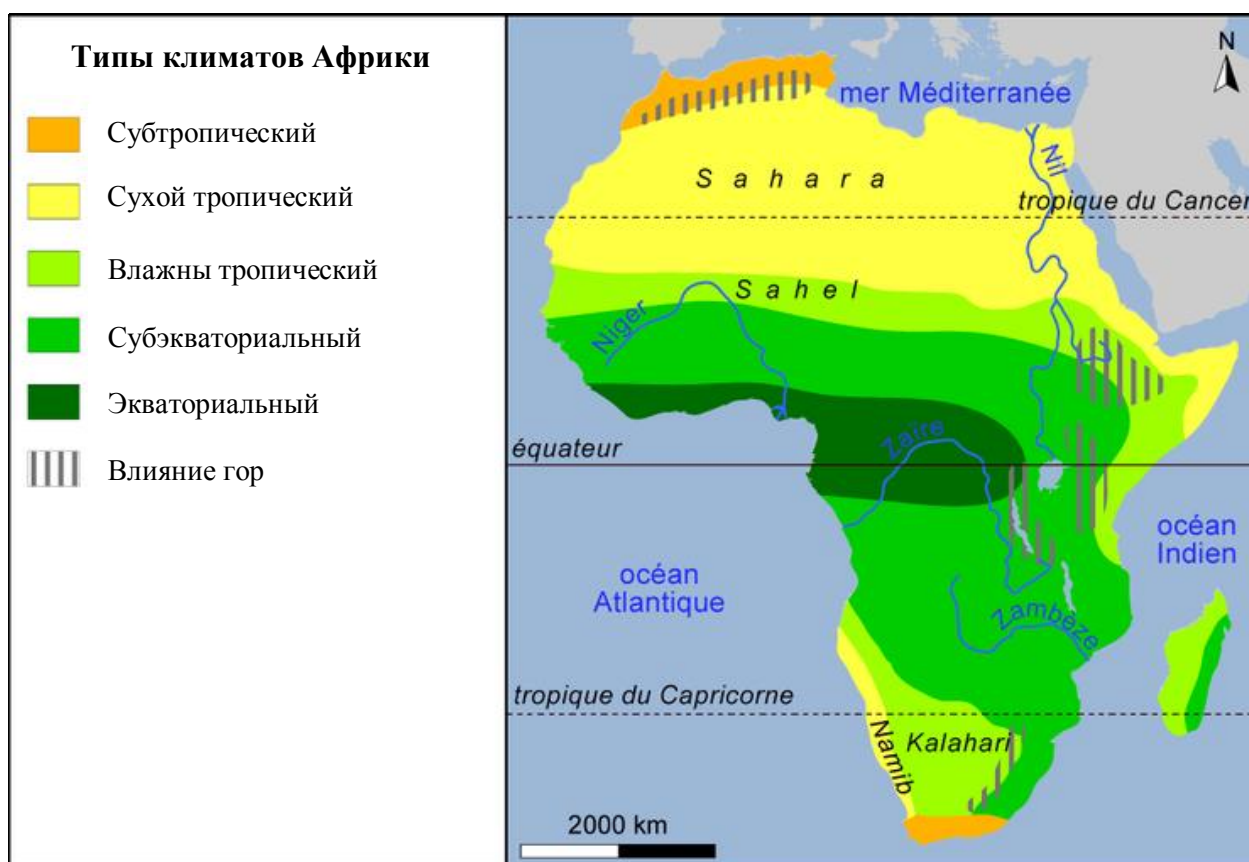


Рисунок 1.3 – Климатические зоны Африки [16].

Экваториальный климат отличается постоянством годового хода всех гидрометеорологических элементов. Он охватывает побережье Гвинейского залива и далее проникает вглубь материка до восточного побережья озера Виктория, между от 5 до 7° с.ш. и от 2 до 3° ю.ш., включая часть бассейна реки Конго и северное побережье Гвинейского залива. Его границы

определяются положением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) в южном полушарии. Здесь в течение года господствует экваториальная воздушная масса – влажная и с высокой температурой. В поясе экваториального климата всегда равномерно высокие средние месячные температуры воздуха (+25 – +27 °С) и большое количество осадков в течение года (1500–1800 мм). Зона экваториального типа климата характеризуется влажными вечнозелеными лесами (экваториальные леса), связанными с выпадением дождей в течение всего года, т. е. здесь отсутствует сухой сезон.

Границы пояса субэкваториального типа климата на каждом полушарии располагаются на 15–20° широты. Здесь в течение года отчетливо выделяются два сезона – влажный (летом) и сухой (зимний) сезоны, обусловленные сменой воздушных масс, обладающих разными свойствами. В летнее время господствует экваториальный муссон, который приносит влажный экваториальный воздух, с которым связаны обильные осадки. Зимой климатический пояс оказывается под воздействием пассата, приносящего массы сухого континентального тропического воздуха. В наиболее жаркое время, обычно в начале дождливого сезона, среднемесячная температура превышает +30 °С, а в самые прохладные месяцы температура может понижаться до +20 °С. Годовые амплитуды температур невелики, зима лишь немного прохладнее лета; зимой суточные амплитуды температуры в связи с уменьшением влажности увеличиваются. Вблизи от экватора главенствуют смешанные листопадно-вечнозеленые экваториальные леса, произрастающие на оподзоленных латеритных почвах. Дальше от экватора они сменяются сезонно-влажными листопадными (муссонными) лесами. В районах с пониженной продолжительностью дождливого периода место муссонных лесов занимают саванны и редколесья на красно-бурых почвах. Расположенные в поясе этого климата Эфиопское нагорье и горные системы Восточной Африки характеризуются четко выраженной вертикальной климатической поясностью.

Тропические пояса (северный и южный) простираются до 30° с.ш. и 30° ю.ш. Почти половина (больше 40 %) площади территории Африки расположено в зоне тропических типов климата. Климат этих поясов пустынный или полупустынный. Климат тропических пустынь формируется под постоянным влиянием континентального тропического воздуха, очень сухого, с высокими среднемесячными температурами. Здесь круглый год стоит ясная погода, а дожди выпадают в виде редких и кратковременных ливней. Количество осадков очень мало, не более 50–150 мм в год, и уменьшается при удалении вглубь материка. Хорошо заметны сезонные изменения температуры, а также большая суточная амплитуда температура почвы и воздуха. Годовая амплитуда среднемесячной температуры воздуха составляет около 20 °С, в то время как суточная может достигать 40-50 °С. В северном тропическом поясе находится самая жаркая и сухая область всей Земли – пустыня Сахара, площадь которой, согласно энциклопедии Британника [17], занимает около 8,6 млн. км², что составляет около 30 % площади Африки.

Субтропические климатические пояса занимают положения выше 30° широты на севере и на юге. Для них характерна сезонная смена тропических воздушных масс летом на умеренные воздушные массы зимой. На крайних севере и юге материка имеет место субтропический «средиземноморский» климат, характеризующийся мягкой влажной зимой и жарким сухим летом. На юго-востоке находится небольшая по площади область муссонных субтропиков с летним максимумом осадков.

Закономерности режима осадков и увлажнения

В режиме увлажнения территории основную роль играют атмосферные осадки. Их количество, распределение по территории и по сезонам обусловлены характером растительного покрова, степенью интенсификации и видами сельскохозяйственного производства. На территорию Африки в

среднем за год выпадает примерно 700 мм осадков. Осадки являются очень важным климатическим элементом, и от них зависят многие другие природные процессы.

Африканский континент, занимая 20 % суши, по данным из [18], получает 20,7 тыс. км³ осадков в год, что составляет 18,6 % от выпадающего в год количества на поверхность всей суши (111 тыс. км³). Такой объем годовой суммы осадков делает Африку третьим материком после Азии и Южной Америки, где выпадает больше всего осадков в год. Но данный континент характеризуется исключительно неравномерным как по территории, так и по сезонам (внутри года) распределением осадков. Географически количество годовых осадков максимально при экваториальном климате, а при удалении в северном и южном направлении, к тропикам, оно постепенно уменьшается. Самым влажным районом в Африке считается побережье Гвинейского залива, где выпадает до 10000 мм и более осадков в год. А самые засушливые районы – это пустыня Сахара, где в среднем выпадает 10 – 20 мм осадков в год, и прилегающие к ней южнее полупустыни. Географическую закономерность в распределении осадков по территории Африки можно наблюдать на рисунке 1.4 [19].

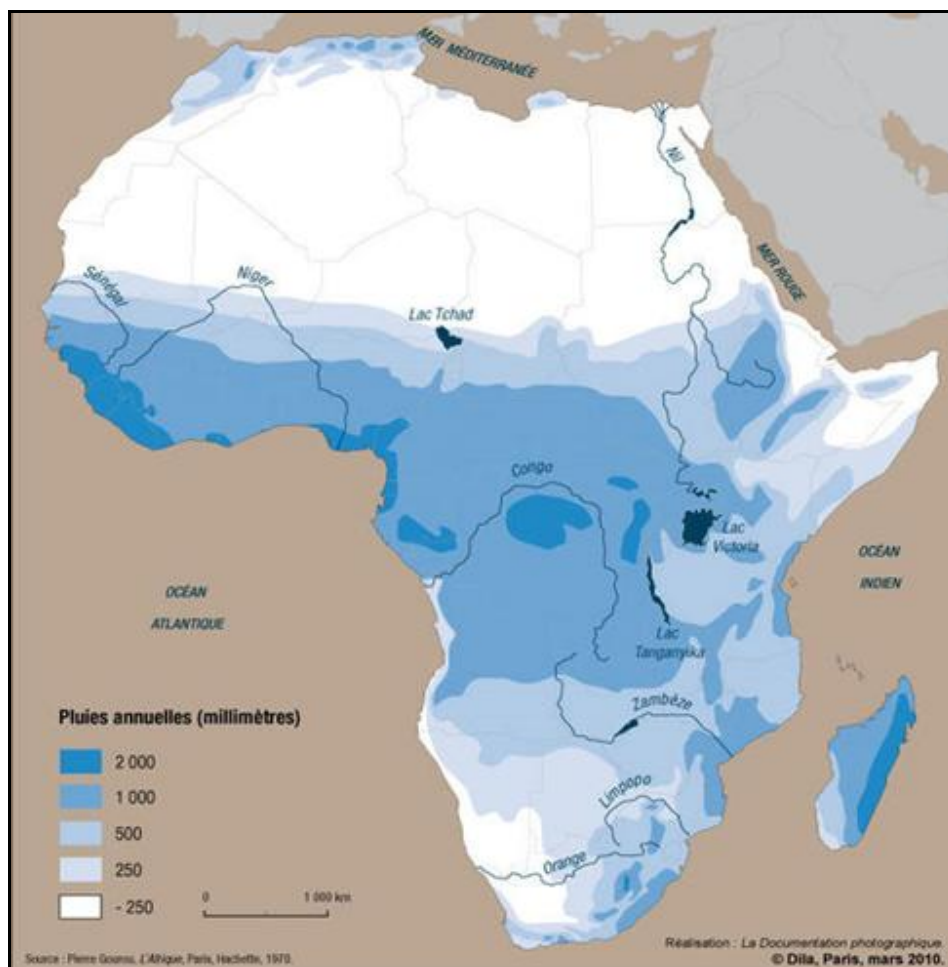


Рисунок 1.4 – Распределение нормы годовых сумм осадков по Африке.

Карта-схема на рисунке 1.4 напоминает карту климатических зон Африки. Как уже было сказано, климат, в первую очередь, зависит от количества годовых осадков. В пределах экваториального и субэкваториального климата выпадают до 1000 мм и больше осадков в год. А в прилегающих к ним климатических тропических зонах годовое количество осадков изменяется в пределах от 500 мм до 250 мм.

Кроме географической закономерности осадков для Африки также имеет значение их внутригодовое распределение, которое многообразно в зависимости от климатической зоны. Типы годового хода осадков в тропиках выделяются Л. С. Поляковой и Д. В. Кашариным в учебном пособии «Метеорология и климатология» [20]. В соответствии с климатическими зонами на африканском континенте выделяются следующие, представленные

на рисунке 1.5, основные типы годового хода осадков: экваториальный, субэкваториальный, тропический.

Экваториальный тип

В экваториальном поясе, безусловно, выпадает наибольшее количество осадков. Годовая сумма достигает 2000 мм, а местами и больше. Но часто здесь, теоретически, представляется распределение месячных сумм осадков как идеально равномерное в течение года. Такое предположение почти не оправдывается, так как внутригодовое распределение осадков в экваториальном климате характеризуется двойными максимумами и минимумами. Такое распределение типа экваториального режима осадков представлено на рисунке 1.5 (вариант *a*) для метеорологической станции Киншаса (Демократическая Республика Конго). Сумма осадков за год составляет 1 700 мм. Максимумы приходятся на переходные сезоны (после весеннего и осеннего равноденствия), а минимумы – зимой и летом. Другой характеристикой распределения осадков внутри года данной климатической зоны является отсутствие засушливого сезона (сезон без дождей или сухой сезон).

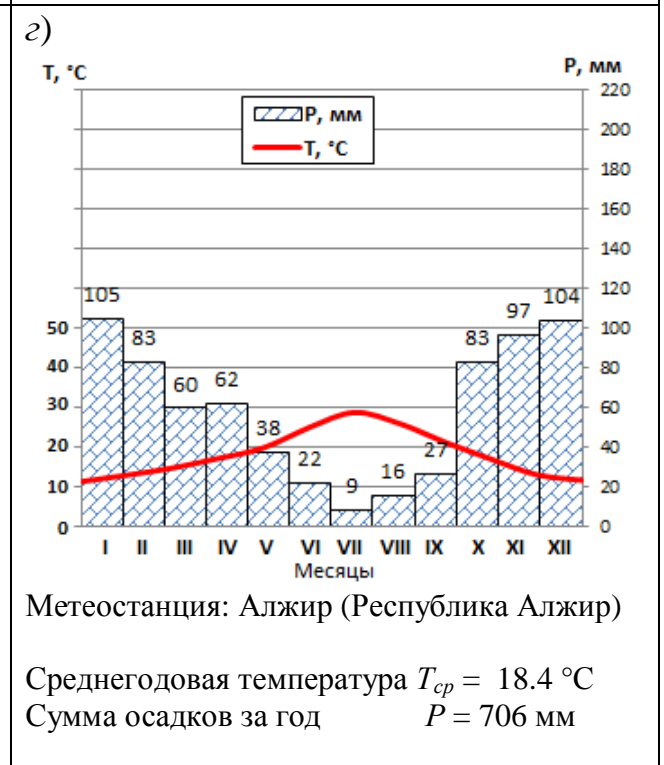
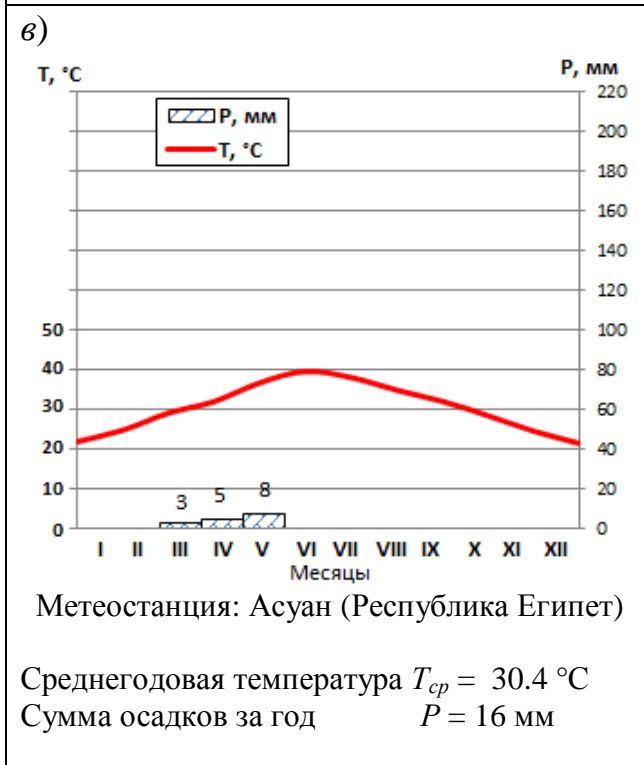
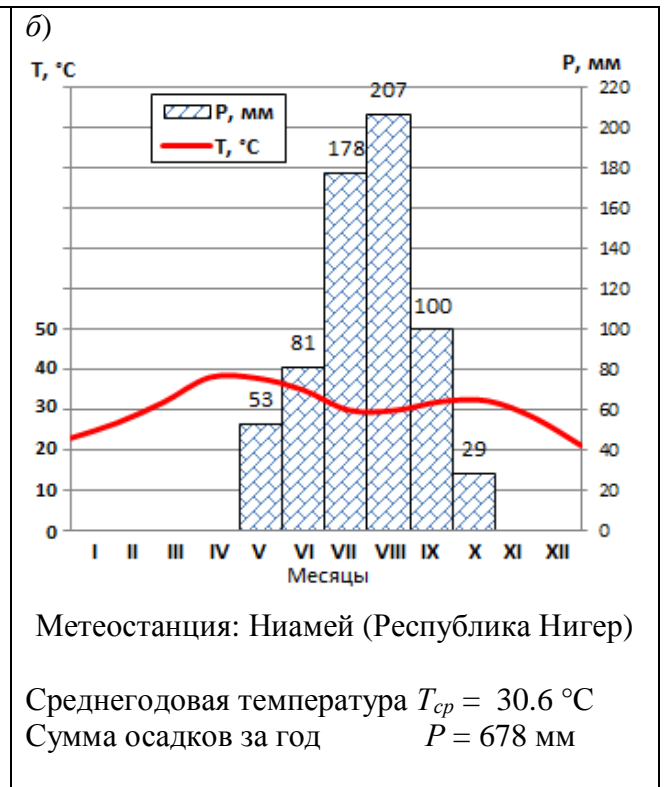
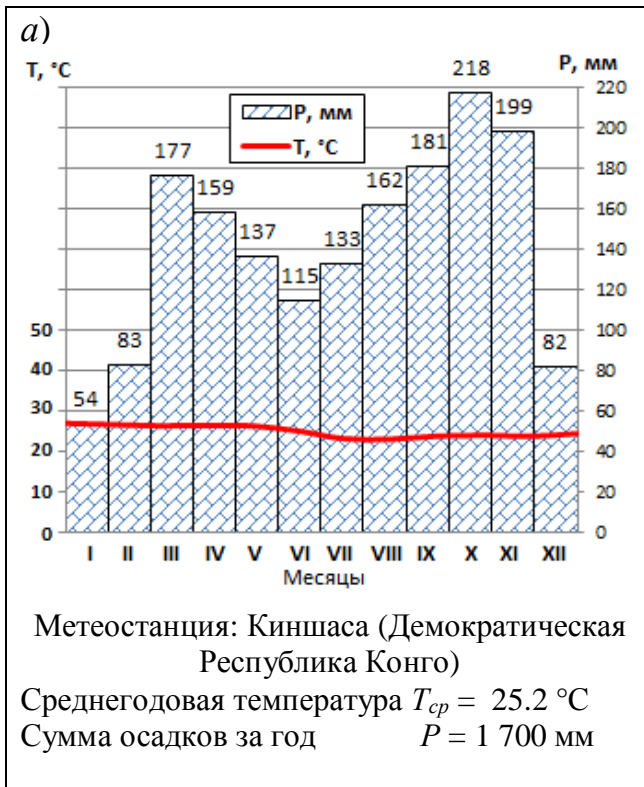


Рисунок 1.5 – Годовые режимы осадков и температуры воздуха по климатическим зонам Африки: *а* – Экваториальный тип режима осадков и температуры; *б* – Влажный тропический тип режима осадков и температуры; *в* – Сухой тропический тип режима осадков и температуры; *г* – Средиземноморский тип режима осадков и температуры.

Субэкваториальный тип

В субэкваториальном типе режима осадков наблюдается крайне неравномерное распределение осадков в течение года. Существуют влажный и сухой сезоны. Но продолжительность сухого сезона намного меньше продолжительности влажного сезона. Влажный сезон приходится на летнее время. Продолжительность и количество выпадающих осадков сезона дождей, уменьшается от экватора к тропикам. Самыми влажными месяцами являются август (в северном полушарии) и январь (в южном полушарии).

Тропический тип

В тропическом климате осадки выпадают редко и годовые суммы осадков в основном меньше 250 мм. Здесь четко отмечены два сезона: сезон дождей (иногда два) и сухой сезон, продолжительность которого увеличивается в направлении перемещения к тропикам (7 – 10 месяцев), что хорошо прослеживается на рисунке 1.6. Поэтому в тропическом поясе расположены пустыни, в которых в некоторые годы совсем не выпадают осадки. В данном типе можно выделить два подтипа климата и режима осадков: влажный тропический климат, включая муссонные климаты, и сухой тропический климат.

Субтропический средиземноморский тип

Средиземноморский тип режима осадков отличается от других типов тем, что здесь, в отличие от других летом сухо, а зимой влажно. Причем, резко различаются сухое лето и влажная зима. Выпадение обильных дождей в зимний период способствует избыточному увлажнению. В результате испарение тоже мало в связи с более низкими зимними температурами. Данный тип наблюдается на средиземноморском побережье и на юге Африки (см. Климатические зоны Африки, рисунок 1.3).

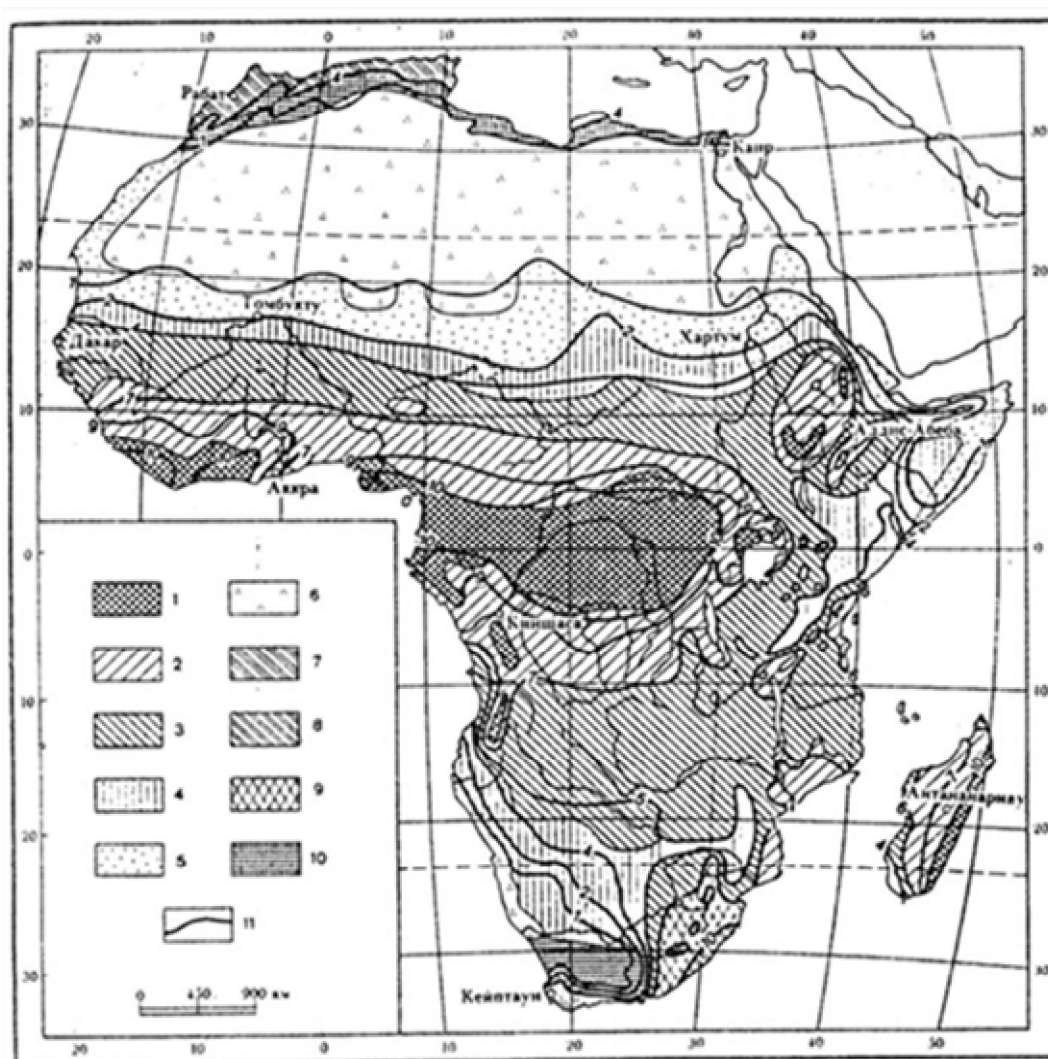


Рисунок 1.6 – Количество сухих и влажных месяцев и типы растительности в Африке: 1 – влажные экваториальные, муссонные субэкваториальные, тропические и горные леса; 2 – влажные (высокогорные) саванны и саванновые леса; 3 – сухие саванны и редколесья; 4 – опустыненные саванны; 5 – тропические полупустыни; 6 – тропические пустыни; 7 – жестколистные вечнозеленые леса и кустарники; 8 – субтропические муссонные леса; 9 – кустарники и степи Среднего и Высокого Велда; 10 – субтропические полупустыни; 11 – изогигромены (линии, показывающие количество влажных месяцев).

Увлажнение территории зависит от количества осадков и от других гидрофизических процессов, таких как испаряемость, т. е. от теплового режима. Увлажнение выражается различными способами, но наиболее часто используется коэффициент увлажнения Н. Н. Иванова в качестве показателя увлажнения [21], который равен отношению годовой суммы выпадающих

атмосферных осадков к годовой испаряемости (или за любой другой временной интервал) определенной территории. По значению коэффициента увлажнения Иванова различают зону избыточного увлажнения (например, в тундре, в тайге), зону неустойчивого увлажнения (в лесостепи) и зону недостаточного увлажнения (в полупустыне и в пустыне).

В тропическом поясе Африки испаряемость максимальна, может достигать 3000 мм и больше в год. Но здесь испарение лимитируется осадками, и испаряется порядка всего 100 – 200 мм воды в год. Поэтому в тропических поясах наблюдаются аридные условия увлажнения. На рисунке 1.7 представлена карта испаряемости.

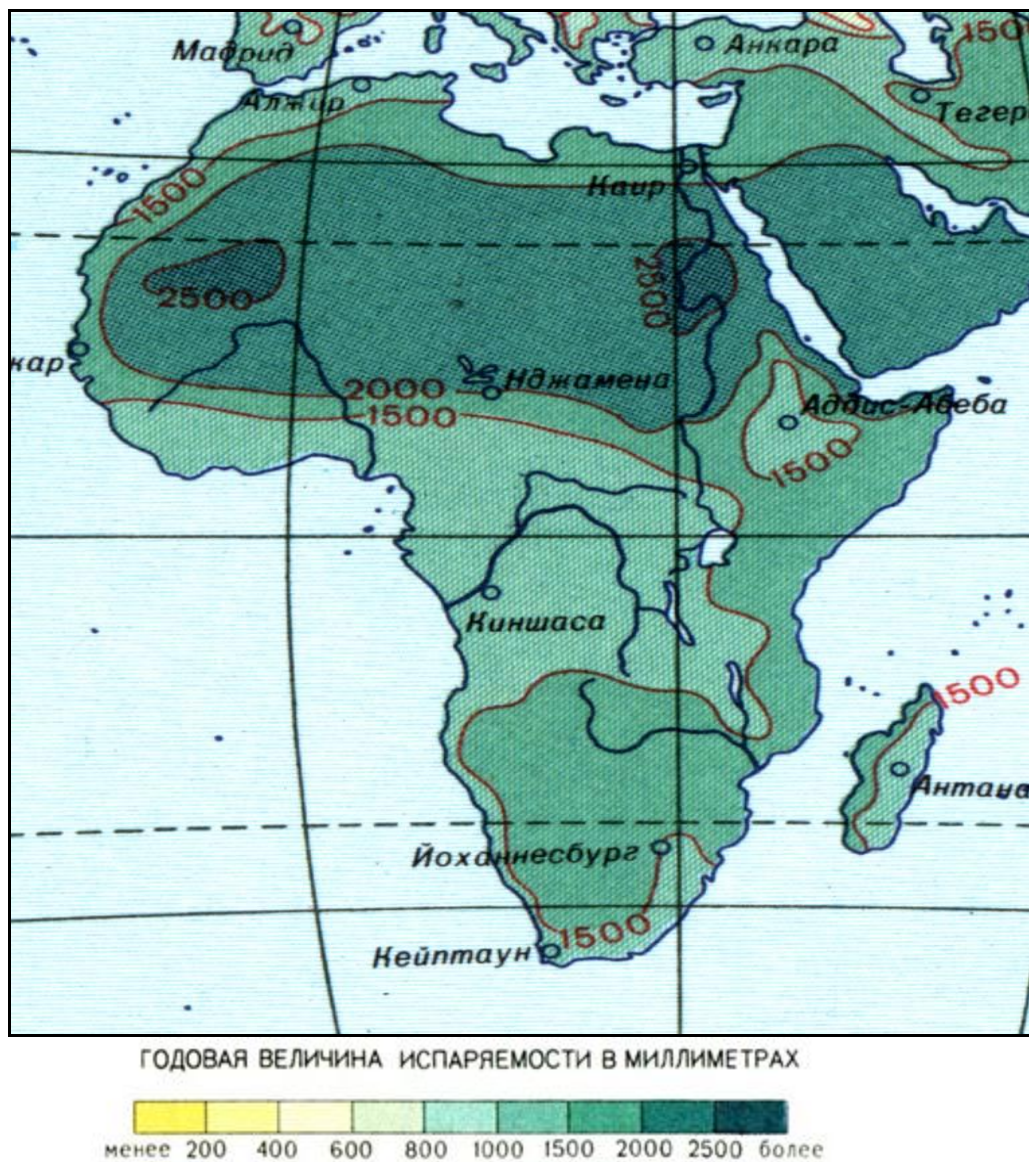


Рисунок 1.7 – Годовая величина испаряемости [22].

В экваториальном климате испаряемость практически равна испарению. По коэффициенту увлажнения Иванова здесь зона избыточного увлажнения. В течение года вариация климатических элементов (осадков, температуры воздуха) не выражена, т. е. амплитуды небольшие. А в субэкваториальных поясах, наоборот, четко выражен ритм климатических элементов. Зимой (в сухой сезон соответствующего полушария) испаряемость больше количества атмосферных осадков, что приводит к формированию аридных условий увлажнения; летом зимние условия аридности уступают избыточному увлажнению. В субтропических поясах отмечается также сезонный режим, как увлажнения, так и температуры.

Факторы подстилающей поверхности

Африка отличается особенностью своего географического положения относительно экватора земли. Африканский континент располагается почти на одинаковом расстоянии в северном и южном направлениях от экватора. По площади Африка, в основном (2/3), находится в Северном полушарии.

Вертикальное расчленение Африки очень слабое. В рельефе материка преобладают равнины, плато и плоскогорья (см. рисунок 1.2). Со средней высотой равной 750 м над у.м. Африка уступает лишь Антарктиде и Азии. Африку, по преобладающим высотам рельефа, разделяют на две части (или подконтинента): северный, плоско-волнистый подконтинент (со средними высотами около 500 м) и южный, более возвышенный подконтинент (со средними высотами несколько больше 1000 м). Граница раздела этих двух частей Африки проходит по линии от Бенгелы (на западе Анголы) до Массауа (на берегу Красного моря). Северный подконтинент, более широкий, называют низкой Африкой; южный, более узкий – высокой Африкой. На восточной части Африки находятся самые высокие вершины материка: это гора Килиманджаро (высотой 5963 м), самая высокая точка материка, и гора Рувензори (высотой 5109 м).

Леса занимают около 10 % территории. Растительный покров Африки зависит от типа климата. Так в экваториальной зоне сосредоточены влажные экваториальные леса. Далее в обе стороны от экватора последовательно расположены зоны субэкваториальных лесов, зоны саванн и редколесий, зоны тропических полупустынь и пустынь.

Гидрологическая характеристика Африки

Африканский континент относится к наименее обеспеченным водой континентам. По данным из монографии «Мировой водный баланс, водные ресурсы Земли, водный кадастр и мониторинг» (З. К. Иофин, 2009) [10] годовой объем поверхностных вод, участвующих в формировании стока, составляет лишь 4200 км³ (141 мм в слоях), при среднем, для континента, коэффициенте стока 0,17, в то время как среднеглобальная величина данного коэффициента имеет значение 0,35. Такой низкий коэффициент стока Африки связан, прежде всего, с очень высокими величинами суммарного испарения на континенте (15500 км³ в год). В Африке ресурсы поверхностных вод распределены по территории крайне неравномерно, что обусловлено природными особенностями континента. Водный режим рек Африки, в основном, является дождевым и характеризуется резко выраженным годовым ходом, определяемым режимом дождей. Поэтому закономерность изменения величины стока по территории выражается в ее уменьшении от экватора к тропикам, как и осадков. А испарение, наоборот, увеличивается в этом же направлении.

На Африканском континенте проявляется тенденция снижения стока рек, и уже десятилетиями наблюдаются засухи на больших территориях (например, в бассейнах Нила и Замбези). Такие явления связаны не только с изменениями климата, но и с беспредельным (негативным) воздействием человека на леса и саванны. Схема расположения водосборов основных рек континента представлена на рисунке 1.8.

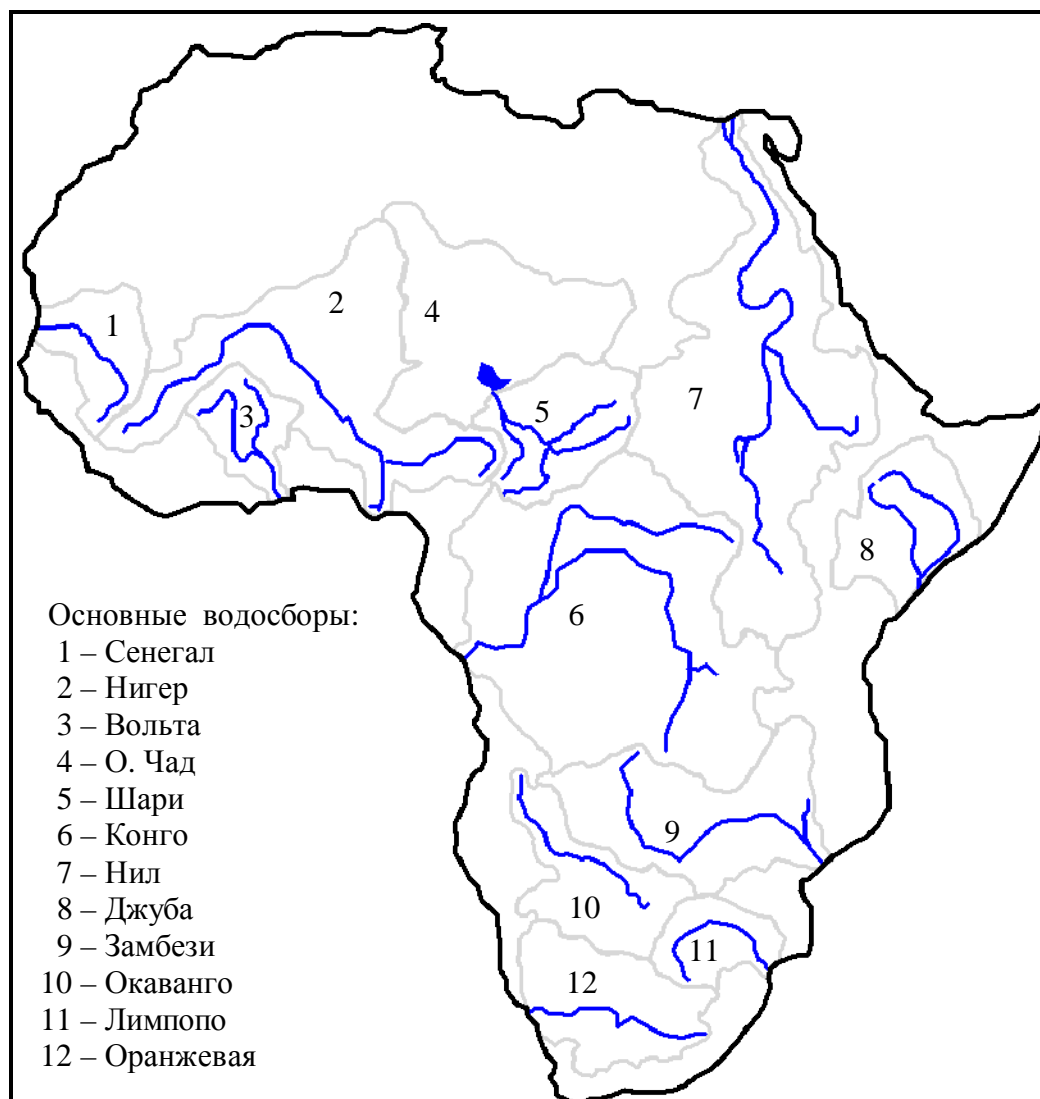


Рисунок 1.8 – Расположение основных рек Африки и их водосборов.

В областях постоянного избыточного увлажнения, в экваториальной Африке в частности, находится наиболее густая сеть речной системы. В данной области располагается Конго (Заир), одна из самых мощных речных системы Земли. К северу и к югу от экваториальной зоны расположены области переменного и недостаточного увлажнения. По мере возрастания продолжительности сухого сезона в них (см. рисунок 1.6), густота речной сети уменьшается. Речной сток резко сокращается в сухом сезоне; некоторые реки небольших размеров пересыхают. Основные географические и стоковые характеристики самых крупных рек Африки представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характеристики наиболее крупных рек Африки [10]

Река	Длина реки, км	Площадь водосбора, тыс. км ²	Средний годовой сток		
			м ³ /с	мм	км ³
Нил	6671	2870	2322	25	73,1
Конго	4370	3822	44893	370	1414
Нигер	4160	2090	8500	128	268
Замбези	2660	1330	3378	80	106
Уаби-Шэбэлле	2490	200	–	–	–
Оранжевая	1860	1020	486	15	15,3
Окаванго (Кванго)	1800	800	–	–	–
Джуба	1600	750	546	23	17,2
Лимпопо	1600	440	824	59	26
Вольта	1600	394	1288	103	40,6
Шари	1450	700	–	–	–
Сенегал	1430	441	735	52	23,2
Руфиджи	1400	178	1119	198	35,2
Огове	1200	204	4729	732	149
Гамбия	1200	180	–	–	–
Кванза	965	149	946	200	29,8
Санага	918	135	2156	503	67,9
Сасандра	650	72	827	362	26,1
Куилу	600	62	1102	560	34,7

«–» – Отсутствуют данные наблюдений.

Из таблицы видно, что река Нил является самой длинной рекой в Африке. Она берет начало у озера Виктория и протекает через один из самых засушливых регионов земли (Сахара), донося свои воды до Средиземного моря. Река Нил долгое время, до 2013 года, считалась самой длинной на Земле. Но самой полноводной из всех Африканских рек считается река Конго. Со средним годовым расходом воды, равным 44893 м³/с, она занимает второе

место в мире после Амазонки. Река Конго, как и основная масса африканских рек, впадает в Атлантический океан (рисунок 1.8).

В число ресурсов поверхностных вод Африки входят также озера. Режимы питания африканских озер разнообразны в связи с разнообразностью природных условий районов, в которых они расположены. На африканском материке в разных районах лежат большие и малые, пресные и соленые, глубокие и мелководные озера. Большинство африканских озер находится в, так называемом, регионе великих озер, в восточной части континента. Характеристики основных озер Африки, по данным из [23, 24], показаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики наиболее крупных озер Африки

Название	Площадь зеркала, км ²	Максимальная протяженность, км	Максимальная глубина, м	Максимальный объем, км ³
Виктория	69485	322	84	8400
Танганьика	32893	676	1470	18900
Ньяса (Малави)	30044	579	706	8400
Чад	16600	–	12	44,4
Рудольф (Туркана*)	6405	248	109	204
Альберт	5299	161	58	280
Мверу	5120	131	27	38
Тана	3150	–	70	–
Киву	2370	–	496	500
Эдуард	2325	–	112	39,5
Примечания: * – соленое озеро; «–» – Отсутствуют данные.				

Озеро Виктория с площадью около 70 тыс. км² и объемом 8400 км³ – это второе по площади пресное озеро мира и третье из всех озер мира (после Каспийского и Верхнего). Главным источником питания озера Виктория являются атмосферные осадки. Озеро Танганьика является самым длинным в мире пресноводным озером, а также одним из древних и самых глубоких озер

в мире (второе по объему и глубине после оз. Байкал среди пресноводных озер).

Озеро Чад – это единственный водоем больших размеров в Сахаре. За последние 50 лет его площадь значительно сократилась. Такие уменьшения площади озера связывают, в основном, с последствиями изменений климата. Испарение с озера значительное: составляет 95 % от выпадающих атмосферных осадков за год [25] и, по мнению ученых, с такими темпами озеро полностью пересохнет примерно через 20 лет, так как осадки тоже продолжают уменьшаться.

В Африке неравномерность в распределении водных объектов по территории в сочетании с уменьшением водных ресурсов из-за уменьшения осадков (изменения климата) служит одной из причин многих важных и сложных водных проблем на континенте. В среднем по водосборам Африки 84,2 % от годовых осадков теряется, из которых 75,4 % – на испарение (таблица 1.3). Другие причины водных проблем в Африке имеют демографический характер (рост численности населения), социально-экономический характер (загрязнение рек и озер, повышение стандартов жизни, рост стоимости водоснабжения) [26]. Больше 2/3 водных ресурсов Африки сосредоточено в водосборах всего восьми рек: Нигер, Вольта, Конго, Замбези, Шари-Логоне, Нил, Огове и Санага.

Все водосборы Африки с площадями 100 тыс. км² и выше (17 водосборов) относятся к категории международных водотоков. Они протекают по территориям 2 – 10 государств, поэтому для Африки проблема международных вод очень серьезна и весьма актуальна. В бассейнах некоторых рек осуществляется кооперация, например между странами водосбора реки Нигер, по использованию и охране вод.

Анализ составляющих водного баланса речных бассейнов Африки [10], представленных в таблице 1.3, показывает, что 68,4 % (или 1414 км³) суммарного объема речного стока по Африке дренируется речной системой

Конго, при коэффициенте стока 0,24. Второй, по мощности, речной системой является система Нигер, дренирующая 13,1 % (или 270 км³) объема речного стока, при коэффициенте стока 16,2 %.

Таблица 1.3 – Водный баланс речных бассейнов Африки

Река	Площадь, тыс. км ²	Осадки		Речной сток						суммарное испарение		невязка баланса	коэффициент стока
				суммарный в бассейне		в устье		потери на испарение					
		мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	мм	км ³	% от осадков	
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	175	119	4,09	119	4,09	–	–	360	124	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	225	110	48,5	52	22,9	58	25,6	450	198	1,6	0,10
Нигер	2090	798	1667	153	320	130	270	153	48,3	588	1228	7,0	0,16
Нигер – п.Куоликоро	120	1660	199	405	48,6	405	48,6	–	–	940	113	19,0	0,24
Вольта	394	1050	414	118	46,5	103	40,6	15	5,9	920	362	2,6	0,10
Конго	3822	1550	5924	382	1460	370	1414	12	45,8	1070	4090	7,1	0,24
Оранжевая	1020	367	374	27	27,5	15	15,3	12	12,2	352	359	0	0,04
Склон бассейна Индийского океана													
Лимпопо	440	580	255	59	26,0	59	26,0	–	–	521	229	0	0,10
Замбези	1330	990	1317	115	153	80	106	35	46,5	870	1000	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	308	382	28,5	23	17,2	–	–	375	281	2,9	0,06
Мангуки	53,9	1000	53,9	274	14,8	274	14,8	15	11,2	700	37,7	2,6	0,27

1.2 Фрактальная диагностика рядов стока и испарения

Последние исследования на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета выявили существование зон неустойчивого формирования вероятностных характеристик многолетнего речного стока на территории Российской Федерации [27, 28]. В этих зонах актуальным становится вопрос о надежном прогнозировании обеспеченных расходов воды и других гидрологических характеристик. Неустойчивые зоны встречаются в основном на южной территории РФ [29].

В работах [30, 31] показано, что для Африканского континента процесс формирования речного стока также часто неустойчивый, так как он находится в еще более жарком климате, чем южные районы РФ. В связи с этим вопрос об устойчивости процесса формирования речного стока на Африканском континенте приобретает актуальность.

Поэтому задача, решаемая на данном этапе исследования, заключалась в оценке устойчивости вероятностных характеристик многолетнего речного стока Африки и в проведении фрактального диагностирования [32, 33], для определения размерности фазового пространства модели годового стока, имеющей устойчивые решения.

В настоящее время для оценивания гидрологического режима рек Африки используются карты Мирового водного баланса, составленные в 1974 году [22]. Если исследование подтвердит гипотезу об устойчивости процесса формирования речного стока, то этими картами можно будет пользоваться и в перспективе. В противном случае потребуются модернизация карт, либо обобщение модели формирования вероятностных распределений многолетнего стока.

Критерий устойчивости был получен из стохастической модели формирования стока [34, 35, 36, 37] (уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК)). Динамической основой этой модели является дифференциальное уравнение, связывающее внешнее воздействие на водосбор с его реакцией и параметрами водосбора:

$$\tau \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{k} = \dot{X}, \quad (1.1)$$

где τ – эффективное время добегания (время релаксации);

Q – расход воды в замыкающем створе;

k – коэффициент стока;

\dot{X} – внешнее воздействие в виде осадков на водосбор.

Используя обозначения $-1/(k\tau) = \bar{c} + \tilde{c}$ и $\dot{X}/\tau = \bar{N} + \tilde{N}$ (где \bar{c} и \bar{N} – математические ожидания; \tilde{c} и \tilde{N} – белые шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$, $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$) и применяя процедуру стохастического обобщения, ранее в науке была получена система уравнений для моментов m , аппроксимирующая уравнение ФПК (гидрологическую интерпретацию см. [34]):

$$\frac{dm_n}{dt} = nM[AQ^{n-1}] + 0,5n(n-1)M[BQ^{n-1}], \quad (1.2)$$

где m_n – момент n -го порядка ($n = 1, 2, 3, \dots$);

A , B – коэффициенты сноса и диффузии, орпределяемые формулами:

$$A(Q, t) = -(\bar{c} - 0,5G_{\tilde{c}})Q - 0,5G_{\tilde{c}\tilde{N}} + \bar{N}; \quad B(Q, t) = G_{\tilde{c}}Q^2 - 2G_{\tilde{c}\tilde{N}}Q + G_{\tilde{N}}.$$

Из системы (1.2) следует вывод о том, что устойчивость зависит от соотношения $G_{\tilde{c}}/\bar{c}$, которое носит название критерия устойчивости β . При

стремлении β к единице происходит потеря устойчивости второго момента, что приводит к ненадежности оценок коэффициентов вариации и асимметрии.

Ранее в РГГМУ был разработан практический путь нахождения численного значения параметра β [38]. Из уравнения ФПК следует выражение для нормированной автокорреляционной функции:

$$r = \exp[-(\bar{c} - 0,5G\bar{c})\tau], \quad (1.3)$$

где r – нормированная автокорреляционная функция.

При годовой сдвижке ($\tau = 1$) уравнение (1.3) приводится к выражению

$$\beta = 2k \ln r(1) + 2, \quad (1.4)$$

где $r(1)$ – значение коэффициента автокорреляции при годовой сдвижке.

Для использования выражения (1.4) необходимо знание численных значений величин k и $r(1)$, которые легко вычисляются по данным стандартных наблюдений.

Для районирования Африки по критерию устойчивости была создана база данных из 156 рядов среднегодовых расходов речных бассейнов, распределенных по всей территории (см. рисунок 2.4). Данные о расходах и характеристиках водосборов были взяты из [39]. Восстановление и удлинение рядов проводились методом гидрологической аналогии [40, 41]. В результате получены ряды с длиной наблюдений от 15 до 21 год. На данном этапе также были исключены ряды постов, не отвечающих условиям зональности формирования стока. Азональными считались малые водосборы с площадью до 1,5 тыс. кв. км и большие водосборы, располагающиеся в различных климатических зонах, с площадью больше 800 тыс. кв. км.

Районирование Африки по критерию устойчивости

По рядам среднегодовых расходов воды рассчитаны коэффициенты автокорреляции при годовой сдвиге. Для расчета коэффициента стока осадки были получены из [42] и определены их нормы. Карта критерия устойчивости, рассчитанного по выражению (1.4), представлена на рисунке 1.9.

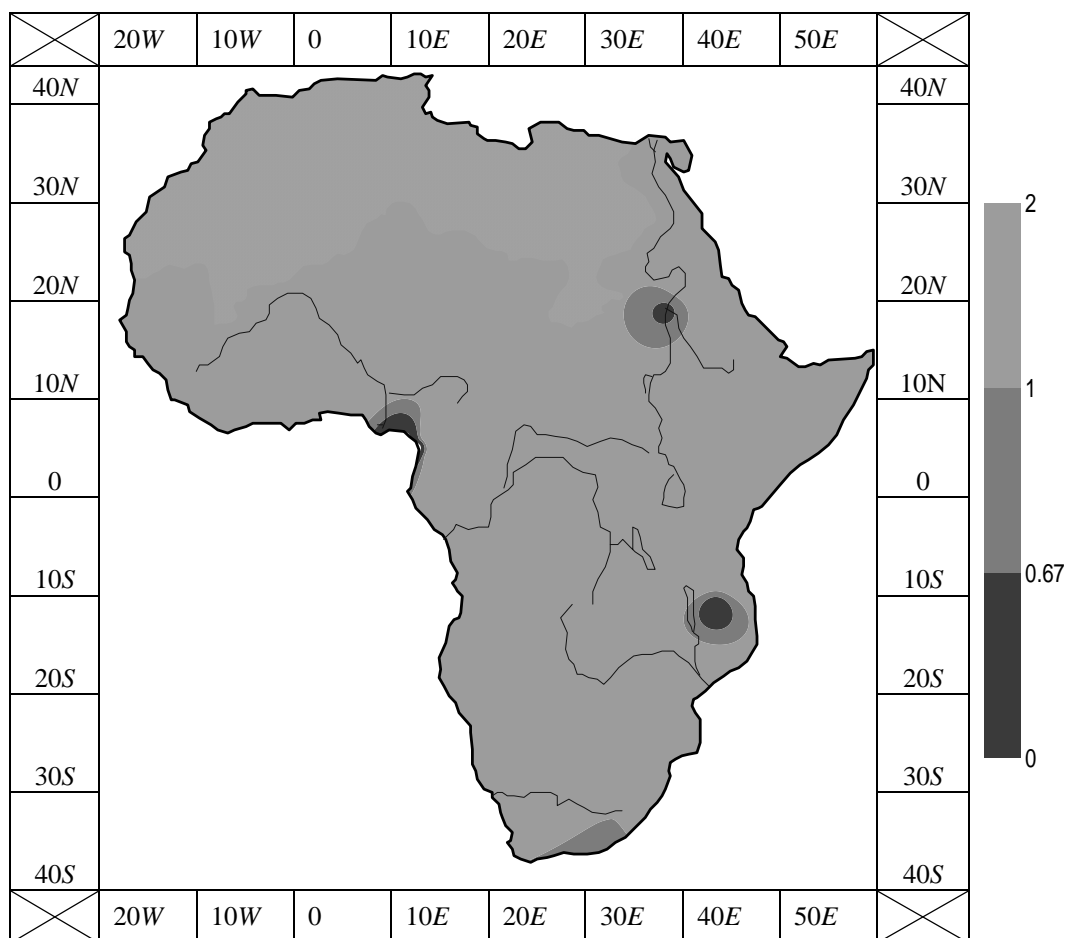


Рисунок 1.9 – Карта критерия устойчивости.

Анализируя карту на рисунке 1.9, нетрудно заметить, что почти по всей территории Африки наблюдается неустойчивость второго ($\beta > 1$), а, следовательно, и третьего ($\beta > 0,67$) моментов. Это означает, что в Африке процесс формирования годового стока имеет сложный характер, для описания вероятностного распределения которого знание только одной фазовой

переменной – расхода воды – часто может оказаться недостаточным; необходимо расширить фазовое пространство, т. е. в рассмотрение ввести дополнительную переменную.

Расширение фазового пространства

Для того чтобы узнать необходимое число дополнительных фазовых переменных надо провести фрактальную диагностику гидрометеорологических рядов. Для этого было отобрано 24 гидрологические станции с продолжительностью наблюдений более 20 лет, по которым производился расчет фрактальной размерности рядов годового стока. Размерность пространства вложения – это необходимое количество переменных для устойчивого описания процесса формирования вероятностного распределения годового стока. Она определялась при помощи методики фрактального диагностирования, широко применяемой на кафедре гидрофизики и гидропрогнозов [33]. Методика основана на корреляционном интеграле и теореме Такенса [28, 43, 44], смысл которой заключается в следующем. Пусть состояние системы полностью описывается m переменными: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$. С интервалом T производятся измерения какой-либо одной из них, например, $x_1(t)$. Тогда, согласно теореме, вместо последовательности, состоящей из m переменных $x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)$, можно рассматривать последовательность $x_1(t + T), x_1(t + 2T), \dots, x_1[t + (m - 1)T]$, т. е. в каждый момент времени состояние системы может быть описано m значениями одной переменной, взятыми со сдвигом T .

Фрактальные размерности были рассчитаны при помощи программного обеспечения, разработанного в РГГМУ [45]. Размерность фазового пространства, по определению характеризует число параметров (искомых функций), необходимых в модели для устойчивого описания процесса (системы). Она равна целому числу, полученному в результате округления дробной фрактальной размерности в большую сторону до целого числа.

Результаты расчетов фрактальной размерности и размерности пространства вложения для годового стока представлены в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Фрактальные размерности рядов стока

Страна	Река	Пост	Фрактальная размерность	Размерность пространства вложения
Руанда	Nyabarongo	Kazenze	1,03	2
Руанда	Nyabarongo	Rusumo	1,27	2
Руанда	Kagera	Rusumo	1,39	2
Танзания	Bubu	Bahi	0,29	1
Замбия	Gwaai	Kamativi G/W	0,27	1
Замбия	Sabi	Condo D/S G/W	0,98	1
Замбия	Hunyani	Prince Edward Dam D/S G/W	0,44	1
Замбия	Ncema	Ncema Dam U/S G/W	0,39	1
Замбия	Mutare	Premier Estate	0,46	1
Замбия	Umshagashi	Waterworks	0,54	1
Замбия	Nyahodi	Nyaruwa Flume	0,49	1
Замбия	Hunyani	Mandula Mine Weir	0,30	1
Марокко	Ouergha	Ourtzagh	1,04	2
Марокко	Sebou	Azib Soltane	1,33	2
Марокко	Moulouya	Dar el Caid	0,68	1
Марокко	Oum er Rebia	Dechra el Oued	1,58	2
Марокко	Ouergha	M'Jara	1,65	2
Марокко	Sebou	Ain Timedrine	1,54	2
Судан	Nile	Dongola	0,91	1
ЦАР	Oubangui	Bangui	0,62	1
ЮАР	Oranje	Aliwal-Noord	1,29	2
ЮАР	Oranje	Violsdrift	1,36	2
Лесото	Tsehlanyane	Oxbow	0,44	1
Лесото	Makhaleng	Molimo-Nthuse	1,42	2

Из таблицы 1.4 видно, что размерность пространства вложения не превосходит двух. Это значит, что в основе динамического ядра стохастической модели, описывающей процесс формирования годового стока, должна быть системы из двух обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Возможен вариант, предусматривающий ядро, состоящее только из одного обыкновенного уравнения, то тогда оно должно быть нелинейным.

Подобную работу для западной части Африки сделал Куасси Б. Г. А. в 2008 году [30]. Результаты, полученные им, представлены в таблице 1.5:

Таблица 1.5 – Фрактальные размерности и РПВ рядов годового стока западной Африки

Страна	Река	Пост	Фрактальная размерность	Размерность пространства вложения
БЕНИН	Higer	Malanville	0,74	1
	Mekrou	Barou	–	–
	Mono	Athieme	0,29	1
	Oueme	Sagon	0,49	1
	Oueme	Bonou	1,19	2
	Mou Houn (Volta Noire)	Dapola	0,98	1
БУРКИНА-ФАСО	Nakanbe (Volta Blanche)	Yakala	0,77	1
	Sanaga	Edea	0,48	1
ГАНА	Volta	Senchi (Halcrow)	0,58	1
	Pra	Daboasi	0,61	1
	Tano	Alanda	0,31	1
	Black Volta	Bamboi	0,49	1
	White Volta	Yarugu	0,99	1
	Oti	Sabari	1,02	2
ГВИНЕЯ	Niger	Kouroussa	0,72	1
	Tinkisso	Ouaran	0,55	1
	Milo	Kankan	0,47	1
КАМЕРУН	Mbam	Goura	1,97	2
	Wina	Lahore	1,22	2
	Djerem	Mbakaou	0,64	1
	Nkam	Melong	1,16	2

Страна	Река	Пост	Фрактальная размерность	Размерность пространства вложения
	Wouri	Yabassi	1,2	2
	Dja	Somalomo	–	–
	Sanaga	Nachtigal	0,45	1
	Nyong	Mbalmayo	1,35	2
	Nyong	Dehane	0,49	1
	Ntem	Ngoazik	–	–
	Cross	Mamfe	1,31	2
	Benoue	Garoua	0,57	1
	Noun	Bafoussam	1,12	2
ЛИБЕРИЯ	Saint John	Baila	0,55	1
МАЛИ	Senegal	kayes	1,5	2
	Senegal	Galougo	1,21	2
	Faleme	Gourbassi	–	–
	Faleme	Fadougou	1,24	2
	Bafing	Dibia	1,62	2
	Bakoya	Oualia	0,91	1
	Niger	Ansongo		
	Baoule	Dioila	1,05	2
	Sankarani	Gouala	1,96	2
	Bani	Douana	–	–
	Niger	Dire	1,22	2
	Niger	Kirango Aval	1,25	2
	Niger	Koulikoro	1,58	2
НИГЕР	Goulbi de Maradi	Madarounfa	0,63	1
	Niger	Gaya	1,28	2
	Gorouol	Alcongui	0,62	1
	Niger	Niamey	–	–
СЕНЕГАЛ	Gambie	Kedougou	1,18	2
	Casamance	kolga	1,26	2
	Gambie	Wassadou aval	1,69	2
	Niokolo-Koba	Pont Routier	0,72	1
	Thiokoye	Pont Routier	1,36	2
	Gambie	Gouloumbou	0,86	1
	Niaoula	Niaoula Tanou	0,45	1
	Diarha	Pont Routier	0,75	1
	Faleme	Kidira	1,19	2
	Gambie	Wassadou amont	2,08	3
	Gambie	Simenti	0,85	1
	Gambie	Mako	2,51	3
	Senegal	Bakel	1,75	2
ТОГО	Mono	Correkope	–	–
	Oti	Mango	0,54	1
КОТ ДИВУАР	Bandama	Tiassale	0,18	1

«–» – Не удалось рассчитать фрактальную размерность.

Для западной Африки, как видно из таблицы 1.5, также получились разные значения РПВ. В основном они равны 1 (в 29 случаев из 56) и 2 (в 25 случаев из 56). Выделяются только 2 случая с РПВ, равной 3. Следует отметить, что оба случая наблюдаются на двух постах небольшой реки Gambie (площади водосборов, замыкающих к постам равны 10 450 км² и 21 200 км²); а на остальных же постах РПВ не превышают 2. Поэтому в данном случае можно предположить, что причина больших значений РПВ – сильное влияние местных факторов.

На рисунке 1.10 показано территориальное расположение выбранных водосборов с соответствующими размерностями рядов годового стока.

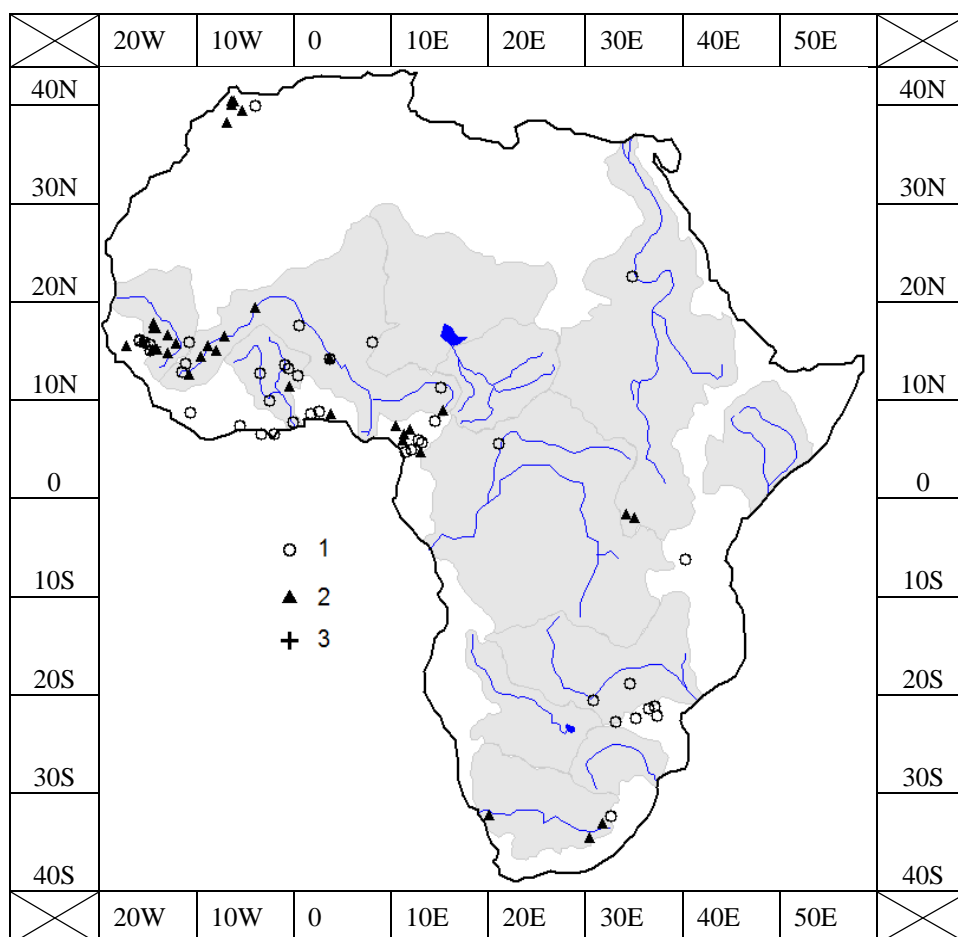


Рисунок 1.10 – Распределение размерностей пространства вложения рядов годового стока.

На рисунке 1.10 отмечается группировка размерностей. Для районов с размерностью два следует, что, помимо сведений о расходе воды, необходимо учесть в модели влияния второго фактора (второй фазовой переменной). Возникает задача его поиска. При анализе климатических условий Африки «напрашивается» гипотеза о том, что испарение (E) и является искомой второй фазовой переменной.

В связи с имеющимися данными (ряды стока и осадков), испарение рассчитывалось по уравнению водного баланса [46]; при этом делались некоторые допущения: глубокое залегание подземных вод, т. е. норма многолетних изменений суммарных влагозапасов в речных бассейнах равняется нулю [7]. Ряды по осадкам, которые использовались в данном случае были получены от кафедры динамики атмосферы и космического земледения (ДАКЗ) метеорологического факультета при РГГМУ [47].

По полученным рядам испарения также, как и по рядам среднегодовых расходов воды, рассчитывались фрактальные размерности. Результаты представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Размерность пространства вложения для моделей стока и испарения

Страна	Река	Пост	Размерность пространства вложения	
			h	E
Руанда	Nyabarongo	Kazenze	2	2
Руанда	Nyabarongo	Rusumo	2	1
Руанда	Kagera	Rusumo	2	2
Танзания	Bubu	Bahi	1	2
Замбия	Gwaai	Kamativi G/W	1	1

Страна	Река	Пост	Размерность пространства вложения	
			h	E
Замбия	Sabi	Condo D/S G/W	1	1
Замбия	Hunyani	Prince Edward Dam D/S G/W	1	–
Замбия	Ncema	Ncema Dam U/S G/W	1	–
Замбия	Mutare	Premier Estate	1	–
Замбия	Umshagashi	Waterworks	1	–
Замбия	Nyahodi	Nyaruwa Flume	1	–
Замбия	Hunyani	Mandula Mine Weir	1	2
Марокко	Ouergha	Ourtzagh	2	2
Марокко	Sebou	Azib Soltane	2	2
Марокко	Moulouya	Dar el Caid	1	2
Марокко	Oumer Rebia	Dechra el Oued	2	1
Марокко	Ouergha	M'Jara	2	2
Марокко	Sebou	Ain Timedrine	2	2
Судан	Nile	Dongola	1	–
ЦАР	Oubangui	Bangui	1	1
ЮАР	Oranje	Aliwal-Noord	2	2
ЮАР	Oranje	Violsdrift	2	2
Лесото	Tsehlanyane	Oxbow	1	–
Лесото	Makhaleng	Molimo-Nthuse	2	–

h – слой годового стока в мм; E – сумма годового испарения в мм.

По некоторым рядам испарения не удалось определить фрактальную размерность, так как в процессе вычисления ее значение не

стабилизировалось (в таблице 1.6 – это прочерки («—») в ячейках со значениями размерности пространства вложения).

Из таблицы 1.6 видно, что в 12 случаях из 17 размерность пространства вложения для испарения совпадает с таковой для стока, что составляет 70 %. В связи с этим можно принять гипотезу о существенной (даже решающей) роли испарения как второй фазовой переменной для модели формирования годового стока в Африке.

В результате проведенного исследования на данном этапе впервые получены следующие результаты:

1. Оценена устойчивость решений модели формирования вероятностного распределения речного стока Африки и установлено, что почти на всей рассматриваемой территории наблюдается неустойчивость по третьему моменту.

2. Рассчитаны фрактальные размерности многолетних рядов годового стока и испарения по 24 станциям: в 70 % случаев размерность рядов стока совпадает с размерностью рядов испарения; кроме того, выявлена территориальная группировка размерностей. Таким образом, показана возможность использования испарения в качестве дополнительной переменной в устойчивой модели формирования годового стока в Африке.

Данные выводы открывают возможность разрабатывать для Африки модели прогнозирования стока в виде уравнения ФПК для двухмерной плотности вероятности $p(Q, E)$ [27]. Однако первоочередной задачей является предварительное освоение модели для эволюции одномерного распределения $p(E)$, тем более, что существует практическая необходимость в знании обеспеченных значениях испарения как в существующих, так и в ожидаемых климатических условиях.

1.3 Постановка задачи исследования

Исследованиями моделей формирования многолетнего стока (ведущих к распределениям из класса К. Пирсона) на устойчивость (работы сотрудников кафедры гидрофизики и гидропрогнозов РГГМУ и аспирантов из Африки Куасси Би Гессан Арман и Куасси Куаме Модест – Кот Д’Ивуар; Хамлили Абделатиф – Алжир) [30, 48] было установлено, что, в рамках одномерного вероятностного описания многолетнего стока путем аппроксимации распределения $p(Q)$ системой дифференциальных уравнений для начальных моментов, формирование стока в бассейнах обширных территорий юга России, США и практически всей Африки не устойчиво по коэффициенту асимметрии, а часто и по коэффициенту вариации. Причем для большинства климатических сценариев неустойчивость сохраняется, а иногда и усугубляется. Одним из способов борьбы с этим явлением является учет дополнительной фазовой переменной, т. е. переход к двумерным распределениям $p(Q, E)$ [27], где E – испарение. Первой попыткой в этом направлении была диссертация Ф. Л. Соловьева [49] (защитился в РГГМУ в 2010г.) Однако в его работе использовались только условные распределения $p(Q/E)$ и только для территории России.

Таким образом, имеется определенный набор задач, в которых требуется использовать не только распределения $p(Q)$, но и $p(E)$, а также $p(Q/E)$. Имеется также определенный опыт по генерации многолетних рядов испарения. Наличие этих двух обстоятельств актуализирует сформированную тему исследований.

Цели и задачи исследования. Целью данного исследования является разработка и адаптация к условиям Африки методики сценарной оценки вероятностных характеристик многолетнего испарения с речных бассейнов Африки.

Для достижения подставленной цели были решены перечисленные ниже основные задачи:

- обоснованно выбран метод расчета годового испарения с речных бассейнов Африки;

- создана база данных по климатическим элементам (приземная температура воздуха, осадки), используемых для расчета испарения;

- осуществлены генерирование и статистическая обработка рядов суммарного годового испарения по выбранному методу (оценка расчетных характеристик испарения);

- выполнено картирование основных расчетных статистических характеристик суммарного годового испарения;

- реализованы ретроспективные и сценарные прогнозы вероятностных характеристик многолетнего испарения.

2 ВЫБОР МЕТОДА РАСЧЕТА ИСПАРЕНИЯ И СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Данные об испарении с поверхности суши используются для решения различных гидрологических и агрометеорологических задач, таких как проектное планирование и расчет графиков орошения [50], воднобалансовые расчеты, расчет гидрологических характеристик с техногенно-нагруженных территорий [2], расчеты обеспеченных расходов воды в условиях неустановившегося климата [51]. Норму испарения, в основном, находят из уравнения водного баланса, как разность между осадками и стоком. Такой подход имеет существенный недостаток, который заключается в том, что он не позволяет независимо друг от друга оценить характеристики, составляющие уравнение водного баланса.

Также известно, что результаты приборных измерений испарения, из-за различных эффектов приборов, могут оказаться неточными. Поэтому интерес к разработке методов расчета суммарного испарения с поверхности суши значительно вырос.

2.1 Методы расчета испарения и их применимость для условий Африки

На сегодняшний день разработано большое число методов расчета испарения. Выбор метода расчета испарения зависит от поставленной задачи, наличия исходных данных и заданной точности результатов расчета. Далее рассматриваются некоторые из наиболее известных методов оценки суммарного испарения с поверхности суши. Критически анализируются условия применимости каждого из рассматриваемых методов с точки зрения возможности использования для речных бассейнов Африки при известных

климатических условиях и наличии необходимых данных наблюдений за различными метеорологическими характеристиками.

Расчет испарения по уравнению водного баланса

Метод водного баланса отражает общий закон сохранения материи и основан на «очевидном равенстве между разностью количеств воды, вошедшего и вышедшего из любого ограниченного объема пространства и изменением количества воды внутри этого объема» [46, 52]. Данное равенство справедливо для любого промежутка времени.

Уравнение водного баланса за годовой период времени записывается в следующем виде:

$$P = h + E \pm \Delta u , \quad (2.1)$$

где P – атмосферные осадки, выпавшие на водосбор, мм;

h – слой речного стока в замыкающем створе, мм;

Δu – изменение влагозапасов в бассейне, мм.

За многолетний период предполагается, что изменение влагозапасов в бассейне (Δu) равно нулю, поэтому уравнение водного баланса приобретает следующий вид:

$$\bar{P} = \bar{h} + \bar{E} , \quad (2.2)$$

где \bar{P} , \bar{h} и \bar{E} – нормы (многолетние значения) соответственно осадков, слоя стока и суммарного испарения с поверхности бассейна.

Отсюда следует, что:

$$\bar{E} = \bar{P} - \bar{h} . \quad (2.3)$$

Однако данный метод имеет ограничение в применимости для водосборов Африки, связанное с недостатком материалов независимых наблюдений за всеми составляющими уравнения водного баланса.

Расчет испарения по уравнению связи М. И. Будыко

Одним из наиболее физически обоснованных методов расчета величины суммарного испарения является метод М. И. Будыко, который основан на уравнении теплового баланса подстилающей поверхности. Метод Будыко используется для оценки нормы суммарного годового испарения при условии естественного увлажнения территории. Уравнение связи М. И. Будыко имеет следующий вид [53]:

$$E = \sqrt{\frac{RX}{L} \left(1 - e^{-\frac{R}{XL}} \right) \operatorname{th} \frac{XL}{R}}, \quad (2.4)$$

где E – норма годового испарения, мм;

R – среднемноголетний (норма) радиационный баланс увлажненной поверхности, ккал/см²;

X – норма годовых осадков, мм;

L – удельная теплота парообразования (скрытая теплота испарения), ккал/г;

e – основание натурального логарифма.

В расчетной формуле метода Будыко (2.4) условия естественного увлажнения учитываются количеством осадков, а различия в свойствах подстилающей поверхности, в том числе в растительном покрове – значением радиационного баланса.

Для получения среднего значения по водосбору нормы суммарного годового испарения применяется метод среднеарифметического или метод средневзвешенной, в зависимости от того как расположены (равномерно или

неравномерно) в речном бассейне опорные метеорологические станции, использованные для расчетов нормы суммарного годового испарения по формуле (2.4).

Ошибка расчета нормы суммарного годового испарения по методу Будыко составляет около 20 % [53].

Так как метод Будыко применяется лишь для определения нормы годового испарения, то он не может быть использован при решении таких задач, которые требуют генерирования суммарных годовых испарений. В этом заключается ограниченность применения данного метода.

Метод П. С. Кузина

Метод расчета суммарного испарения с поверхности бассейна, разработанный П. С. Кузиным, основан на предположении о пропорциональности величины испарения с поверхности бассейна в зоне достаточного увлажнения дефициту влажности воздуха [54]. Такое предположение, с физической точки зрения, имеет смысл при условии равенства температур почвы и воздуха, что, как правило, не соблюдается. Однако разница их средних годовых величин не настолько велика, чтобы существенно исказить выводы. В то же время замена температуры почвы температурой воздуха позволяет использовать многочисленные материалы обычных метеорологических наблюдений. Поэтому данный метод широко использовался раньше; но на сегодняшний день он устарел.

Результаты работы Кузина выражены на рисунке 2.1 в виде графиков зависимости суммарного испарения с поверхности бассейна за месяц ($E_{\text{мес}}$) от среднемесячной температуры воздуха ($T_{\text{мес}}$).

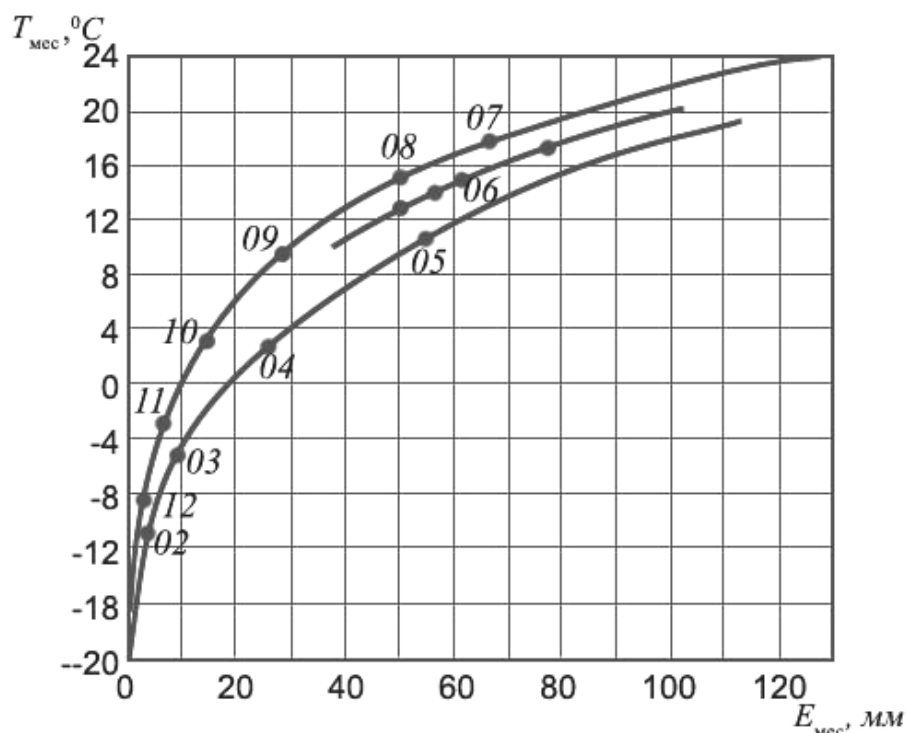


Рисунок 2.1. – Зависимость испарения с поверхности бассейна от температуры воздуха (по П. С. Кузину).

По методу Кузина годовые суммы испарения определяются простым снятием с графика месячных сумм испарения по среднемесячным температурам воздуха и суммированием их за год.

По данным для бассейна Верхней Волги у Ярославля П. С. Кузин получил графики зависимости $E = f(T)$, где E – суммарное месячное испарение (мм) и T – среднемесячная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), представленные на рисунке 2.1. Далее Кузин, применив полученный метод для 30 других бассейнов зоны избыточного увлажнения, установил, что среднее отклонение величины годового стока, вычисленное по разности $h_o = P_o - E_o$ (где h_o , P_o и E_o – соответственно годовые значения слоя стока, осадков и испарения), не превышает от 2 до 5 % (при максимальном отклонении 8 %). Полученные результаты позволили Кузину рекомендовать метод для расчета не только средних годовых величин суммарного испарения с поверхности бассейна, но

и среднего стока по разности осадков и испарения в зоне достаточного и избыточного увлажнения.

Проверкой метода Кузина для различных условий подстилающей поверхности и для различных географических зон занимался А. Р. Константинов [54]. В результате он показал, что расчет среднего испарения по графикам Кузина дает в зоне достаточного увлажнения уменьшенные значения от 20 % до 30 %, а в зоне недостаточного увлажнения – увеличение, вследствие значительной разности температур воздуха и почвы.

Недостаток данного метода заключается в том, что он разработан только для зон достаточного увлажнения. Номограмма ограничена по оси ординат значением среднемесячной температуры равным 24 °С. Это означает невозможность применения метода Кузина для Африканских водосборов, где среднемесячные температуры могут превысить максимальное значение номограммы.

Расчет испарения по температуре воздуха и упругости водяного пара

Данный метод разработан А. Р. Константиновым [55]. В основе предлагаемой методики лежит схема расчета испарения по градиентным данным. Расчетная схема дана в виде номограмм, с помощью которых по температуре и упругости водяного пара определяется значение нормы суточного, сезонного и годового суммарного испарения. График расчета годовых величин испарения (мм/год) по средним годовым значениям температуры и упругости водяного пара, измеренным на высоте 2,0 м, представлен на рисунке 2.2.

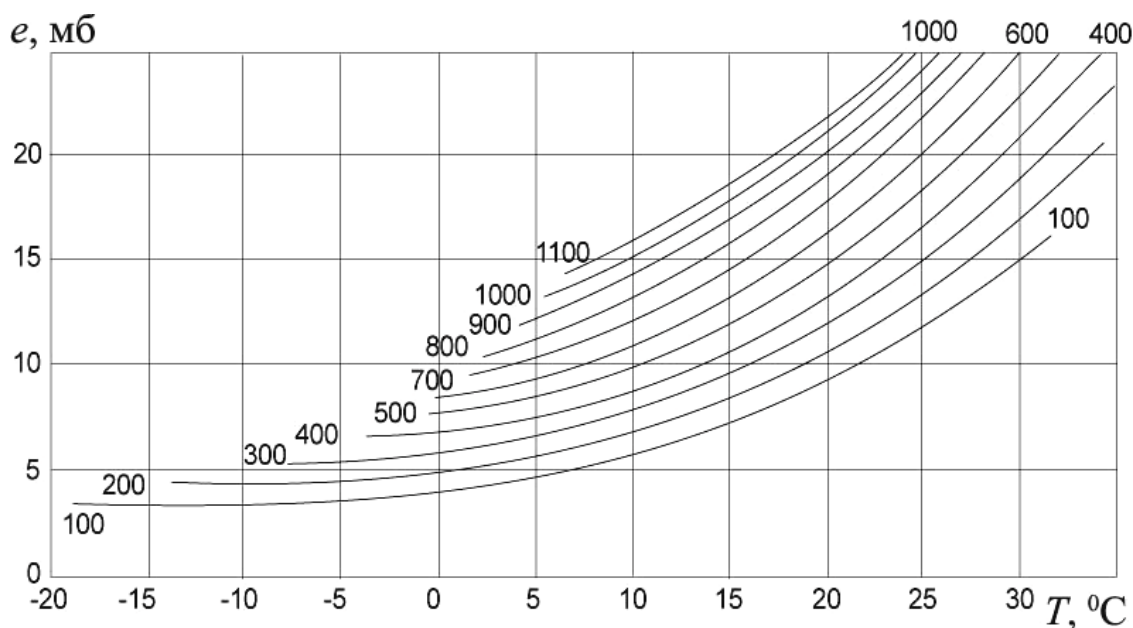


Рисунок 2.2 – Графики для расчета годовых величин испарения (мм/год).

Номограмма Константинова построена на основании общих физических закономерностей в отличие от эмпирических графиков и формул, которые дают возможность определять испарение лишь в условиях, близких к тем, при которых были получены исходные данные для их построения. Поэтому можно сказать, что номограмма Константинова носит некий универсальный характер, который заключается в том, что по ней можно определить величины нормы суммарного испарения с речных бассейнов при любых комбинациях температуры и влажности воздуха, т. е. в различных климатических условиях. Проверка точности методики Константинова проводилась сравнением рассчитанных и измеренных значений испарения с помощью разных испарителей, в том числе с помощью гидравлического испарителя малой модели (ГГИ-53), и за разные сроки [55]. В результате установлено, что относительное отклонение составило не более 21 %.

Метод Константинова имеет такой же недостаток, что и метод Кузина. Он разработан для конкретных диапазонов изменения температуры и упругости водяного пара, поэтому его применение для других климатических зон связано с трудностями экстраполяции изолиний испарения, что в свою

очередь может привести к получению неправдоподобных значений испарения.

С целью охватить весь диапазон температуры воздуха по Африке номограммой Константинова, была сделана попытка экстраполировать ее. Экстраполяция номограммы осуществилась на основе полученных уравнений, аппроксимирующих кривые равного значения испарения. Полученные уравнения зависимости упругости водяного пара от температуры воздуха имеют вид:

$$e = AT^3 + BT^2 + CT + D, \quad (2.5)$$

где e – упругость водяного пара, мб;

T – температура воздуха, °С;

$A = [0,0 - 6,0] \cdot 10^{-6}$, $B = [1,0 - 13,0] \cdot 10^{-3}$, $C = [7,6 - 37,7] \cdot 10^{-2}$, $D = [4,0 - 11,9]$ – числовые коэффициенты в уравнении, принимающие свои значения, постоянные для каждой кривой равной величины испарения, в указанных интервалах.

В результате пройденной процедуры удалось построить расширенную номограмму Константинова, представленную на рисунке 2.3.

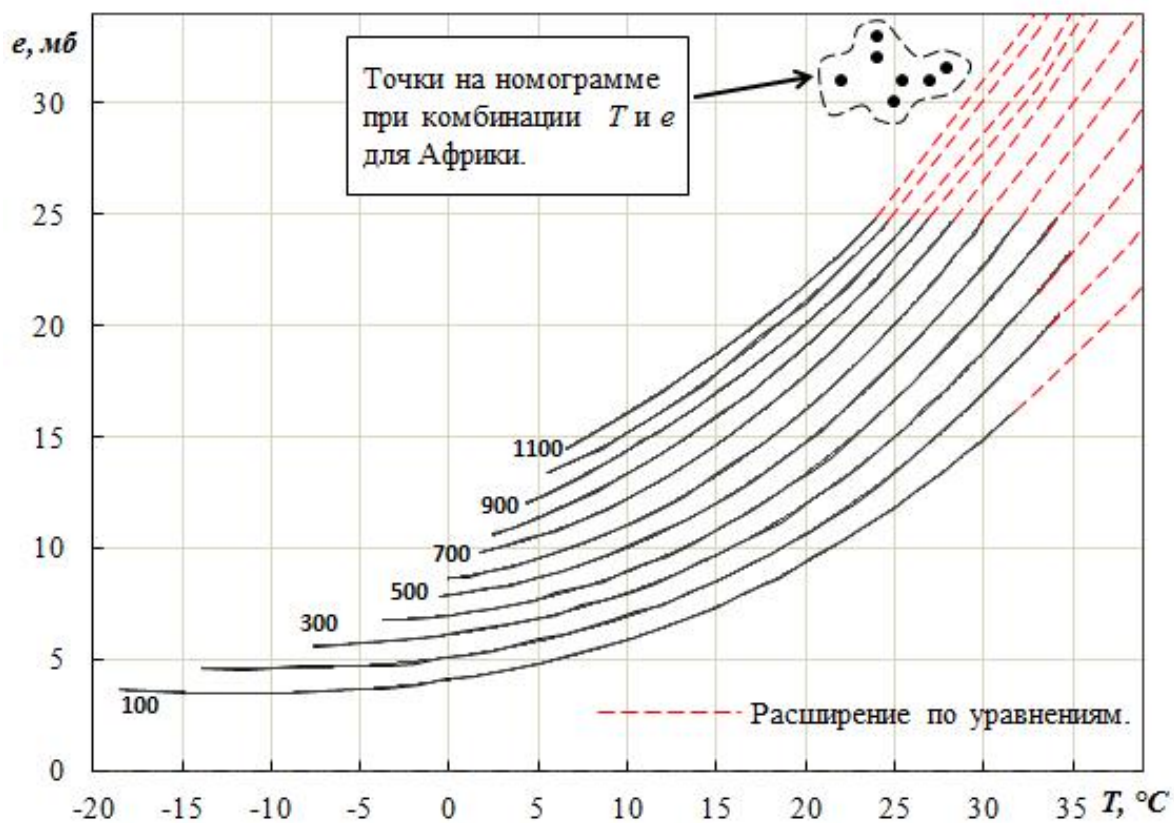


Рисунок 2.3 – Расширенная номограмма Константинова.

Как можно заметить, на рисунке 2.3 расширены диапазоны изменения температуры воздуха и упругости водяного пара на диаграмме, что теоретически должно было позволить определять испарение при больших величинах рассматриваемых характеристик. Но для Африки, сочетание двух определяющих факторов испарения (температуры и упругости) дает расположение соответствующих точек в области вне диапазона кривых определения испарения (от 0 до 1100 мм). Поэтому данная расширенная номограмма не позволяет определять испарение с речных бассейнов Африки. Для решения такой задачи необходимо построить новые кривые испарения, со значениями больше 1100 мм/год, что, в свою очередь, невозможно без натуральных данных об испарении, т. е. измеренных значениях испарения, которые отсутствуют.

Расчет испарения по уравнению Тюрка

Расчетная формула годового испарения по методу Тюрка разработана на основе результатов исследований процесса испарения на 254 речных бассейнах [56, 57], расположенных на всех континентах, и имеет следующий вид:

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

где E – суммарное годовое испарение, мм/год;

P – годовое количество осадков, мм/год;

T – среднегодовая температура воздуха, °С.

Из формулы (2.6) видно, что метод Тюрка, в отличие от двух предыдущих методов, обладает универсальным характером, так как он применим 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.

Расчет испарения по методу Пенмана–Монтейна

Метод Пенмана–Монтейна рекомендован Продовольственной и Сельскохозяйственной Организацией (ФАО) при Организации Объединенных Наций (ООН) совместно с Международным Комитетом по Ирригации и

Дренажу (МКИД) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО); с мая 1990 года принят в качестве стандарта для определения эталонного суммарного испарения [58]. Формула Пенмана–Монтейна имеет следующий вид:

$$E = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}, \quad (2.7)$$

- где E – суммарное суточное испарение, мм/сут;
 R_n – чистая радиация на поверхности растений, МДж м⁻² сут⁻¹;
 G – плотность теплового потока почвы, МДж м⁻² сут⁻¹;
 T – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м, °С;
 u_2 – скорость ветра на высоте 2 м, м/с;
 e_s – давление пара насыщения, кПа;
 e_a – фактическое давление, кПа;
 $(e_s - e_a)$ – дефицит давления пара насыщения, кПа;
 Δ – уклон кривой давления пара, кПа °С⁻¹;
 γ – психрометрическая постоянная, кПа °С⁻¹.

Данный метод, несмотря на рекомендации ФАО, очень трудоемкий. В нем требуется большое число суточных метеорологических характеристик (солнечная радиация, температура и влажность воздуха, скорость ветра), измеренных на высоте 2 м (или преобразованных для этой высоты). Для получения суммарного испарения за год необходимо рассчитывать суточные испарения и их суммировать.

Расчет испарения по методу Кутаня

Известный французский гидролог Эме Кутань тоже предложил свою полуэмпирическую формулу для оценки дефицита стока. Дефицит стока по данному методу, также как и по методу Тюрка, сопоставим с суммарным

испарением при сравнительно пренебрежимо малых значениях других видов потерь воды с речного бассейна.

Значения дефицита стока (или суммарного испарения) рассчитываются по следующей формуле [56]:

$$D = P - \lambda P^2, \quad (2.8)$$

где D – дефицит стока, мм/год (иногда может быть суммарное испарение (E) за год);

P – годовая сумма осадков, мм/год;

λ – региональный коэффициент.

Региональный коэффициент определяется по формуле

$$\lambda = 1/(0,8 + 0,14 T), \quad (2.9)$$

где T – среднегодовая температура воздуха, °С.

Формула Кутаня (2.8) применяется при соблюдении условий неравенства, как показывает следующая формула:

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}, \quad (2.10)$$

а в случае, когда $P < \frac{1}{8\lambda}$ следует, что среднегодовой расход равен нулю, и

дефицит стока равен годовой сумме осадков ($D = P$). И, наконец, когда

$P > \frac{1}{2\lambda}$, наблюдается практически полная независимость дефицита стока от

осадков. В этом случае дефицит стока определяется по формуле:

$$D = \frac{1}{4\lambda} = \frac{0,8 + 0,14T}{4} = 0,20 + 0,035T . \quad (2.11)$$

Анализ формул с (2.8) по (2.11) показывает, что при известных климатических условиях Африки (среднегодовая температуры меняется от 14 до 30 °С, годовая сумма осадков, кроме бездождливых зон пустынь, изменяется от 350 до 2450 мм), можно применить формулу (2.8), т. е. соблюдается условие (2.10) для территории Африки кроме зон пустынь.

Сравнение рассчитанных дефицитов стока по формулам Кутаня и Тюрка для одного водосбора Швейцарии ([56] стр. 42) показало их отклонение друг от друга на 2 %. А сравнение с измеренным же испарением с этого бассейна показало уменьшенные значения дефицита на 25 %, по формуле Кутаня.

2.2 Формирование многолетних рядов данных по температуре и осадкам

Задача формирования базы данных для научно-исследовательской работы по Африке очень сложная и трудоемкая. Эти трудности связаны, во-первых, с ее огромной территорией (почти 30 мл. км²), и, во-вторых, с низким качеством данных или сложностью их получения у органов, обладающих этими данными.

Суммарное испарение с поверхности суши зависит от метеорологических условий территории, в частности, от температуры воздуха, атмосферных осадков, влажности воздуха (или упругости водяного пара в атмосфере), силы ветра и т. д. Поэтому для достижения цели исследования, которая заключается в разработке методики оценки долгосрочных изменений вероятностных характеристик многолетнего испарения в Африке, предстояло собрать большой объем данных различных гидрометеорологических

характеристик. Была составлена база данных из рядов среднегодовой температуры и годовой сумме осадков по 356 гидрометеорологическим станциям, расположенным на территории Африки, и среднегодовых расходах воды в замыкающих створах речных бассейнов, площади которых принадлежат к категории зональных рек [59], т. е. находятся в диапазоне от 5000 км² до 50000 км². Из выбранных станций, равномерно распределенных по территории, 219 (или 61,5 %) являются гидрологическими постами, а 137 (или 38,5 %) – метеорологическими станциями.

Основные сведения о гидрометеорологических станциях представлены в приложении А; а их географическое распределение – на карте рисунка 2.4.

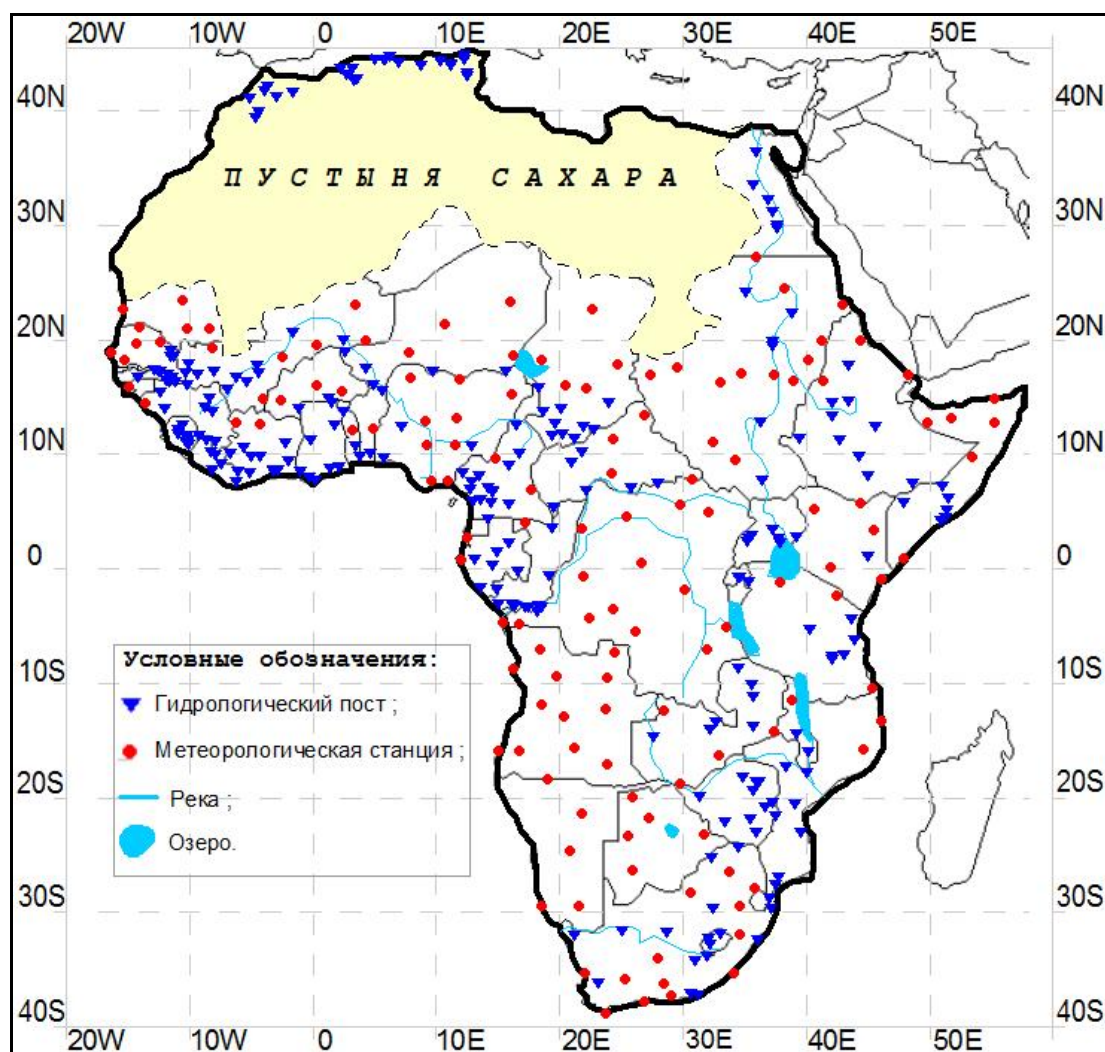


Рисунок 2.4 – Распределение гидрометеорологических станций по территории Африки.

На рисунке 2.4 можно заметить неравномерное распределение метеорологических и гидрологических станций по территории. Гидрологические посты в основном сосредоточены на западе, востоке и юго-востоке материка, соответственно в бассейнах рек Нигер, Сенегал, Нил, Замбези и Оранжевая. В центральной части, где расположена самая густая речная система Африки (бассейне реки Конго), практически отсутствуют гидрологические посты. Поэтому здесь выбраны только метеорологические станции с целью равномерного заполнения пространства, что необходимо для дальнейшего построения карт распределения вероятностных характеристик суммарного испарения.

Данные о расходах воды и характеристиках постов были выписаны из архива ЮНЕСКО «Расходы воды избранных рек мира» [39].

Ряды среднегодовой температуры и годовой сумме осадков имеют продолжительность 40 лет, с 1951 по 1990 г. Они получены из архива данных национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) Соединенных Штатов Америки (США) [42].

Обработка метеорологических данных являлась очень трудоемкой, так как ряды годовых атмосферных осадков и среднегодовой температуры воздуха на каждый год с 1951 по 1990г. получены в виде сетки (Grid), в узловых точках которой заданы значения метеорологических элементов. Разрешение сетки по широте и по долготе для рядов осадков составляет 1° ; а для рядов температуры воздуха, $1,5^\circ$. Поэтому для автоматизации привязки метеорологических станций к исходным сеткам и генерирования рядов для них путем интерполяции была написана специальная программа «Интерполяция» на языке *Visual Basic of Applications (VBA)*. Данная программа имеет универсальный характер потому, что при ее помощи можно работать с любыми сетками данных (с постоянным или переменным разрешениями), с данными различных временных разрешений (годовые, сезонные, месячные, ежедневные, часовые и т.д.) и одновременно с десятками

тысяч метеостанциями. Максимальное количество значений в каждом ряду (количество рядов может достичь 63 000) при одной итерации составляет 252 (связано с возможностями Microsoft Excel, максимальное число строк равно 252), что достаточно при работе с нынешними рядами годовых значений гидрометеорологических характеристик. Текст (код) программы представлен в приложении Б. Она проста в использовании и имеет интерфейс, который представлен на рисунке 2.5.

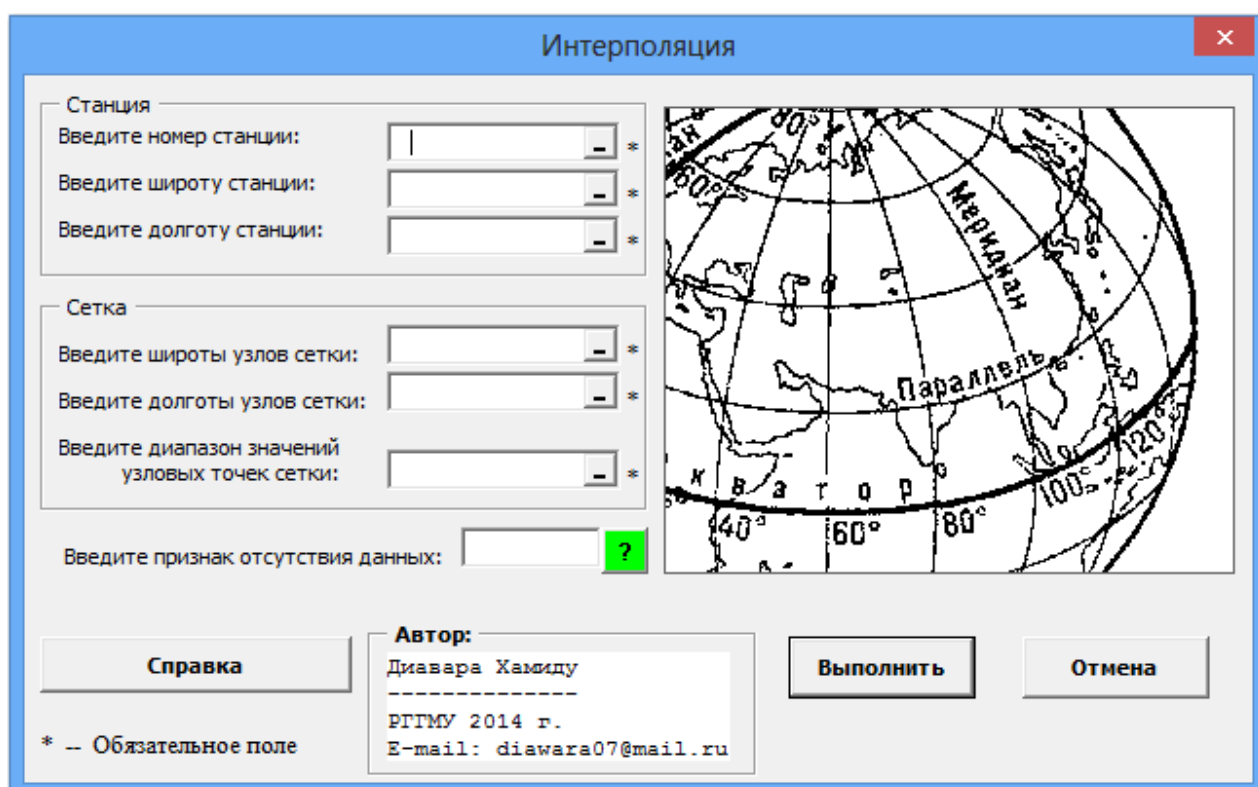


Рисунок 2.5 – Интерфейс программы интерполяции

От пользователя программа требует следующие параметры:

- номера или коды пунктов (метеорологических станций), для которых нужно генерировать ряды;
- широты и долготы пунктов (метеорологических станций);
- широты и долготы узловых точек сетки;
- диапазон значений температур на узловых точках сетки;

– знак отсутствия данных (необязателен, он вводится только при наличии его в данных, иначе поле его ввода оставляем пустым).

Таким образом, получены ряды осадков и температуры воздуха для всех расчетных станций. По ним рассчитаны среднегодовые значения, которые представлены в приложении А, и далее закартированы. Карты нормы температуры воздуха и осадков представлены на рисунках 2.6 и 2.7.

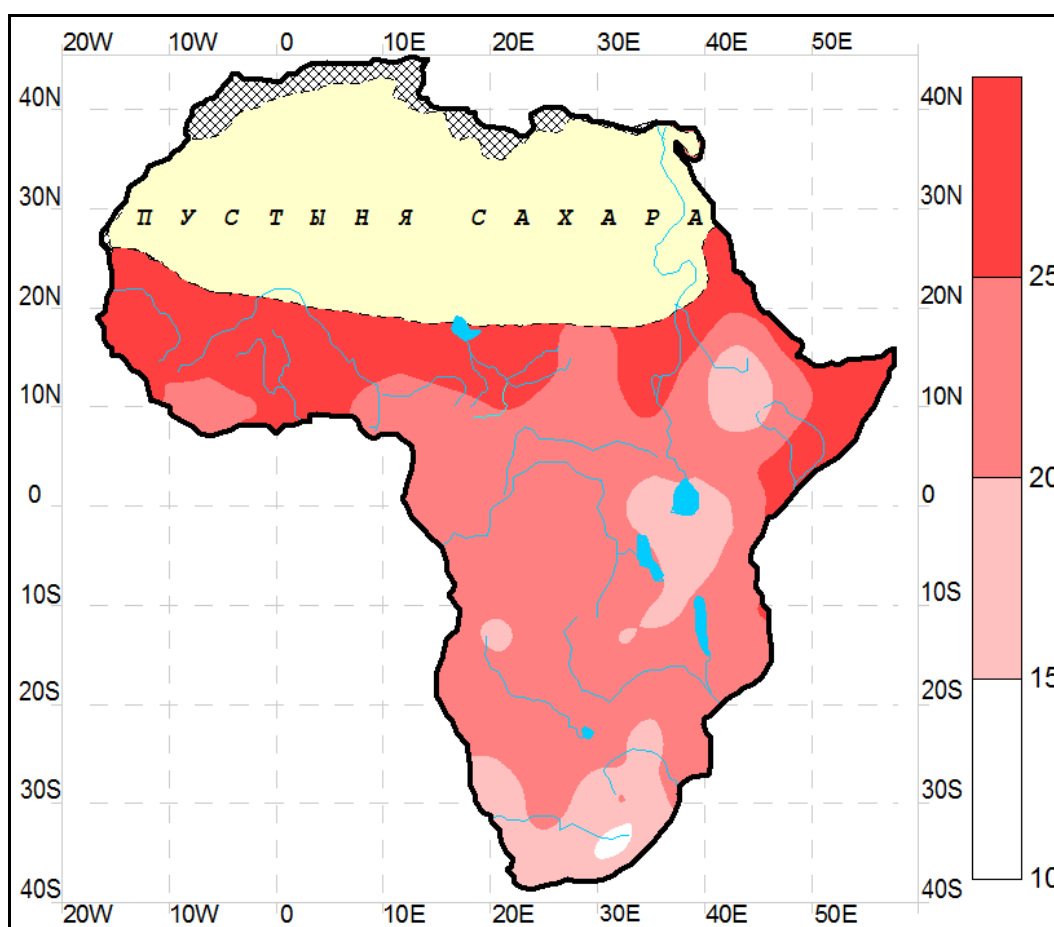


Рисунок 2.6 – Распределение нормы среднегодовой температуры воздуха по территории Африки.

Анализ карты показывает зональность в распределении нормы среднегодовой температуры. Самые жаркие области отмечаются на территории, прилегающей к пустыни Сахара и на небольшой территории северо-восточного побережья. Здесь, норма температуры составляет от 25 °C

до 30 °С. Во всей центральной Африке до южной границы бассейна реки Окаванго температура меняется в пределах от 20 °С до 25 °С. Выделяются области на востоке, в центре (между озерами Виктория, Танганика и Ньяса) и на юге с нормой температуры от 15 °С до 20 °С. Самая маленькая норма температуры составляет 13,6 °С и наблюдается в небольшой части южной Африки, где располагается исток реки Оранжевой.

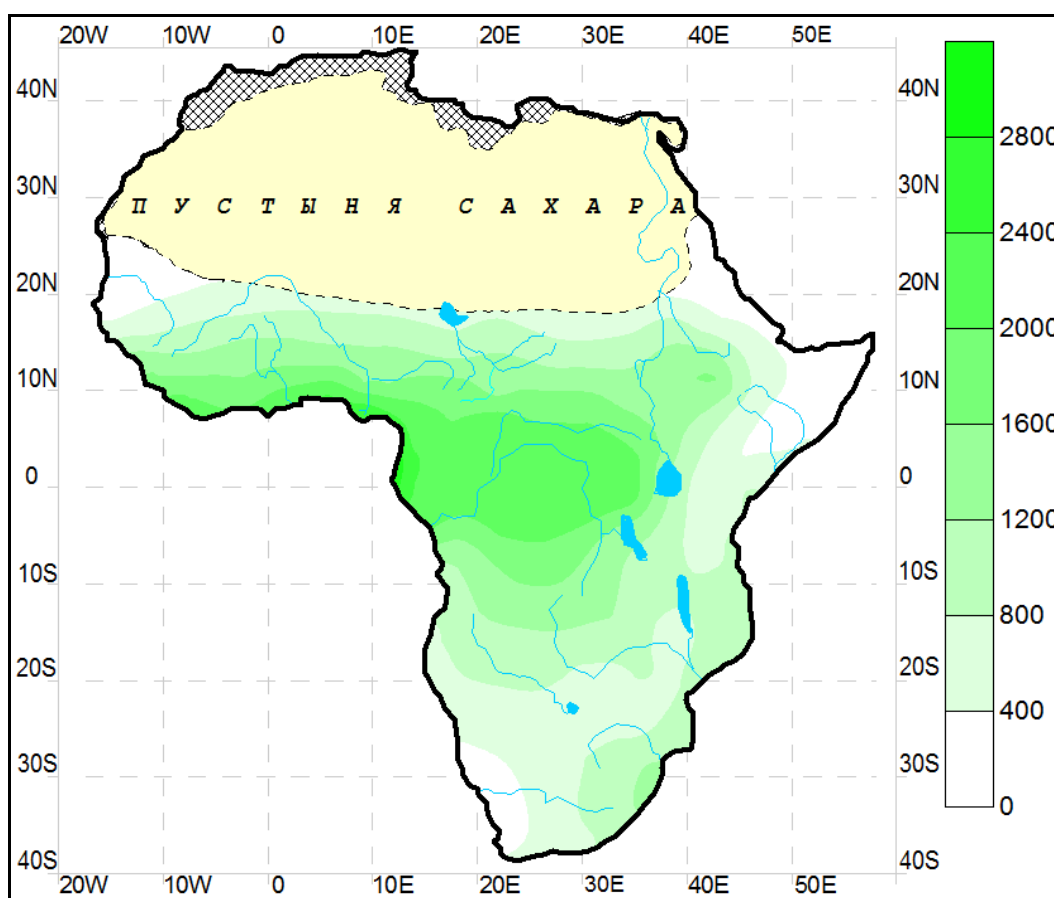


Рисунок 2.7 – Распределение нормы суммы годовых осадков по территории Африки.

Из рисунка 2.7 можно заметить изменение нормы годовой суммы осадков по широте в обоих направлениях от экватора. Максимум суммы осадков, который составляет 2827 мм в году, выпадает в экваториальной зоне. По мере удаления от центра к тропикам выпадает все меньше осадков до, почти, 0 мм в году.

2.3 Генерирование рядов многолетнего испарения

Основной задачей, решаемой на этапе генерирования рядов суммарного годового испарения, является выбор метода расчета испарения из совокупности существующих (см. п. 2.1) на данный момент методов. Выбор того или иного метода зависит от многих факторов, например, от наличия необходимых данных для применения метода, и научного обоснования метода для условий Африки.

В данном исследовании в качестве расчетного метода для испарения выбран метод Тюрка (формула (2.6)). Он отличается своей простотой и универсальностью: для определения суммарного годового испарения с поверхности суши по нему необходимы лишь среднегодовая температура и сумма осадков за год, зарегистрированные на интересующей территории. Данные об этих метеорологических характеристиках имеются в сформированной базе данных (см. раздел 2.2). Упомянутые простота и универсальный характер формулы Тюрка не являются научным обоснованием метода, не являются достаточными для окончательного выбора метода. Поэтому была произведена предварительная статистическая проверка распределения ошибок сравнения рассчитанных суммарных испарений по методу Тюрка и методом водного баланса, и оценена значимость этих ошибок. Процедура проверки заключалась в следующем.

а) Из уравнения водного баланса (для таких территорий недостаточного увлажнения, как Африка) за многолетний период норма суммарного испарения ($\overline{E}_{вб}$) определяется вычитанием нормы слоя стока (\overline{h}) от нормы осадков (\overline{P}), т. е.:

$$\overline{E}_{вб} = \overline{P} - \overline{h}. \quad (2.12)$$

б) Предполагаем, что суммарные испарения по методу водного баланса ($\overline{E}_{вб}$) и по методу Тюрка (\overline{E}_T) равны; поэтому уравнение (2.12) можно заменить следующим:

$$\overline{E}_T = \overline{P} - \overline{h}. \quad (2.13)$$

Разделив обе части уравнения (2.13) на норму осадков, получаем:

$$\frac{\overline{E}_T}{\overline{P}} = \frac{\overline{P}}{\overline{P}} - \frac{\overline{h}}{\overline{P}} = k_{ET} = 1 - k_h, \quad (2.14)$$

где k_{ET} , k_h – коэффициенты испарения, определенного по формуле Тюрка, и стока.

Вводим понятие невязки или отклонения (Δ), которая получается из (2.14):

$$\Delta = 1 - (k_{ET} + k_h). \quad (2.15)$$

Отсюда, если нулевая гипотеза верна (т. е. $H_0: \overline{E}_{вб} = \overline{E}_T$), то из теории вероятности распределение отклонений должно стремиться к нормальному с нулевой нормой ($\overline{\Delta} = 0$), иначе утверждение ложное.

Были использованы данные о среднегодовом расходе воды с 142 зональных водосборов для расчета слоя стока согласно общепринятой методике в гидрологии [54]. Продолжительность рядов стока составила 20 лет с 1965 по 1984 год. Результаты расчетов нормы слоя стока, коэффициентов стока и испарения, соответствующих отклонений представлены в приложении В.

Обычной статистической обработкой были рассчитаны характеристики ряда невязок, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Статистические характеристики ряда невязок (Δ)

Характеристика	Значение
Число членов в ряду (N)	142
Среднее значение ряда ($\bar{\Delta}$)	-0,03
Максимум из ряда (Δ_{\max})	0,27
Минимум из ряда (Δ_{\min})	-0,77
Стандартное отклонение (σ)	0,17

Далее, с целью оценки значимости отклонений, был рассчитан доверительный интервал [60], из которого были исключены все нулевые отклонения. Для уровня значимости 10 % был получен следующий доверительный интервал:

$$-1,18 \leq \Delta \leq 0,12. \quad (2.16)$$

В результате было исключено 39 отклонений (27,5 % от исходной длины ряда). По оставшимся 103 членам ряда (или 72,5 %) были рассчитаны статистические характеристики распределения: коэффициенты вариации, асимметрии и их соотношение (C_v , C_s , C_s/C_v):

$$\bar{\Delta} = -0,02; \quad C_v = -4,27; \quad C_s = -0,15; \quad C_s/C_v = 0,04.$$

Можно заметить, исходя из полученных значений характеристик, что норма и коэффициент асимметрии отклонений (невязок) отличаются от нуля, соответственно, на 2 % и на 15 %.

Для наглядности и оценки типа распределения была построена эмпирическая кривая плотности вероятности распределения невязки и аналитическая кривая плотности нормального закона распределения, которые представлены на рисунке 2.8.

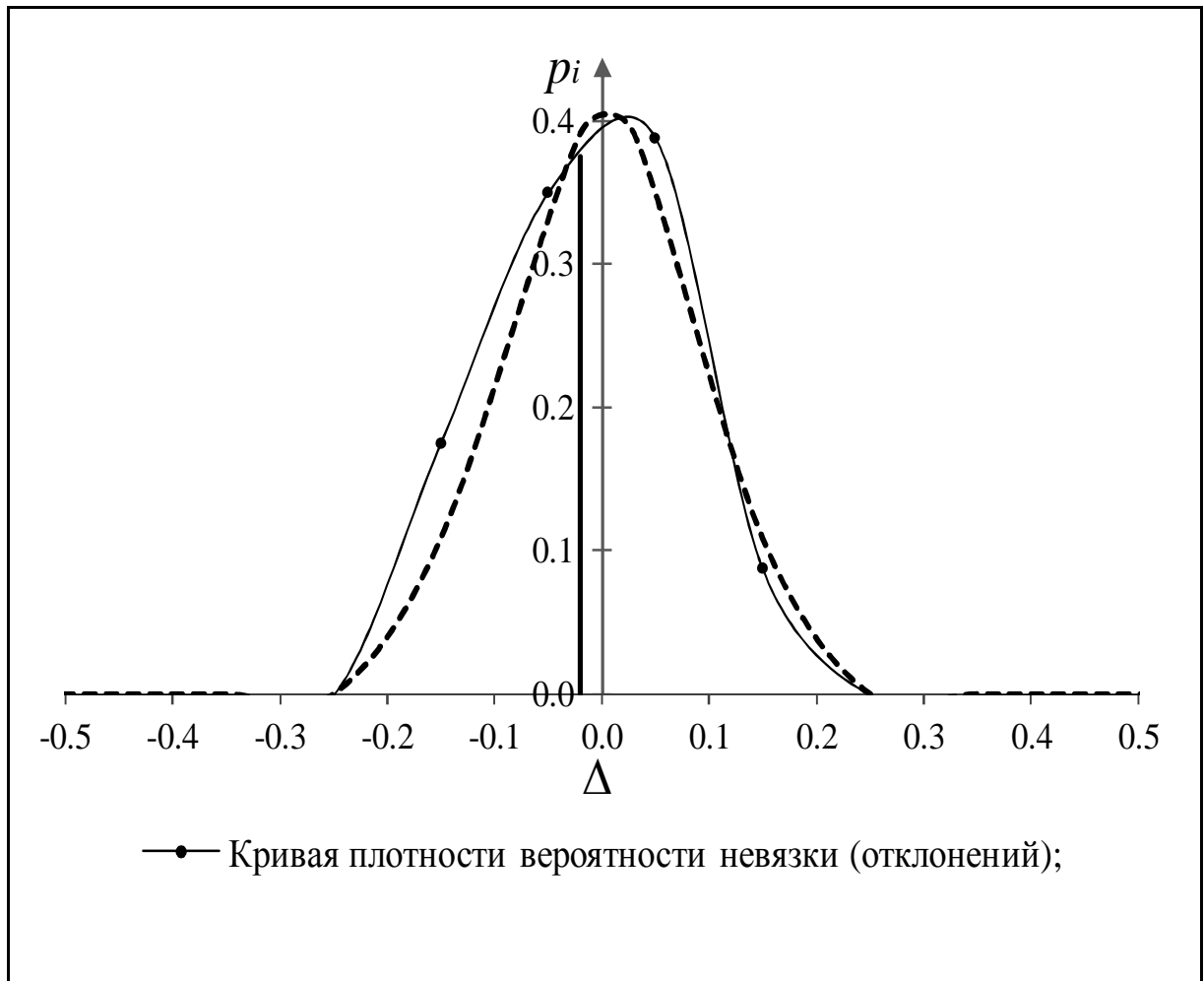


Рисунок 2.8 – Кривая плотности вероятности распределения невязки.

Визуально анализируя данный рисунок, нетрудно заметить близость вида кривой слабо асимметричного распределения отклонений к кривой нормального закона распределения с нулевым математическим ожиданием. Отсюда можно подтвердить правильность нулевой гипотезы и, следовательно, допустить расчет суммарного испарения по территории Африки методом Тюрка.

3 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЯДОВ ИСПАРЕНИЯ И КАРТИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Оценка гидрометеорологических характеристик является основной целью гидрометеорологических изысканий при проектировании новых сооружений социально-экономического характера и при оценивании последствий изменений климата на уже существующих сооружениях. Такие оценки, как например определение многолетнего значения и изменчивости характеристики, получаются путем «прикладной» статистической обработки многолетних рядов характеристик, измеренных приборами на станциях или сгенерированных по формулам (или графикам), связанным с параметрами зависимых факторов.

Статистическая обработка рядов в данном исследовании являлась достаточно трудоемкой в связи с большим объемом данных. До расчета статистических характеристик рядов годового испарения, их картирования и анализа, необходимо было изначально проверить условия правомерности применения статистического аппарата к ним. Статистическая обработка рядов испарения осуществлялась в рамках, существующих в настоящее время, норм и правил при определении основных расчетных гидрологических характеристик [61]. Основные этапы первичной статистической обработки временных рядов подробно описаны в [62]. Вся процедура статистической обработки рядов и картирования расчетных гидрометеорологических характеристик в данном исследовании условно разбилась на три основных этапа:

- проверка наличия цикличности (периодичности) в рядах испарения и визуальная оценка наличия резко отклоняющихся значений;
- проверка рядов на однородность (стационарность);

– определение основных расчетных гидрометеорологических характеристик рядов (и оценка их погрешности);

– картирование полученных устойчивых гидрологических характеристик многолетних рядов испарения.

Далее рассматриваются упомянутые выше этапы процедуры статистической обработки рядов испарения и интерпретации расчетных гидрометеорологических характеристик.

3.1 Выявление рядов, удовлетворяющих нормативным требованиям по их статистической обработке

Согласно нормативным требованиям в гидрометеорологии ряды подвергаются статистической обработке только при удовлетворении ряда определенным условиям. Первым, и одним из наиболее важных условий, является репрезентативность рядов, под которой понимается большая продолжительность рядов, такая чтобы она включила наиболее многоводные и маловодные годы, а также полные циклы водности. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) рекомендует использовать, в качестве репрезентативных периодов для определения климатических норм, периоды продолжительностью не менее 30 лет [63, 64].

Число рядов испарения, исследуемых в данном разделе, составляет 335 (оставшиеся 20 от изначально 355 выбранных рядов будут использованы для оценки степени надежности построения карт). Их продолжительность составляет 40 лет; так же, как и продолжительность рядов среднегодовой температуры и сумм годовых осадков (с 1951 по 1990 г). В связи с этим остается только проверить в рядах наличие полных циклов водности (цикл водности – это совокупность маловодной и многоводной фаз). Наиболее простым способом определения многоводных и маловодных фаз (или циклов

водности) в рядах гидрометеорологической характеристики является анализ хронологических и разностно-интегральных кривых (РИК) [40].

С целью обобщения при анализе графиков испарения территория Африки условно разбилась на четыре региона на основании близости географического расположения станций и однотипности условий формирования гидрологического и метеорологического режимов. Практический путь выделения регионов заключался в группировании станций по виду хронологических и разностно-интегральных графиков. Схема с выделенными регионами представлена на рисунке 3.1.

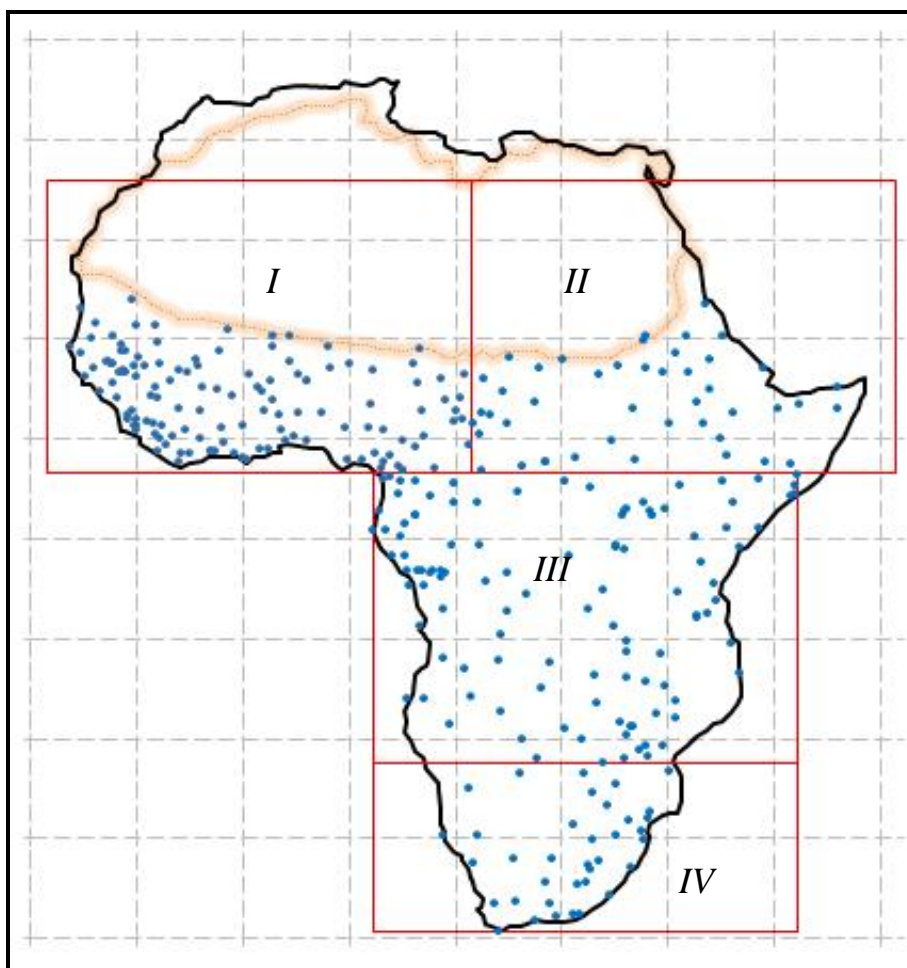


Рисунок 3.1 – Карта-схема условного разделения территории Африки на однородные регионы.

Из рисунка 3.1 видно, что регионы *I – IV* имеют разные площади и число станций. В первом из них располагается 135 станций, что составляет 40,3 % от общего числа станций. В остальных регионах, со второго по четвертый, располагается соответственно 56 (16,7 %), 106 (31,6 %) и 38 (11,4 %) станций.

Каждому региону свойствен определенный характер изменения испарения во времени, который прослеживается во временных графиках (хронологических и РИК) испарения для всех расположенных в регионе станций. В качестве примера для региона *I* представлены на рисунке 3.2 подобные графики.

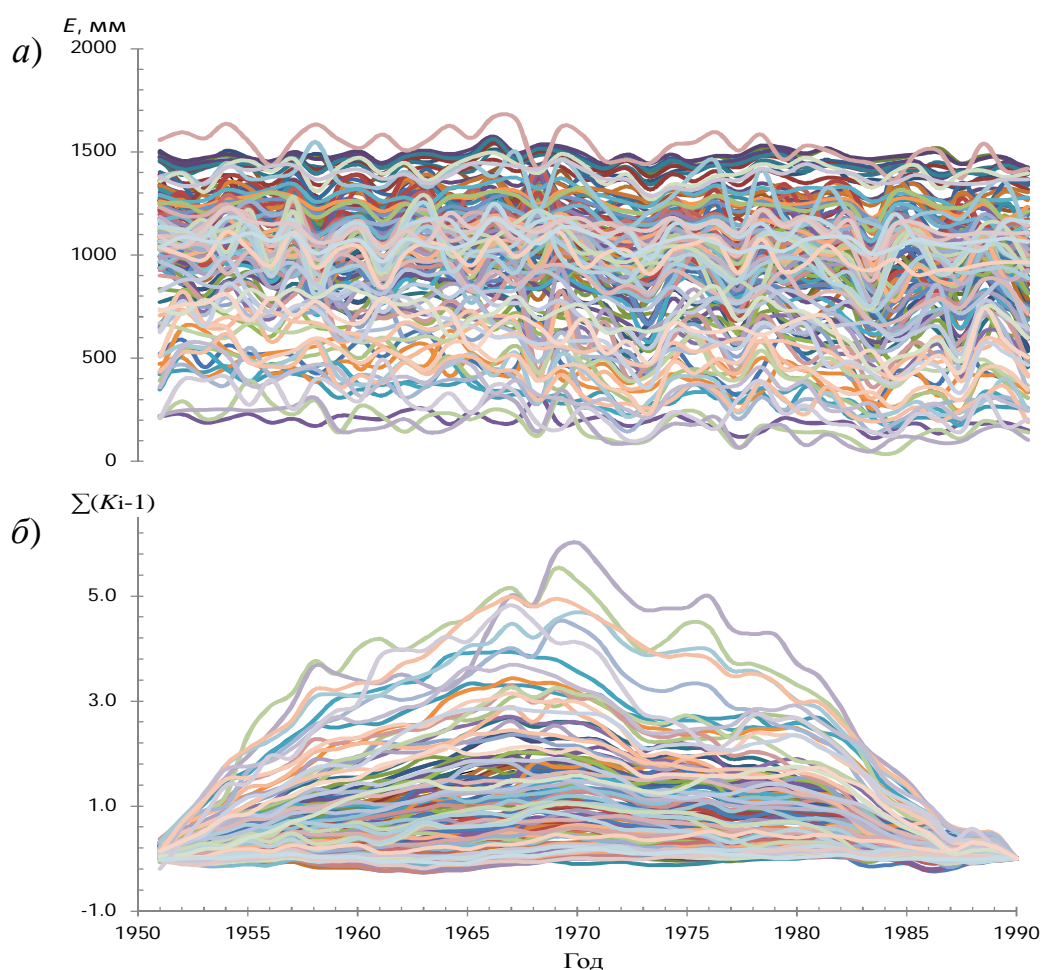


Рисунок 3.2 – Хронологические и разностно-интегральные кривые изменения суммарного годового испарения станций региона *I*: *a* – Хронологические графики; *б* – Разностно-интегральные графики.

Из рисунка 3.2 можно выделить характерный тип хронологического графика и разностно-интегральной кривой. Все хронологические графики, в данном случае для региона *I*, уменьшаются до конца расчетного интервала времени (1990 г.), и поэтому разностно-интегральные кривые полностью расположены в положительной области, показывая при этом только одну многоводную фазу и одну маловодную.

Такие однообразные изменения суммарного испарения обнаруживаются в каждом рассматриваемом регионе, поэтому для простоты анализа построены только характерные (типовые) графики для регионов, которые представлены далее на рисунке 3.3.

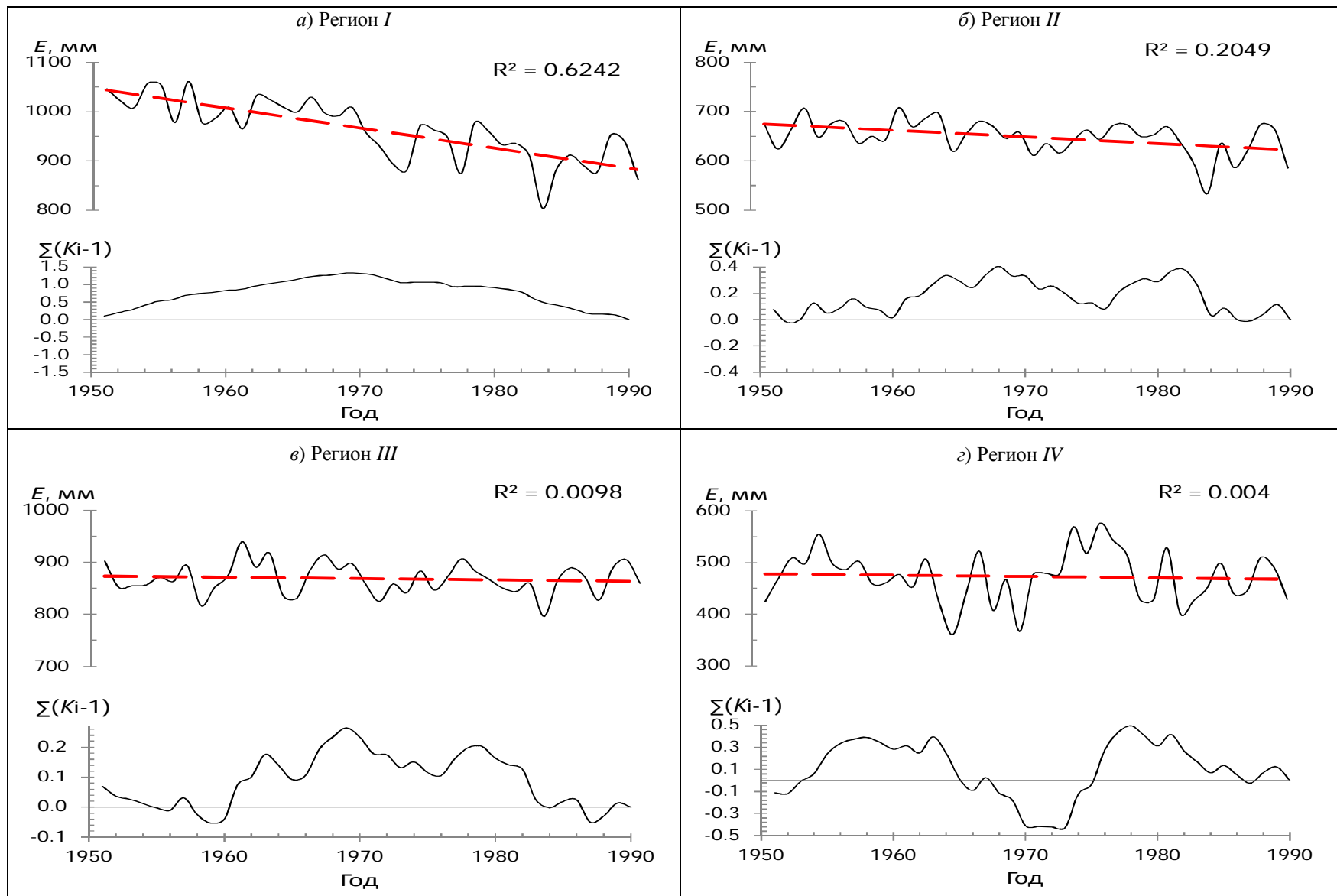


Рисунок 3.3 – Хронологические и разностно-интегральные кривые испарения для регионов Африки.

Анализируя приведенные кривые суммарного испарения, можно выделить два разных периода с 1951 по 1990 г.

В субтропическом поясе Африки (регионы *I* и *II*) наблюдается равномерное падение (*a* и *б* на рисунке 3.3). Здесь хронологические графики описываются линиями тренда с коэффициентами корреляции 0,790 и 0,453 соответственно для *I* и *II*. Такой характер изменения испарения показывает непостоянство среднемноголетнего значения в интервале 1951 – 1990 гг. Фазы водности для региона *II* плохо выражены.

В отличие от предыдущих двух регионов в центральной и в южной Африке (*в* и *г* на рисунке 3.3) годовые испарения колеблются вокруг почти постоянной нормы. Значимый тренд отсутствует; коэффициент корреляции рядов испарения с линией тренда составляет 0,099 для *III* и 0,063 для *IV* региона, в котором фазы колебания суммарного годового испарения более четко выражены.

Отсюда можно сделать вывод о существовании на территории Африки, в период с 1951 по 1990 года, двух разных видов процессов суммарного испарения:

а) равномерное продолжительное уменьшение – на полупустынных территориях южнее Сахары;

б) короткоциклическое колебание вокруг среднемноголетнего значения (из-за малой продолжительности многоводных и маловодных фаз) – на территории центральной (увлажненной) и южной Африки.

При анализе рядов суммарного испарения, температуры воздуха и осадков обнаружены как положительные тренды, так и отрицательные в этих характеристиках. Распределение долей рядов с разными видами трендов показано на рисунке 3.4, анализ которого показывает преобладание рядов с положительным трендом (81,5 %), т. е. повышение. А для осадков (76,4 %) и суммарного испарения (70,4 %) наоборот преобладает число рядов с тенденцией к понижению.

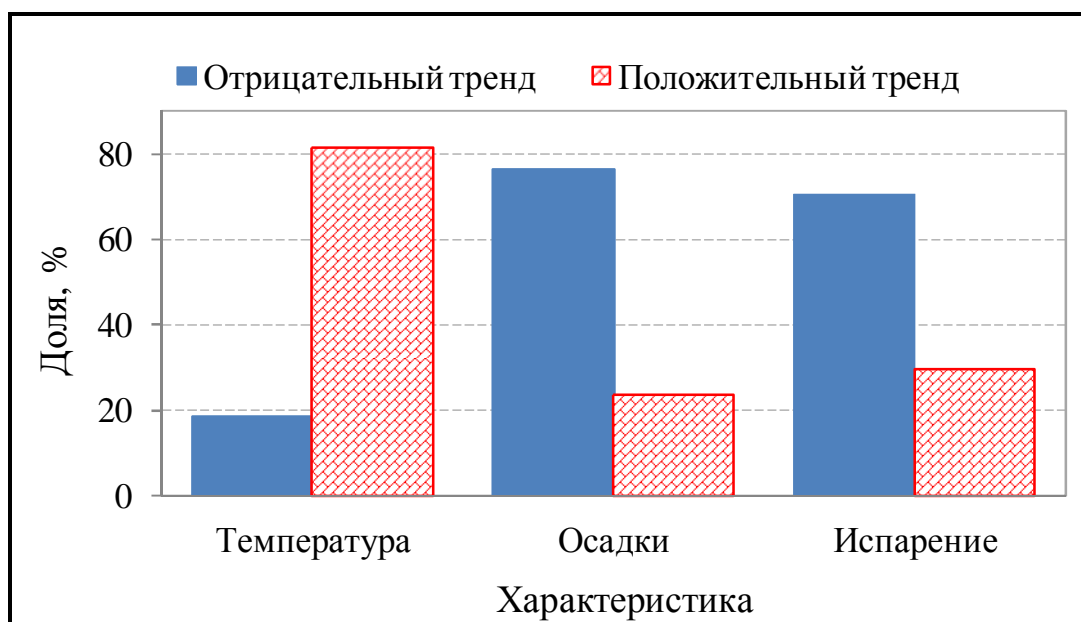


Рисунок 3.4 – Распределение долей рядов температуры воздуха, осадков и суммарного испарения по типу тренда.

Визуализация хронологических и разностно-интегральных кривых суммарного годового испарения недостаточна для окончательного вывода о наличии тренда. При оценке тренда самым важным является оценка его статистической значимости, из которой можно делать вывод о том, существен ли его вклад в изменчивость случайного процесса. Для этого применялась методика оценки статистической значимости линейных трендов, рекомендованная Государственным гидрологическим институтом [65]. Методика заключается в сравнении коэффициента корреляции линейного тренда с его среднеквадратической ошибкой. Последняя (среднеквадратическая ошибка) подсчитывается по формуле:

$$\sigma_r = \frac{(1 - r^2)}{\sqrt{n - 1}}, \quad (3.1)$$

где r – коэффициент корреляции линейного тренда;

σ_r – его среднеквадратическая ошибка;

n – продолжительность ряда.

Если значение (по абсолютной величине) коэффициента корреляции линейного тренда больше, чем двойная среднеквадратическая ошибка ($|r| > 2\sigma_r$), то тренд считается значимым при 5 % уровне значимости, т. е. наблюдается статистическая неоднородность во времени. И если значение коэффициента корреляции линейного тренда по абсолютной величине больше, чем тройная среднеквадратическая ошибка ($|r| > 3\sigma_r$) – тренд значим при 1 % уровне значимости.

Обобщенные результаты проделанных проверок рядов на значимость трендов при 5 % уровне значимости (у.з.) представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты проверки рядов на значимость трендов при 5 % у.з.

Характеристика	Значимый тренд		Не значимый тренд		ИТОГО
	Число рядов	Доля, %	Число рядов	Доля, %	
Температура	268	80,0	67	20,0	335
Осадки	195	58,2	140	41,8	335
Испарение	159	47,5	176	52,5	335

Анализ данных из таблицы показывает, что на 5 % уровне значимости 47,5 % рядов испарения обладают значимым трендом.

Кроме данной методики оценки значимости трендов ряды испарения были также проверены на однородность и стационарность по критериям Фишера и Стьюдента [66], которые внесены в нормативные документы (СП 33-101-2003) [61]. Эти статистические критерии (Фишера и Стьюдента)

являются параметрическими и позволяют объективно выявить наличие трендовой компоненты во временном ряду путем сравнения средних значений и дисперсий двух половин рассматриваемого ряда, как описывается в [67]. Ряды суммарного годового испарения были проверены на однородность (стационарность) по критериям Стьюдента и Фишера на различных уровнях значимости. Результаты проверки рядов представлены в таблице 3.3, а осредненные по всей территории Африки – в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Осредненные результаты проверки рядов на однородность

		Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
		1 % у.з.	5 % у.з.	10 % у.з.	1 % у.з.	5 % у.з.	10 % у.з.
Однородные ряды	Число ($N+$)	209	175	161	318	295	281
	Доля ($P+$), %	62,4	52,2	48,1	94,9	88,1	83,9
Неоднородные ряды	Число ($N-$)	126	160	174	17	40	54
	Доля ($P-$), %	37,6	47,8	51,9	5,1	11,9	16,1
Общее число рядов (N)		335	335	335	335	335	335

Из таблицы 3.2 видно, что доля нестационарных рядов по математическому ожиданию значительна: в среднем по территории Африки 47,8 % (согласуется с результатами предыдущей проверки, 47,5 %, таблица 3.1) рядов оказались нестационарными. Доля однородных рядов изменяется в интервале от 48,1 % до 62,4 % в зависимости от степени уровня значимости. По Фишеру доля однородных рядов составляет от 83,9 % по 94,9 %. Причины неоднородности суммарного годового испарения, наряду с причинами неоднородности стока [68], многочисленны. В качестве основных причин выступают температурный режим и режим осадков по территории

Африки (см. карты на рисунках 2.5 и 2.6), от которых главным образом зависит испарение.

Значительная часть неоднородных рядов испарения в Африке располагается на ее тропической части (зоны *I* и *II* на рисунке 3.1). Например, при 5 % у.з. обнаружено 160 станций по Африке с неоднородными рядами, из которых 139 (или 89,9 %) располагаются в упомянутых зонах. Почти 3/4 (точнее 72,8%) рядов испарения в тропической Африке неоднородны, что подтверждается трендами на хронологических графиках рисунка 3.3.

Общий вывод из проделанных исследований в этом разделе следующий: все нестационарные и неоднородные ряды не будут учтены при интерпретации (построение карт, например) результатов последующих расчетов статистических характеристик (норма, коэффициент вариации и т. д.).

3.2 Расчет статистических характеристик рядов испарения

По рядам суммарного годового испарения были оценены основные статистические характеристики. Для каждой станции рассчитаны среднемноголетнее значение испарения (норма), коэффициенты испарения, автокорреляции, вариации и асимметрии. Также производилась оценка среднеквадратических отклонений (абсолютные и относительные) этих характеристик. Были использованы следующие общеизвестные формулы [40, 69], применяемые в гидрологии к рядам стока:

– среднемноголетнее значение (норма) испарения и его среднеквадратическое отклонение:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}, \quad \sigma_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n}}, \quad (3.2)$$

где \bar{E} – норма испарения, мм;

σ_E – среднеквадратическое отклонение от нормы, мм;

– коэффициент вариации и его среднеквадратические отклонения:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{\bar{E}} - 1 \right)^2}{n}}, \quad \sigma_{C_v} = C_v \sqrt{\frac{1 + C_v}{2n}}, \quad \delta_{C_v} = \frac{\sigma_{C_v}}{C_v} 100\%, \quad (3.3)$$

где C_v – коэффициент вариации испарения;

σ_{C_v} , δ_{C_v} – абсолютное и относительное (в %) среднеквадратические отклонения коэффициента вариации;

– коэффициент асимметрии и его среднеквадратические отклонения:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{\bar{E}} - 1 \right)^3}{nC_v^3}, \quad \sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)}, \quad \delta_{C_s} = \frac{\sigma_{C_s}}{C_s} 100\%, \quad (3.4)$$

где C_v – коэффициент вариации испарения;

σ_{C_s} , δ_{C_s} – абсолютное и относительное (в %) среднеквадратические отклонения коэффициента асимметрии;

– коэффициент автокорреляции:

$$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (E_{i+1} - \bar{E}_1)(E_i - \bar{E}_2)}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (E_{i+1} - \bar{E}_1)^2 \sum_{i=1}^{n-1} (E_i - \bar{E}_2)^2}}, \quad (3.5)$$

где $r(1)$ – коэффициент автокорреляции с годовой сдвижкой;

– коэффициент испарения

$$k_E = \frac{\bar{E}}{\bar{X}}, \quad (3.7)$$

где k_E – коэффициент испарения;

\bar{E} , \bar{X} – нормы испарения и осадков, в мм.

Основные результаты расчетов статистических характеристик рядов суммарного годового испарения приведены в таблице 3.3, где значками «+» и «-» обозначены соответственно «Однородный» и «Неоднородный».

Анализируя данные из таблицы 3.3, можно сделать следующие выводы:

– норма испарения меняется от 1 мм (на сухих территориях под Сахарой, где осадки практически отсутствуют годами и все редко выпадающие полностью испаряются, $k_E = 1$) до 1525 мм в наиболее увлажненной центральной зоне. В среднем по территории норма годового испарения составляет 797 мм и его среднеквадратичное отклонение (ско) – 83 мм. Коэффициент вариации изменяется в широком диапазоне от 0,02 до 2,10. Его среднее территориальное значение равно 0,17 и относительное отклонение – от 11,3 % до 19,7 %;

– в таблице не приведены результаты по коэффициенту асимметрии, но представлены соотношения C_s/C_v , из которых можно всегда пересчитать значения коэффициента асимметрии (C_s). Данное соотношение неточно из-за

неточности определения коэффициента асимметрии, что обусловлено небольшой продолжительностью рядов. Поэтому для дальнейшей обработки будет произведено районирование соотношения C_s/C_v и использованы районные значения для пересчета асимметрии при необходимости;

– коэффициент автокорреляции при годовой сдвиге варьируется от отрицательных значений (минимум $-0,31$) до положительных значений (максимум $0,82$). По территории в среднем он составляет $0,22$.

Таблица 3.3 – Результаты статистической обработки рядов суммарного годового испарения и их проверки на однородность и стационарность

№	Статистическая характеристика					Проверка рядов на однородность					
						Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
	E_o	K_E	C_v	C_s / C_v	$r(I)$	1%	5%	10%	1%	5%	10%
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
1	1070	0,87	0,12	5,3	0,49	-	-	-	+	-	-
2	973	0,92	0,13	0,8	0,54	-	-	-	+	+	+
3	970	0,92	0,13	0,9	0,54	-	-	-	+	+	+
4	991	0,91	0,13	2,3	0,51	-	-	-	+	+	+
5	1000	0,91	0,13	2,9	0,50	-	-	-	+	+	+
6	1315	0,75	0,07	3,7	0,61	-	-	-	+	+	+
7	1427	0,63	0,04	-5,2	0,64	-	-	-	+	+	+
8	1081	0,88	0,12	-1,1	0,56	-	-	-	+	+	+
9	1101	0,87	0,11	0,0	0,56	-	-	-	+	+	+
10	777	0,97	0,16	-2,1	0,59	-	-	-	+	+	+
11	689	0,99	0,17	-1,7	0,61	-	-	-	+	+	+
12	1073	0,88	0,13	0,4	0,50	-	-	-	+	+	+
13	777	0,97	0,16	-1,9	0,61	-	-	-	+	+	+
14	1122	0,86	0,11	1,8	0,59	-	-	-	+	+	+
15	1470	0,55	0,02	-10,5	0,13	+	+	+	+	+	+
16	1480	0,55	0,02	-0,9	0,22	+	+	+	+	+	+
17	1418	0,58	0,02	-2,3	-0,02	+	-	-	+	+	+
18	971	0,91	0,13	-1,4	0,54	-	-	-	+	+	+

№	Статистическая характеристика					Проверка рядов на однородность					
						Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
	E_o	K_E	C_v	C_s / C_v	$r(I)$	1%	5%	10%	1%	5%	10%
<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
19	1459	0,53	0,02	26,3	0,38	-	-	-	+	+	+
20	1438	0,55	0,02	30,2	0,21	-	-	-	+	+	+
21	1082	0,87	0,11	-1,4	0,63	-	-	-	+	+	+
22	1462	0,52	0,03	11,8	0,44	-	-	-	+	+	+
23	1445	0,54	0,03	30,6	0,38	-	-	-	+	+	+
24	880	0,94	0,14	-2,6	0,48	-	-	-	+	+	+
25	938	0,92	0,11	-0,8	0,54	-	-	-	+	+	+
26	1377	0,56	0,03	7,5	0,14	+	-	-	+	+	+
27	1133	0,84	0,08	-2,1	0,48	-	-	-	+	+	+
28	1318	0,59	0,03	-6,4	0,04	+	+	+	+	+	+
29	1081	0,87	0,09	0,1	0,43	-	-	-	+	+	+
30	1303	0,59	0,03	-15,9	0,04	+	+	+	-	-	-
31	1287	0,67	0,07	-7,7	-0,04	-	-	-	+	+	+
32	1197	0,80	0,07	-3,6	0,52	-	-	-	+	+	+
33	908	0,94	0,11	-5,8	0,31	-	-	-	+	+	+
34	1235	0,67	0,04	-3,5	-0,21	+	+	+	+	-	-
35	1226	0,66	0,04	-15,9	-0,08	+	+	+	+	-	-
36	1275	0,63	0,05	-3,8	-0,12	+	-	-	+	+	+

Продолжение таблицы 3.3

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
37	1004	0,90	0,10	0,0	0,38	-	-	-	+	+	+
38	1143	0,70	0,06	-5,8	-0,29	+	+	+	+	+	+
39	753	0,93	0,15	0,3	0,25	-	-	-	+	+	+
40	867	0,95	0,12	-0,9	0,61	-	-	-	+	+	+
41	1211	0,67	0,07	-5,8	0,07	-	-	-	+	+	+
42	1046	0,77	0,08	2,5	-0,26	+	-	-	+	+	+
43	906	0,94	0,12	-1,1	0,56	-	-	-	+	+	+
44	1103	0,76	0,09	-5,4	0,34	-	-	-	+	+	+
45	718	0,99	0,14	-1,9	0,64	-	-	-	+	+	+
46	763	0,98	0,13	-1,1	0,67	-	-	-	+	+	+
47	1042	0,80	0,08	4,0	-0,02	-	-	-	+	+	+
48	1197	0,73	0,08	-3,4	0,12	+	-	-	+	+	+
49	1126	0,78	0,09	-1,9	0,15	+	-	-	+	+	+
50	1224	0,72	0,08	-2,4	0,18	+	-	-	+	+	+
51	1013	0,84	0,10	4,4	-0,03	-	-	-	+	+	+
52	1168	0,75	0,08	3,5	0,09	-	-	-	+	+	+
53	309	1,00	0,23	-0,1	0,73	-	-	-	+	+	+
54	978	0,91	0,10	2,9	-0,16	+	-	-	+	+	+
55	476	1,00	0,18	-0,2	0,24	-	-	-	+	+	+
56	1164	0,77	0,11	-7,8	0,22	-	-	-	+	+	-
57	1079	0,82	0,08	-2,2	-0,16	+	+	-	+	+	+
58	185	1,00	0,19	2,3	0,21	-	-	-	+	+	+
59	960	0,92	0,10	-0,2	0,42	-	-	-	+	+	+
60	425	1,00	0,17	2,1	0,21	-	-	-	+	+	+
61	992	0,91	0,10	-0,2	0,26	-	-	-	+	+	+

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
62	1089	0,84	0,09	-4,2	0,01	+	-	-	+	+	+
63	945	0,87	0,13	-3,2	0,25	-	-	-	+	+	+
64	1061	0,87	0,09	-3,1	0,06	-	-	-	+	+	+
65	326	1,00	0,27	1,2	0,73	-	-	-	+	+	+
66	431	1,00	0,23	0,5	0,67	-	-	-	+	+	+
67	988	0,85	0,11	0,1	0,13	+	-	-	+	+	+
68	972	0,86	0,12	1,9	0,21	-	-	-	+	+	+
69	618	1,00	0,16	-2,1	0,60	-	-	-	+	+	+
70	1090	0,80	0,10	1,9	0,20	-	-	-	+	+	+
71	812	0,97	0,12	-3,4	0,48	-	-	-	+	+	+
72	870	0,95	0,11	-3,5	0,28	-	-	-	+	+	+
73	869	0,95	0,11	-3,5	0,28	-	-	-	+	+	+
74	1178	0,76	0,08	2,2	0,10	+	-	-	+	+	+
75	1031	0,84	0,07	1,0	-0,13	+	+	-	+	+	+
76	634	0,99	0,18	-1,3	0,69	-	-	-	+	+	+
77	1298	0,52	0,03	2,1	0,40	+	+	-	+	+	+
78	1253	0,51	0,03	-11,2	0,25	+	-	-	+	+	+
79	1223	0,51	0,03	-23,7	0,42	+	-	-	+	+	+
80	1158	0,70	0,05	0,2	0,00	+	+	-	+	+	+
81	1243	0,55	0,03	-16,9	0,06	+	+	+	+	+	+
82	1336	0,62	0,03	3,4	0,18	+	+	+	+	+	+
83	1155	0,60	0,04	-11,1	0,21	+	+	-	+	+	+
84	1166	0,60	0,03	-4,3	0,02	+	+	+	+	+	+
85	1252	0,65	0,06	-21,5	-0,08	+	+	+	+	+	+
86	1129	0,65	0,05	-6,0	0,34	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 3.3

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
87	1072	0,64	0,04	-9,8	0,03	+	+	+	+	+	+
88	1096	0,64	0,04	-2,5	0,09	+	+	+	+	+	+
89	1240	0,65	0,05	12,6	-0,11	+	+	+	+	+	+
90	1065	0,65	0,04	-12,3	0,04	+	+	+	+	+	+
91	1063	0,65	0,04	-12,8	0,04	+	+	+	+	+	+
92	1222	0,67	0,07	24,8	0,41	+	+	+	-	-	-
93	1195	0,65	0,06	7,8	-0,09	+	+	+	+	+	+
94	976	0,80	0,14	-9,1	-0,16	+	+	+	+	+	+
95	411	1,00	0,24	-1,5	0,61	-	-	-	+	+	-
96	1064	0,65	0,04	-10,4	0,07	+	+	+	+	+	+
97	1071	0,68	0,04	-12,1	-0,08	+	+	+	+	+	+
98	1121	0,62	0,06	43,5	0,47	+	+	+	-	-	-
99	1120	0,62	0,06	43,2	0,47	+	+	+	-	-	-
100	1020	0,75	0,08	-17,6	-0,16	+	+	+	+	+	+
101	1034	0,75	0,08	-18,5	-0,13	+	+	+	+	+	+
102	995	0,88	0,07	-7,3	0,22	+	+	-	+	+	+
103	1108	0,71	0,04	-16,4	0,01	+	-	-	+	+	+
104	1036	0,76	0,08	6,5	0,17	+	-	-	+	-	-
105	1038	0,75	0,08	6,8	0,12	+	-	-	+	-	-
106	1096	0,73	0,06	-3,6	-0,09	+	+	+	+	+	+
107	1073	0,75	0,07	-2,0	-0,14	+	+	+	+	+	+
108	615	1,00	0,19	-1,6	0,58	-	-	-	+	+	+
109	1048	0,75	0,07	5,8	-0,08	+	+	+	+	+	-
110	885	0,95	0,11	-7,0	0,41	-	-	-	-	-	-
111	1145	0,70	0,06	-6,1	0,19	+	+	+	+	+	+

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
112	1145	0,68	0,04	-14,6	0,03	+	+	+	+	+	+
113	1007	0,87	0,08	-1,0	0,14	+	-	-	+	+	+
114	1129	0,68	0,04	-2,9	0,16	+	+	+	+	+	+
115	959	0,91	0,09	-5,3	0,26	-	-	-	+	+	-
116	889	0,94	0,12	-5,5	0,49	-	-	-	-	-	-
117	991	0,89	0,07	-10,6	0,11	-	-	-	+	-	-
118	1119	0,78	0,06	1,4	0,17	+	-	-	+	+	+
119	139	1,00	0,34	0,4	0,11	+	+	+	+	+	+
120	1015	0,87	0,08	-2,2	0,38	-	-	-	+	+	+
121	1075	0,82	0,07	1,3	0,17	+	-	-	+	+	+
122	954	0,91	0,08	-4,1	0,35	-	-	-	+	+	+
123	1146	0,72	0,05	-5,0	0,16	+	+	+	+	+	+
124	976	0,89	0,08	-7,0	0,44	-	-	-	+	+	+
125	313	0,98	0,20	0,6	0,26	+	+	+	+	+	+
126	802	0,94	0,14	-5,0	0,46	-	-	-	+	+	+
127	232	1,00	0,38	3,6	0,38	+	+	+	+	-	-
128	1138	0,70	0,04	-18,5	-0,02	+	+	+	+	+	-
129	791	0,80	0,09	-0,8	0,01	+	+	-	+	+	+
130	1097	0,69	0,05	1,0	0,27	-	-	-	+	+	+
131	1096	0,69	0,05	1,4	0,27	-	-	-	+	+	+
132	417	0,95	0,24	5,3	0,15	+	+	+	+	+	+
133	544	0,80	0,12	2,5	-0,08	+	+	+	+	+	-
134	518	0,78	0,12	0,4	0,21	+	+	+	+	+	+
135	507	0,89	0,15	1,5	-0,08	+	+	+	+	+	+
136	631	0,91	0,20	-0,2	0,07	+	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 3.3

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
137	521	0,75	0,10	-1,4	0,31	+	+	+	+	+	+
138	556	0,78	0,11	-0,4	0,33	+	+	+	+	+	+
139	537	0,77	0,10	-1,6	0,36	+	+	+	+	+	+
140	440	0,98	0,19	3,1	0,39	+	+	+	+	-	-
141	627	0,90	0,12	-2,2	-0,02	+	+	+	+	+	+
142	872	0,70	0,07	-2,4	0,11	+	+	+	+	+	+
143	597	0,73	0,07	1,2	0,34	+	+	+	+	+	+
144	499	0,94	0,23	-1,4	0,22	+	+	+	+	+	+
145	911	0,71	0,07	-4,1	0,33	+	+	+	+	+	+
146	435	0,94	0,24	-1,0	0,34	+	+	+	+	+	+
147	779	0,73	0,05	1,3	0,17	+	+	+	+	+	+
148	784	0,73	0,05	3,1	0,10	+	+	+	+	+	+
149	742	0,88	0,15	1,0	-0,02	+	+	+	+	+	+
150	21	1,00	1,13	1,3	0,10	-	-	-	-	-	-
151	858	0,71	0,05	2,1	-0,20	+	+	+	+	+	+
152	868	0,71	0,05	-4,0	-0,16	+	+	+	+	+	+
153	846	0,70	0,06	10,2	0,09	+	+	+	+	+	+
154	601	0,89	0,19	-3,1	0,20	+	+	+	+	+	+
155	875	0,70	0,06	-1,6	0,04	+	+	+	+	+	+
156	874	0,71	0,06	-5,7	0,01	+	+	+	+	+	+
157	790	0,80	0,12	-2,7	-0,29	+	+	+	+	+	+
158	713	0,84	0,15	-1,2	0,02	+	+	+	+	+	+
159	835	0,73	0,07	-7,0	-0,15	+	+	+	+	+	-
160	1	1,00	1,35	1,6	-0,08	+	+	+	+	+	+
161	15	1,00	0,54	2,3	-0,20	+	+	+	+	+	+

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
162	742	0,88	0,16	2,3	-0,11	+	+	+	+	+	+
163	561	0,86	0,12	-2,2	0,28	+	+	+	+	+	-
164	735	0,88	0,16	1,9	-0,12	+	+	+	+	+	+
165	745	0,96	0,12	-3,2	0,20	+	+	+	+	+	+
166	872	0,88	0,08	-2,5	-0,10	+	+	+	+	+	+
167	754	0,83	0,14	-2,6	0,12	+	+	+	+	+	+
168	2	1,00	2,10	2,3	0,03	+	+	+	-	-	-
169	482	0,97	0,19	-0,1	-0,04	+	+	+	+	+	+
170	405	0,99	0,22	-1,1	0,24	+	-	-	+	+	+
171	933	0,70	0,05	7,6	0,09	+	+	+	+	+	+
172	228	1,00	0,32	0,1	0,32	-	-	-	+	+	+
173	816	0,79	0,12	-3,5	0,05	+	+	+	+	+	+
174	203	1,00	0,36	0,2	0,36	-	-	-	+	+	+
175	1	1,00	1,69	1,8	0,06	+	+	+	-	-	-
176	738	0,87	0,17	-2,6	0,05	+	+	+	+	+	+
177	821	0,80	0,13	-4,5	0,06	+	+	+	+	+	+
178	1	1,00	1,92	1,5	-0,09	+	+	+	+	+	+
179	1	1,00	1,71	1,6	-0,04	+	+	+	+	+	+
180	750	0,87	0,18	-2,4	0,00	+	+	+	+	+	+
181	928	0,67	0,05	6,2	0,17	+	-	-	+	+	+
182	914	0,67	0,05	8,7	0,18	-	-	-	+	+	+
183	915	0,67	0,05	8,5	0,18	-	-	-	+	+	+
184	701	0,89	0,14	2,8	-0,24	+	+	+	+	+	+
185	89	1,00	0,58	1,1	0,17	+	-	-	+	+	+
186	979	0,72	0,10	-1,1	0,16	-	-	-	+	+	+

Продолжение таблицы 3.3

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
187	931	0,67	0,08	-6,3	-0,23	+	+	+	+	+	+
188	925	0,66	0,06	-2,9	0,37	+	+	+	+	+	+
189	1068	0,66	0,06	0,3	0,51	-	-	-	+	+	+
190	836	0,84	0,21	-2,3	0,23	+	-	-	+	+	+
191	919	0,69	0,08	-6,3	-0,21	+	+	+	+	-	-
192	950	0,72	0,09	-5,0	-0,19	+	+	+	+	-	-
193	578	0,89	0,13	-2,1	0,10	+	+	+	+	+	+
194	797	0,83	0,11	1,1	0,05	+	+	-	+	+	+
195	966	0,70	0,09	3,2	-0,04	+	+	+	+	+	+
196	782	0,57	0,05	-17,2	0,39	+	+	-	+	+	+
197	701	0,60	0,04	-12,3	0,15	+	+	+	+	+	+
198	900	0,80	0,16	1,1	0,37	-	-	-	+	+	+
199	780	0,66	0,05	-27,2	0,05	+	+	+	+	+	+
200	697	0,90	0,12	-0,1	0,16	+	+	+	+	+	+
201	947	0,77	0,10	-1,1	-0,06	+	+	+	+	+	+
202	939	0,76	0,10	-1,1	-0,06	+	+	+	+	+	+
203	700	0,70	0,10	1,9	0,65	-	-	-	+	+	+
204	614	0,87	0,20	-1,6	0,33	+	+	+	+	+	+
205	402	1,00	0,35	1,9	0,11	+	+	+	+	+	+
206	655	0,81	0,15	2,1	0,40	+	-	-	+	+	+
207	419	1,00	0,34	1,1	0,10	+	+	+	+	+	+
208	377	1,00	0,36	1,6	0,08	+	+	+	+	+	+
209	469	1,00	0,30	2,1	0,06	+	+	+	+	-	-
210	334	1,00	0,42	2,0	0,00	+	+	+	+	+	+
211	372	1,00	0,28	2,5	0,03	+	+	+	+	-	-

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
212	506	1,00	0,25	2,2	0,02	+	+	-	+	+	+
213	422	1,00	0,28	1,4	0,03	+	+	+	+	+	+
214	657	0,96	0,23	-0,2	0,40	-	-	-	+	+	+
215	175	1,00	0,42	0,9	0,44	-	-	-	+	+	+
216	775	0,95	0,19	0,2	0,39	-	-	-	+	+	+
217	1311	0,73	0,09	-2,8	0,30	-	-	-	+	+	-
218	544	1,00	0,22	0,3	0,41	-	-	-	+	+	+
219	323	1,00	0,29	0,5	0,57	-	-	-	+	+	+
220	1525	0,58	0,05	-4,0	0,28	-	-	-	+	+	+
221	520	1,00	0,20	-0,2	0,67	-	-	-	+	+	+
222	167	1,00	0,43	0,9	0,54	-	-	-	+	+	+
223	375	1,00	0,30	0,3	0,64	-	-	-	+	+	+
224	354	1,00	0,31	0,8	0,70	-	-	-	+	+	+
225	623	1,00	0,17	-1,7	0,29	-	-	-	+	+	+
226	1107	0,79	0,07	-1,5	0,18	-	-	-	+	+	+
227	1026	0,85	0,11	-2,5	0,11	-	-	-	+	+	+
228	1003	0,90	0,10	-1,4	0,63	-	-	-	+	+	+
229	966	0,91	0,09	0,4	0,42	-	-	-	+	+	+
230	576	1,00	0,16	-0,1	0,61	-	-	-	+	+	+
231	815	0,97	0,11	-2,6	0,60	-	-	-	+	+	+
232	877	0,95	0,11	-1,7	0,62	-	-	-	+	+	+
233	1042	0,85	0,12	-2,6	0,15	-	-	-	+	+	+
234	147	1,00	0,28	0,9	0,50	-	-	-	+	+	+
235	339	1,00	0,28	0,9	0,67	-	-	-	+	+	+
236	1006	0,86	0,11	-0,1	0,06	+	-	-	+	+	+

Продолжение таблицы 3.3

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
237	451	1,00	0,24	0,4	0,64	-	-	-	+	+	+
238	751	0,98	0,14	-0,5	0,61	-	-	-	+	+	+
239	1108	0,77	0,06	-15,9	-0,05	+	+	+	+	+	+
240	1402	0,57	0,04	-11,1	0,18	+	-	-	+	+	+
241	169	1,00	0,43	1,6	0,65	-	-	-	+	-	-
242	1384	0,50	0,03	-3,8	0,57	-	-	-	+	+	+
243	1114	0,75	0,06	-11,1	-0,13	+	+	+	+	+	+
244	995	0,85	0,07	-0,1	-0,11	+	+	-	+	+	+
245	598	0,99	0,21	-0,7	0,65	-	-	-	+	+	+
246	1326	0,65	0,05	-14,0	0,02	+	+	+	+	+	+
247	1385	0,55	0,03	0,8	0,22	+	+	+	+	+	+
248	1127	0,66	0,04	-10,2	-0,04	+	+	+	+	+	+
249	242	1,00	0,40	0,0	0,31	+	+	+	+	-	-
250	877	0,85	0,18	-5,2	0,06	+	+	+	+	+	+
251	21	1,00	0,49	0,7	-0,04	-	-	-	+	+	+
252	704	0,99	0,15	-5,2	0,65	-	-	-	+	-	-
253	637	0,90	0,35	0,9	0,46	+	+	+	+	-	-
254	250	1,00	0,37	1,1	0,40	-	-	-	+	+	+
255	551	0,93	0,35	-1,4	0,62	-	-	-	+	+	+
256	953	0,80	0,13	2,4	0,22	+	+	+	+	+	+
257	1093	0,67	0,04	-8,0	0,08	+	+	+	+	+	+
258	1063	0,67	0,04	5,9	0,17	+	+	+	+	-	-
259	928	0,76	0,14	3,5	0,54	+	+	+	-	-	-
260	65	1,00	0,51	2,8	-0,12	+	+	+	+	+	+
261	804	0,75	0,19	-4,2	0,82	-	-	-	-	-	-

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
262	457	0,98	0,29	0,8	0,05	+	+	+	+	+	+
263	772	0,73	0,15	-6,8	0,74	-	-	-	-	-	-
264	641	1,00	0,17	-3,1	0,52	-	-	-	+	+	+
265	311	1,00	0,33	2,3	0,14	+	+	+	+	+	+
266	694	0,84	0,17	-3,3	0,45	-	-	-	+	+	+
267	150	1,00	0,48	3,2	0,01	+	+	+	+	+	-
268	1205	0,67	0,05	-9,8	0,25	+	+	+	+	+	+
269	1198	0,70	0,05	12,4	0,07	+	+	+	+	-	-
270	726	0,98	0,16	-3,7	0,62	-	-	-	+	+	+
271	1151	0,71	0,06	-0,1	-0,02	+	+	+	+	+	+
272	26	1,00	0,61	1,2	0,25	+	-	-	+	+	+
273	230	1,00	0,19	-0,8	0,15	+	+	+	+	+	+
274	859	0,76	0,08	1,8	0,11	-	-	-	+	+	+
275	638	0,92	0,17	-0,1	0,24	+	+	+	+	+	+
276	966	0,71	0,07	-7,3	0,33	+	+	+	+	+	+
277	1157	0,71	0,05	-16,7	0,13	+	+	+	+	-	-
278	1060	0,82	0,07	-7,0	0,29	-	-	-	+	+	+
279	1055	0,70	0,06	-2,9	0,29	+	+	+	-	-	-
280	486	1,00	0,20	-1,2	0,39	-	-	-	+	+	+
281	214	1,00	0,33	1,9	0,02	+	+	+	+	+	+
282	1180	0,69	0,06	3,2	0,15	+	+	+	+	+	+
283	409	0,99	0,31	1,6	0,09	+	+	+	+	+	+
284	521	0,97	0,26	0,1	0,32	+	+	+	+	+	+
285	1089	0,70	0,04	4,9	0,23	+	+	+	+	+	-
286	626	0,76	0,08	2,8	-0,09	+	+	+	+	-	-

Продолжение таблицы 3.3

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
287	708	0,95	0,13	-1,0	0,36	-	-	-	+	+	+
288	437	0,99	0,30	0,5	0,29	+	+	+	+	+	+
289	533	0,98	0,22	-2,7	0,77	-	-	-	+	-	-
290	337	0,96	0,27	3,7	-0,16	+	+	+	+	+	+
291	369	0,94	0,20	2,2	-0,08	+	+	+	+	-	-
292	921	0,71	0,06	5,4	0,17	+	+	+	+	+	+
293	481	0,88	0,15	1,1	-0,10	+	+	+	+	+	-
294	308	1,00	0,25	2,9	0,56	-	-	-	+	+	+
295	1128	0,66	0,06	-10,9	0,60	+	-	-	-	-	-
296	620	0,93	0,19	0,1	0,16	+	+	+	+	+	+
297	997	0,69	0,13	-6,7	0,62	-	-	-	-	-	-
298	565	0,89	0,14	-1,5	0,33	+	+	+	+	+	+
299	1050	0,73	0,07	-0,4	0,39	+	-	-	+	+	+
300	433	0,98	0,25	0,5	0,29	+	+	+	+	+	+
301	933	0,80	0,06	10,6	0,47	+	-	-	+	-	-
302	1076	0,63	0,07	-7,6	0,51	-	-	-	-	-	-
303	694	0,88	0,15	0,1	-0,14	+	+	+	+	+	+
304	500	1,00	0,18	-2,5	0,31	+	-	-	+	+	+
305	822	0,81	0,08	4,8	0,29	-	-	-	+	+	+
306	590	0,90	0,11	-2,6	0,25	+	+	+	+	+	+
307	571	0,86	0,11	5,0	0,05	+	+	+	+	+	+
308	891	0,91	0,09	-5,7	-0,04	+	+	+	+	+	+
309	652	0,74	0,07	-7,6	-0,02	+	+	+	+	+	+
310	424	1,00	0,20	-1,7	0,46	-	-	-	+	+	+
311	684	0,84	0,12	-5,0	-0,10	+	+	+	+	+	+

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>
312	801	0,82	0,10	-0,5	-0,22	+	+	+	+	+	+
313	467	1,00	0,17	-1,1	0,48	-	-	-	+	+	+
314	30	1,00	0,72	0,9	0,09	+	+	+	+	+	+
315	952	0,64	0,08	-10,1	-0,07	+	+	+	+	+	+
316	671	0,98	0,11	-1,5	0,47	-	-	-	+	+	+
317	583	1,00	0,11	-3,7	0,05	+	+	+	+	+	+
318	461	0,98	0,22	3,0	0,10	+	-	-	+	+	+
319	331	1,00	0,20	-1,6	0,18	+	+	+	+	+	+
320	929	0,76	0,09	-22,9	0,45	+	+	-	+	+	+
321	736	0,78	0,14	-2,0	0,11	+	+	+	+	+	+
322	737	0,78	0,13	1,0	0,27	+	-	-	+	+	+
323	136	1,00	0,49	2,4	-0,04	+	+	+	+	+	+
324	570	0,95	0,27	0,9	0,16	+	+	-	+	+	+
325	413	1,00	0,34	2,4	0,20	+	+	+	+	+	+
326	930	0,88	0,12	0,2	-0,31	+	+	+	+	+	+
327	351	1,00	0,36	1,1	0,06	+	+	+	+	+	+
328	272	1,00	0,17	3,5	-0,06	+	+	+	+	+	+
329	779	0,92	0,25	-1,4	-0,11	+	+	+	+	+	-
330	116	1,00	0,39	2,1	0,15	+	+	+	+	+	+
331	148	1,00	0,51	1,2	0,21	+	+	-	+	+	+
332	397	1,00	0,29	0,4	-0,23	+	+	+	+	+	+
333	239	1,00	0,36	0,0	-0,19	+	+	+	+	+	-
334	132	1,00	0,68	0,3	-0,04	+	-	-	+	+	+
335	87	1,00	1,02	1,4	0,39	-	-	-	-	-	-

3.3 Картирование расчетных характеристик

Для получения достоверных и обоснованных оценок суммарного испарения в данном исследовании предварительного анализа данных и проверки вероятностно-статистического характера рядов (однородность, стационарность) недостаточно. На начальном этапе перед построением карт была также еще проанализирована пространственная изменчивость статистической структуры поля испарения, т. е. оценена пространственная однородность испарения. Данная процедура заключалась в определении пространственного радиуса корреляции (предельное, наибольшее, расстояние между станциями, при котором еще можно наблюдать корреляционную связь, т. е. допустимое для интерполяции гидрометеорологических характеристик между ними) на основе пространственной корреляционной функции (ПКФ) [70]. ПКФ представляет собой зависимость коэффициентов парной корреляции между испарением (или стоком рек) от расстояния между метеорологическими станциями (или между центрами тяжести водосборов в случае стока).

Если станции относительно друг друга расположены на территории на расстоянии не больше радиуса корреляции, то правомерно интерполировать данные, полученные на них (существует связь). В противном случае связь отсутствует и интерполяция данных между ними может привести к значительным погрешностям.

Пространственные радиусы корреляции различны для разных гидрометеорологических характеристик и зависят от различных условий, в том числе рельефа. Так П. А. Торопов и Б. А. Терентьев [71]; А. В. Рождественский и А. Г. Лобанова (ГГИ) [65] приводят примеры определенных радиусов корреляции для некоторых гидрометеорологических характеристик.

Для построения ПКФ была рассчитана корреляционная матрица испарения, связанная с расстояниями между пунктами наблюдений (станциями), которые рассчитались как длина гипотенузы прямоугольного треугольника (теорема Пифагора).

Для начала были выбраны две точки с известными географическими координатами (Бамако – столица Мали и Дакар – столица Сенегала). Они не являются станциям, но были выбраны, так как известно кратчайшее расстояние между ними ($L_0 = 1046$ км). Их географические координаты (широта и долгота) были приведены в условные абсциссы и ординаты (X, Y), используемые в программном обеспечении *Surfer*, с помощью которого были составлены все карты результатов данного исследования. Условное расстояние рассчитано по следующей формуле:

$$L_{A-B} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}, \quad (3.8)$$

где L_{A-B} – условное кратчайшее расстояние между точками A и B (равно 68,7 для Бамако – Дакар);

X_A, X_B, Y_A, Y_B – условные координаты декартовой системы.

Фактическое (L_0) расстояние было разделено на условное (L_{A-B}). Таким образом, получен постоянный коэффициент, который будем называть коэффициентом расстояния:

$$K_L = \frac{L_0}{L_{A-B}}, \quad (3.9)$$

где K_L – постоянный коэффициент расстояния (15,23 км), на который умножаются условные расстояния, рассчитанные по формуле 3.8.

Для проверки полученных формул (3.8) и (3.9) были рассчитаны кратчайшие расстояния от Бамако до всех (54) столиц, расположенных на

африканском континенте (с севера на юг и с запада на восток) и на близкорасположенных к нему островах [72]. Результаты расчетов кратчайших расстояний (по формулам (3.8 и (3.9)) и их сравнение с фактическими расстояниями представлены в таблице 3.4. Графические интерпретации результатов представлены на рисунке 3.5.

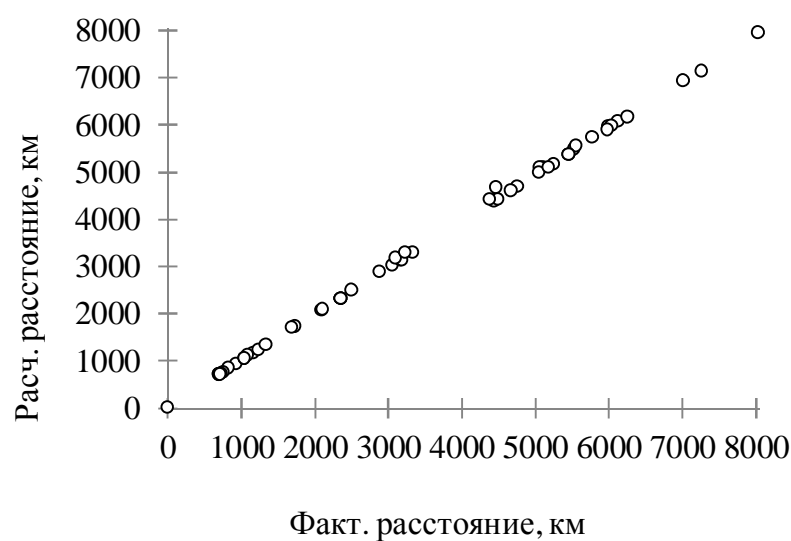
Таблица 3.4 – Сравнение рассчитанных расстояний по кратчайшему пути и фактических от Бамако до других городов на континенте

№	Столицы стран Африки		Географические координаты, град.		Условные координаты		Расстояние до Бамако		ΔL , %
	Столица	Страна	Д	Ш	X	Y	Расч.	Факт.	
1	Абуджа	Нигерия	7,5	9,1	328,1	375,0	1727	1739	-0,7
2	Аддис-Абеба	Эфиопия	38,7	9,0	550,1	374,6	5081	5121	-0,8
3	Аккра	Гана	-0,2	5,6	273,1	349,9	1143	1162	-1,6
4	Алжир	Алжир	3,0	36,8	296,1	571,9	2874	2889	-0,5
5	Антананариву	Мадагаскар	47,5	-18,9	612,6	175,7	6923	7021	-1,4
6	Асмэра	Эритрея	38,9	15,3	551,4	419,5	5094	5070	0,5
7	Бамако	Мали	-8,0	12,7	217,6	400,4	0	0	-
8	Банги	ЦА Республика	18,6	4,4	406,5	341,4	3015	3061	-1,5
9	Банжул	Гамбия	-16,6	13,5	156,6	406,1	934	935	-0,1
10	Бисау	Гвинея-Бисау	-15,6	11,9	163,6	394,7	826	830	-0,4
11	Браззавиль	Конго	15,3	-4,3	383,2	280,0	3119	3183	-2,0
12	Бужумбура	Бурунди	29,4	-3,4	483,3	286,3	4406	4495	-2,0
13	Виктория	Сейшельские острова	55,5	-4,6	668,9	277,5	7126	7272	-2,0
14	Виндхук	Намибия	17,1	-22,6	396,0	149,8	4686	4760	-1,6
15	Габороне	Ботсвана	24,7	-25,9	449,9	126,0	5477	5532	-1,0
16	Дакар	Сенегал	-17,4	14,7	150,4	414,8	1046	1046	0,0
17	Джибути	Джибути	43,1	11,6	581,4	392,8	5544	5560	-0,3
18	Джуба	Южный Судан	31,6	4,9	499,4	344,9	4376	4438	-1,4
19	Додома	Танзания	35,7	-6,2	528,7	266,4	5161	5267	-2,0
20	Каир	Египет	31,2	30,1	496,8	524,3	4654	4474	4,0
21	Кампала	Уганда	32,6	0,3	506,3	312,6	4597	4682	-1,8
22	Кигали	Руанда	30,1	-1,9	488,3	296,5	4418	4505	-1,9
23	Киншаса	Конго (Дем. Република)	15,3	-4,3	383,5	279,6	3126	3190	-2,0
24	Конакри	Гвинея	-13,7	9,5	177,2	378,2	702	709	-1,0
25	Либревиль	Габон	9,5	0,4	341,7	313,1	2312	2356	-1,9
26	Лилонгве	Малави	33,8	-14,0	514,8	210,8	5370	5469	-1,8
27	Ломе	Того	1,2	6,1	283,1	354,0	1223	1242	-1,5

№	Столицы стран Африки		Географические координаты, град.		Условные координаты		Расстояние до Бамако		ΔL , %
	Столица	Страна	Д	Ш	X	Y	Расч.	Факт.	
28	Луанда	Ангола	13,2	-8,8	368,6	247,5	3275	3341	-2,0
29	Лусака	Замбия	28,3	-15,4	475,7	200,7	4972	5060	-1,7
30	Малабо	Экваториальная Гвинея	8,8	3,8	337,0	337,0	2059	2093	-1,6
31	Мапуту	Мозамбик	32,6	-26,0	506,3	125,6	6072	6130	-0,9
32	Масеру	Лесото	27,5	-29,3	470,0	101,7	5957	6008	-0,8
33	Мбабане	Свазиленд	31,1	-26,3	496,0	123,1	5986	6043	-0,9
34	Могадिशо	Сомали	45,3	2,0	597,0	324,8	5894	5993	-1,6
35	Монровия	Либерия	-10,8	6,3	197,7	355,2	752	766	-1,8
36	Морони	Коморские острова	43,3	-11,7	582,2	227,1	6150	6270	-1,9
37	Найроби	Кения	36,8	-1,3	536,4	301,2	5086	5185	-1,9
38	Нджамена	Чад	15,0	12,1	381,4	396,5	2497	2505	-0,3
39	Ниамей	Нигер	2,1	13,5	289,5	406,5	1100	1101	-0,1
40	Нуакшот	Мавритания	-15,9	18,1	161,0	439,2	1045	1045	0,0
41	Порт-Луи	Маврикий	57,5	-20,2	683,5	166,9	7940	8036	-1,2
42	Порто-Ново	Бенин	2,6	6,5	293,0	356,6	1329	1348	-1,4
43	Прая	Кабо-Верде	-23,5	14,9	107,3	416,5	1699	1695	0,2
44	Претория	ЮАР	28,2	-25,7	475,0	127,1	5719	5781	-1,1
45	Рабат	Марокко	-6,8	34,0	225,9	552,4	2320	2369	-2,1
46	Сан-Томе	Сан-Томе и Принсипи	6,7	0,3	322,3	312,7	2081	2121	-1,9
47	Триполи	Ливия	13,2	32,9	368,3	544,3	3175	3109	2,1
48	Тунис	Тунис	10,2	36,8	346,8	572,4	3277	3234	1,3
49	Уагадугу	Буркина-Фасо	-1,5	12,4	263,5	398,3	701	703	-0,3
50	Фритаун	Сьерра-Леоне	-13,2	8,5	180,4	370,7	725	735	-1,4
51	Хартум	Судан	32,5	15,5	505,9	421,0	4404	4383	0,5
52	Хараре	Зимбабве	31,1	-17,8	495,4	183,5	5369	5457	-1,6
53	Ямусукро	Кот-д'Ивуар	-5,3	6,8	236,9	358,9	698	711	-1,9
54	Яунде	Камерун	11,5	3,9	356,4	337,9	2319	2357	-1,6

где относительное отклонение: $\Delta L = (L_{\text{расч.}} - L_{\text{факт.}}) \cdot 100 / L_{\text{факт.}}$; Д – географическая долгота и Ш – географическая широта.

a)



б)

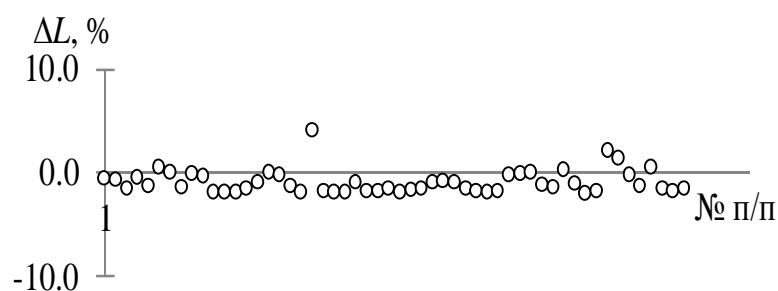


Рисунок 3.5 – Графики связи кратчайших расстояний (фактических и расчетных) (a) и относительных отклонений (б).

На рисунке 3.5, a видна линейная связь, совпадающая с биссектрисой первого координатного угла ($y = x$). Поэтому можно подтвердить правильность построенных уравнений. Их точность оценена рассчитанными относительными отклонениями, которые графически представлены на рисунке 3.5, б. Здесь видно, что они не выходят из интервала $\pm 2\%$, т. е. довольно незначительны и ими можно пренебречь. Исключение составляет лишь один пункт (расстояние до Кайра, Египет), где относительное отклонение составляет $+4\%$, но также остается низким. В данном исследовании используются только станции, расположенные ниже Сахары,

поэтому последнее относительное отклонение (даже, если было бы больше) не имеет особого значения.

Для однородных, при 5 % уровне значимости, рядов суммарного годового испарения (152 ряда) рассчитана матрица расстояний между станциями и построена пространственная корреляционная функция. Она представлена на рисунке 3.6, где значения коэффициентов корреляции рядов отложены по оси ординат, а значения расстояния между станциями – по оси абсцисс. Все значения коэффициента корреляции были увеличены на 10, что позволяет убрать отрицательные значения; следовательно, таким образом можно аппроксимировать их распределение любой аналитической зависимостью. Также для получения аналитической аппроксимации ПКФ коэффициенты корреляции были усреднены за каждые 100 км расстояний.

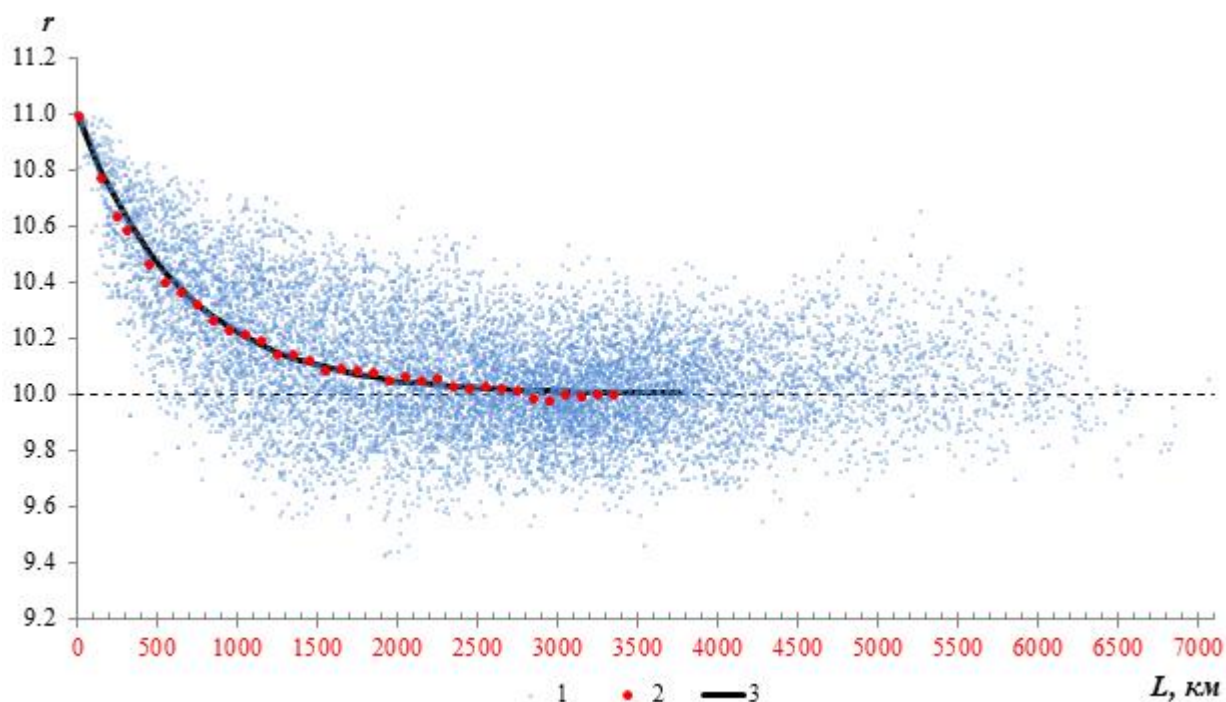


Рисунок 3.6 – Пространственная корреляционная функция нормы суммарного годового испарения в Африке.

1 – исходные точки; 2 – точки осреднения за каждые 100 км; аналитическая аппроксимация точек 2; 3 – аналитическая аппроксимация экспоненциальной зависимостью.

На рисунке 3.6 хорошо наблюдается падение ПКФ по экспоненте и аналитически она хорошо аппроксимирована (с коэффициентом детерминации, $R^2 = 0,995$), методом наименьших квадратов (МНК), уравнением 3.10:

$$r(L) = \exp(-L/664) + 10, \quad (3.10)$$

где r , L – коэффициент корреляции рядов испарения и расстояние между расчетными станциями (в км) соответственно.

Сделана попытка поле точек на рисунке 3.6 аппроксимировать линейным уравнением (вида $r = b+aL$). При этом качество аппроксимации значительно ниже (коэффициент детерминации равен 0,228, считается несущественным) по сравнению с качеством экспоненциальной аппроксимации.

Из представленной на рисунке 3.6 пространственной корреляционной функции определялся пространственный радиус корреляции (L_r) при экспоненциальной аппроксимации. Он равен расстоянию, при котором коэффициент корреляции равен нулю, т. е. точка пересечения аналитической линии с осью абсцисс, проходящей по нулю ординат. Но в связи с тем, что коэффициенты были искусственно увеличены на 10, то L_r определяется по пересечению графиков $r(L)$ и L . Получено значение пространственного радиуса корреляции, равное 3052 км.

Данная оценка радиуса корреляции больше, чем фактические географические расстояния (кратчайшие расстояния) между соседними расчетными станциями. Максимальное значение последних, после исключения неоднородных рядов, составляет 2645 км (между станциями 154 и 282).

В результате проверки пространственно-временной изменчивости испарения не были рядов (станций), не пригодных для картирования.

Поэтому климатические оценки (среднегодовые значения) характеристик оставшихся 152 однородных рядов (при 5 % у.з.) были приняты для дальнейшего пространственного распределения (картирования).

В данном исследовании картирование производилось с использованием распространенных на практике геоинформационных программных обеспечений *ArcView GIS* и *Surfer*. Сначала были использованы ГИС-технологии *ArcView GIS* для нанесения гидрометеорологических станций на карту изучаемой территории. Полученная карта служила базовой картой в *Surfer*, с помощью которого была оконтурена территория (в пределах которой должны строиться изолинии) и переведены фактические географические координаты станций в условные прямоугольные декартовы координаты. Принципы приемов пользования программой *Surfer* подробно изложены, например в [73, 74].

При построении карт из разных вариантов выборочных методов пространственной интерполяции данных был выбран метод *Kriging* (по-русски: кригинг). Кригинг – базовая интерполяционная модель геостатистики, которая учитывает пространственную связанность пунктов интерполируемых данных [75], и потому на данный момент является одним из наиболее точных и рекомендуемых методов интерполяции (вероятностного картирования, стохастического моделирования).

Ниже на рисунках 3.7 – 3.11 приведены карты пространственного распределения климатических оценок основных расчетных гидрометеорологических характеристик рядов суммарного годового испарения по территории Африки.

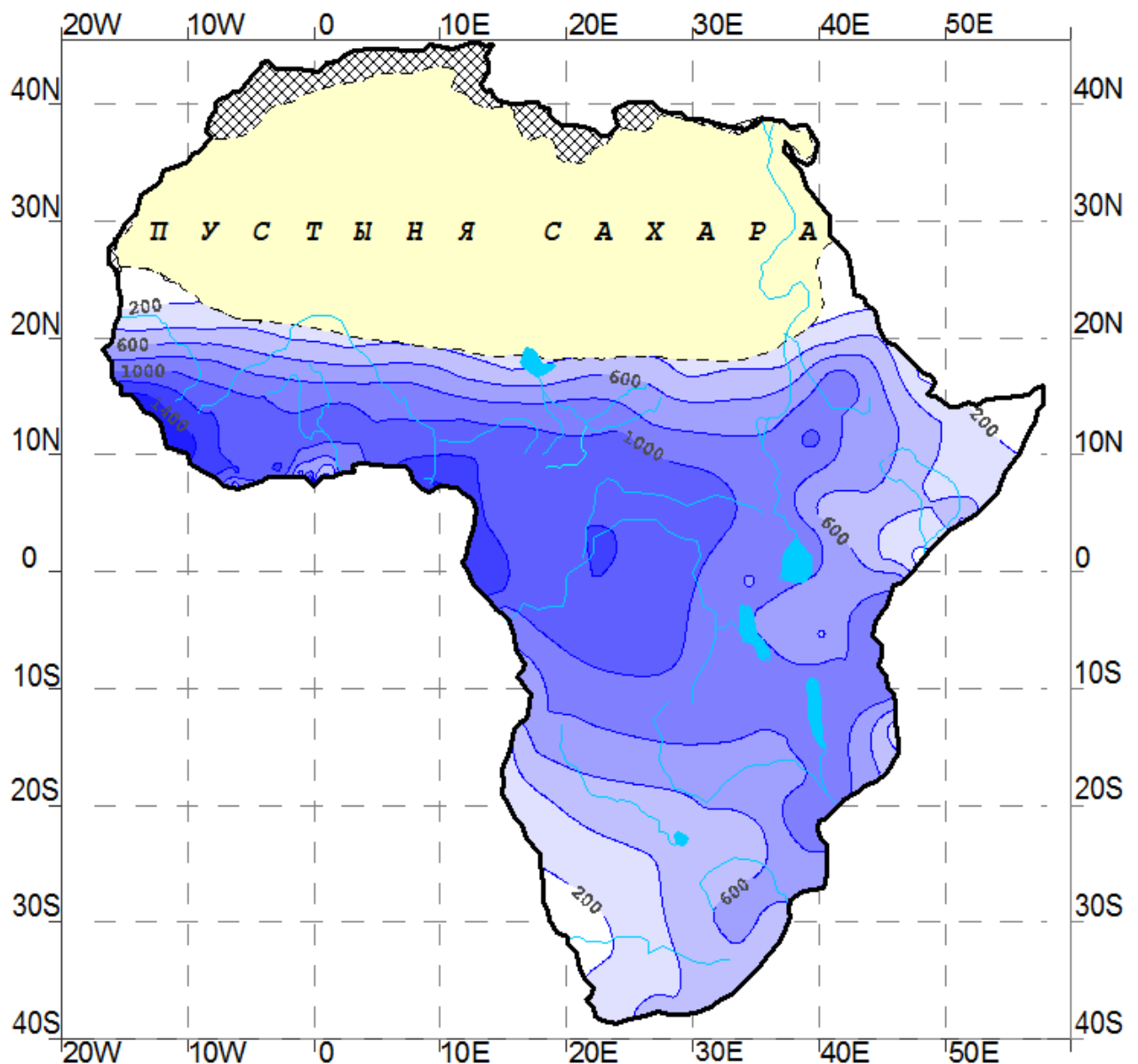


Рисунок 3.7 – Распределение нормы суммарного годового испарения по территории Африки.

Анализ карты на рисунке 3.7 показывает соответствие распределения испарения физическим условиям территории, т. е. испарение больше там (в центральной части), где большие осадки и выше годовые температуры воздуха. Наблюдается примерно широтное изменение слоя суммарного годового испарения. Максимальное значение испарения за год наблюдается в центральной части Африки и может достигать 1500 мм. Норма испарения

постепенно уменьшается по мере удаления от экватора к тропикам, где годовое испарение с речных бассейнов составляет от 200 до 400 мм.

Такую закономерность изменения суммарного годового испарения по территории можно объяснить, опираясь на понимание следующих погодных и климатических условий экваториальной и субтропической Африки. В центральной части имеет место экваториальный тип климата, т. е. осадки выпадают в течение всего года и среднемесячные температуры воздуха колеблются около 20 °С, что способствует испарению воды во всех месяцах года. В субтропической части среднемесячные температуры воздуха больше чем в центральной; а продолжительность сезона дождей меньше (уменьшается по направлению к полюсам до 3х месяцев и меньше). Поэтому здесь неравномерно в течение сезона выпадает меньшее количество осадков и, следовательно, объем испарившейся воды сравнительно невелик, но с большей дисперсией.

Среднее значение по территории СКО суммарного годового испарения, рассчитанное в разделе 3.2, составляет 83 мм. Для более детальной оценки ошибки было использовано 20 независимых станций (ряды которых не учитывались при картировании), равномерно распределенных по территории Африки. Для них сгенерированы по формуле Тюрка (формула 2.6) годовые значения испарения и рассчитана норма за многолетний период ($E_{расч}$), соответствующий периоду закартированных норм. Также по данным из карты были определены нормы испарения для тех же станций ($E_{карт}$) и рассчитаны относительные отклонения от рассчитанных значений. Результаты этих расчетов представляется в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Сравнение рассчитанных и закартированных норм суммарного годового испарения Африки.

№ станции	Широта, градус	Долгота, градус	$E_{расч}$, мм	$E_{карт}$, мм	$\Delta E = (E_{карт} - E_{расч}) \cdot 100 / E_{расч}$, %
1	13,07	-12,73	1031	1025	-0,5
2	7,02	-6,48	1054	1080	2,4
3	-1,60	13,53	1201	1160	-3,4
4	-13,40	27,82	842	860	2,2
5	-21,10	31,27	527	600	13,8
6	11,00	37,00	834	860	3,1
7*	15,30	-1,58	414	400	-3,3
8	9,68	6,57	1021	1000	-2,1
9*	14,18	15,28	323	355	10,0
10	-9,41	16,40	922	885	-4,0
11	-19,66	18,23	441	420	-4,7
12*	-31,60	18,51	265	240	-9,4
13	5,75	20,48	1137	1125	-1,0
14*	-23,88	22,02	337	360	6,9
15	-0,90	22,76	1191	1150	-3,4
16	8,14	28,06	918	880	-4,1
17	-28,65	30,03	629	580	-7,8
18	-2,39	33,12	748	800	6,9
19	-14,89	39,30	891	570	-36,0
20*	7,02	47,45	166	260	57,0
X^* – если $K_E = 1,0$		Среднее	745	731	1,1

В таблице 3.5 виден большой диапазон изменения относительного отклонения норм суммарного испарения, причем как и в положительную сторону, так и в отрицательную. В 18 случаях из 20, относительное отклонение меняется в пределах ± 15 %. Выделяется только 2 случая (станции 19 и 20), где отклонения составляют -36 % и 57 %. На станции 20 объем нормы рассчитанных по формуле суммарных годовых испарений равен объему нормы годовых осадков, т. е. выпадающие осадки за год полностью испаряются (коэффициент испарения $k_E = 1$). Но закономерные причины аномальных отличий закартированных значений нормы испарения от

рассчитанных в указанных пунктах в данном исследовании не установлены. Есть лишь один общий факт для них, который заключается в том, что оба пункта (из всех 20) располагаются на востоке материка ближе к западному побережью Индийского океана. На этом основании можно допустить гипотезу о невысокой точности карты нормы суммарного годового испарения на этой части территории Африки. Для подтверждения этой гипотезы необходим выбор большего числа дополнительных независимых станций.

На рисунках 3.8 – 3.11 представлены карты норм коэффициентов испарения, коэффициентов вариации, отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации и коэффициента автокорреляции.

Из рисунка 3.8 можно видеть пространственную закономерность изменения коэффициента испарения обратную закономерность изменения нормы испарения. Доля испарившейся воды растет от центра к тропикам, от 0,7 до 0,9, иногда может достигать 1,0 в засушливых и очень жарких областях (полупустыни). Средняя величина нормы коэффициента испарения по территории Африки составляет 0,84. Норма коэффициента стока (косвенно как разность при вычитании коэффициента испарения от 1) равна 0,16, что согласуется с данными из Мирового водного баланса (коэффициент стока Африки равен 0,17), приведенные К. К. Эдельштейным в монографии «Гидрология материков» [76]. Этими же данными показано, что коэффициент стока в Африке почти в 2 раза меньше, чем его средние многолетние значения других для материков (для Азии 0,37; для Европы 0,31; для Северной Америки 0,39 и Южной Америки 0,41), кроме Австралии (0,08).

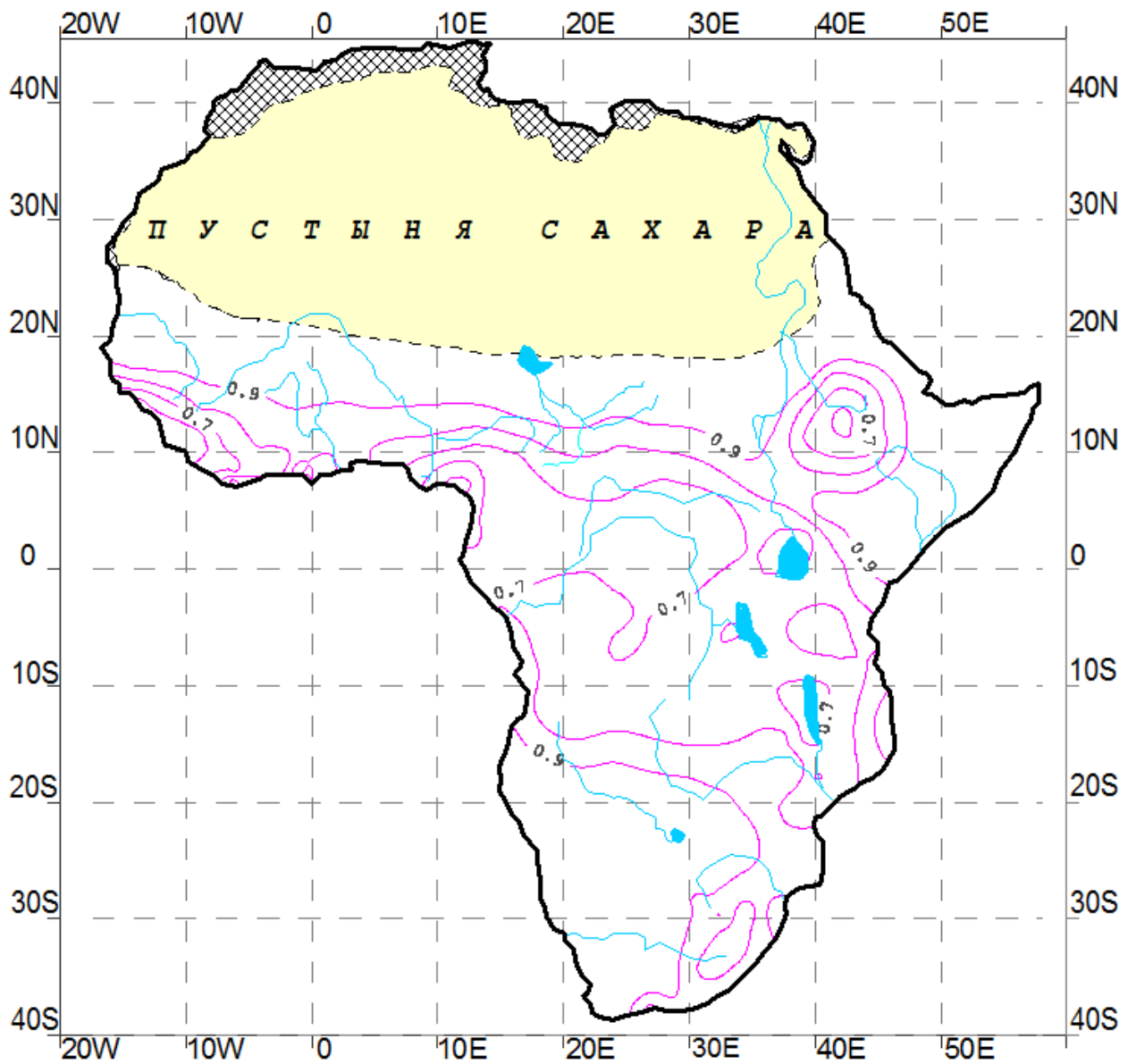


Рисунок 3.8 – Распределение коэффициента испарения (k_E) суммарного годового испарения по территории Африки.

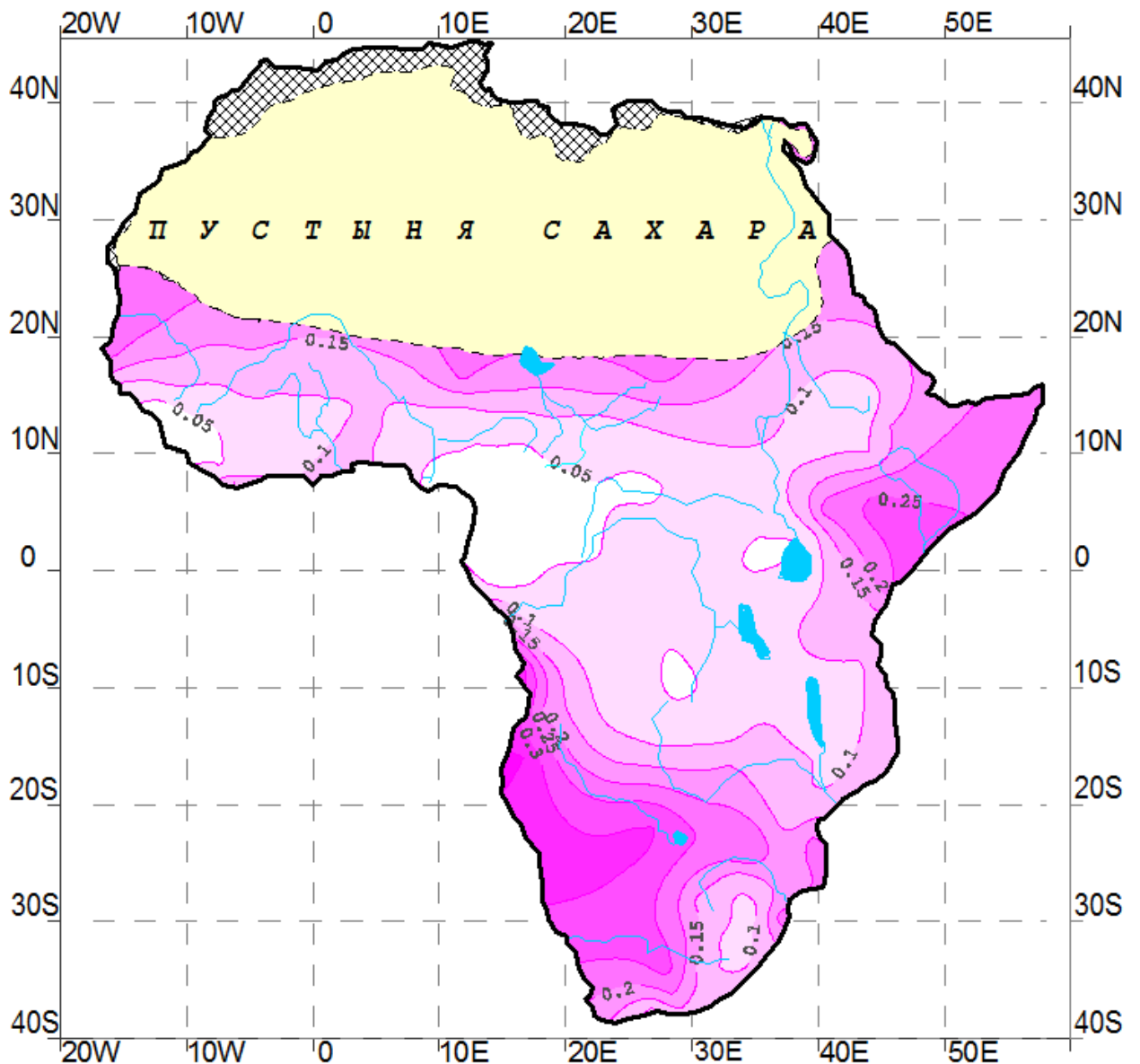


Рисунок 3.9 – Распределение коэффициента вариации (C_v) суммарного годового испарения по территории Африки.

Карта распределения коэффициента вариации испарения имеет однородные области. Изменчивость испарения во времени незначительна в центральной Африке, где значение коэффициента вариации невелико (от 0,02 до 0,04). Отмечается также небольшая часть западной Африки с пониженным коэффициентом вариации суммарного годового испарения.

Расчитанные коэффициенты асимметрии (C_s) из-за значимых ошибок (что связано с небольшой продолжительностью рядов) не закартированы.

Только сделана попытка районирования отношения C_s/C_v . При этом были отбракованы резко отличающиеся локальные значения и в результате получена карта, представленная на рисунке 3.10.

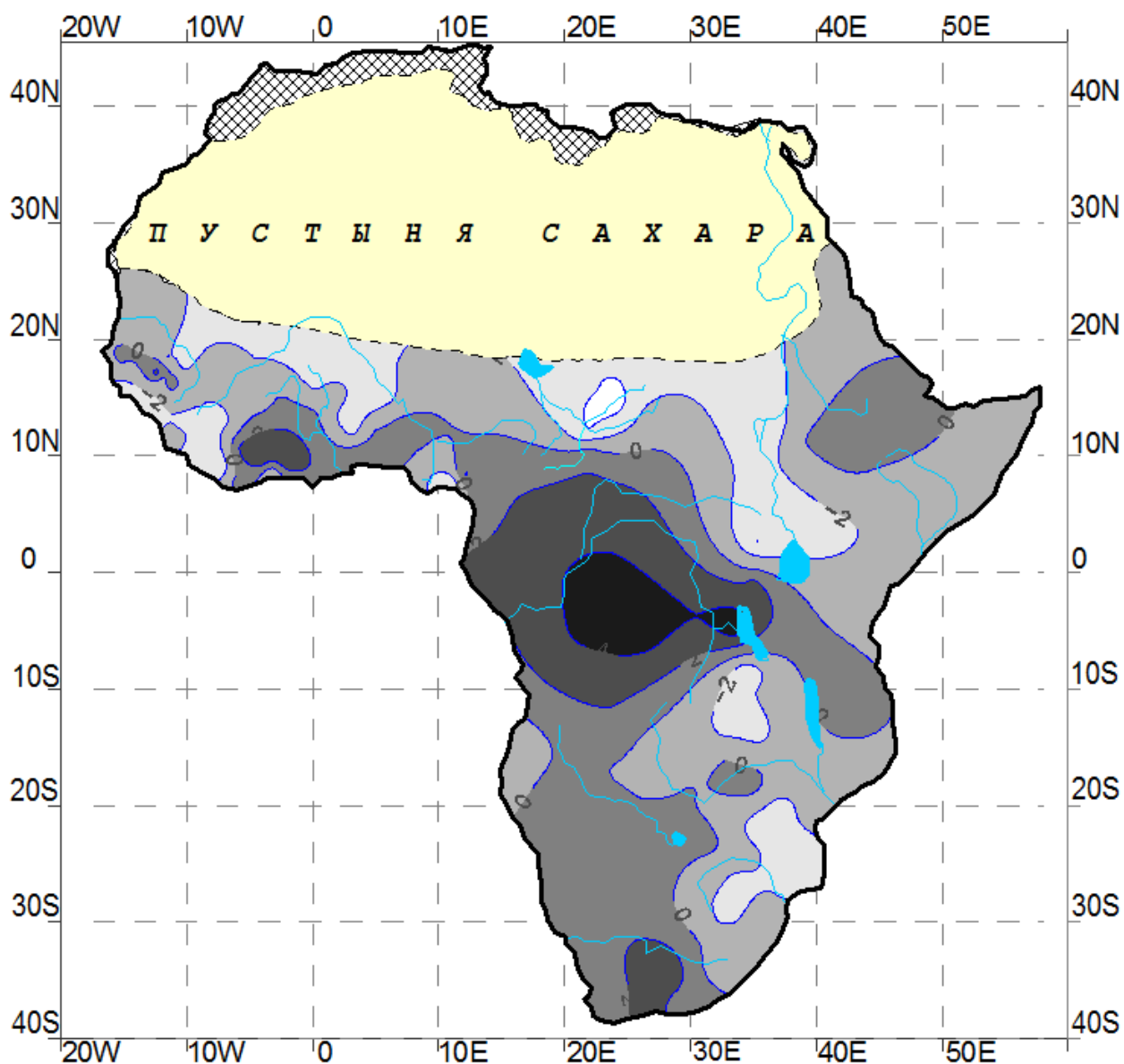


Рисунок 3.10 – Карта районов соотношения C_s/C_v суммарного годового испарения по территории Африки.

Выявлены области с сопоставимыми значениями отношения C_s/C_v . Отмечаются как положительные, так и отрицательные числа. Отношения C_s/C_v меняется от -4 до 4 . Отрицательные значения отмечаются на севере, северо-

востоке и юго-востоке. А положительные – в центре, юго-западе и на юге западной Африки.

Распределение коэффициента автокорреляции представлено на рисунке 3.11.

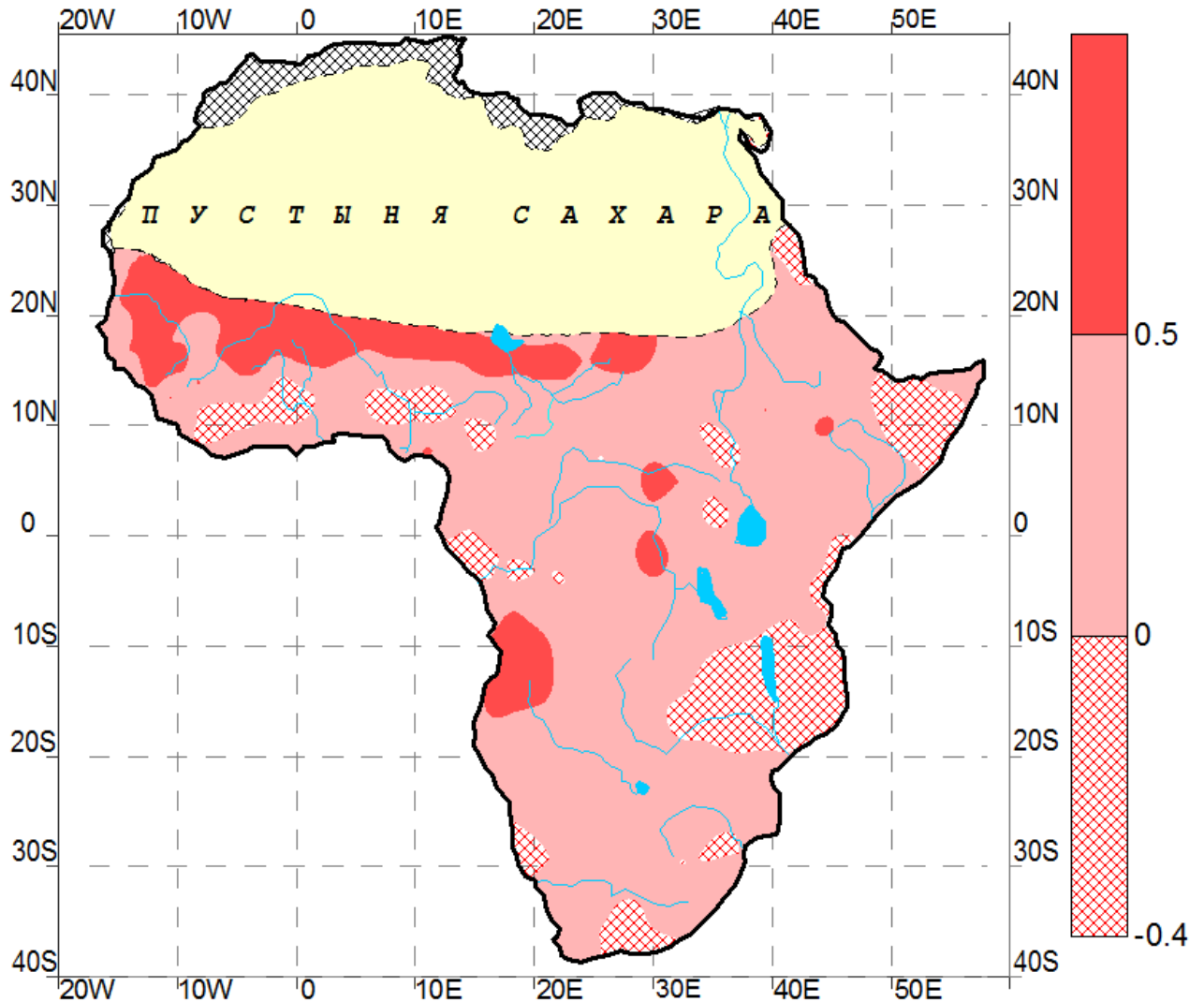


Рисунок 3.11 – Распределение коэффициента автокорреляции при годовой сдвиге ($r(1)$) суммарного годового испарения по территории Африки.

Анализируя данную карту можно сделать вывод о том, что не наблюдается однозначная закономерность изменения автокорреляции суммарного годового испарения по территории Африки. На большей части территории коэффициент автокорреляции при годовом сдвиге имеет

положительное значение. Но его отрицательные значения, от 0 до -0,40 локально распространены по всей территории. На серенной части западной Африки (и в бассейне озера Чад) наблюдается область с коэффициентами $r(1)$ больше 0,50. Такие большие значения $r(1)$ можно объяснить тем, что на этих территориях испарение стремится к испаряемости. Следовательно, все осадки (сопоставимые по величине от года к году), выпадающие в году, испаряются.

В заключение данной главы можно отметить, что произведена статистическая обработка рядов согласно нормативным рекомендациям. Результаты расчетов характеристик закартированы при 5 %-ом уровне значимости. Полученные карты будут использованы для параметризации модели сценарной оценки вероятностного распределения многолетнего годового испарения.

4 РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ ПРОГНОЗЫ И СЦЕНАРНЫЕ ОЦЕНКИ КРИВЫХ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ МНОГОЛЕТНЕГО ИСПАРЕНИЯ

В результате многочисленных исследований было установлено, что происходящие глобальные климатические изменения [4], наблюдаемые за последние три десятилетия, оказывают сильные воздействия на процесс формирования речного стока. Уменьшается сток во многих речных бассейнах, из-за возрастающей роли испарения с поверхности водосборов [77]. Усиливающаяся роль испарения, в свою очередь, приводит к неустойчивости решений модели формирования речного стока [78]. В работе показано [31], что для устойчивого описания математической моделей процесса речного стока в некоторых регионах Африки необходимо учитывать испарение в качестве второй фазовой переменной. Отсюда становится актуальной задача об оценке (как фактической, так и долгосрочной) испарения, которое вносит значительный вклад в процесс формирования стока с речных бассейнов Африки в текущем климате и наиболее вероятно будет играть существенную роль, в ожидаемом климате. Возникают следующие вопросы:

а) По какому методу оценить текущее суммарное годовое испарение в Африке на основе измеренных (фактических) оценок метеорологических элементов?

б) Какое испарение следует ожидать в будущем (сценарное испарение) в Африке в зависимости от реализации тех или иных климатических сценариев?

в) Каково сценарное вероятностное распределение многолетнего испарения в Африке?

Первый из этих трех основных вопросов был освещен во второй главе, а на последние два ответим в настоящей главе.

4.1 Методология сценарных оценок статистических характеристик испарения

В данном исследовании для долгосрочной оценки вероятностного распределения испарения будет апробирована методика, разработанная в РГГМУ и применяемая для оценки вероятностных распределений речного стока в новых ожидаемых климатических условиях. Правомерность использования этой методики связана с тем, что суммарное испарение с водосбора, также как и расход воды, включено в расходную часть уравнения водного баланса. Для Африки суммарное испарение – основная расходная составляющая, превышающее в несколько раз сток. Методика РГГМУ уже широко применяется к различным речным бассейнам Земного шара [27].

Математический аппарат методики РГГМУ

Динамическая основа этой модели была описана в пункте 1.2 (формула 1.1) при пояснении критерия устойчивости. Дифференциальное уравнение (1.1) можно переписать в следующем виде:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{k\tau}Q + \frac{\dot{X}}{\tau}, \quad (4.1)$$

где τ – эффективное время добегания (время релаксации);

Q – расход воды в замыкающем створе;

k – коэффициент стока (может быть постоянным или зависеть от метеофакторов или факторов подстилающей поверхности);

\dot{X} – внешнее воздействие в виде осадков на водосбор.

С вводом шумов в уравнение (4.1) получается следующее стохастическое уравнение:

$$dQ = \left[-(\bar{c} + \tilde{c})Q + (\bar{N} + \tilde{N}) \right] dt, \quad (4.2)$$

где $1/(k\tau) = \bar{c} + \tilde{c}$ и $\dot{X}/\tau = \bar{N} + \tilde{N}$ (\bar{c} и \bar{N} математические ожидания; \tilde{c} и \tilde{N} – белые шумы с интенсивностями $G_{\tilde{c}}$, $G_{\tilde{N}}$ и взаимной интенсивностью $G_{\tilde{c}\tilde{N}}$).

Уравнение (4.2) статистически эквивалентно уравнению ФПК, которым описывают эволюцию плотности вероятности ($p(Q; t)$) марковских случайных процессов:

$$\frac{\partial p(Q; t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial Q} (A(Q; t)p(Q; t)) + 0,5 \frac{\partial^2}{\partial Q^2} (B(Q; t)p(Q; t)), \quad (4.3)$$

где A и B – коэффициенты сноса и диффузии (они определяют форму кривой плотности вероятности распределения стока), которые определяются параметрами, входящими в уравнение (4.2):

$$A(Q, t) = -(\bar{c} - 0,5G_{\tilde{c}})Q - 0,5G_{\tilde{c}\tilde{N}} + \bar{N}; \quad B(Q, t) = G_{\tilde{c}}Q^2 - 2G_{\tilde{c}\tilde{N}}Q + G_{\tilde{N}}.$$

Частным случаем уравнения (4.3) для стационарных случайных процессов является уравнение Пирсона:

$$\frac{dp}{dQ} = \frac{Q - a}{b_0 + b_1Q + b_2Q^2} p, \quad (4.4)$$

где a, b_0, b_1, b_2 – постоянные коэффициенты.

Решением уравнения (4.4) является семейство кривых плотности вероятности Пирсона, используемые в СНиПе в гидрологии для

аналитических аппроксимаций эмпирических распределений стока. Постоянные коэффициенты, без всякого физического смысла, в этом уравнении подбираются так, чтобы аналитические кривые наилучшим образом соответствовали эмпирическим точкам. В случае уравнения ФПК (формула 4.3) параметры уравнения Пирсона приобретают физический смысл:

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

$$b_1 = G_{\bar{c}\bar{N}} / (2\bar{c} + G_{\bar{c}}), \quad b_2 = -G_{\bar{c}} / (2\bar{c} + G_{\bar{c}}).$$

Поэтому уравнение ФПК рассматривается как генетическая модель формирования стока. Физические параметры (\bar{c} , \bar{N} , $G_{\bar{c}}$, $G_{\bar{N}}$ и $G_{\bar{c}\bar{N}}$), которыми определяются коэффициенты сноса (A) и диффузии (B), зависят как от внутренних факторов бассейна (свойства подстилающей поверхности), так и от внешних факторов (например, климатические: температура, осадки, ...). Следовательно, наличие сценарных оценок климатических элементов позволяет оценить возможное сценарное распределение стока (в нашем случае испарения).

Для практического применения уравнение ФПК аппроксимируют системой дифференциальных уравнений для начальных моментов m_i ($i = 1, 4$):

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

$$dm_2/dt = -2(\bar{c} - G_{\bar{c}})m_2 + 2\bar{N}m_1 - 3G_{\bar{c}\bar{N}}m_1 + G_{\bar{N}}; \quad (4.5)$$

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

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

Решением системы уравнений (4.5) является матрица численных значений первых четырех моментов. Она позволяет определить все расчетные гидрологические характеристики, так как они связаны с моментами: норма стока (или испарения) $\bar{Q} = m_1$, коэффициент вариации $Cv = f(m_1, m_2)$, коэффициент асимметрии $Cs = f(m_1, m_2, m_3)$ и эксцесс $Eh = f(m_1, m_2, m_3, m_4)$.

При решении конкретной задачи сценарного оценивания испарения (или стока) систему дифференциальных уравнений (4.5) упрощают до расчетного упрощенного варианта на основании следующих соображений [51]:

- в практике гидрологических расчетов эксцесс (Eh) не учитывается, из-за небольшой продолжительности рядов, приводящей к большим погрешностям, при построении вероятностного распределения стоковых характеристик. Поэтому момент m_4 (четвертое уравнение в системе (4.5)) исключается;

- из-за низкой точности коэффициента асимметрии Cs (который определяется первыми тремя моментами) используется районное соотношение коэффициентов вариации и асимметрии; а не рассчитанный Cs . На этом основании также исключается третье уравнение из рассмотрения;

- с учетом того, что климатические сценарии имеют квазистационарный характер, т. е. без изменений за данный интервал времени (например, 2040 – 2069 гг.), за который заданы сценарные оценки (нормы) температуры воздуха, осадков и т. д. Следовательно, левые составляющие уравнений системы (4.5) приравняются к нулю ($dm_i/dt = 0$);

- ликвидируются внутренние и взаимные шумы системы (причины возникновения неустойчивости решений модели) для получения устойчивых решений в текущем и в ожидаемом климате; интенсивность внешнего (климатического) шума ($G_{\tilde{N}}$) принимается постоянной при изменении климата, так как в климатических сценариях оценки ее нет.

В результате вышеперечисленных допущений система имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} -\bar{c}m_1 + \bar{N} &= 0; \\ -\bar{c}m_2 + 2\bar{N}m_1 + G_{\tilde{N}} &= 0, \end{aligned} \tag{4.6}$$

где $\bar{c} = 1/k_E\tau$; $\bar{N} = \bar{X}/\tau$;

k_E – коэффициент испарения;

τ – время релаксации речного бассейна [для многолетнего испарения (или стока) $\tau = 1$ год];

$G_{\tilde{N}}$ – интенсивность внешнего шума;

\bar{X} – интенсивность осадков;

m_1, m_2 – первый и второй момент соответственно.

Перед использованием системы уравнений (4.6) для сценарной оценки вероятностных распределений многолетнего годового испарения Африки, необходимо проверить выполнения допустимых условий ее применимости и обосновать справедливость расчетов будущих состояний исследуемого процесса по рассматриваемой методике. Эти анализы делаются на основе имеющейся ретроспективной базы данных (измеренных или рассчитанных).

4.2 Проверка методики на ретроспективном материале

На данном этапе использовались ряды одновременно неоднородные (при трех разных уровнях значимости) как по математическому ожиданию (тест Стьюдента), так и по дисперсии (тест Фишера). Таких рядов выявлено 8

при 1 %-ом уровне значимости (у.з.), 17 при 5 %-ом у.з. и 21 при 10 %-ом у.з. В таблице 4.1 представлена информация об указанных рядах.

Таблица 4.1 – Список неоднородных рядов суммарного годового испарения в Африке по среднему значению (тест Стьюдента) и по дисперсии (тест Фишера)

№	Уровень значимости		
	1 %	5 %	10 %
1		Неод.	Неод.
56			Неод.
95			Неод.
104		Неод.	Неод.
105		Неод.	Неод.
110	Неод.	Неод.	Неод.
115			Неод.
116	Неод.	Неод.	Неод.
117		Неод.	Неод.
150*	Неод.	Неод.	Неод.
217			Неод.
241		Неод.	Неод.
252		Неод.	Неод.
261	Неод.	Неод.	Неод.
263	Неод.	Неод.	Неод.
289		Неод.	Неод.
295		Неод.	Неод.
297	Неод.	Неод.	Неод.
301		Неод.	Неод.
302	Неод.	Неод.	Неод.
335	Неод.	Неод.	Неод.
<p>Неод. означает одновременно неоднородный ряд по обоим критериям. * – сложность при прогнозировании (Станция расположена на территории пустыни Сахара).</p>			

Они были выбраны в связи с тем, что имеют две стационарные (однородные) половинки, которые неоднородны (по критериям Фишера и Стьюдента) относительно друг другу. Поэтому если применение методики к

ним даст удовлетворительные результаты, то можно ее с достоверностью применить ко всем другим (более однородным) рядам.

Представленная модель долгосрочной (сценарной) оценки (уравнение 4.6) основана на уравнении ФПК [6]. Это подразумевает, что она предназначена для простых марковских случайных процессов (ПМП). Последние по определению из [79] – это процессы без последствия, т. е. такие процессы, при которых распределения вероятностей в момент t_2 зависит от распределения в момент t_1 ($t_1 < t_2$) и не зависит от истории системы. Графически такие процессы характеризуются падением кривой автокорреляционной функции (АКФ) при первой (годовой) сдвиге по экспоненте (как видно из формулы 1.3). Поэтому для рядов, подготовленных для ретроспективных прогнозов, были рассчитаны автокорреляционные функции со сдвижкой до 10 лет. Коэффициент автокорреляции $r(\tau)$ характеризует связь ряда величин с этим же рядом, сдвинутым на некоторый интервал времени τ . Формула коэффициента автокорреляции при сдвиге членов ряда на один год ($r(1)$) имеет следующий вид:

$$r(1) = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_1) \cdot (x_{i+1} - \bar{x}_2) / \left[\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \cdot \sum_{i=2}^n (x_i - \bar{x}_2)^2 \right]^{0.5}, \quad (4.7)$$

где x_i – погодичные значения величины;

x_{i+1} – значения величины со сдвижкой на один год;

\bar{x}_1 и \bar{x}_2 – средние значения величин.

Рассчитанные таким образом автокорреляционные функции представлены в приложении Г. В качестве примера приведены АКФ для четырех рядов на рисунке 4.1.

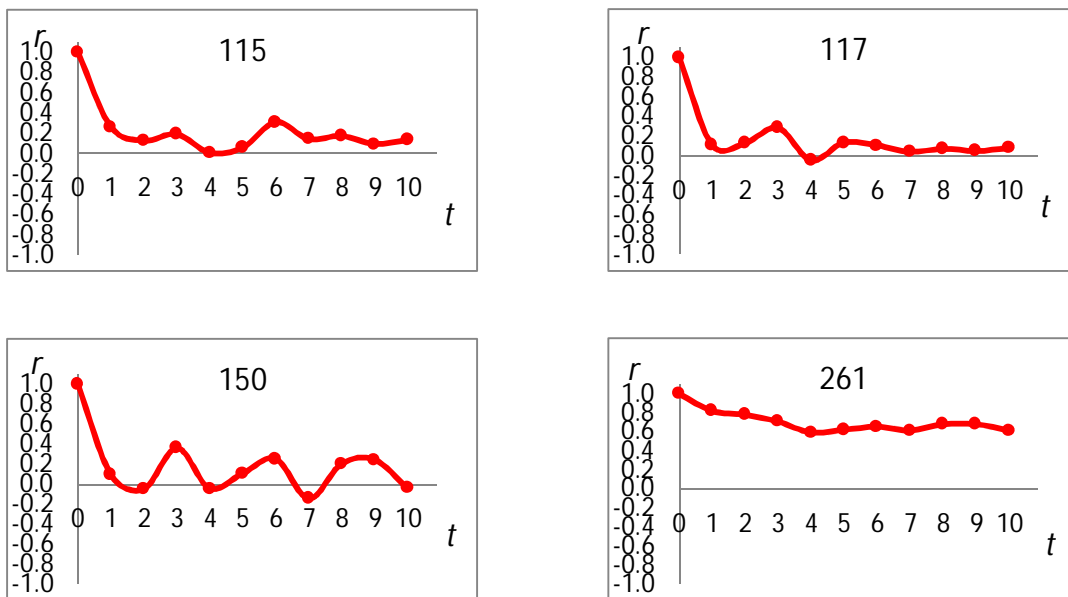


Рисунок 4.1 – Автокорреляционные функции рядов суммарного годового испарения в Африке.

Из представленных АКФ на рисунке 4.1 можно заметить их разнообразие. С одной стороны, для случаев 115 и 117, наблюдаем некое (даже если незначимое) значение коэффициента корреляции при годовой сдвиге. Связь же с более поздними периодами (за исключением периодов 6 и 3 для рядов 115 и 117 соответственно) значительно слабее и постепенно затухает, что подтверждает справедливость гипотезы о том, что изменение во времени суммарного годового испарения является простым марковским процессом. А с другой стороны, на последних двух графиках, наблюдаются совсем другие закономерности АКФ во времени. На графике 150, наблюдается некая цикличность, а на графике 261 – значимые коэффициенты автокорреляции до 10 лет (больше погрешности, которая составляет 0,10), что противоречит предыдущему выводу. В связи с этими противоречиями из анализа АКФ можно предположить невысокую оправдываемость ретроспективных прогнозов по модели ФПК.

Этап апробации методики для речных бассейнов Африки

Апробация методики основана на использовании ретроспективного материала. Для поверочных долгосрочных прогнозов использовался 21 неоднородный ряд испарения, т. е. ряды, две части которых максимально отличны друг от друга по однородности среднего и дисперсии (рассчитываются статистические оценки однородности по критерию Стьюдента и Фишера).

Алгоритм ретроспективных прогнозов характеристик испарения содержит следующие этапы:

Этап 1 – параметризация модели.

Ряды разбивали на две половинки. По одной половине делалась параметризация модели, т. е. по данным о годовых значениях испарения и осадков (\bar{N} – норма осадков за рассматриваемый период половинки ряда) рассчитались значения начальных моментов m_1 , m_2 и коэффициента вариации (Cv) и испарения (k_E). Далее определились параметр \bar{c} , обратный коэффициенту испарения, и обратным решением системы (4.6) – значение интенсивности климатического шума ($G_{\bar{N}}$).

Этап 2 – долгосрочный прогноз.

Зная $G_{\bar{N}}$ (из предыдущего этапа), норму осадков и параметр \bar{c} за вторую половину ряда, рассчитываются прогнозные значения моментов m_i , путем решения системы (4.6). От моментов уже можно перейти к прогнозным оценкам статистических характеристик вероятностного распределения (норма, Cv и Cs). Коэффициент асимметрии определяется по соотношению Cs/Cv , а коэффициент вариации по следующей формуле:

$$Cv = \frac{\sqrt{m_2 - m_1^2}}{m_1}. \quad (4.7)$$

Прогнозные значения коэффициента испарения (k_E) определяется по второй половине, на которую делаются прогнозы. Также известна зависимость k_E от климатических элементов (температуры воздуха и осадков) [51]. Подобные связи ($k_Q = f(T, X)$) для Арктического региона Российской Федерации были найдены Шевниной Е. В. [80, 81] при исследовании сценарного вероятностного распределения многолетнего максимального стока в данном регионе.

Предварительный анализ одномерных связей коэффициентов испарения с температурой воздуха и с осадками позволил получить следующий прототип ожидаемого уравнения множественной регрессии:

$$k_E = A + BX^m + DT^n, \quad (4.8)$$

где X, T – нормы осадков и температуры воздуха;

A, B, D – постоянные коэффициенты уравнения;

m, n – степенные показатели осадков и температуры воздуха.

Изменяя параметры m и n с постоянным шагом, определялись значения A, B и D методом наименьших квадратов. Критерием выбора оптимальных значений параметров служил коэффициент множественной корреляции. В расчетах уравнений использовались независимые от данного этапа данные (ряды коэффициентов испарения, осадков и температуры воздуха) по 314 станциям (данные 21 отобранной станции не рассматривались). В результате произведены расчеты для 36 разных вариантов комбинации m и n и получено следующее уравнение:

$$k_E = 0,33 - 4,03 \cdot 10^{-6} X^{1,5} + 0,13 T^{0,5}, \quad R = 0,96, \quad (4.9)$$

где R – коэффициент множественной корреляции.

Осуществлялись прямые (параметризация производилась по первой половине ряда, а прогноз давался на вторую половину) и обратные (параметризация производилась по второй половине ряда, и прогноз давался на первую половину) ретроспективные прогнозы по 21-ому ряду испарения. Прогнозы давались в трех вариантах: а) – при постоянном коэффициенте испарения ($k_E = \text{const}$); б) – при зависимости коэффициента испарения от температуры воздуха и осадков (формула (4.8), $k_E = f(T, X)$) и в) – с фактическим для того периода, на который давался прогноз, коэффициентом испарения ($k_E = k_{\text{факт}}$).

Результаты, полученные по ретроспективным прогнозам (норма, коэффициенты вариации и асимметрии испарения), позволили построить прогнозные кривые обеспеченности (в приложении Д), которые сравнивались с фактическими кривыми обеспеченности. Пример таких кривых показан на рисунке 4.2.

Результаты апробации методики показали, что на всех представленных уровнях значимости оправдалось 91,7% (почти 100 %) прогноза при использовании фактических (рассчитанных) значений коэффициента испарения и соотношения C_s/C_v за прогнозный период [82]. Это говорит о надежной работоспособности методики при правильном задании параметров.

Правомернее было бы использовать во всех прогнозах зарайонированных (снятых с карты) значений соотношения C_s/C_v . С учетом того, что в качестве ретроспективных рядов взяты самые неблагоприятные (в статистическом смысле) ряды, районные коэффициенты вариации и асимметрии сильно отличаются от рассчитанных значений. Поэтому степень согласия фактической и прогнозных кривых распределения, даже при использовании фактического значения коэффициента испарения, будет немного заниженной.

Оценка эффективности ретроспективных прогнозов (т. е. проверка соответствия прогнозных кривых фактической) производилась по критерию согласия Колмогорова и интегральному критерию согласия Пирсона (критерий χ^2 , рекомендуется при длине рядов не менее 50 значений) [41]. Число и доля оправдавшихся ретроспективных прогнозов при различных уровнях значимости (у.з.) показаны в таблице 4.2.

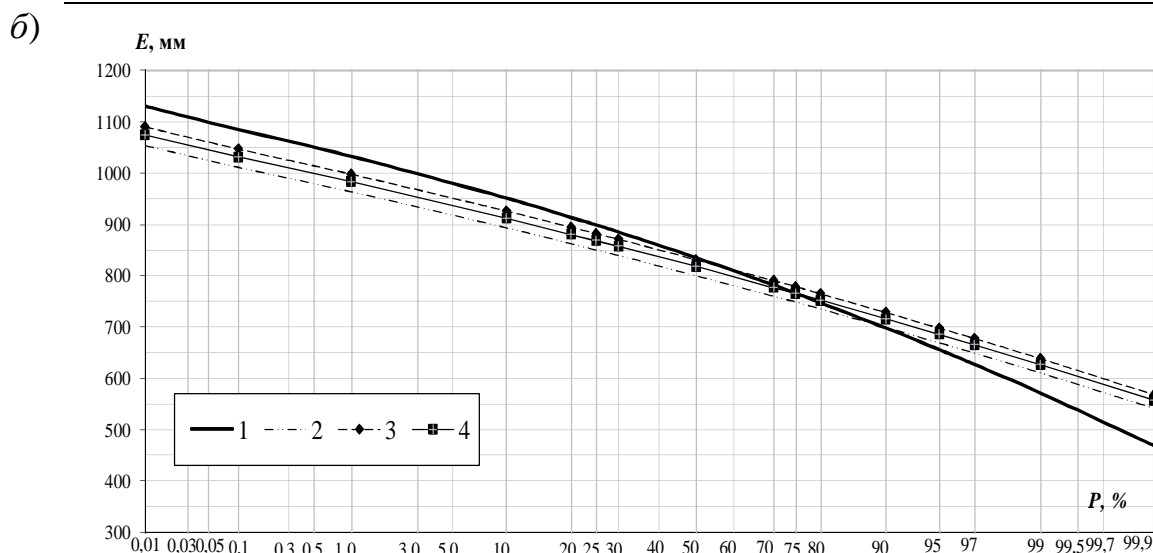
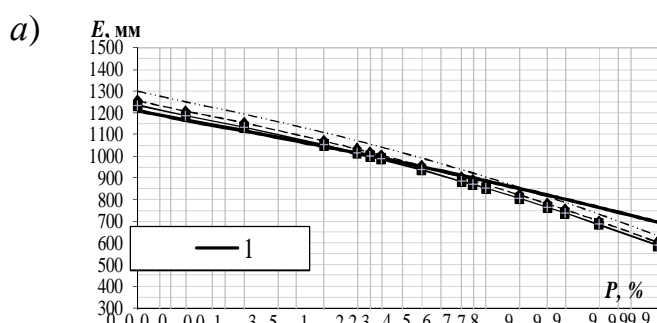


Рисунок 4.2 – Фактические (1) и прогнозные (2 – $k_E = \text{const}$, 3 – $k_E = k_{\text{факт}}$ и 4 – $k_E = f(X, T)$) кривые обеспеченности испарения с водосбора реки Charí, пост Vouso (станция № 116): а – прямой ретроспективный прогноз, б – обратный ретроспективный прогноз.

Таблица 4.2 – Результаты проверки оправдываемости ретроспективных прогнозов

Таблица 4.2А – По критерию Колмогорова

Оправдавшиеся прогнозы	1 % у.з.			5 % у.з.			10 % у.з.		
	$k_E = \text{const}$	$k_E = k_{\text{факт}}$	$k_E = f(X, T)$	$k_E = \text{const}$	$k_E = k_{\text{факт}}$	$k_E = f(X, T)$	$k_E = \text{const}$	$k_E = k_{\text{факт}}$	$k_E = f(X, T)$
число	31	35	35	29	35	35	29	32	34
в % от общего числа	77,5%	87,5%	87,5%	72,5%	87,5%	87,5%	72,5%	80,0%	85,0%

Таблица 4.2Б – По критерию Пирсона (критерий χ^2)

Оправдавшиеся прогнозы	1 % у.з.			5 % у.з.			10 % у.з.		
	$k_E = \text{const}$	$k_E = k_{\text{факт}}$	$k_E = f(X, T)$	$k_E = \text{const}$	$k_E = k_{\text{факт}}$	$k_E = f(X, T)$	$k_E = \text{const}$	$k_E = k_{\text{факт}}$	$k_E = f(X, T)$
число	17	29	26	16	25	21	14	22	21
в % от общего числа	42,5%	72,5%	65,0%	40,0%	62,5%	52,5%	35,0%	55,0%	52,5%

Из таблицы 4.2 видно, что с увеличением уровня значимости доля оправдавшихся прогнозов уменьшается. Можно заметить, что на всех представленных уровнях значимости доля оправдавшихся ретроспективных прогнозов по критерию Колмогорова намного превышает число оправдавшихся прогнозов по критерию Пирсона, который является более «жестким» критерием. Также на всех у.з. для обоих критериев максимальная оправдываемость ретроспективных прогнозов наблюдается при использовании фактического значения коэффициента испарения (до 87,5 %, в таблице 4.2А). В целом оправдываемость при использовании функциональной зависимости коэффициента испарения от метеоэлементов близка к оправдываемости при использовании фактического коэффициента испарения.

В результате проделанной на данном этапе работы можно сказать, что выполненные ретроспективные прогнозы показали возможность использования методики РГГМУ долгосрочной оценки стоковых характеристик для испарения.

4.3 Сценарные оценки суммарного испарения с речных бассейнов Африки

При оценивании возможного будущего режима испарения по территории Африки были использованы сценарные оценки норм осадков и температуры воздуха четвертого доклада (*CMIP4 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 4*) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (*IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*). Использованные сценарные оценки метеорологических элементов получены с сайта Центра распространения данных (*DDC – Data Distribution Centre*) [83].

В данном докладе перечислены восемь сценариев изменения климата, основанных на возможных характерах социально-экономического роста

населения Земли. Для определения сценарных оценок многолетнего суммарного годового испарения были использованы данные о норме осадков и температуры воздуха следующих сценариев [51]:

– *Commit*: сценарий, который предполагает, что скорость изменения концентрации парниковых газов остается на уровне 2000 года;

– *SRA1B*: сценарий очень быстрого экономического развития и роста численности населения; максимум достигается в середине столетия и после этого снижается, так как развиваются новые и более эффективные технологии с альтернативными источниками энергии;

– *SRA2*: здесь предполагается, что увеличение численности населения на Земле будет происходить непрерывно с локальным экономическим ростом, который приведет к медленному развитию новых технологий;

– *SRB1*: сценарий похожий на *SRA1B*, но с еще более быстрым экономическим развитием и ростом численности населения.

По каждому из вышеперечисленных сценариев использовались данные о норме температуры воздуха и осадков за период с 2040 по 2069 г. по модели *UKMO-HADCM3* Центра Хедли по климатическим прогнозам и исследованиям (Великобритания). Для осуществления оценки возможного будущего режима испарения по территории Африки, исходя из выходов по ретроспективным прогнозам, был выбран вариант задания нормы коэффициента испарения на прогнозный период зависящей от сценарных оценок (норм) температуры воздуха и осадков ($k_E = f(T, X)$). В результате расчетов были получены по прогностической модели (формула 4.6) значения моментов m_1 , m_2 и, следовательно, ожидаемые нормы испарения, коэффициентов вариации (C_v) и асимметрии (C_s) за период с 2040 по 2069 гг. Эти оценки представлены в приложении Е. В исследовании также построены карты сценарных оценок основных статистических характеристик, как для метеорологических рядов (температура воздуха и осадки), так и для рядов суммарного годового испарения (см. приложение Ж). Для примера карта

нормы суммарного испарения по климатическому сценарию *Commit* представлена на рисунке 4.3.

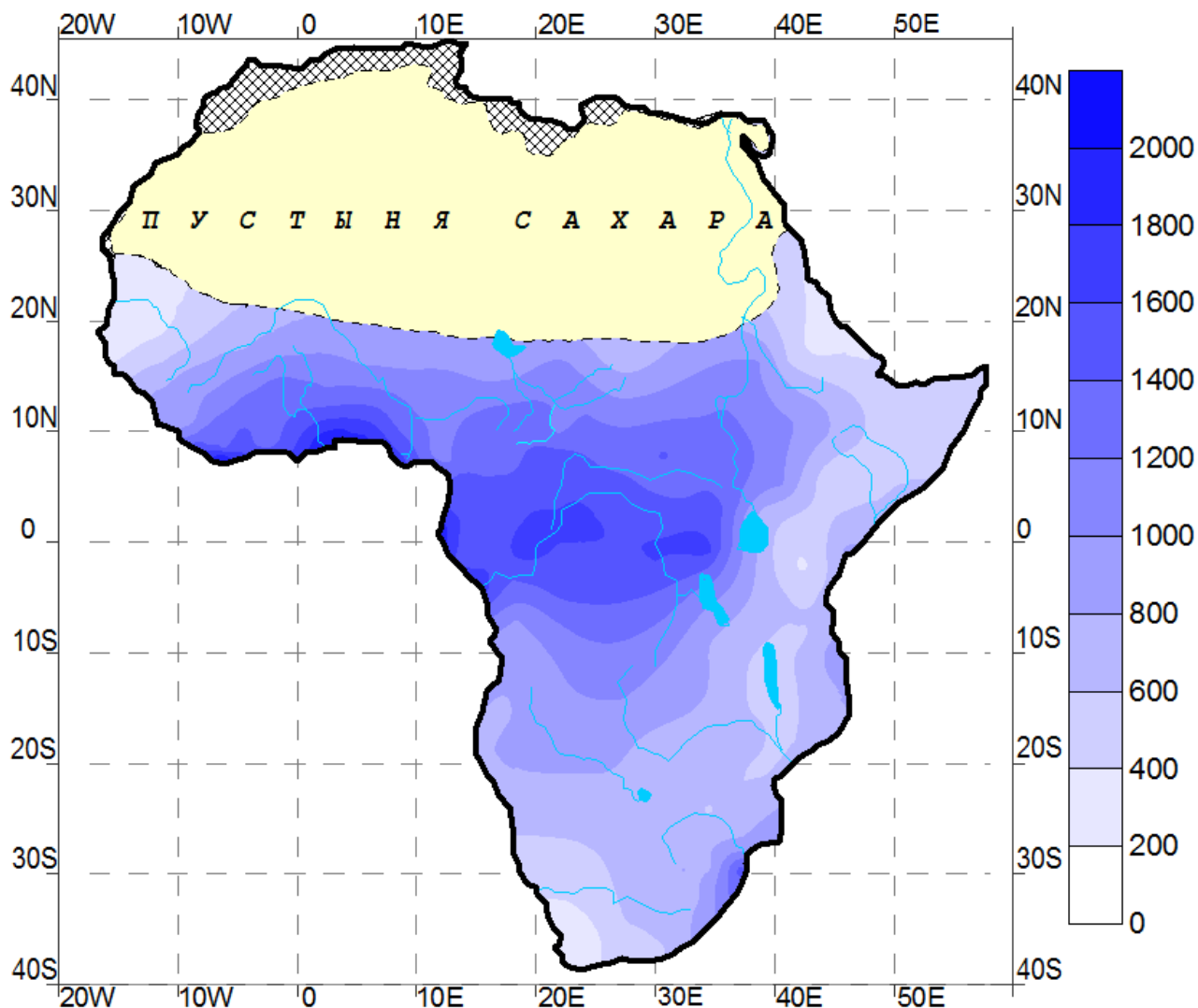


Рисунок 4.3 – Карта распределения нормы суммарного испарения (мм) по сценарию *Commit*.

Анализ карты на рисунке 4.3 показывает увеличение нормы объема суммарного испарения по сценарию *Commit* относительно фактической за период с 1951 по 1990 г. (рисунок 3.7). Увеличение более заметно в центральной части материка, например, среднее по всей территории слоя фактического испарения составляет 797 мм/год, сценарного – 879 мм/год, что больше на 10,3 %.

Для наглядности изменения суммарного испарения по территории были рассчитаны относительные изменения $\Delta E = (E_{\text{сцен}} - E_{\text{факт}})100\% / E_{\text{факт}}$, где $E_{\text{факт}}$, $E_{\text{сцен}}$ – фактическая и сценарная нормы суммарного испарения соответственно. Географические распределения по территории Африки относительного изменения испарения при климатическом сценарии *Commit* представлены на рисунке 4.4.

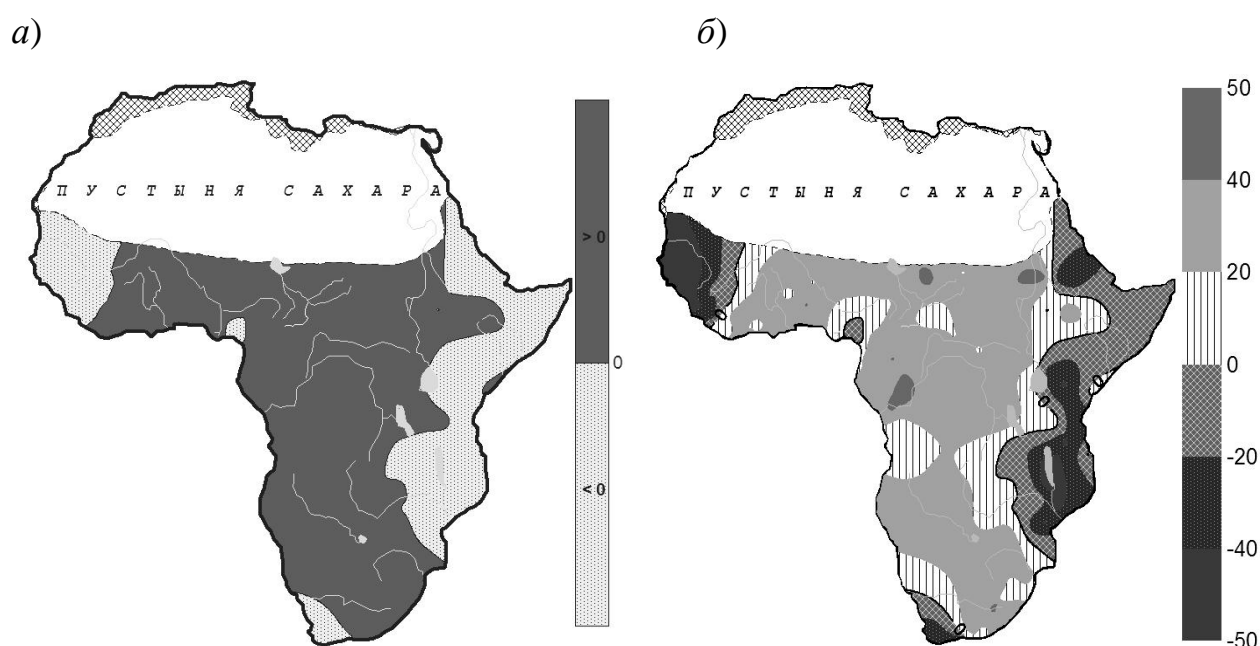


Рисунок 4.4 – Карты-схемы распределения относительного изменения суммарного испарения по территории Африки при климатическом сценарии *Commit*: *а* – распределение изменения испарения по знаку; *б* – распределение доли ожидаемых изменений испарения.

На рисунке 4.4, *а* показано распределение изменения испарения по знаку. Выделяется хорошо выраженная географическая закономерность: ожидается уменьшение объема испарения на западной части Африки (в бассейне реки Сенегал), а также в восточной и в небольшой части Южной Африки; положительное отклонение (увеличение нормы испарения) наблюдается на большей части, примерно 2/3, территории. На рисунке 4.4, *б*

показано территориальное распределение доли ожидаемых изменений испарения, составляющих от -50% до $+50\%$.

Сравнение осредненных по территории статистических характеристик фактического и сценарных вероятностных распределений произведено в таблице 4.3.

Анализ таблицы 4.3 показывает, что например, для климатического сценария *Commit* в среднем по территории Африки при увеличении норм температуры воздуха на $6,7\%$ и осадков на $13,1\%$, объем испаряющейся воды увеличится на $10,2\%$, а временная изменчивость при этом (т. е. коэффициент вариации) уменьшится на $20,7\%$. Коэффициент испарения почти не меняется, а самое значительное изменение наблюдается для коэффициента асимметрии, который уменьшится в три раза.

Примерно такой же вывод можно сделать для других рассмотренных климатических сценариев, так как по всем сценариям оценки температуры воздуха и осадков мало отличаются друг от друга, от 3% до 6% .

Таблице 4.3 – Средние значения по территории гидрометеорологических характеристик Африки

Характеристика	Фактические оценки с 1951 по 1990	Сценарные оценки 2040 – 2069							
		Значение				Относительное изменение Δ , %			
		<i>Commit</i>	<i>SRA1B</i>	<i>SRA2</i>	<i>SRB1</i>	<i>Commit</i>	<i>SRA1B</i>	<i>SRA2</i>	<i>SRB1</i>
Норма температуры воздуха T , °C	23,7	25,3	27,0	27,1	26,4	6,7	14,0	14,2	11,6
Норма осадков X , мм	1049	1187	1149	1193	1156	13,1	9,5	13,8	10,2
Норма суммарного испарения E , мм	797	879	891	901	882	10,2	11,7	13,0	10,6
Коэф-т испарения k_E	0,84	0,82	0,85	0,84	0,84	-1,7	1,4	0,2	0,4
Коэф-т вариации годового испарения C_v	0,17	0,14	0,15	0,15	0,15	-20,7	-13,5	-15,1	-12,5
Коэф-т асимметрии годового испарения C_s	0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-309,7	-244,3	-235,9	-252,2

Ожидается увеличение среднего по территории нормы суммарного годового испарения в пределах +15 % по всем сценариям, и уменьшение ее вариации для наихудшего случая на –20,7 %. А, следовательно, нужно оценить изменения ожидаемых квантилей (обеспеченных значений), которые являются самыми важными характеристиками при решении многих практических задач. Для этого были построены кривые обеспеченности (фактическая и сценарные), используя осредненные по всей территории значения характеристик, которые представлены на рисунке 4.5. Рассчитанные обеспеченные значения суммарного годового испарения представлены в таблице 4.3.

Таблице 4.4 – Обеспеченные значения (фактические и сценарные) суммарного годового испарения, в мм

<i>P</i> , %	Фактическое	Климатические сценарии			
		<i>Commit</i>	<i>SRA1B</i>	<i>SRA2</i>	<i>SRB1</i>
0,01	1321	1324	1386	1394	1377
0,1	1231	1249	1302	1310	1294
1,0	1124	1159	1202	1211	1193
2,0	1027	1077	1110	1120	1102
10	976	1034	1063	1072	1054
20	914	981	1004	1014	995
25	891	961	981	991	972
30	870	943	961	971	952
50	797	879	891	902	882
70	725	816	821	832	812
75	704	797	801	812	792
80	680	776	778	789	769
90	619	722	718	730	709
95	570	678	669	681	660
97	536	648	636	649	627
99	474	592	575	588	565
99,9	370	496	470	484	460

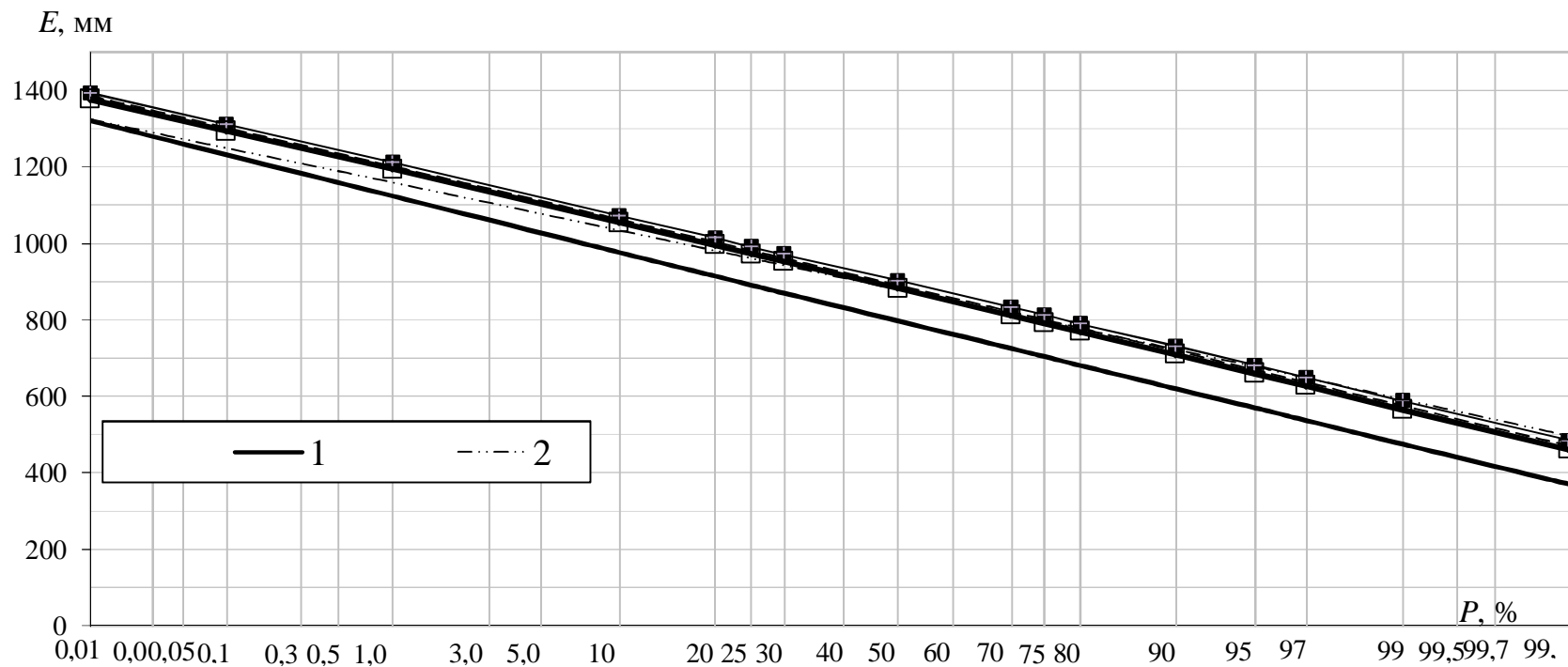


Рисунок 4.5 – Осредненные по территории фактическое (1) и прогнозные (2 – *Commit*, 3 – *SRA1B*, 4 – *SRA2* и 5 – *SRB1*) кривые обеспеченности суммарного годового испарения с водосборов рек Африки.

Для всех выбранных сценариев ожидается небольшое увеличение испарение 0,01 %-ой обеспеченности. Отклонения относительно фактических значений составляет от 0,3 % (при *Commit*) до 5,5 % (при *SRA2*). А с обеспеченности 0,1 % по 99,9 % наблюдается также увеличение испарения, причем отклонения от фактических значений только растут. Так для 0,1 %-ой обеспеченности оно меняется 1,4 % до 6,4 %. Для 1 %-ой – от 3,2% до 7,7 % и для 10 %-ой – от 5,9 % до 9,9 %. Максимальное отклонение наблюдается для минимальных значений: от 24,4 % до 34,1 % при 99,9 %-ой обеспеченности.

Подводя общий вывод можно сказать, что при осуществлении оценки возможного будущего режима испарения по территории Африки выявлены территории с ожидаемым увеличением/уменьшением нормы суммарного испарения с речных бассейнов Африки. В среднем по территории норма испарения увеличится примерно на 10,2 % – 13,0 % при изменении климата по сценариям *Commit*, *SRA1B*, *SRA2* и *SRB1*. Обеспеченные значения также увеличатся. Важно отметить, что отклонения малообеспеченных значений меньше чем для нормы, т. е. они менее чувствительны к изменениям климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения исследования получены следующие результаты:

1. Создана региональная база данных для Африки, включающая многолетние ряды по годовой сумме осадков и среднегодовой температуре воздуха на 356 гидрометеорологических станциях. Продолжительность рядов составляет 40 лет и период наблюдения с 1951 по 1990 г.

2. Был найден наилучший метод оценки фактического суммарного испарения с речных бассейнов Африки из множества существующих методов. Таковым оказался метод Тюрка, который дает примерно такие же значения испарения, как и метод водного баланса, который применим для Африки в его классическом виде по причине из глубокого залегания подземных вод и незначительности других видов потери воды.

3. Сгенерированы ряды суммарного годового испарения, выполнена проверка их на стационарность (однородность) по статистическим критериям Фишера и Стьюдента. Рассчитаны основные статистические характеристики испарения, которые закартированы и проанализированы. Основным выводом отсюда является то, что наблюдается примерно широтное изменение характеристик суммарного испарения по территории Африки.

4. Выполнены ретроспективные прогнозы, в процессе которых получена для Африки региональная зависимость нормы коэффициента испарения от норм суммы годовых осадков и среднегодовой температуры воздуха.

5. Выполнены долгосрочные сценарные оценки характеристик вероятностного распределения суммарного годового испарения на основе ожидаемых оценок температуры воздуха и осадков для четырех климатических сценариев. Проведено сравнение ожидаемых сценарных и фактических оценок характеристик испарения, в результате чего выявлена четкая географическая закономерность их повышения и понижения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Бавина, Л. Т. Испарение и сток с неосушенных болот в годы с различной увлажненностью [Текст] // Труды государственного гидрологического института, 1979 г., выпуск 261.– С. 61–73.

2 Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий [Текст] // Под ред. С. В. Сольского.– СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2010.– 115 с.

3 Основные требования по составу и объему изысканий и исследований при выборе пункта и площадки АС [Текст] // Атомэнергопроект.– М.: 2000 г.

4 *The IPCC Assessment reports* [Электронный ресурс] // *IPCC*.– 2009.– Режим доступа: <http://www.ipcc.ch> (дата обращения 09.02.2015).

5 Гусакова М. А., Карлин Л. Н. Оценка вклада парниковых газов, водяного пара и облачности в изменение глобальной приповерхностной температуры воздуха [Текст] // Метеорология и гидрология, 2014, № 3.– С. 19–26.

6 Коваленко, В.В. Частично инфинитная гидрология [Текст] // В. В. Коваленко.– СПб.: изд. РГГМУ, 2007.– 230 с.

7 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. Влияние климатической нормы приземной температуры воздуха на фрактальную размерность рядов многолетнего речного стока [Текст] // Доклады Академии наук. - 2011. - Т. 439, N 6, август.– С. 815-81

8 Коваленко, В. В. Теоретическое и экспериментальное обоснование зависимости фрактальной размерности рядов многолетнего стока от климатической нормы приземной температуры воздуха [Текст] // Доклады Академии наук. - 2012. - Т. 444, № 6, июнь.– С. 666-670.

9 Комлев, А. М. Закономерности формирования и методы расчета речного стока [Текст] // А. М. Комлев.– Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002.– 157 с.

10 Иофин, З. К. Мировой водный баланс, водные ресурсы Земли, водный кадастр и мониторинг: учебное пособие [Текст] // З. К. Иофин.– Вологда: ВоГТУ, 2009.– 141 с.

11 Африка [Электронный ресурс] // Викизнание, 2014.– Режим доступа: <http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Африка> (дата обращения 05.09.2013).

12 Большая Советская Энциклопедия. Выпуск 3. Том 2. [Текст] // Главный редактор: академик А.М. Прохоров.– 1970 г.

13 *Communiqué de presse N° 956* [Электронный ресурс] // *Organisation Météorologique Mondiale (ОММ)*, 2012.– Режим доступа:

http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_956_fr.html
(дата обращения 11.09.2013).

14 Моргунов, В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений [Текст] // В. К. Моргунов.– Ростов н/Д.: Феникс, 2005.– 331 с.

15 Дроздов О. А., Васильев В. А., Кобышева Н. В., Раевский А. Н., Смекалова Л. К., Школьный Е. П. Климатология [Текст] // О. А. Дроздов.– Ленинград.: Гидрометеиздат, 1989.– 568 с.

16 *Les milieux en Afrique* [Электронный ресурс] // *Assistance scolaire personnalisée (ASP)*, 2014.– Режим доступа:

http://www.assistancescolaire.com/enseignant/elementaire/ressources/base-documentaire-en-geographie/les-milieux-en-afrique-africa_environ
(дата обращения 17.11.2013).

17 *Sahara* [Электронный ресурс] // *Britannica*, 2015.– Режим доступа: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/516375/Sahara> (дата обращения 15.09.2013).

18 *Isotopes de l'environnement dans le cycle hydrologique* [Текст] // *Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)*.– VIENNE: AIEA, 2008.– 588 p.

19 *Pierre Boilley, Jean-Pierre Chrétien. Histoire de l'Afrique ancienne* [Текст] // *Année d'édition: 2010, 65 pages.*

20 Полякова Л. С., Кашарин Д. В. Учебное пособие «Метеорология и климатология» [Текст] // Л. С. Полякова.– Новочеркасск НГМА, 2004.– 107 с.

21 Муха В. Д., Картамышев Н. И., Муха Д. В. Агрочвоведение [Текст] // Под ред. В. Д. Мухи. – М.: КолосС, 2003.– 528 с.

22 Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли [Текст] // Под реда. В. И. Корзун.– Л.: Гидрометеиздат, 1974.– 637 с.

23 Дмитриевский Ю. Д., Олейников И. Н. Озёра Африки [Текст] // Ю. Д. Дмитриевский.– Л.: Гидрометеиздат, 1979.– 184 с.

24 Озеро [Электронный ресурс] // Материал из Википедии, 2014.– Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Озеро> (дата обращения 11.09.2013).

25 *Jean-Claude Olivry, Alfred Chouret Gabriel, Vuillaurre, Jacques Lemoalle, Jean-Pierre Bricquet. Hydrologie du lac Tchad* [Текст] // *Jean-Claude Olivry.– Paris: ORSTOM, éditions, 1996.– 301 p.*

26 *Lekan Oyebande (2001) Water problems in Africa – how can the sciences help?* [Текст] // *Hydrological Sciences Journal*, 46:6, 947-962.

27 Коваленко, В. В. К методике прогноза двухмерных вероятностных распределений многолетнего стока и испарения [Текст] // Метеорология и гидрология, 2014, № 2, с. 78–84.

28 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Громова В. С., Девятов В. С., Хамлили А. Диагностирование неустойчивости формирования и фрактальной размерности многолетних рядов летне-осенней межени восточной Сибири методами частично инфинитной гидрологии // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2010, № 13.– С. 30–39.

29 Коваленко В. В., Хаустов В. А. Критерии устойчивого развития гидрологических процессов и картирование зон ожидаемых аномалий параметров годового стока рек СНГ при антропогенном изменении климата [Текст] // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 12. – С. 96–102.

30 Куасси, Б. Г. А. Фрактальная диагностика годового стока Западной Африки [Текст] // Диссер. на соиск. канд. тех. наук, спец. 25.00.27, СПб., РГГМУ, 2008.– 142 с.

31 Диавара Х., Дехтярев А. Устойчивость формирования многолетнего стока и фрактальная диагностика рядов расхода воды и испарения африканского континента [Текст] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета.– СПб.: РГГМУ, 2015. № 38. С 51-59.

32 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Викторова Н. В. Практикум по дисциплине «Моделирование гидрологических процессов. Часть II. Стохастические модели (на базе языка C++)». Учебное пособие [Текст] // В. В. Коваленко.– СПб.: изд. РГГМУ, 2012.– 248с.

33 Коваленко В. В., Викторова Н. В., Гайдукова Е. В. Моделирование гидрологических процессов [Текст] // В. В. Коваленко.– СПб.: изд. РГГМУ, 2006.– 559 с.

34 Коваленко, В. В. Новые явления и закономерности формирования речного стока. – СПб.: изд. РГГМУ, 2013.– 172 с.

35 Коваленко, В. В. Метод характеристик в частично инфинитной гидрологии [Текст] // В. В. Коваленко.– СПб.: изд. РГГМУ, 2012.– 136 с.

36 Коваленко, В. В. Обеспечение устойчивости моделирования и прогнозирования речного стока методами частично инфинитной гидрологии [Текст] // В. В. Коваленко.– СПб.: изд. РГГМУ, 2011.– 107 с.

37 *Kovalenko V., Gaidukova E., Kachalova A. An opportunity of application of excess factor in hydrology* [Электронный ресурс] // *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9, 13635–13649, 2012/.– Режим доступа: www.hydrology-earth-syst-sci-discuss.net/9/13635/2012/ (дата обращения 04.03.2013).

38 Коваленко, В. В., Частично инфинитное моделирование процесса формирования речного стока [Текст] // В. В. Коваленко.– СПб.: изд. РГГМУ, 2004.– 198 с.

39 Расходы воды избранных рек мира. Том II (часть II). Месячные и годовые расходы воды [Текст] // ЮНЕСКО.– СПб.: Гидрометеиздат, Юнеско, 1993.– 600 с.

40 Владимиров, А. М. Гидрологические расчеты [Текст] // В. А. М. Владимиров.– Л.: Гидрометеиздат, 1990.– 368 с.

41 Сикан, А. В. Статистические методы обработки гидрологической Информации [Текст] // А. В. Сикан.– СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 279 с.

42 *Earth System Research Laboratory / Physical Sciences Divisions* [Электронный ресурс] // *U.S. Department of Commerce / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, 2013.– Режим доступа: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data.html> (дата обращения 07.11.2013).

43 *Takens F. Detecting strange attractors in turbulence* [Текст] // *Lect. Notes in Math. Berlin: Springer*. 898 (1981). P. 336–381.

44 Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики [Текст] // Г. Г. Малинецкий.– М.: Эдиториал УРСС, 2000.– 336 с.

45 «Способ определения фрактальной размерности рядов многолетнего речного стока» Коваленко В. В., Гайдукова Е. В. № 2012123537/28/035838 от 06.06.2012.

46 Самохин А. А., Соловьева Н. Н., Догановский А. М. Практикум по гидрологии [Текст] // А. А. Самохин.– Л.: Гидрометеиздат, 1980.– 296 с.

47 Кафедра динамики атмосферы и космического землеведения (ДАКЗ) [Электронный ресурс] // РГГМУ, 2010.– Режим доступа: <http://meteo.rshu.ru/p65.htm> (дата обращения 05.04.2010).

48 Хамлили А. Устойчивость моделей формирования многолетнего годового стока Северо-Западной Африки и долгосрочная оценка его статистических параметров при климатических изменениях [Текст] // Диссер. на соиск. канд. тех. наук, спец. 25.00.27, СПб., РГГМУ, 2011.– 157 с.

49 Соловьева, Ф. Л. Повышение устойчивости вероятностных распределений многолетнего годового стока при прогнозировании

долгосрочных его изменений (на примере Европейской территории России)) [Текст] // Диссер. на соиск. канд. тех. наук, спец. 25.00.27, СПб., РГГМУ, 2009.– 131 с.

50 Ибраев Т. И., Ли М. А. К вопросу математического моделирования водохозяйственных систем аридной зоны [Текст] // Материалы научно-практической конференции «Применение математического моделирования и информационных технологий в исследовании социальных проблем».– Астана: НИИ ЭИТТ, 2011.– 298 с.

51 Коваленко В. В. и др. Методические рекомендации по оценке обеспеченных расходов проектируемых гидротехнических сооружений при неустановившемся климате [Текст] // Под ред. В. В. Коваленко.– СПб. Изд. РГГМУ, 2010.– 51 с.

52 Методы изучения и расчета водного баланса [Текст] // Под ред. Г.А. Плиткина.– Л.: Гидрометеиздат, 1981.– 394 с.

53 Будыко, М. И. Испарение в естественных условиях [Текст] // М. И. Будыко.– Л.: Гидрометиздат, 1948.– 136 с.

54 Соколовский, Д. Л. Речной сток [Текст] // Д. Л. Соколовский.– Л.: Гидрометеиздат, 1968.– 539 с.

55 Константинов, А. Р. Испарение в природе [Текст] // А. Р. Константинов.– Л.: Гидрометеиздат, 1968.– 532 с.

56 *André Musy, Christophe Higy Hydrologie: Une science de la nature, Tome 1* [Текст] // *André Musy.– Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*, 2004.– 314 p.

57 *Roger Lambert Geographie du cycle de l'eau* [Текст] // *Roger Lambert .– Presses Universitaires du Mirail*, 1996.– 439 p.

58 *Allen Richard G., Pereira Luis S., Raes Dirk, Smith Martin Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)* [Текст] // *FAO, Irrigation and Drainage, Paper N° 56*, 2006.– 300 p.

59 Омболо Огюст Оценка годового стока Камеруна в современных условиях и в перспективе его антропогенных изменений для целей оптимизации численности гидрологической сети [Текст] // Диссер. на соиск. канд. тех. наук, спец. 11.00.07, СПб., РГГМУ, 1999.– 120 с.

60 Рождественский А. В., Ежов А. В., Сахарюк А. В. Оценка точности гидрологических расчетов [Текст] // А. В. Рождественский.– Л.: Гидрометеоиздат, 1990.–276 с.

61 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик [Текст] // Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.– 73 с.

62 Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. [Текст] // С. А. Айвазян.– М.: Финансы и статистика, 1983.– 471 с.

63 Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО): Руководство по климатологической практике. 2014.–147 с.

64 В. Trewin *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate.*– Geneva: WMO, 2007.–130 p. (С англ.: Роль климатологических норм в изменяющемся климате, WMO/TD-№ 1377).

65 Рождественский А. В., Лобанова А. Г. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. «Государственный гидрологический институт» ГУ «ГГИ» [Текст] // Под ред. Проф. А. В. Рождественского.– СПб.: Изд-во Нестор-История, 2010.– 162 с.

66 Малинин, В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации [Текст] // В. Н. Малинин.– С.-П.: Изд-во РГГМУ, 2008.– 408 с.

67 Магрицкий, Д. В. Речной сток и гидрологические расчеты: практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ [Текст] // Д. В. Магрицкий.– М.: Изд-во Триумф, 2014.– 184 с.

68 Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО): Руководство по гидрологической практике. 1994.– 808 с.

69 Переладова, Л. В. Речной сток и гидрологические расчеты: Учебно-методический комплекс для студентов, обучающихся по специальности «Гидрология» [Текст] // Л. В. Переладова.– Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2012.– 42 с.

70 Антохина, Е. Н. Водный режим рек Европейской территории России и его изучение на основе модели формирования стока [Текст] // Автореферат диссер. на соиск. канд. геогр. наук, спец. 25.00.27, Москва, МГУ, 2012.– 27 с.

71 Торопов П. А., Терентьев Б. А. Гидрометеорологический мониторинг в экосистемах ООПТ Алтае-Саянского экорегиона. Методическое пособие [Текст] // П. А. Торопов.– Всемирный фонд дикой природы (WWF России). Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона».– М., 2011.– 132 с.

72 Универсальный непоисковый справочник “WhoYOUgle” [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://whoyougle.ru/place/distance/> (дата обращения 21.11.2014).

73 Иванова И. А., Чеканцев В. А. Решение геологических задач с применением программного пакета Surfer: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология» [Текст] // сост. И. А. Иванова, В. А. Чеканцев.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.– 92 с.

74 Силкин К. Ю. Гоеинформационная система Golden Software Surfer 8 / Учебно-методическое пособие для вузов [Текст] // К. Ю. Силкин.– Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008.– 66 с.

75 Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика: теория и практика [Текст] // под ред. Р. В. Арутюняна.– Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН.– М.: Наука, 2010.– 327 с.

76 Эдельштейн, К. К. Гидрология материков / Учеб. пособие для студ. вузов [Текст] // К. К. Эдельштейн.– М.: Издательский центр «Академия», 2005.– 304 с.

77 Bates B. C., Kundzewicz Z. W., Palutikof J. P., éd. *Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.*– Genève: Secrétariat du GIEC, 2008.– 236 p.

78 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Куасси А. Б. Г. Прогнозирование изменений фрактальной размерности многолетнего речного стока [Текст] // Естественные и технические науки, 2007, № 6.– С. 139–147.

79 Биргер И. А., Пановко Я. Г. Прочность. Устойчивость. Колебания. Том 3. [Текст] // Под ред. И. А. Биргер.– Москва: Изд-во «Машиностроение», 1968.– 568 с.

80 Шевнина, Е. В. Параметризация модели формирования стока весеннего половодья на территории Российской Арктики [Текст] // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 21.– С. 38-46.

81 Шевнина, Е. В. Оценка качества методики долгосрочного прогнозирования вероятностных характеристик многолетнего слоя стока весеннего половодья на ретроспективном материале [Текст] // Проблемы Арктики и Антарктики, 2012, №3(93).– С. 40-50.

82 Коваленко В. В., Гайдукова Е. В., Диавара Х., Бонгу Э. Апробация методики долгосрочной оценки многолетних характеристик испарения для речных бассейнов Африки [Текст] // Технические науки – от теории к практике, 2014, № 12 (37).– С. 115–123.

83 *Data Distribution Centre (DDC)* [Электронный ресурс] / IPCC.– 2007.– Режим доступа: http://ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=ar4_gcm (дата обращения 12.02.2015).

Приложение А – Сведения о гидрометеорологических станциях, среднеголетние значения осадков (в мм) и температуры воздуха (в °С)

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хср, мм	Тср, °С
1	Kolga	Гидро	12,88	-14,93	3700	1230	26,9
2	Gouloubou	Гидро	13,47	-13,73	42000	1062	27,5
3	Niaoula Tanou	Гидро	13,48	-13,68	1230	1058	27,5
4	Wassadou Aval	Гидро	13,35	-13,38	33500	1088	27,5
5	Simenti	Гидро	13,30	-13,30	20500	1101	27,5
6	Gaoual	Гидро	11,78	-13,20	9749	1742	26,6
7	Pont de Telimele	Гидро	10,50	-12,90	10250	2251	25,8
8	Pont Routier	Гидро	12,62	-12,77	760	1234	27,2
9	Pont Routier	Гидро	12,57	-12,53	950	1267	27,3
10	Kayes	Гидро	14,45	-12,45	157400	798	28,0
11	Bakel	Гидро	14,90	-12,45	218000	694	28,1
12	Mako	Гидро	12,87	-12,35	10450	1219	27,3
13	Kidira	Гидро	14,45	-12,22	28900	798	27,9
14	Kedougou	Гидро	12,55	-12,18	7550	1305	27,2
15	Bumbuna	Гидро	9,03	-11,90	3990	2649	25,2
16	Matotoka	Гидро	8,67	-11,87	2407	2706	25,3
17	Badala	Гидро	9,32	-11,53	2625	2429	25,0
18	Gourbassi	Гидро	13,23	-11,38	15000	1062	27,3
19	Palima	Гидро	8,10	-11,32	3,61	2731	25,0
20	Jaiama Sawafe	Гидро	8,57	-11,27	6870	2597	24,9
21	Fadougou	Гидро	12,31	-11,23	9300	1250	26,8
22	Moa Bredge	Гидро	7,82	-11,17	17150	2827	24,9
23	Dodo	Гидро	8,15	-11,15	57	2697	24,9
24	Galougo	Гидро	13,83	-11,13	127000	933	27,5
25	Dibia	Гидро	13,14	-10,48	33000	1018	27,1
26	Nongoa	Гидро	8,50	-10,33	5745	2462	24,4
27	Kouroussa	Гидро	10,65	-9,88	18000	1345	26,7
28	Doughomai	Гидро	8,20	-9,75	246	2223	24,1
29	Ouaran	Гидро	11,37	-9,61	18700	1242	26,9
30	Walker Brigde	Гидро	7,33	-9,50	9760	2206	23,9
31	Tournouta-Bafu Bay	Гидро	5,30	-9,30	761	1925	24,9
32	Kankan	Гидро	10,37	-9,30	9620	1492	26,3
33	Oualia	Гидро	13,36	-9,23	84400	964	27,7
34	Baila	Гидро	7,07	-9,17	575	1835	24,3
35	Bac	Гидро	8,06	-9,07	4095	1846	24,0
36	Sawolo	Гидро	6,43	-8,63	683	2022	24,2
37	Gouala	Гидро	11,97	-8,23	35300	1117	26,9
38	Flamplou	Гидро	7,25	-8,06	2470	1638	23,6

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хер, мм	Тср, °С
39	Tate	Гидро	4,38	-7,59	28800	809	24,8
40	Koulikoro	Гидро	12,87	-7,55	120000	917	27,4
41	Tai	Гидро	5,85	-7,43	13750	1803	24,1
42	Semien	Гидро	7,69	-7,06	28800	1366	23,7
43	Dioila	Гидро	12,52	-6,80	32500	963	27,8
44	Soubre	Гидро	5,76	-6,60	62000	1445	24,5
45	Kirango Aval	Гидро	13,72	-6,05	137000	726	28,2
46	Douana	Гидро	13,22	-5,90	101600	781	27,9
47	Bouafle	Гидро	6,96	-5,76	19800	1308	24,3
48	Zienoa	Гидро	6,00	-4,82	35000	1635	25,0
49	Tiassale	Гидро	5,88	-4,75	95500	1450	25,0
50	Brimbo	Гидро	6,00	-4,43	60200	1709	25,0
51	Serebou	Гидро	7,95	-3,94	58700	1210	25,0
52	Aniassue	Гидро	6,62	-3,72	67400	1557	24,9
53	Dire	Гидро	16,27	-3,38	340000	309	29,1
54	Dapola	Гидро	10,57	-2,92	37980	1075	27,1
55	Alanda	Гидро	5,12	-2,75	15800	476	25,4
56	Prestea	Гидро	5,45	-2,12	4268	1518	25,3
57	Bamboi	Гидро	8,15	-2,03	134200	1318	25,4
58	Daboasi	Гидро	5,17	-1,63	22714	185	26,0
59	Yakala	Гидро	11,35	-0,70	33000	1041	27,5
60	Winneba	Гидро	5,38	-0,60	1658	425	25,5
61	Ст. Yarugu	Гидро	10,98	-0,40	41550	1092	27,3
62	Sabari	Гидро	9,28	-0,23	59550	1293	26,2
63	Senchi (Halcrow)	Гидро	6,20	0,10	394100	1086	25,3
64	Mango	Гидро	10,30	0,47	35650	1214	26,9
65	Ansongo	Гидро	15,67	0,50	566000	326	29,0
66	Alcongui	Гидро	14,75	0,60	44900	431	29,0
67	Correkope	Гидро	7,80	1,30	9900	1166	25,1
68	Athieme	Гидро	6,92	1,67	21575	1136	25,2
69	Niamey	Гидро	13,52	2,08	700000	618	28,5
70	Sagon	Гидро	7,17	2,43	37980	1366	25,1
71	Barou	Гидро	12,35	2,73	10500	838	28,2
72	Malanville	Гидро	11,87	3,38	1000000	917	27,6
73	Gaya	Гидро	11,88	3,40	1000000	916	27,6
74	Bonou	Гидро	6,90	3,45	46990	1560	25,2
75	Jebba	Гидро	9,18	4,82	–	1220	25,4
76	Madarounfa	Гидро	13,32	7,17	5400	640	27,0
77	Mamfe	Гидро	5,80	9,32	6810	2492	23,1
78	Yabassi	Гидро	4,50	9,90	8026	2478	22,5

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдб}}$, км ²	Хср, мм	Тср, °С
79	Melong	Гидро	5,10	10,00	2280	2394	22,2
80	Donga	Гидро	7,72	10,07	–	1656	23,7
81	Dehane	Гидро	3,60	10,12	26400	2267	22,8
82	Lambarene	Гидро	–0,70	10,23	205000	2152	24,6
83	Bafoussam	Гидро	5,50	10,55	4700	1941	22,2
84	Edea	Гидро	3,77	10,70	131520	1944	22,4
85	Ibanga	Гидро	–2,80	10,72	20000	1922	24,2
86	Ngoazik	Гидро	2,30	11,30	18100	1727	22,7
87	Goura	Гидро	4,60	11,30	42300	1668	21,7
88	Mbalmayo	Гидро	3,50	11,50	13555	1699	22,1
89	Fougamou	Гидро	–1,20	11,59	22000	1897	24,0
90	Nachtigal	Гидро	4,35	11,63	76000	1650	21,7
91	Nachtigal	Гидро	4,40	11,63	76000	1646	21,7
92	Booue	Гидро	–0,10	11,94	129600	1828	24,2
93	Douguila	Гидро	–2,90	11,97	5800	1844	23,4
94	Sounda	Гидро	–4,10	12,07	55010	1220	23,7
95	Yobe–Bagara Difa	Гидро	13,28	12,6	115000	411	28,5
96	Somalomo	Гидро	3,40	12,77	5150	1649	21,7
97	Mbakaou	Гидро	6,30	12,82	20390	1585	22,2
98	Loa-Loa	Гидро	0,50	12,83	48500	1815	22,3
99	Loa-Loa	Гидро	0,51	12,83	48500	1815	22,3
100	Loudima	Гидро	–4,10	13,08	23385	1352	23,0
101	Kayes	Гидро	–4,20	13,30	17190	1382	23,0
102	Garoua	Гидро	9,30	13,38	64000	1135	25,9
103	Lahore	Гидро	7,20	13,57	1690	1566	23,2
104	SAFEL	Гидро	–4,25	14,05	8620	1370	23,3
105	Kingoyi	Гидро	–4,23	14,28	90	1378	23,2
106	Kimpanzou	Гидро	–4,60	14,93	2980	1493	23,5
107	Kibassi	Гидро	–4,20	15,00	5240	1440	23,5
108	Ndjamena	Гидро	12,10	15,03	600000	615	28,4
109	Kinshasa	Гидро	–4,30	15,30	3475000	1405	23,2
110	Bongor	Гидро	10,30	15,42	73700	936	27,7
111	Gamboma	Гидро	–1,90	15,85	6200	1637	23,6
112	Ouessou	Гидро	1,60	16,05	158350	1689	23,2
113	Moundou	Гидро	8,50	16,07	33970	1157	25,9
114	Salo	Гидро	3,20	16,12	68300	1652	23,1
115	Lai I	Гидро	9,40	16,30	56700	1051	27,0
116	Boussou	Гидро	10,50	16,72	450000	941	27,8
117	Doba	Гидро	8,70	16,83	14300	1113	26,3
118	Bossangoa	Гидро	6,50	17,45	22800	1433	24,8

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хср, мм	Тср, °С
119	Violsdrift	Гидро	-28,76	17,73	850530	139	17,2
120	Moissala	Гидро	8,30	17,77	67600	1161	26,1
121	Batangafo	Гидро	7,30	18,28	44700	1310	25,2
122	Sarh	Гидро	9,20	18,42	193000	1054	26,5
123	Bangui	Гидро	4,40	18,58	500000	1601	23,8
124	Golongoso	Гидро	9,00	19,15	96000	1102	26,1
125	Aspoort	Гидро	-32,34	19,54	6903	319	16,3
126	Am Timan	Гидро	11,03	20,28	80000	850	26,3
127	Upington	Гидро	-28,50	21,25	36456	232	21,7
128	Kombe	Гидро	4,60	21,92	78400	1627	23,4
129	Watopa Pootoon	Гидро	-14,00	23,60	65792	985	20,6
130	Rafai i	Гидро	4,97	23,92	52500	1590	22,8
131	Salo	Гидро	5,00	23,92	68300	1588	22,8
132	De Hoop 65	Гидро	-28,52	24,60	121052	439	18,4
133	Pigoot'S Bridge	Гидро	-33,10	26,45	23067	678	15,4
134	Aliwal-Noord	Гидро	-30,70	26,71	37075	664	14,2
135	Outspan	Гидро	-33,24	26,99	29745	572	17,2
136	Kamativi G/W	Гидро	-18,40	27,05	38600	695	21,6
137	Seaka	Гидро	-30,40	27,58	19875	690	13,6
138	Mohllokaqala	Гидро	-29,00	27,72	5600	711	15,1
139	Molimo-Nthuse	Гидро	-29,43	27,90	86	693	14,4
140	Oxenham Ranch	Гидро	-22,95	27,96	98160	449	20,5
141	Engelbrechtsdrift	Гидро	-26,80	28,06	38564	696	20,5
142	Wusakiili	Гидро	-12,90	28,25	9088	1245	19,8
143	Oxbow	Гидро	-28,73	28,62	57	817	15,0
144	Ncema Dam U/S G/W	Гидро	-20,32	29,00	640	529	20,2
145	Nsama	Гидро	-8,90	29,93	699	1277	20,7
146	Beitbridge Pumpstation	Гидро	-22,20	29,98	196000	463	18,1
147	Rusumo	Гидро	-2,00	30,00	8900	1070	18,6
148	Kazenze	Гидро	-2,10	30,11	14600	1073	18,7
149	Mandula Mine Weir	Гидро	-17,00	30,35	7900	842	22,3
150	Dongola	Гидро	19,20	30,48	-	21	27,5
151	Mbarara Water Supply	Гидро	0,60	30,65	2070	1210	19,6
152	Hoima-Fort Portal Road	Гидро	0,90	30,73	2603	1224	19,8
153	Rusumo	Гидро	-2,40	30,79	30200	1207	19,3
154	Waterworks	Гидро	-20,05	30,85	541	676	19,9
155	Chishimba Falls	Гидро	-10,10	30,92	2549	1246	19,8
156	Hoima-Fortal Road	Гидро	1,10	31,00	1815	1227	20,0
157	Masase	Гидро	-13,22	31,03	995	983	20,7
158	Prince Edward Dam D/S G/W	Гидро	-17,98	31,07	793	849	20,4

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хер, мм	Тср, °С
159	Old Pontoon	Гидро	-11,00	31,07	33792	1150	19,6
160	Assiut	Гидро	27,20	31,10	–	1	21,9
161	El Ekhsasa	Гидро	29,70	31,28	–	15	19,8
162	Bindura Sangare	Гидро	-17,30	31,30	2360	846	22,2
163	Mandini	Гидро	-29,10	31,39	28920	649	17,6
164	Lion'S Den G/W	Гидро	-17,30	31,55	3300	834	22,2
165	Malakal	Гидро	9,58	31,62	1080000	778	26,0
166	Mongolla	Гидро	5,20	31,77	450000	991	24,1
167	Condo D/S G/W	Гидро	-19,20	32,02	11000	909	20,8
168	Nag Hammadi	Гидро	26,10	32,25	–	2	23,0
169	Boane	Гидро	-26,05	32,32	5400	498	21,0
170	Madubula	Гидро	-26,78	32,43	28500	409	20,9
171	Kampala–Gulu Road	Гидро	1,55	32,50	16150	1329	20,7
172	Jebel Aulia Dam	Гидро	15,23	32,50	–	228	28,9
173	Premier Estate	Гидро	-18,92	32,55	249	1031	20,9
174	Khartoum	Гидро	15,60	32,55	325000	203	28,9
175	Esna	Гидро	25,30	32,56	–	1	23,8
176	Chobela	Гидро	-25,02	32,73	37600	853	21,9
177	Nyaruwa Flume	Гидро	-19,85	32,80	127	1028	21,2
178	Aswan Dam	Гидро	24,00	32,90	–	1	24,6
179	Gaafra	Гидро	24,30	32,90	–	1	24,5
180	Chokwe	Гидро	-24,50	33,00	342000	862	22,3
181	Mbulamuti	Гидро	0,82	33,03	–	1381	20,2
182	Owen Reservoir	Гидро	0,47	33,12	269000	1364	19,9
183	Owen Reservoir	Гидро	0,50	33,12	269000	1366	19,9
184	Estaquina	Гидро	-16,15	33,58	940000	791	21,6
185	Kilo 3	Гидро	17,70	33,97	69000	89	28,3
186	Beu-Maria	Гидро	-19,00	34,18	15046	1353	22,0
187	Malapa	Гидро	-13,80	34,35	2930	1388	20,3
188	Bulucheke/Butaleja	Гидро	1,00	34,35	65	1408	19,9
189	Gambella	Гидро	8,30	34,58	23461	1609	22,1
190	Villafranca De Save	Гидро	-21,10	34,68	100885	993	23,2
191	Chiromo	Гидро	-16,60	35,13	149500	1325	20,5
192	Liwonde	Гидро	-15,10	35,20	130200	1314	21,5
193	Bahi	Гидро	-6,00	35,30	11400	647	19,1
194	Mtera	Гидро	-7,90	36,98	67950	961	21,4
195	Swero	Гидро	-8,20	37,00	33400	1378	21,4
196	near lake Tana	Гидро	10,00	37,00	–	1364	16,5
197	Near Abelti	Гидро	8,20	37,58	15746	1166	15,3
198	Steieger's Gorge	Гидро	-7,80	37,92	158200	1119	22,9

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хср, мм	Тср, °С
199	Kessie	Гидро	11,10	38,18	65784	1182	17,6
200	Embamadre	Гидро	13,73	38,20	45694	778	21,8
201	Korogwe	Гидро	-5,20	38,47	25110	1236	22,4
202	Morogoro Rd	Гидро	-6,70	38,70	15190	1231	22,2
203	Dodola Brige	Гидро	7,02	39,03	1035	1004	16,9
204	Chenemassa	Гидро	5,52	39,68	10574	704	19,7
205	Garissa	Гидро	-0,50	39,70	42220	402	24,0
206	Awash	Гидро	9,20	40,20	18710	806	18,5
207	Lugh Ganana	Гидро	3,56	42,32	179520	419	25,7
208	Gode	Гидро	5,00	43,00	-	377	25,2
209	Afgoi	Гидро	2,20	45,09	278000	469	25,8
210	Belet Ven	Гидро	4,78	45,20	211800	334	26,6
211	Balad	Гидро	2,37	45,42	272700	372	25,8
212	Mahaddei Ven	Гидро	3,00	45,53	255300	506	26,0
213	Bulo Burti	Гидро	3,87	45,67	231000	422	26,2
214	-	Метео	14,74	-16,89	-	687	25,0
215	-	Метео	17,97	-16,05	-	175	25,5
216	-	Метео	14,18	-15,91	-	820	26,3
217	-	Метео	12,21	-15,63	-	1799	26,2
218	-	Метео	15,44	-15,07	-	544	27,5
219	-	Метео	16,71	-14,78	-	323	27,6
220	-	Метео	10,95	-14,36	-	2619	26,2
221	-	Метео	15,58	-13,24	-	520	28,4
222	-	Метео	18,67	-11,55	-	167	28,1
223	-	Метео	16,56	-11,27	-	375	28,3
224	-	Метео	16,56	-9,59	-	354	28,0
225	-	Метео	15,16	-9,31	-	623	27,9
226	-	Метео	9,54	-7,62	-	1406	24,9
227	-	Метео	9,40	-5,79	-	1208	25,6
228	-	Метео	11,37	-5,51	-	1119	26,9
229	-	Метео	11,23	-4,25	-	1057	27,1
230	-	Метео	14,46	-4,11	-	576	28,4
231	-	Метео	12,35	-1,58	-	843	27,9
232	-	Метео	11,93	0,39	-	923	27,9
233	-	Метео	8,98	1,09	-	1230	25,9
234	-	Метео	18,39	1,37	-	147	28,5
235	-	Метео	15,72	2,07	-	339	28,8
236	-	Метео	9,12	2,63	-	1166	25,9
237	-	Метео	14,74	5,30	-	451	28,5
238	-	Метео	12,91	5,44	-	770	27,7

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хср, мм	Тср, °С
239	–	Метео	7,86	6,71	–	1432	24,5
240	–	Метео	5,19	6,99	–	2438	24,8
241	–	Метео	16,85	7,97	–	169	27,5
242	–	Метео	5,19	8,25	–	2783	23,9
243	–	Метео	7,86	8,82	–	1486	24,1
244	–	Метео	9,82	8,96	–	1177	24,9
245	–	Метео	12,77	9,10	–	602	26,8
246	–	Метео	–0,71	9,24	–	2028	25,0
247	–	Метео	0,98	9,66	–	2509	24,4
248	–	Метео	6,88	11,77	–	1707	22,7
249	–	Метео	–15,03	12,05	–	242	22,5
250	–	Метео	–5,34	12,33	–	1032	23,8
251	–	Метео	18,53	12,89	–	21	27,8
252	–	Метео	11,65	13,03	–	714	27,7
253	–	Метео	–8,85	13,17	–	704	23,2
254	–	Метео	14,60	13,17	–	250	29,0
255	–	Метео	–15,03	13,59	–	593	22,1
256	–	Метео	–5,48	13,59	–	1192	23,3
257	–	Метео	2,10	14,01	–	1625	22,5
258	–	Метео	4,49	14,43	–	1577	22,1
259	–	Метео	–7,45	15,14	–	1224	22,3
260	–	Метео	–26,55	15,28	–	65	18,1
261	–	Метео	–11,52	15,28	–	1074	20,5
262	–	Метео	–17,14	15,70	–	466	22,5
263	–	Метео	–12,36	16,96	–	1065	19,2
264	–	Метео	12,35	17,10	–	641	28,3
265	–	Метео	–22,47	17,38	–	311	20,3
266	–	Метео	–14,75	17,67	–	829	20,3
267	–	Метео	–26,55	18,09	–	150	18,6
268	–	Метео	1,68	18,23	–	1796	23,8
269	–	Метео	–1,97	18,37	–	1700	24,3
270	–	Метео	12,07	18,65	–	743	27,6
271	–	Метео	–5,06	18,79	–	1630	23,8
272	–	Метео	17,97	19,07	–	26	27,4
273	–	Метео	–34,55	20,05	–	230	16,5
274	–	Метео	–11,80	20,05	–	1131	20,7
275	–	Метео	–16,01	20,19	–	692	22,1
276	–	Метео	–9,55	20,19	–	1365	21,4
277	–	Метео	–4,36	20,62	–	1634	23,8
278	–	Метео	8,28	20,62	–	1296	25,0

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	Хср, мм	Тср, °С
279	–	Метео	–7,59	20,76	–	1511	22,4
280	–	Метео	13,90	20,90	–	486	26,7
281	–	Метео	–32,02	21,46	–	214	15,8
282	–	Метео	2,52	21,60	–	1713	23,9
283	–	Метео	–21,35	21,74	–	413	22,2
284	–	Метео	–18,40	22,02	–	539	22,7
285	–	Метео	–6,04	22,30	–	1564	22,8
286	–	Метео	–33,71	23,00	–	827	16,2
287	–	Метео	10,11	23,00	–	747	24,8
288	–	Метео	–19,95	23,28	–	441	22,7
289	–	Метео	13,05	23,43	–	542	24,3
290	–	Метео	–30,48	23,99	–	351	16,4
291	–	Метео	–32,30	24,41	–	394	15,4
292	–	Метео	–11,94	24,41	–	1292	20,7
293	–	Метео	–33,29	24,97	–	544	16,4
294	–	Метео	13,62	25,39	–	308	24,1
295	–	Метео	3,40	25,67	–	1710	22,8
296	–	Метео	–17,42	25,67	–	670	21,9
297	–	Метео	–2,95	25,95	–	1445	22,0
298	–	Метео	–25,56	26,38	–	636	18,6
299	–	Метео	5,33	26,52	–	1439	22,9
300	–	Метео	–21,21	27,36	–	441	21,1
301	–	Метео	–7,45	27,64	–	1166	22,6
302	–	Метео	2,80	27,78	–	1712	21,9
303	–	Метео	–15,31	28,48	–	792	21,2
304	–	Метео	12,49	28,62	–	500	25,4
305	–	Метео	–5,76	29,04	–	1012	21,2
306	–	Метео	–24,02	29,33	–	658	19,3
307	–	Метео	–31,60	29,61	–	662	17,7
308	–	Метео	6,80	29,78	–	982	25,6
309	–	Метео	–26,55	30,03	–	882	16,4
310	–	Метео	13,19	30,17	–	424	26,1
311	–	Метео	–25,28	31,15	–	813	19,6
312	–	Метео	–13,49	32,70	–	982	21,0
313	–	Метео	13,05	32,70	–	467	27,9
314	–	Метео	19,51	33,40	–	30	27,2
315	–	Метео	–11,24	33,96	–	1478	20,3
316	–	Метео	12,63	34,10	–	685	26,3
317	–	Метео	14,18	35,23	–	583	26,5
318	–	Метео	3,08	35,65	–	470	21,9

№	Станция	Тип станции	Широта, град.	Долгота, град.	$F_{\text{вдсб}}$, км ²	$X_{\text{ср}}$, мм	$T_{\text{ср}}$, °С
319	–	Метео	15,72	36,21	–	331	26,2
320	–	Метео	12,63	36,35	–	1230	21,7
321	–	Метео	–1,27	36,91	–	948	19,3
322	–	Метео	–3,38	37,33	–	940	19,5
323	–	Метео	18,39	37,75	–	136	27,5
324	–	Метео	3,51	39,16	–	602	22,8
325	–	Метео	15,72	39,16	–	413	26,3
326	–	Метео	–10,26	40,00	–	1055	25,3
327	–	Метео	1,54	40,14	–	351	25,7
328	–	Метео	–12,78	40,70	–	272	24,5
329	–	Метео	–2,11	40,70	–	846	25,6
330	–	Метео	–0,57	42,39	–	116	26,5
331	–	Метео	13,05	42,67	–	148	28,3
332	–	Метео	9,54	44,08	–	397	25,2
333	–	Метео	9,82	45,90	–	239	25,8
334	–	Метео	9,54	49,13	–	132	26,2
335	–	Метео	11,37	49,13	–	87	26,9
*336	Pont Routier	Гидро	13,07	–12,73	3000	1148	27,5
*337	Gbarnga	Гидро	7,02	–6,48	39	1360	24,0
*338	Franceville	Гидро	–1,60	13,53	8800	1845	23,5
*339	Nduben	Гидро	–13,40	27,82	18726	1182	19,5
*340	Tokwe Confluence D/S C/S	Гидро	–21,10	31,27	23000	575	19,4
*341	–	Гидро	11,00	37,00	–	1379	17,8
*342	–	Метео	15,30	–1,58	–	414	29,1
*343	–	Метео	9,68	6,57	–	1220	24,9
*344	–	Метео	14,18	15,28	–	323	29,0
*345	–	Метео	–9,41	16,40	–	1293	21,1
*346	–	Метео	–19,66	18,23	–	447	21,8
*347	–	Метео	–31,60	18,51	–	265	16,8
*348	–	Метео	5,75	20,48	–	1536	24,1
*349	–	Метео	–23,88	22,02	–	337	21,7
*350	–	Метео	–0,90	22,76	–	1780	23,7
*351	–	Метео	8,14	28,06	–	1030	25,4
*352	–	Метео	–28,65	30,03	–	858	15,8
*353	–	Метео	–2,39	33,12	–	922	20,0
*354	–	Метео	–14,89	39,30	–	1052	23,6
*355	–	Метео	7,02	47,45	–	166	25,2

где $F_{\text{вдсб}}$ – площадь водосбора; $X_{\text{ср}}$, $T_{\text{ср}}$ – среднемноголетние значения (нормы) осадков и среднегодовой температуры воздуха за период с 1951 по 1990 год; * – независимые станции (для оценки точности построения карт);

« – » – Нет данных.

Приложение Б – Листинг программы для интерполяции метеорологических данных

Option Explicit

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
On Error Resume Next  
UserForm4.Show  
On Error GoTo 0  
End Sub
```

```
Private Sub ExitButton_Click()  
On Error Resume Next  
UserForm1.Hide  
On Error GoTo 0  
End Sub
```

```
Private Sub ExecutButton_Click()  
On Error Resume Next  
Dim NumS() As String, Sh_st() As String, DI_st() As String, Sh_set() As String, DI_set() As  
String  
Dim i As Long, j As Long, k As Long, t As Long, Maxt As Long, ChisYach As Long, dSh As  
Double, dDI As Double  
Dim Str As String, Dannie As String, Vals() As String, ValsK() As String, ValsYach() As  
String, Priznak As String  
Dim OKbool1 As Boolean, OKbool2 As Boolean, X1 As Double, X2 As Double  
Dim NNumS As Integer, NSh_s As Integer, NDI_s As Integer, NSh_set As Integer, NDI_set As  
Integer, Nrow As Integer, Ncol As Integer  
Dim Yacheika As Range, ans As Variant  
Dim ResultSheetName As String, OldActive As Object  
"Ввод номера станции"  
UserForm1.Hide  
Vvod1:  
Dannie = UserForm1.VvodNumS.Value  
Str = " номер станции "  
Call VvodDannix(NNumS, Dannie, NumS(), Str, OKbool1, OKbool2)  
'VvodNumS = ""  
If OKbool1 = True Then  
ans = MsgBox(" Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторить ввод? ",  
vbYesNo + vbInformation, " Внимание ")  
'MsgBox " Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторите ввод пожалуйста.",  
vbOKOnly + vbInformation, " Внимание "  
If ans = vbYes Then  
UserForm1.Show  
Dannie = UserForm1.VvodNumS.Value  
GoTo Vvod1  
End If  
Exit Sub  
End If
```

```

    If OKbool2 = True Then
        ans = MsgBox(" В поле" & Str & " введен ряд с нечисловыми значениями или пропусками." & vbNewLine & " Правертъе введенные данные.", vbOKOnly + vbInformation, " Внимание ")
        Exit Sub
    End If
    """"""""""Ввод широты стнации""""""""""
Vvod2:
    Dannie = UserForm1.VvodSh_st.Value
    Str = " широта станции "
    Call VvodDannix(NSh_s, Dannie, Sh_st(), Str, OKbool1, OKbool2)
    'VvodSh_st = ""
    If OKbool1 = True Then
        ans = MsgBox(" Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторить ввод? ", vbYesNo + vbInformation, " Внимание ")
        'MsgBox " Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторите ввод пожалуйста.", vbOKOnly + vbInformation, " Внимание "
        If ans = vbYes Then
            UserForm1.Show
            Dannie = UserForm1.VvodNumS.Value
            GoTo Vvod2
        End If
        Exit Sub
    End If
    If OKbool2 = True Then
        ans = MsgBox(" В поле" & Str & " введен ряд с нечисловыми значениями или пропусками." & vbNewLine & " Правертъе введенные данные.", vbOKOnly + vbInformation, " Внимание ")
        Exit Sub
    End If
    """"""""""Ввод долготы стнации""""""""""
Vvod3:
    Dannie = UserForm1.VvodDI_st.Value
    Str = " долгота станции "
    Call VvodDannix(NDI_s, Dannie, DI_st(), Str, OKbool1, OKbool2)
    'VvodDI_st = ""
    If OKbool1 = True Then
        ans = MsgBox(" Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторить ввод? ", vbYesNo + vbInformation, " Внимание ")
        'MsgBox " Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторите ввод пожалуйста.", vbOKOnly + vbInformation, " Внимание "
        If ans = vbYes Then
            UserForm1.Show
            Dannie = UserForm1.VvodNumS.Value
            GoTo Vvod3
        End If
        Exit Sub
    End If
    If OKbool2 = True Then

```

```

    ans = MsgBox(" В поле" & Str & " введен ряд с нечисловыми значениями или
пропусками." & vbNewLine & " Правертъе введенные данные.", vbOKOnly + vbInformation,
" Внимание ")
    Exit Sub
End If
"Ввод широту узлов сетки"
Vvod4:
Dannie = UserForm1.VvodSh_set.Value
Str = " широта узлов сетки "
Call VvodDannix(NSh_set, Dannie, Sh_set(), Str, OKbool1, OKbool2)
'VvodSh_set = ""
If OKbool1 = True Then
    ans = MsgBox(" Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторить ввод? ",
vbYesNo + vbInformation, " Внимание ")
    'MsgBox " Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторите ввод пожалуйста.",
vbOKOnly + vbInformation, " Внимание "
    If ans = vbYes Then
        UserForm1.Show
        Dannie = UserForm1.VvodNumS.Value
        GoTo Vvod4
    End If
    Exit Sub
End If
If OKbool2 = True Then
    ans = MsgBox(" В поле" & Str & " введен ряд с нечисловыми значениями или
пропусками." & vbNewLine & " Правертъе введенные данные.", vbOKOnly + vbInformation,
" Внимание ")
    Exit Sub
End If
"Ввод долготы узлов сетки"
Vvod5:
Dannie = UserForm1.VvodDI_set.Value
Str = " долгота узлов сетки "
Call VvodDannix(NDI_set, Dannie, DI_set(), Str, OKbool1, OKbool2)
'VvodDI_set = ""
If OKbool1 = True Then
    ans = MsgBox(" Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторить ввод? ",
vbYesNo + vbInformation, " Внимание ")
    'MsgBox " Поле " & Str & " пустое." & vbNewLine & " Повторите ввод пожалуйста.",
vbOKOnly + vbInformation, " Внимание "
    If ans = vbYes Then
        UserForm1.Show
        Dannie = UserForm1.VvodNumS.Value
        GoTo Vvod5
    End If
    Exit Sub
End If
If OKbool2 = True Then

```

```

ans = MsgBox(" В поле" & Str & " введен ряд с нечисловыми значениями или
пропусками." & vbNewLine & " Правертъе введенные данные.", vbOKOnly + vbInformation,
" Внимание ")
Exit Sub
End If
""""""""""Ввод значений характеристики в узловых точках сетки""""""""""
Vvod6:
Dannie = UserForm1.Velichina.Value
Nrow = Range(Dannie).Cells.Rows.Count
Ncol = Range(Dannie).Columns.Count
If Dannie = "" Then
MsgBox " Обязательно выделите диапазон значений в узлах сетки. "
UserForm1.Show
GoTo endsub 'Vvod6
End If
'Velichina = ""
k = 0
For Each Yacheika In Range(Dannie).Cells
k = k + 1
Next Yacheika
ReDim Vals(Nrow, Ncol), ValsYach(k)
i = 1: j = 0: k = 0
For Each Yacheika In Range(Dannie).Cells
k = k + 1
ValsYach(k) = Yacheika.Value
j = j + 1
Vals(i, j) = ValsYach(k)
If j >= Ncol Then
j = 0: i = i + 1
End If
Next Yacheika
ChisYach = k
'-----Запоминание активного листа, это лист с неокругленными расходами-----"
Set OldActive = ActiveWorkbook.ActiveSheet
'-----Создание нового листа, в котором будут результаты работы-----
ResultSheetName = "Результаты"
For i = 1 To ActiveWorkbook.Sheets.Count
If ActiveWorkbook.Sheets(i).Name = ResultSheetName Then
ans = MsgBox(" Удалить содержимое листа 'Результаты' для записи " & vbNewLine & "
на нем результаты новых расчетов ?", vbYesNo, " Предупреждение ")
If ans = vbYes Then
ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells.ClearContents
ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells.ClearFormats
GoTo perexod
End If
If ans = vbNo Then
Exit Sub
End If
End If
Next i

```

```

Sheets.Add.Name = ResultSheetName
переход:
'-----Заголовок таблицы результатов-----
  With ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName)
    .Range("A1").Value = "№ станции"
    .Range("B1").Value = "с.ш"
    .Range("C1").Value = "в.д."
    .Range("E1").Value = "Значения характеристики по порядку = "
  End With
'-----Заполнение листа с результатами-----

'-----Интерполяция-----
Priznak = UserForm1.Znak.Value
Maxt = 0
ReDim ValsK(NumS(NNumS), NSh_set)
For k = 1 To NumS(NNumS)
  ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, 1).Value = NumS(k)
  ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, 2).Value = Sh_st(k)
  ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, 3).Value = Dl_st(k)
  t = 0
  For i = 1 To NSh_set - 1
    If (Cdbl(Sh_st(k)) <= Cdbl(Sh_set(i))) And (Cdbl(Sh_st(k)) > Cdbl(Sh_set(i + 1))) Then
      For j = 1 To NDI_set - 1
        If (Cdbl(Dl_st(k)) >= Cdbl(Dl_set(j))) And (Cdbl(Dl_st(k)) < Cdbl(Dl_set(j + 1))) Then
          t = t + 1
          If ((Vals(i, j) = Priznak) Or (Vals(i, j) = "")) _
            Or ((Vals(i, j + 1) = Priznak) Or (Vals(i, j + 1) = "")) _
            Or ((Vals(i + 1, j) = Priznak) Or (Vals(i + 1, j) = "")) _
            Or ((Vals(i + 1, j + 1) = Priznak) Or (Vals(i + 1, j + 1) = "")) _
          Then
            ValsK(k, t) = " "
            ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, t + 4).Value = ValsK(k, t)
            ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, t + 4).Interior.ColorIndex = 6
            GoTo OutInterpol
          End If
          dDl = (Dl_st(k) - Dl_set(j)) / (Dl_set(j + 1) - Dl_set(j))
          X1 = Vals(i, j) + dDl * (Vals(i, j + 1) - Vals(i, j))
          X2 = Vals(i + 1, j) + dDl * (Vals(i + 1, j + 1) - Vals(i + 1, j))
          dSh = (Sh_st(k) - Sh_set(i)) / (Sh_set(i + 1) - Sh_set(i))
          ValsK(k, t) = X1 + dSh * (X2 - X1)
          ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, t + 4).Value = ValsK(k, t)
        End If
      Next j
    End If
  Next i
  OutInterpol:
  If t >= Maxt Then
    Maxt = t
  End If
Next k
If t >= 252 Then
  GoTo VvodK
End If

```

```

        End If
    Next i
VvodK:
    Next k
i = 2
'-----Запись номера интер. значений и изменение цвета пустых ячеек-----
'For k = 1 To NumS(NNumS)
For t = 1 To Maxt
ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(i, t + 4).Value = t
ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(i, t + 4).Interior.ColorIndex = 4
'If (ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, t + 4).Value = "") _
' Or (ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, t + 4).Value = " ") Then
'ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Cells(k + 2, t + 4).Interior.ColorIndex = 6
'End If
Next t
'Next k
'Debug.Print " Число станций NNumS = " & NNumS
'Debug.Print " Число широт NSh_s = " & NSh_s
'Debug.Print " Число долгот NDI_s = " & NDI_s
'Debug.Print " Число широт по сетке NSh_set = " & NSh_set
'Debug.Print " Число долгот по сетке Ndl_set = " & NDI_set
'Debug.Print " Число широт по сетке Nrow = " & Nrow
'Debug.Print " Число долгот по сетке Ncol = " & Ncol
'Debug.Print " Число ячеек ChisYach = " & ChisYach

'Unload UserForm1
endsub:
OldActive.Activate
    MsgBox " Расчеты выполнены удачно. Смотрите результаты " & vbNewLine & "
на листе с названием 'Результаты'.", vbOKOnly, " Спасибо за доверие! "
ActiveWorkbook.Sheets(ResultSheetName).Activate
On Error GoTo 0
End Sub

Private Sub Frame3_Click()
End Sub

Private Sub Image1_Click()
On Error Resume Next
Dim Msg, Style, Title, Response
Msg = "Градусная сетка земли"
Style = vbOKOnly + vbInformation
Title = "Сообщение"
Response = MsgBox(Msg, Style, Title)
On Error GoTo 0
End Sub

Private Sub Label15_Click()
End Sub

```



```
Private Sub Label16_Click()  
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Click()  
End Sub
```

```
Private Sub Velichina_BeforeDragOver(Cancel As Boolean, ByVal Data As  
MSForms.DataObject, ByVal x As stdole.OLE_XPOS_CONTAINER, ByVal y As  
stdole.OLE_YPOS_CONTAINER, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, Effect As  
MSForms.fmDropEffect, ByVal Shift As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub VvodDI_set_BeforeDragOver(Cancel As Boolean, ByVal Data As  
MSForms.DataObject, ByVal x As stdole.OLE_XPOS_CONTAINER, ByVal y As  
stdole.OLE_YPOS_CONTAINER, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, Effect As  
MSForms.fmDropEffect, ByVal Shift As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub VvodDI_st_BeforeDragOver(Cancel As Boolean, ByVal Data As  
MSForms.DataObject, ByVal x As stdole.OLE_XPOS_CONTAINER, ByVal y As  
stdole.OLE_YPOS_CONTAINER, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, Effect As  
MSForms.fmDropEffect, ByVal Shift As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub VvodSh_set_BeforeDragOver(Cancel As Boolean, ByVal Data As  
MSForms.DataObject, ByVal x As stdole.OLE_XPOS_CONTAINER, ByVal y As  
stdole.OLE_YPOS_CONTAINER, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, Effect As  
MSForms.fmDropEffect, ByVal Shift As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub VvodNumS_BeforeDragOver(Cancel As Boolean, ByVal Data As  
MSForms.DataObject, ByVal x As stdole.OLE_XPOS_CONTAINER, ByVal y As  
stdole.OLE_YPOS_CONTAINER, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, Effect As  
MSForms.fmDropEffect, ByVal Shift As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub VvodSh_st_BeforeDragOver(Cancel As Boolean, ByVal Data As  
MSForms.DataObject, ByVal x As stdole.OLE_XPOS_CONTAINER, ByVal y As  
stdole.OLE_YPOS_CONTAINER, ByVal DragState As MSForms.fmDragState, Effect As  
MSForms.fmDropEffect, ByVal Shift As Integer)  
End Sub
```

```
Private Sub HelpButton_Click()  
On Error Resume Next  
UserForm2.Show  
On Error GoTo 0  
End Sub
```

```
Private Sub Znak_Change()  
End Sub
```

Приложение В – Нормы слоев стока, коэффициенты стока и испарения и отклонение их суммы от 1

№	X, мм	h, мм	E, мм	k_h	k_E	Δ
1	1230	25	1097	0,02	0,89	0,09
2	1062	139	989	0,13	0,93	-0,06
3	1058	9	986	0,01	0,93	0,06
4	1088	132	1011	0,12	0,93	-0,05
5	1101	214	1021	0,19	0,93	-0,12
8	1234	342	1101	0,28	0,89	-0,17
9	1267	330	1124	0,26	0,89	-0,15
10	798	80	784	0,10	0,98	-0,08
11	694	76	694	0,11	1,00	-0,11
12	1219	287	1087	0,24	0,89	-0,13
13	798	137	783	0,17	0,98	-0,15
14	1305	365	1143	0,28	0,88	-0,15
18	1062	224	979	0,21	0,92	-0,13
21	1250	250	1097	0,20	0,88	-0,08
24	933	105	889	0,11	0,95	-0,06
25	1018	297	945	0,29	0,93	-0,22
27	1345	425	1155	0,32	0,86	-0,17
29	1242	234	1100	0,19	0,89	-0,07
32	1492	611	1220	0,41	0,82	-0,23
33	964	41	914	0,04	0,95	0,01
34	1835	8321	-	-	-	-
37	1117	286	1017	0,26	0,91	-0,17
40	917	335	878	0,37	0,96	-0,32
43	963	113	918	0,12	0,95	-0,07
45	726	260	723	0,36	1,00	-0,35
46	781	103	770	0,13	0,99	-0,12
53	309	88	322	0,29	1,04	-0,33
54	1075	70	990	0,07	0,92	0,01
55	476	277	481	0,58	1,01	-0,59
57	1318	45	1103	0,03	0,84	0,13
58	185	262	-	-	-	-
59	1041	19	976	0,02	0,94	0,04
61	1092	44	1008	0,04	0,92	0,04
62	1293	173	1113	0,13	0,86	0,00
63	1086	72	954	0,07	0,88	0,06
64	1214	178	1081	0,15	0,89	-0,04
65	326	49	340	0,15	1,04	-0,19
66	431	6	446	0,01	1,03	-0,05

№	X, мм	h, мм	E, мм	k_h	k_E	Δ
67	1166	253	1016	0,22	0,87	-0,09
68	1136	134	993	0,12	0,87	0,01
69	618	38	625	0,06	1,01	-0,07
70	1366	99	1114	0,07	0,82	0,11
71	838	79	819	0,09	0,98	-0,07
72	917	28	879	0,03	0,96	0,01
73	916	29	878	0,03	0,96	0,01
74	1560	112	1197	0,07	0,77	0,16
76	640	30	642	0,05	1,00	-0,05
77	2492	2270	1305	0,91	0,52	-0,43
78	2478	1163	1278	0,47	0,52	0,01
79	2394	870	1241	0,36	0,52	0,12
81	2267	476	1265	0,21	0,56	0,23
82	2152	677	1375	0,31	0,64	0,05
83	1941	642	1166	0,33	0,60	0,07
84	1944	442	1179	0,23	0,61	0,17
85	1922	838	1269	0,44	0,66	-0,10
86	1727	461	1134	0,27	0,66	0,08
87	1668	471	1077	0,28	0,65	0,07
88	1699	334	1103	0,20	0,65	0,15
89	1897	1009	1239	0,53	0,65	-0,18
91	1646	399	1068	0,24	0,65	0,11
92	1828	624	1201	0,34	0,66	0,00
93	1844	1070	1193	0,58	0,65	-0,23
96	1649	373	1082	0,23	0,66	0,12
97	1585	541	1081	0,34	0,68	-0,02
98	1815	458	1104	0,25	0,61	0,14
100	1352	511	1044	0,38	0,77	-0,15
101	1382	578	1057	0,42	0,77	-0,18
102	1135	148	1000	0,13	0,88	-0,01
103	1566	641	1127	0,41	0,72	-0,13
106	1493	511	1110	0,34	0,74	-0,09
107	1440	735	1095	0,51	0,76	-0,27
108	615	46	625	0,08	1,02	-0,09
110	936	197	894	0,21	0,95	-0,16
112	1689	310	1162	0,18	0,69	0,13
113	1157	291	1016	0,25	0,88	-0,13
114	1652	339	1144	0,21	0,69	0,10

115	1051	200	970	0,19	0,92	-0,11
116	941	43	901	0,05	0,96	0,00
117	1113	219	999	0,20	0,90	-0,09
118	1433	269	1136	0,19	0,79	0,02
120	1161	161	1031	0,14	0,89	-0,03
122	1054	31	969	0,03	0,92	0,05
123	1601	237	1160	0,15	0,72	0,13
127	232	174	238	0,75	1,02	-0,77
128	1627	172	1163	0,11	0,71	0,18
129	985	148	797	0,15	0,81	0,04
131	1588	159	1134	0,10	0,71	0,19
133	678	8	543	0,01	0,80	0,19
134	664	125	525	0,19	0,79	0,02
136	695	20	628	0,03	0,90	0,07
137	690	180	536	0,26	0,78	-0,04
138	711	102	564	0,14	0,79	0,06
141	696	24	625	0,03	0,90	0,07
142	1245	394	868	0,32	0,70	-0,01
146	463	21	432	0,04	0,93	0,02
147	1070	313	789	0,29	0,74	-0,03
148	1073	234	794	0,22	0,74	0,04
149	842	93	749	0,11	0,89	0,00
150	21	-	-	-	-	-
151	1210	440	871	0,36	0,72	-0,08
152	1224	50	882	0,04	0,72	0,24
153	1207	232	853	0,19	0,71	0,10
155	1246	382	871	0,31	0,70	-0,01
156	1227	129	888	0,11	0,72	0,17
159	1150	192	842	0,17	0,73	0,10
160	1	-	-	-	-	-
161	15	-	-	-	-	-
162	846	116	751	0,14	0,89	-0,03
163	649	109	567	0,17	0,87	-0,04
164	834	108	743	0,13	0,89	-0,02
166	991	108	885	0,11	0,89	0,00
167	909	155	762	0,17	0,84	-0,01
168	2	-	-	-	-	-
174	203	113	213	0,56	1,05	-0,61
175	175	175	175	175	175	175
178	178	178	178	178	178	178
179	179	179	179	179	179	179
183	183	183	183	183	183	183

185	89	137				
186	1353	264	963	0,20	0,71	0,09
187	1388	195	928	0,14	0,67	0,19
189	1609	583	1094	0,36	0,68	-0,04
190	993	84	839	0,08	0,85	0,07
191	1325	121	938	0,09	0,71	0,20
192	1314	114	962	0,09	0,73	0,18
193	647	15	581	0,02	0,90	0,08
194	961	67	791	0,07	0,82	0,11
195	1378	382	960	0,28	0,70	0,03
197	1166	430	691	0,37	0,59	0,04
199	1182	269	804	0,23	0,68	0,09
201	1236	33	950	0,03	0,77	0,20
202	1231	125	947	0,10	0,77	0,13
205	402	123	404	0,31	1,00	-0,31
206	806	70	628	0,09	0,78	0,13
208	377	-	-	-	-	-
209	469	7	472	0,01	1,01	-0,02
*336	1148	100	1044	0,09	0,91	0,00
*338	1845	922	1207	0,50	0,65	-0,15
*339	1182	214	842	0,18	0,71	0,11
*340	575	103	521	0,18	0,91	-0,08
A1	284	284	-	-	-	-
A2	511	98	460	0,19	0,90	-0,09
A3	547	433	486	0,79	0,89	-0,68
A4	407	133	383	0,33	0,94	-0,27
A5	363	25	350	0,07	0,96	-0,03
A6	439	20	412	0,05	0,94	0,02
A7	474	36	430	0,08	0,91	0,02
A8	332	34	322	0,10	0,97	-0,07
A9	350	18	338	0,05	0,96	-0,02
A10	435	8	411	0,02	0,94	0,04
A11	1314	1	962	0,00	0,73	0,27
A12	1088	219	1011	0,20	0,93	-0,13
A13	1352	226	1043	0,17	0,77	0,06
A14	1828	292	1201	0,16	0,66	0,18

$\Delta = 1 - (k_h + k_E)$;

- нет данных;

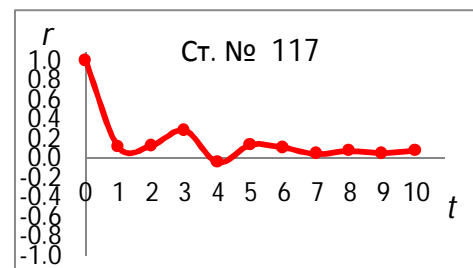
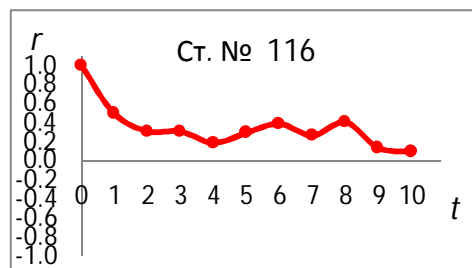
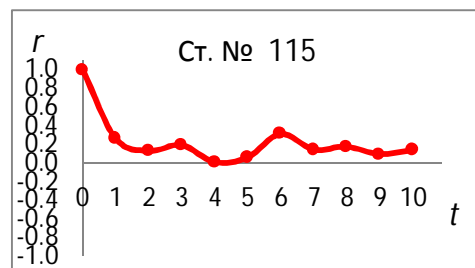
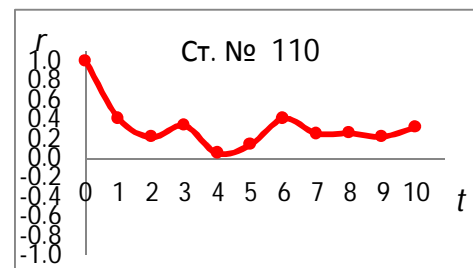
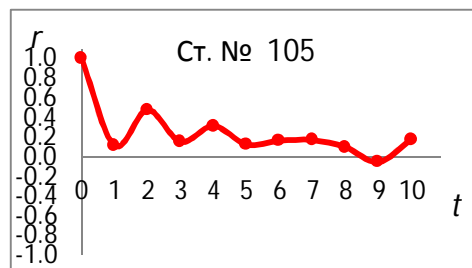
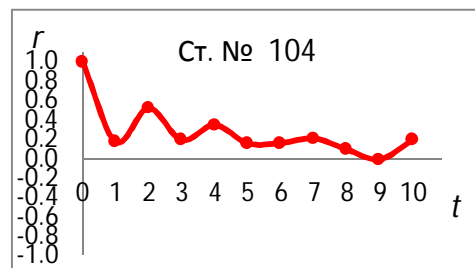
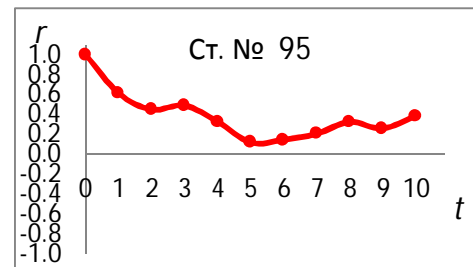
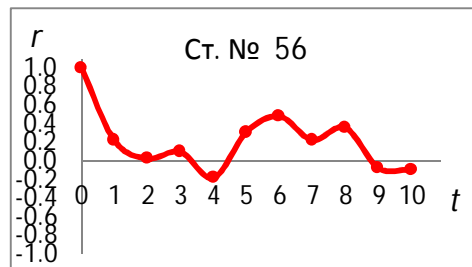
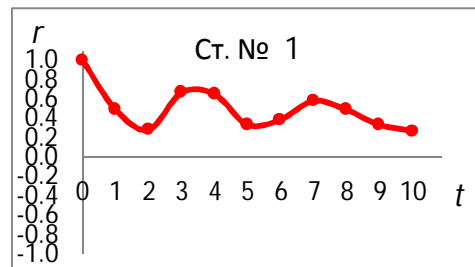
X , h и E – нормы слоев осадков, стока и испарения (с 1965 по 1984 г.);

k_h и k_E – коэффициент стока и испарения;

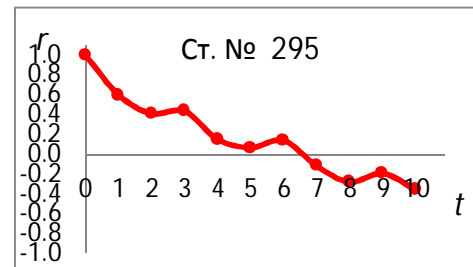
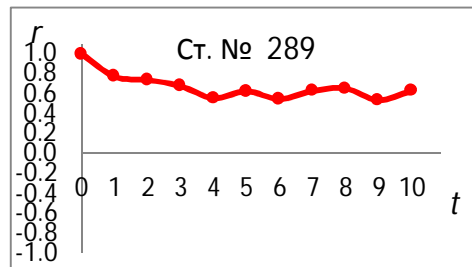
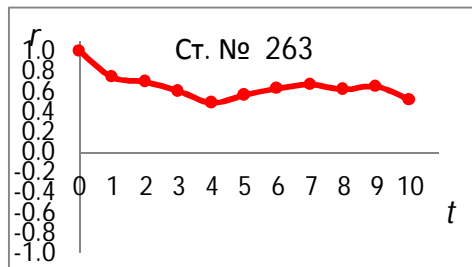
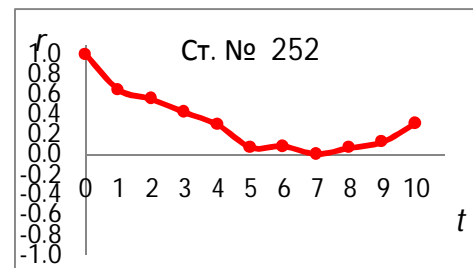
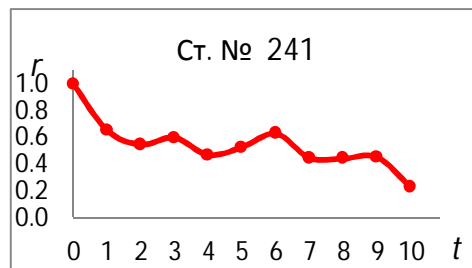
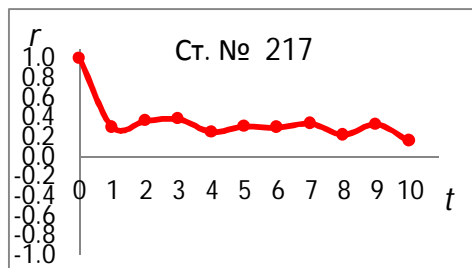
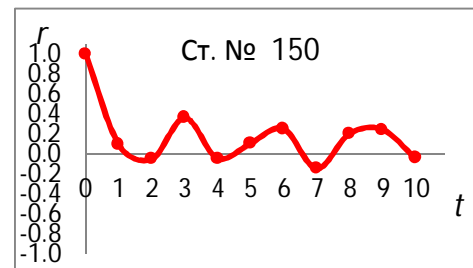
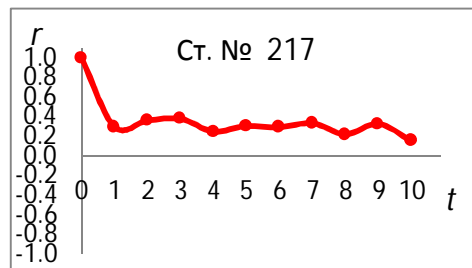
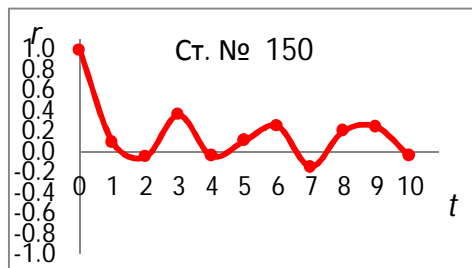
№ – номера постов согласно приложению А;

А* – номера дополнительных постов.

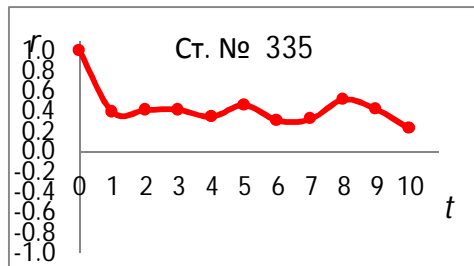
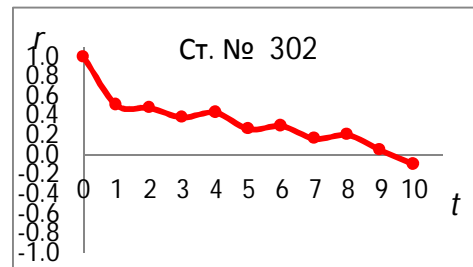
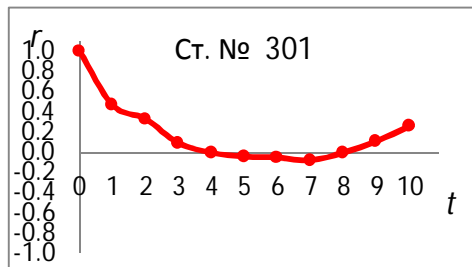
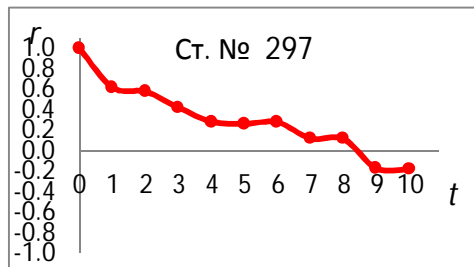
Приложение Г – Автокорреляционные функции рядов суммарного годового испарения, неоднородных по матожиданию и дисперсии



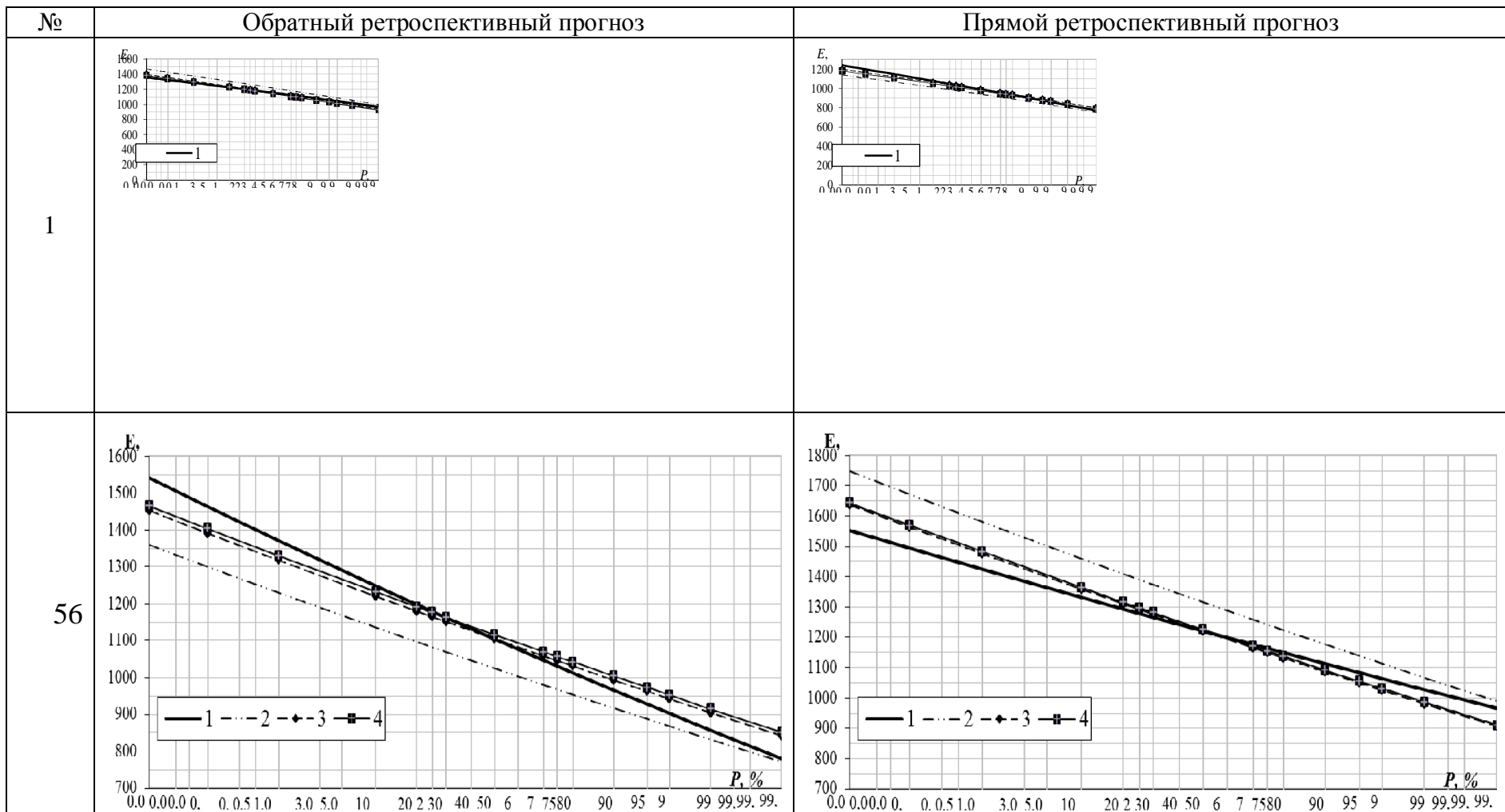
Продолжение приложения Г



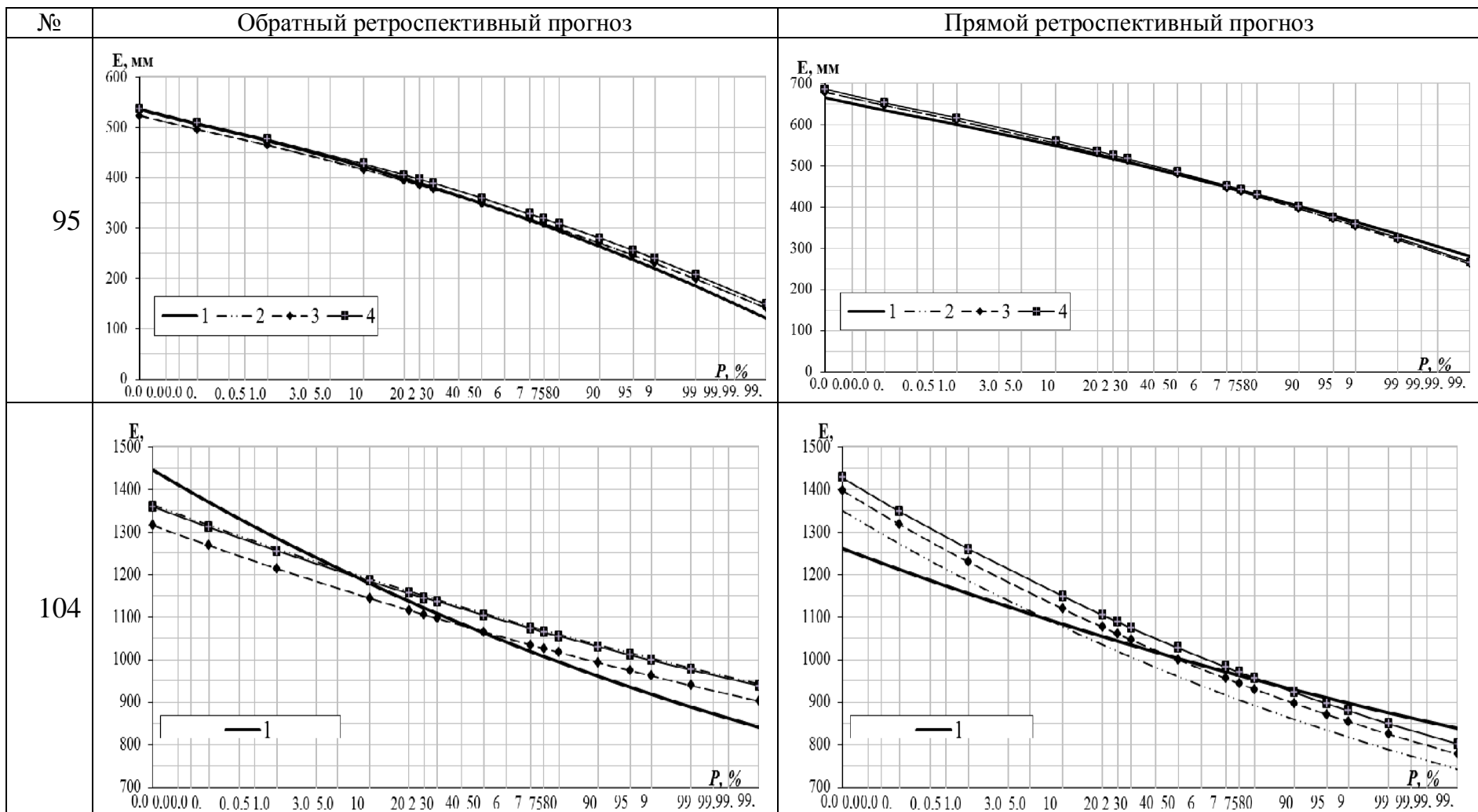
Продолжение приложения Г



Приложение Д – Кривые обеспеченности ретроспективных прогнозов испарения



Продолжение приложения Д



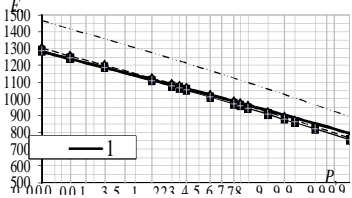
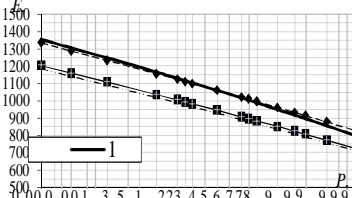
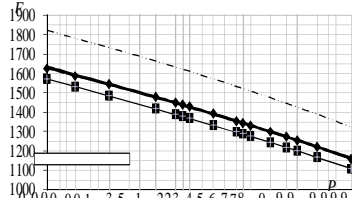
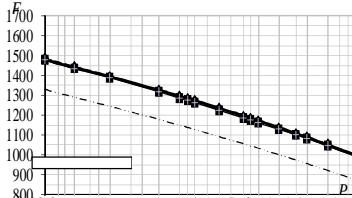
Продолжение приложения Д

№	Обратный ретроспективный прогноз	Прямой ретроспективный прогноз
105		
110		

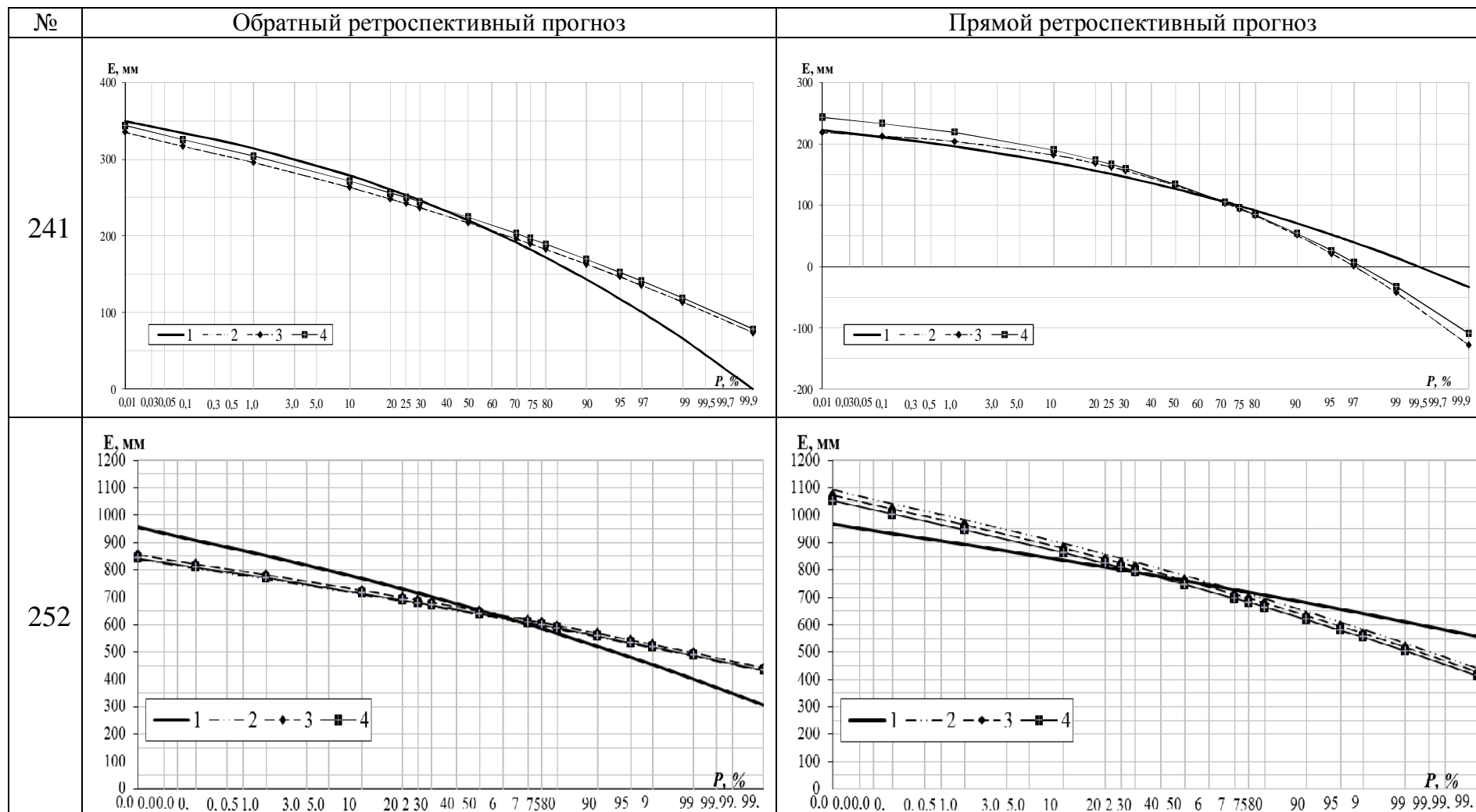
Продолжение приложения Д

№	Обратный ретроспективный прогноз	Прямой ретроспективный прогноз
115		
116		

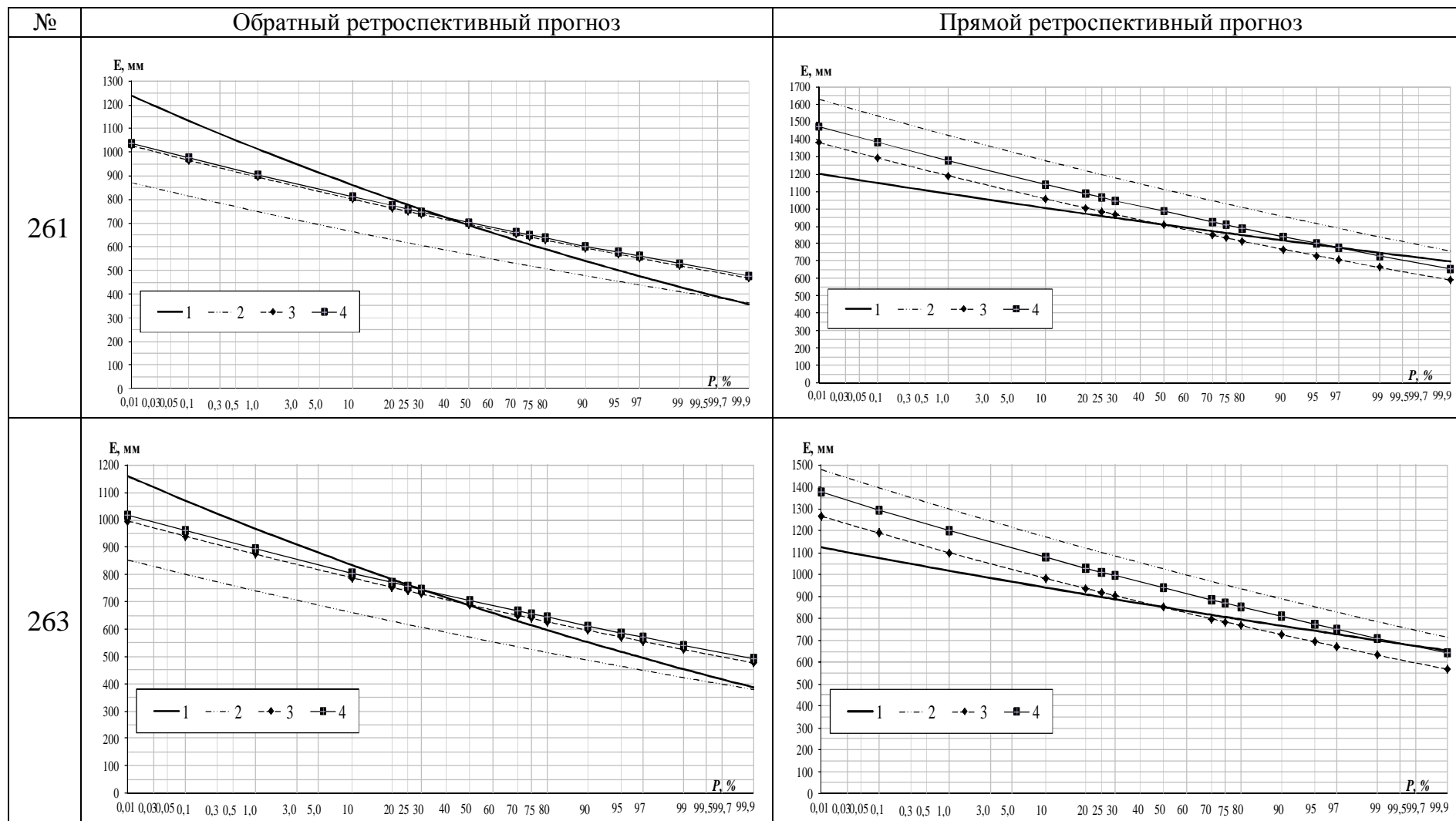
Продолжение приложения Д

№	Обратный ретроспективный прогноз	Прямой ретроспективный прогноз
117		
217		

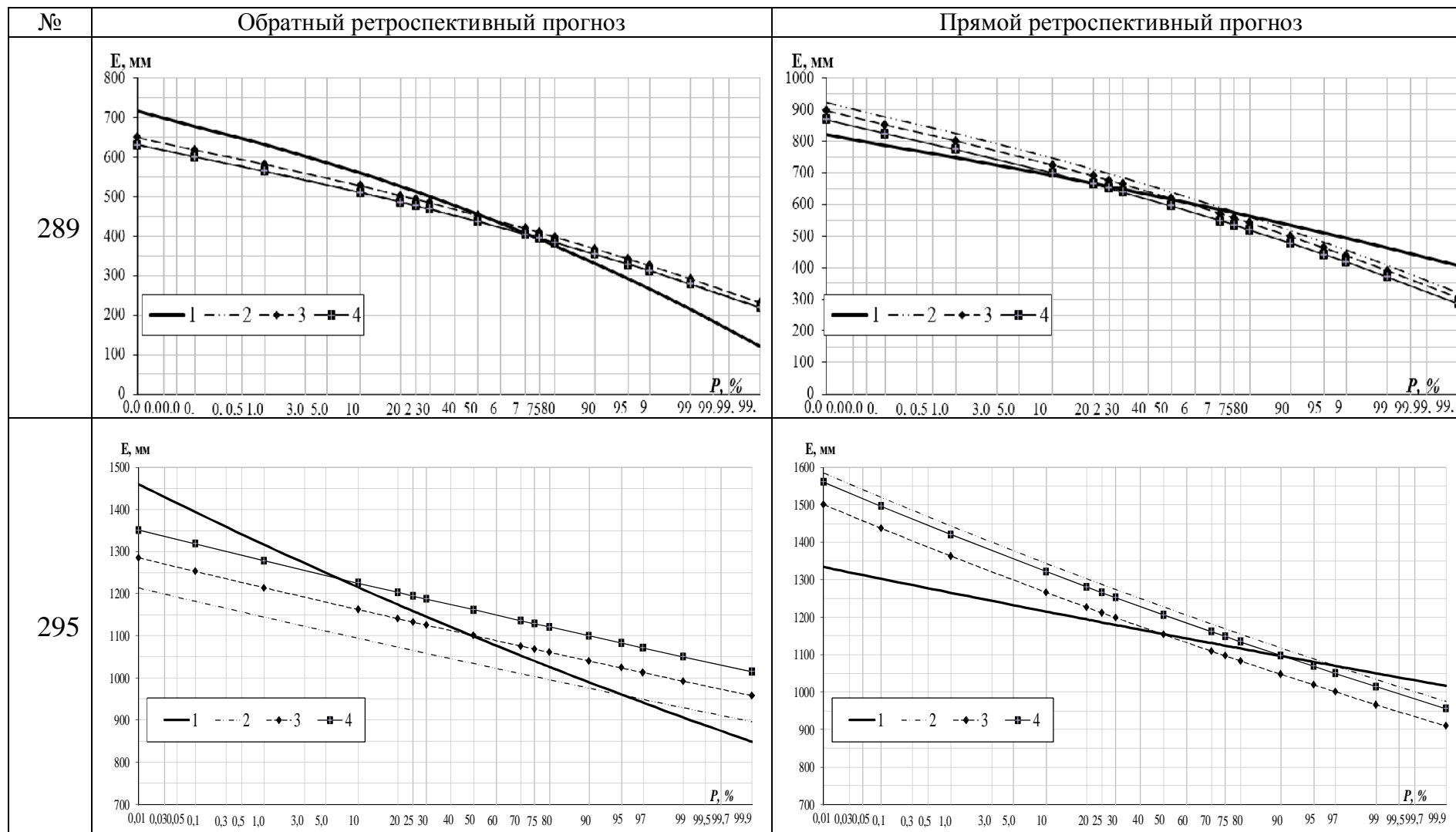
Продолжение приложения Д



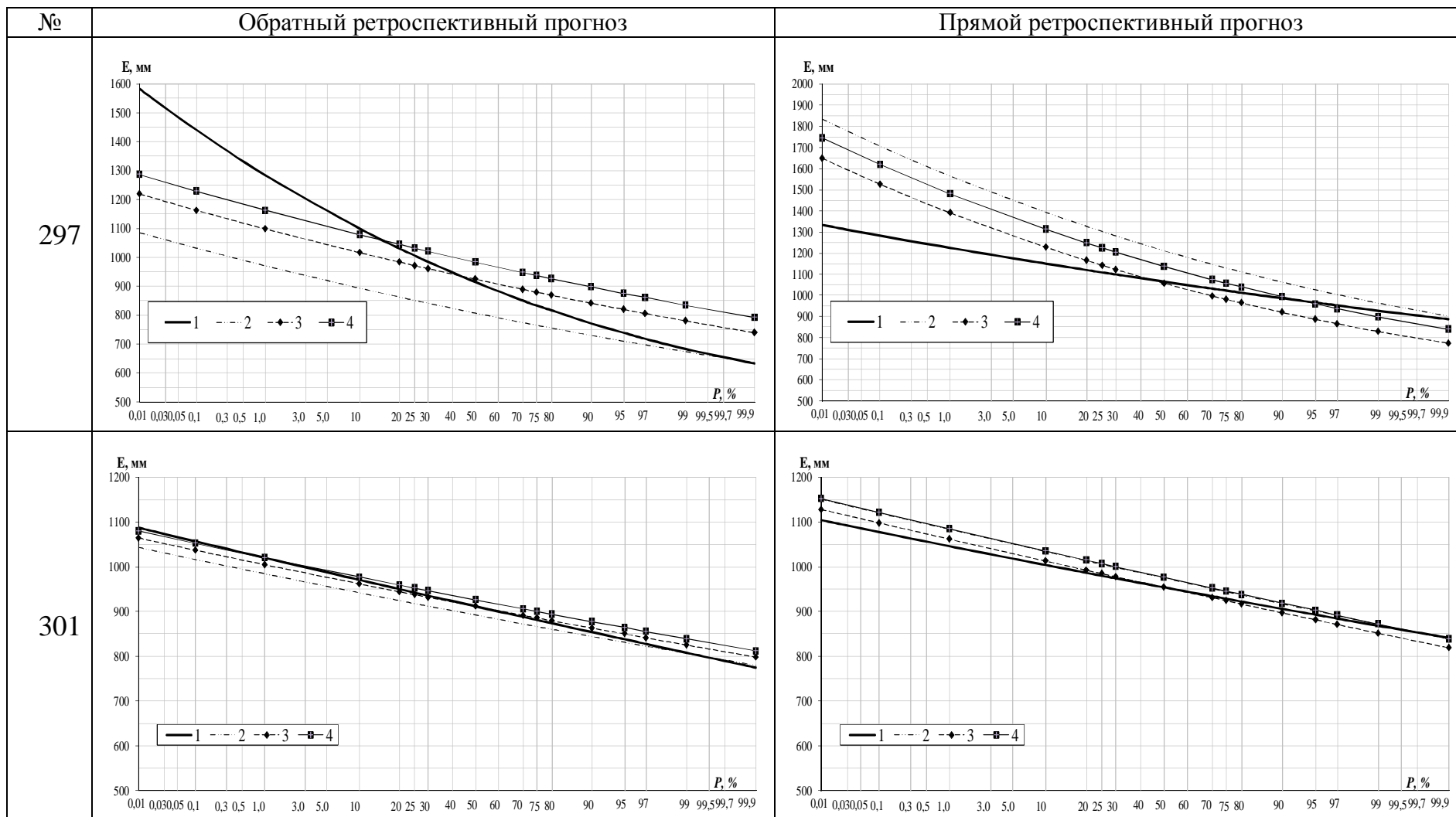
Продолжение приложения Д



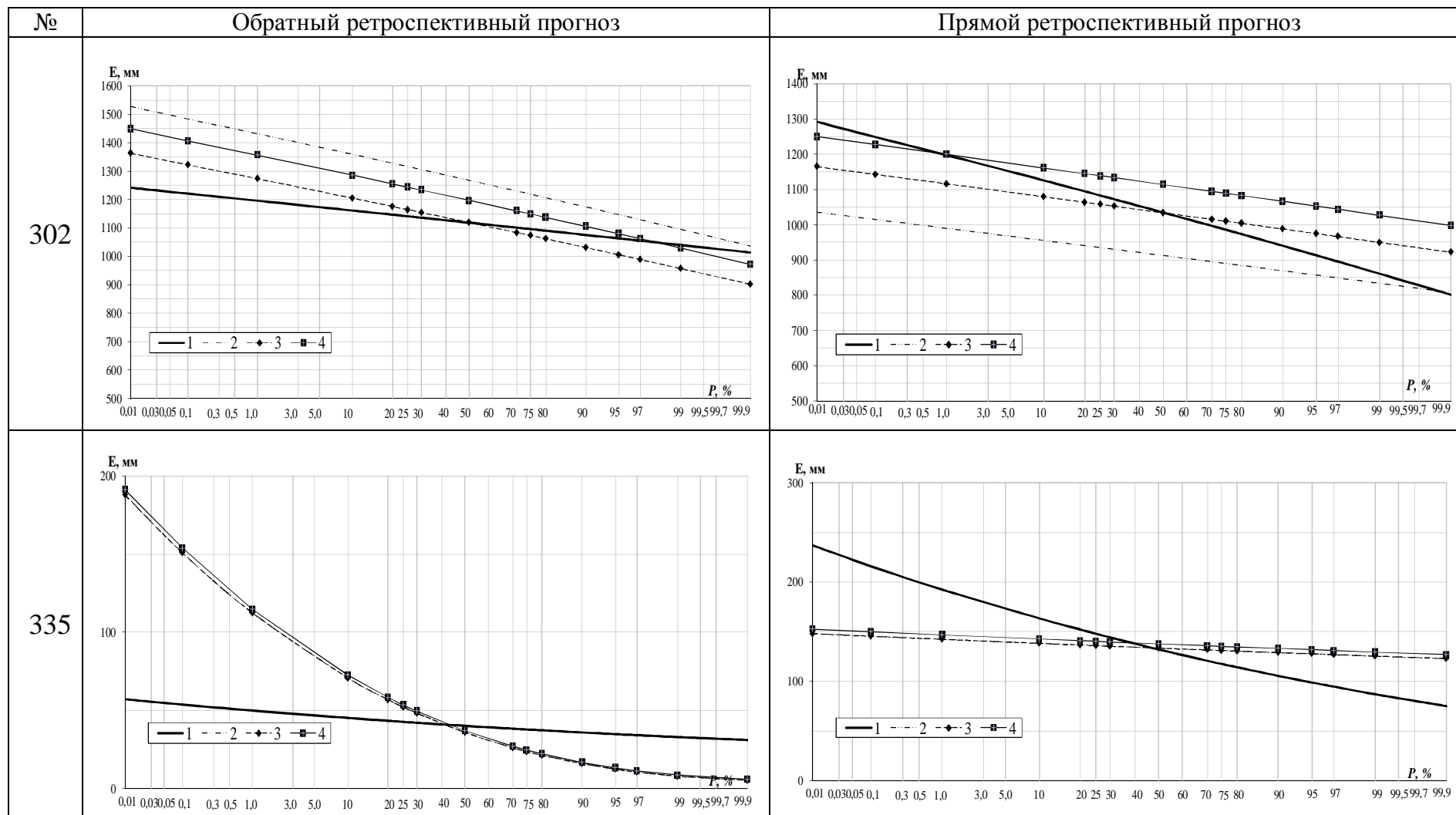
Продолжение приложения Д



Продолжение приложения Д



Продолжение приложения Д



Приложение Е – Сценарные оценки моментов распределения суммарного годового испарения

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} =$ m_l	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} =$ m_l	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} =$ m_l	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} =$ m_l	α	Cv_{np} / Cs_{np}
1	29,3/483	483	520	0,28/1,46	31,0/476	476	513	0,28/1,48	31,2/394	394	440	0,34/1,79	30,7/390	390	435	0,34/1,81
2	29,4/479	479	518	0,28/0,23	31,3/452	452	493	0,30/0,25	31,4/405	405	450	0,33/0,28	30,8/397	397	442	0,34/0,28
3	29,4/481	481	518	0,28/0,26	31,3/453	453	493	0,29/0,28	31,4/407	407	450	0,33/0,31	30,8/399	399	443	0,34/0,32
4	29,3/513	513	548	0,26/0,61	31,1/488	488	524	0,27/0,64	31,2/440	440	480	0,30/0,71	30,7/434	434	474	0,31/0,72
5	29,2/524	524	558	0,25/0,72	31,0/500	500	535	0,27/0,76	31,2/451	451	490	0,29/0,84	30,6/445	445	486	0,30/0,85
6	27,9/852	807	821	0,13/0,48	29,6/902	866	878	0,12/0,45	29,7/825	805	818	0,13/0,49	29,2/835	808	821	0,13/0,48
7	26,9/1237	1063	1066	0,06/–0,29	28,4/1377	1168	1172	0,05/–0,27	28,5/1297	1124	1128	0,05/–0,28	27,9/1317	1127	1130	0,05/–0,28
8	28,4/641	634	662	0,21/–0,23	30,2/631	631	660	0,21/–0,24	30,4/572	572	604	0,24/–0,26	29,8/573	573	605	0,24/–0,26
9	28,3/662	651	678	0,20/0,00	30,1/652	652	679	0,20/0,00	30,2/596	596	625	0,22/0,00	29,7/597	597	628	0,22/0,00
10	30,3/419	419	454	0,29/–0,61	32,2/366	366	406	0,33/–0,7	32,3/347	347	391	0,35/–0,74	31,7/335	335	379	0,37/–0,76
11	30,7/360	360	398	0,33/–0,57	32,7/296	296	344	0,40/–0,69	32,8/287	287	335	0,41/–0,72	32,2/271	271	322	0,44/–0,76
12	28,5/633	628	660	0,23/0,09	30,4/615	615	649	0,23/0,09	30,5/567	567	605	0,25/0,10	30,0/567	567	604	0,25/0,10
13	30,3/430	430	464	0,28/–0,53	32,2/376	376	416	0,32/–0,61	32,3/358	358	399	0,34/–0,64	31,8/346	346	389	0,35/–0,66
14	28,1/685	671	698	0,20/0,36	30,0/674	674	703	0,20/0,37	30,1/623	623	654	0,22/0,39	29,5/626	626	656	0,22/0,39
15	26,2/1542	1204	1205	0,03/–0,33	27,7/1721	1303	1303	0,03/–0,30	27,7/1691	1294	1294	0,03/–0,30	27,1/1688	1280	1281	0,03/–0,30
16	26,3/1615	1235	1236	0,03/–0,03	27,7/1806	1329	1331	0,03/–0,02	27,8/1781	1324	1324	0,03/–0,02	27,2/1775	1309	1309	0,03/–0,02
17	25,8/1452	1158	1159	0,04/–0,08	27,4/1604	1254	1256	0,03/–0,07	27,5/1585	1249	1249	0,03/–0,08	26,8/1577	1232	1234	0,03/–0,08
18	28,7/639	634	661	0,21/–0,29	30,7/610	610	638	0,22/–0,31	30,8/578	578	608	0,23/–0,32	30,2/577	577	608	0,23/–0,32
19	26,1/1663	1250	1251	0,03/0,9	27,6/1838	1335	1336	0,03/0,83	27,7/1840	1338	1339	0,03/0,83	27,1/1817	1317	1319	0,03/0,84
20	25,9/1570	1211	1212	0,03/0,98	27,5/1729	1300	1302	0,03/0,90	27,6/1728	1302	1304	0,03/0,90	26,9/1709	1282	1283	0,03/0,91
21	27,6/792	755	774	0,16/–0,22	29,5/787	770	790	0,16/–0,22	29,6/753	742	762	0,17/–0,23	28,9/755	738	759	0,17/–0,23
22	26,2/1706	1265	1267	0,04/0,46	27,7/1880	1346	1348	0,04/0,42	27,8/1889	1350	1352	0,04/0,42	27,1/1862	1329	1332	0,04/0,43
23	26,1/1645	1242	1244	0,04/1,08	27,6/1811	1327	1328	0,03/0,99	27,7/1817	1331	1332	0,03/0,99	27,0/1792	1309	1311	0,03/1,01

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
24	29,4/567	567	594	0,22/–0,58	31,4/526	526	555	0,24/–0,62	31,5/501	501	532	0,25/–0,65	30,9/497	497	528	0,25/–0,66
25	28,5/695	683	700	0,16/–0,13	30,5/673	673	690	0,16/–0,14	30,6/644	644	663	0,17/–0,14	30,0/644	644	662	0,17/–0,14
26	26/1583	1217	1219	0,03/0,26	27,5/1715	1298	1299	0,03/0,24	27,6/1731	1305	1306	0,03/0,24	27,0/1698	1280	1281	0,03/0,24
27	26,3/1163	1008	1017	0,10/–0,20	28,0/1236	1081	1089	0,09/–0,19	28,1/1228	1077	1086	0,09/–0,19	27,4/1214	1058	1066	0,09/–0,19
28	26,1/1646	1242	1244	0,03/–0,22	27,6/1763	1314	1315	0,03/–0,21	27,7/1794	1325	1326	0,03/–0,2	27,1/1749	1297	1299	0,03/–0,21
29	26,9/1035	932	943	0,11/0,01	28,7/1078	987	997	0,10/0,01	28,8/1062	977	987	0,10/0,01	28,2/1054	962	973	0,10/0,01
30	26,3/1832	1301	1303	0,04/–0,57	27,7/1952	1361	1363	0,03/–0,54	27,8/1997	1371	1372	0,03/–0,53	27,2/1939	1346	1348	0,03/–0,54
31	27,3/2291	1371	1376	0,06/–0,46	28,6/2461	1388	1393	0,06/–0,44	28,7/2492	1386	1389	0,06/–0,44	28,2/2432	1380	1385	0,06/–0,44
32	26,2/1211	1036	1043	0,08/–0,30	27,9/1289	1110	1117	0,08/–0,28	28,0/1291	1113	1119	0,08/–0,28	27,3/1269	1089	1095	0,08/–0,29
33	28,7/722	707	723	0,15/–0,86	30,7/701	701	717	0,15/–0,88	30,8/678	678	695	0,16/–0,91	30,2/675	675	692	0,16/–0,91
34	26,4/1891	1316	1319	0,04/–0,15	27,8/2004	1371	1374	0,04/–0,14	27,9/2054	1380	1382	0,04/–0,14	27,3/1991	1357	1359	0,04/–0,14
35	26,1/1681	1254	1256	0,04/–0,64	27,6/1775	1318	1319	0,04/–0,61	27,7/1821	1332	1334	0,04/–0,6	27,1/1764	1302	1304	0,04/–0,61
36	26,6/2010	1340	1343	0,04/–0,17	27,9/2104	1387	1389	0,04/–0,16	28,0/2163	1392	1395	0,04/–0,16	27,5/2096	1373	1376	0,04/–0,16
37	27,5/979	900	911	0,11/0,00	29,4/1004	942	953	0,11/0,00	29,4/986	929	940	0,11/0,00	28,8/981	918	929	0,11/0,00
38	26,1/1856	1303	1306	0,05/–0,30	27,6/1912	1351	1353	0,05/–0,29	27,7/1988	1366	1370	0,05/–0,28	27,1/1908	1337	1341	0,05/–0,29
39	27,1/2152	1365	1371	0,07/0,02	28,3/2118	1398	1404	0,07/0,02	28,4/2211	1404	1411	0,07/0,02	27,9/2170	1388	1395	0,07/0,02
40	28,2/879	833	846	0,13/–0,11	30,2/885	858	873	0,13/–0,11	30,2/862	840	855	0,13/–0,11	29,6/863	834	849	0,13/–0,11
41	26,4/2039	1340	1345	0,06/–0,34	27,9/2053	1380	1384	0,06/–0,34	28/2142	1389	1394	0,06/–0,33	27,4/2074	1369	1373	0,06/–0,34
42	26,1/1763	1280	1285	0,06/0,16	27,6/1791	1323	1328	0,06/0,16	27,7/1876	1347	1351	0,06/0,15	27,1/1786	1310	1315	0,06/0,16
43	28,1/953	887	901	0,12/–0,13	30,0/975	927	941	0,12/–0,13	29,9/964	918	932	0,12/–0,13	29,4/955	905	918	0,12/–0,13
44	26,6/2012	1342	1349	0,07/–0,37	28,1/2011	1380	1386	0,07/–0,37	28,2/2107	1393	1399	0,07/–0,36	27,6/2038	1370	1377	0,07/–0,37
45	29,0/772	752	766	0,13/–0,25	31,0/760	760	774	0,13/–0,25	31,0/764	764	777	0,13/–0,25	30,5/740	739	752	0,14/–0,26
46	28,7/856	819	831	0,12/–0,14	30,6/862	845	857	0,12/–0,13	30,6/869	850	861	0,12/–0,13	30,1/843	823	835	0,12/–0,14
47	26,6/1809	1303	1308	0,06/0,25	28,1/1804	1337	1342	0,06/0,25	28,2/1903	1364	1368	0,06/0,24	27,6/1811	1327	1333	0,06/0,25

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
48	26,9/1896	1332	1339	0,07/–0,25	28,5/1864	1361	1369	0,07/–0,25	28,6/1976	1387	1393	0,07/–0,24	28,0/1897	1357	1364	0,07/–0,25
49	27,0/1910	1335	1343	0,08/–0,15	28,5/1875	1364	1373	0,08/–0,15	28,6/1988	1389	1397	0,07/–0,14	28,0/1912	1360	1369	0,08/–0,15
50	27,0/1878	1330	1338	0,07/–0,18	28,5/1839	1357	1364	0,07/–0,18	28,6/1954	1385	1392	0,07/–0,17	28,0/1874	1354	1361	0,07/–0,18
51	27,0/1626	1256	1262	0,07/0,33	28,7/1620	1287	1294	0,07/0,32	28,7/1711	1323	1329	0,07/0,31	28,1/1607	1271	1277	0,07/0,33
52	27,1/1761	1302	1309	0,07/0,23	28,7/1715	1323	1328	0,07/0,23	28,8/1830	1360	1366	0,06/0,22	28,2/1735	1318	1325	0,07/0,23
53	29,7/456	456	467	0,16/–0,02	32,0/416	416	429	0,17/–0,03	31,9/436	436	449	0,17/–0,02	31,4/400	400	414	0,18/–0,03
54	27,6/1428	1180	1186	0,08/0,22	29,4/1529	1262	1268	0,07/0,20	29,4/1569	1279	1286	0,07/0,20	28,7/1495	1233	1240	0,07/0,21
55	27,6/2088	1377	1380	0,05/–0,01	29,0/1983	1398	1402	0,05/–0,01	29,1/2129	1419	1423	0,05/–0,01	28,5/2051	1397	1400	0,05/–0,01
56	27,7/2110	1381	1391	0,08/–0,65	29,0/1994	1401	1412	0,09/–0,67	29,2/2144	1422	1431	0,08/–0,64	28,6/2051	1399	1408	0,08/–0,66
57	27,0/1726	1289	1295	0,06/–0,14	28,6/1744	1331	1337	0,06/–0,13	28,7/1845	1363	1367	0,06/–0,13	28,1/1725	1313	1319	0,06/–0,13
58	28,0/2210	1393	1393	0,02/0,05	29,2/2059	1415	1416	0,02/0,05	29,4/2221	1430	1431	0,02/0,05	28,8/2127	1411	1413	0,02/0,05
59	28,0/1265	1098	1106	0,09/–0,02	29,8/1357	1180	1188	0,08/–0,02	29,7/1412	1210	1217	0,08/–0,02	29,1/1333	1156	1163	0,08/–0,02
60	28,2/2294	1397	1399	0,04/0,09	29,3/2118	1424	1428	0,04/0,09	29,5/2291	1433	1436	0,04/0,09	29,2/179	1419	1421	0,04/0,09
61	27,9/1315	1125	1132	0,08/–0,02	29,6/1409	1207	1213	0,08/–0,02	29,6/1465	1235	1242	0,07/–0,02	29,1/384	1182	1189	0,08/–0,02
62	27,3/1598	1250	1257	0,07/–0,31	29,0/1669	1312	1319	0,07/–0,29	29,0/1750	1341	1347	0,07/–0,28	28,4/1645	1291	1297	0,07/–0,3
63	27,7/2237	1385	1392	0,08/–0,25	29,0/2120	1416	1424	0,08/–0,25	29,1/2287	1423	1431	0,07/–0,24	28,6/2150	1407	1415	0,08/–0,25
64	27,6/1387	1159	1166	0,08/–0,25	29,3/1479	1236	1243	0,08/–0,24	29,3/1540	1265	1272	0,07/–0,23	28,7/1458	1214	1222	0,08/–0,24
65	29,4/596	596	608	0,15/0,17	31,5/569	569	582	0,15/0,18	31,4/608	608	621	0,14/0,17	30,8/556	556	569	0,16/0,18
66	29,3/715	707	720	0,14/0,07	31,2/704	704	718	0,14/0,07	31,2/749	749	762	0,13/0,07	30,6/690	690	704	0,14/0,07
67	26,7/1975	1340	1346	0,07/0,01	28,3/2025	1388	1395	0,07/0,01	28,4/2158	1402	1409	0,07/0,01	27,8/2000	1371	1379	0,07/0,01
68	27,1/2234	1367	1374	0,07/0,14	28,6/2222	1408	1415	0,07/0,14	28,7/2374	1403	1410	0,07/0,13	28,1/2212	1395	1403	0,07/0,14
69	28,7/900	855	865	0,11/–0,23	30,5/932	900	911	0,11/–0,22	30,5/995	948	958	0,10/–0,21	29,9/919	882	893	0,11/–0,23
70	26,9/2208	1361	1367	0,07/0,14	28,4/2242	1403	1410	0,07/0,13	28,5/2389	1396	1403	0,07/0,13	27,9/2217	1390	1397	0,07/0,14
71	28,3/1041	955	964	0,10/–0,34	29,9/1105	1022	1031	0,09/–0,32	29,9/1179	1073	1081	0,09/–0,3	29,3/1091	1005	1013	0,09/–0,32

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}
72	28,0/1091	986	994	0,09/–0,33	29,6/1151	1050	1058	0,09/–0,31	29,6/1230	1102	1109	0,08/–0,29	29,0/1143	1036	1044	0,09/–0,31
73	28,0/1089	984	994	0,09/–0,33	29,6/1149	1048	1057	0,09/–0,31	29,6/1228	1100	1108	0,08/–0,29	29,0/1141	1034	1043	0,09/–0,31
74	27,1/2383	1355	1360	0,06/0,14	28,6/2406	1396	1401	0,06/0,13	28,7/2557	1370	1375	0,06/0,13	28,1/2380	1385	1391	0,06/0,13
75	26,4/1600	1231	1236	0,06/0,05	28,0/1694	1300	1304	0,05/0,05	28,1/1791	1333	1337	0,05/0,05	27,5/1680	1284	1288	0,06/0,05
76	27,6/883	829	844	0,13/–0,18	29,3/875	841	855	0,13/–0,18	29,4/945	897	911	0,13/–0,17	28,8/866	828	844	0,14/–0,18
77	25,6/2171	1324	1325	0,03/0,06	27,1/2131	1364	1365	0,03/0,06	27,2/2254	1367	1368	0,03/0,06	26,6/2124	1351	1352	0,03/0,06
78	25,5/2418	1297	1298	0,03/–0,31	26,9/2318	1354	1356	0,03/–0,31	27/2459	1337	1338	0,03/–0,30	26,4/2333	1339	1340	0,03/–0,31
79	25,2/2283	1305	1307	0,03/–0,75	26,6/2184	1352	1354	0,03/–0,76	26,7/2323	1349	1349	0,03/–0,73	26,1/2192	1339	1340	0,03/–0,76
80	25,3/1685	1237	1240	0,05/0,01	26,8/1711	1280	1282	0,05/0,01	26,9/1782	1304	1306	0,04/0,01	26,3/1675	1257	1260	0,05/0,01
81	25,7/2526	1282	1284	0,03/–0,55	27,1/2425	1348	1349	0,03/–0,54	27,2/2560	1321	1322	0,03/–0,53	26,6/2449	1329	1330	0,03/–0,54
82	26,9/2696	1269	1270	0,03/0,11	28,3/2420	1385	1386	0,03/0,11	28,4/2665	1329	1331	0,03/0,10	27,8/2590	1335	1336	0,03/0,11
83	24,8/2131	1300	1301	0,03/–0,35	26,3/2029	1335	1336	0,03/–0,36	26,4/2155	1345	1347	0,03/–0,35	25,8/2032	1322	1323	0,03/–0,36
84	25,2/2341	1300	1302	0,03/–0,13	26,6/2231	1352	1353	0,03/–0,13	26,7/2361	1344	1346	0,03/–0,13	26,1/2246	1337	1338	0,03/–0,13
85	27,0/2388	1350	1353	0,05/–1,15	28,1/1805	1339	1343	0,06/–1,33	28,3/2083	1394	1399	0,06/–1,21	27,8/2094	1383	1387	0,06/–1,21
86	25,3/2280	1311	1313	0,04/–0,22	26,7/2203	1357	1358	0,04/–0,22	26,8/2318	1354	1355	0,04/–0,22	26,2/2208	1342	1344	0,04/–0,22
87	24,4/2134	1289	1291	0,03/–0,32	25,9/1987	1320	1322	0,03/–0,32	26,0/2118	1334	1336	0,03/–0,31	25,4/2002	1309	1310	0,03/–0,32
88	24,9/2204	1302	1302	0,03/–0,08	26,3/2092	1342	1343	0,03/–0,08	26,4/2212	1347	1349	0,03/–0,08	25,8/2100	1328	1330	0,03/–0,08
89	26,3/2283	1340	1342	0,05/0,57	27,8/1978	1367	1370	0,05/0,61	27,9/2190	1388	1391	0,05/0,57	27,3/2140	1371	1374	0,05/0,58
90	24,5/2136	1293	1294	0,03/–0,4	26,0/1992	1325	1326	0,03/–0,41	26,1/2120	1338	1340	0,03/–0,4	25,5/2006	1313	1315	0,03/–0,41
91	24,5/2132	1292	1294	0,03/–0,42	26,0/1986	1324	1325	0,03/–0,43	26,1/2115	1337	1339	0,03/–0,41	25,5/2001	1312	1314	0,03/–0,43
92	26,2/2315	1334	1338	0,06/1,51	27,7/2162	1383	1389	0,06/1,53	27,8/2333	1381	1387	0,06/1,47	27,2/2258	1368	1374	0,06/1,51
93	26,5/2258	1348	1351	0,05/0,37	27,8/1710	1302	1305	0,06/0,44	27,9/1967	1370	1373	0,05/0,40	27,4/1975	1358	1361	0,05/0,40
94	27,3/2203	1371	1382	0,09/–0,79	28,0/1377	1162	1178	0,12/–1,09	28,3/1663	1296	1311	0,10/–0,94	27,9/1760	1319	1333	0,10/–0,91
95	29,2/762	746	760	0,13/–0,19	30,9/746	746	759	0,13/–0,19	31,0/782	781	793	0,13/–0,19	30,4/726	726	739	0,14/–0,2

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}
96	25,0/2183	1306	1307	0,03/–0,3	26,6/2041	1344	1345	0,03/–0,31	26,6/2159	1353	1355	0,03/–0,30	26,0/2061	1332	1333	0,03/–0,31
97	24,6/1950	1280	1282	0,03/–0,42	26,2/1860	1305	1306	0,03/–0,42	26,2/1965	1325	1327	0,03/–0,41	25,6/1844	1289	1290	0,04/–0,43
98	25,9/2316	1326	1329	0,05/2,03	27,5/2191	1378	1381	0,05/2,04	27,6/2333	1375	1378	0,05/1,98	27,0/2259	1362	1364	0,05/2,03
99	25,9/2316	1326	1329	0,05/2,02	27,5/2191	1378	1381	0,05/2,04	27,6/2333	1375	1378	0,05/1,98	27,0/2259	1361	1365	0,05/2,02
100	26,7/2124	1354	1358	0,06/–1,01	27,9/1446	1194	1201	0,07/–1,31	28,0/1704	1305	1311	0,07/–1,15	27,5/1758	1310	1316	0,06/–1,13
101	26,6/2092	1350	1353	0,05/–0,99	27,9/1428	1185	1190	0,07/–1,27	28/1681	1296	1302	0,06/–1,12	27,5/1731	1301	1306	0,06/–1,1
102	27,0/1342	1124	1129	0,06/–0,45	28,5/1426	1196	1200	0,06/–0,42	28,7/1462	1217	1221	0,06/–0,42	28,1/1375	1161	1165	0,06/–0,44
103	24,8/1923	1281	1283	0,03/–0,56	26,3/1897	1317	1318	0,03/–0,55	26,4/1983	1332	1334	0,03/–0,54	25,8/1852	1295	1297	0,03/–0,57
104	26,2/2016	1332	1336	0,06/0,39	27,8/1458	1198	1204	0,07/0,48	27,8/1690	1295	1301	0,07/0,43	27,2/1709	1289	1294	0,07/0,43
105	26,1/2000	1326	1330	0,06/0,39	27,7/1480	1208	1213	0,07/0,48	27,8/1705	1299	1304	0,06/0,43	27,1/1713	1288	1293	0,06/0,43
106	25,7/1830	1288	1290	0,05/–0,17	27,7/1375	1155	1159	0,06/–0,2	27,7/1579	1250	1254	0,05/–0,18	27,0/1571	1233	1236	0,05/–0,18
107	25,6/1945	1307	1311	0,05/–0,1	27,6/1538	1231	1236	0,06/–0,12	27,6/1741	1306	1311	0,05/–0,11	26,9/1717	1283	1287	0,06/–0,11
108	29,8/835	814	831	0,14/–0,23	31,6/830	828	844	0,14/–0,23	31,7/855	850	865	0,14/–0,22	31,1/798	796	813	0,15/–0,24
109	25,7/1931	1306	1310	0,06/0,32	27,7/1534	1231	1237	0,06/0,37	27,6/1733	1306	1310	0,06/0,34	26,9/1706	1281	1286	0,06/0,35
110	28,5/1123	1015	1024	0,09/–0,66	30,2/1218	1102	1110	0,09/–0,61	30,3/1223	1108	1116	0,09/–0,61	29,7/1162	1059	1068	0,09/–0,64
111	25,8/2397	1311	1313	0,04/–0,27	27,5/2215	1379	1382	0,04/–0,27	27,6/2383	1370	1373	0,04/–0,26	26,9/2306	1357	1359	0,04/–0,27
112	25,9/2328	1323	1325	0,03/–0,46	27,6/2205	1382	1383	0,03/–0,46	27,7/2305	1381	1382	0,03/–0,45	27,1/2243	1365	1366	0,03/–0,46
113	26,7/1533	1212	1217	0,06/–0,06	28,4/1592	1270	1275	0,06/–0,06	28,5/1638	1290	1295	0,06/–0,06	27,9/1533	1236	1240	0,06/–0,06
114	25,6/2191	1323	1324	0,03/–0,09	27,4/2043	1365	1367	0,03/–0,1	27,4/2151	1375	1376	0,03/–0,09	26,8/2069	1353	1354	0,03/–0,10
115	27,7/1330	1129	1136	0,07/–0,39	29,3/1413	1204	1209	0,07/–0,37	29,5/1435	1218	1223	0,07/–0,36	28,9/1358	1166	1172	0,07/–0,38
116	28,4/1163	1040	1050	0,1/–0,53	30,1/1237	1113	1122	0,09/–0,5	30,3/1250	1124	1132	0,09/–0,49	29,7/1190	1076	1086	0,09/–0,51
117	27,2/1430	1173	1177	0,06/–0,61	28,9/1500	1239	1243	0,06/–0,58	29/1538	1259	1262	0,05/–0,57	28,4/1445	1203	1207	0,06/–0,60
118	26,2/1733	1274	1276	0,05/0,07	28,0/1745	1318	1322	0,05/0,07	28,1/1831	1344	1347	0,05/0,07	27,5/1700	1292	1295	0,05/0,07
119	18,3/243	218	226	0,2/0,08	19,4/211	193	204	0,23/0,09	19,5/217	199	209	0,23/0,08	19,0/216	196	207	0,23/0,08

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
120	27,3/1380	1150	1154	0,07/–0,14	29,1/1458	1222	1226	0,06/–0,14	29,2/1501	1245	1249	0,06/–0,13	28,6/1404	1185	1190	0,07/–0,14
121	27,1/1396	1155	1160	0,06/0,08	29,0/1479	1231	1235	0,06/0,08	29,1/1537	1259	1264	0,06/0,07	28,5/1422	1193	1197	0,06/0,08
122	27,8/1309	1120	1125	0,06/–0,26	29,6/1385	1194	1198	0,06/–0,25	29,7/1413	1211	1214	0,06/–0,24	29,2/1340	1160	1165	0,06/–0,25
123	26,1/2217	1338	1340	0,04/–0,19	28,0/2198	1392	1395	0,04/–0,19	28,0/2309	1389	1391	0,04/–0,18	27,4/2163	1374	1377	0,04/–0,19
124	27,7/1305	1115	1121	0,07/–0,46	29,5/1381	1189	1194	0,06/–0,44	29,6/1412	1208	1212	0,06/–0,43	29,0/1336	1155	1161	0,06/–0,45
125	15,8/228	195	213	0,30/0,17	16,6/204	178	197	0,33/0,19	16,9/201	177	196	0,33/0,19	16,4/201	175	195	0,34/0,20
126	27,4/1093	980	991	0,11/–0,53	29,2/1142	1037	1048	0,10/–0,51	29,3/1170	1058	1068	0,10/–0,50	28,7/1109	1007	1019	0,11/–0,52
127	17,7/440	381	399	0,22/0,78	19,7/363	329	350	0,26/0,92	19,6/387	349	369	0,24/0,87	18,9/377	336	357	0,25/0,90
128	25,9/1957	1317	1318	0,04/–0,65	27,9/2025	1377	1379	0,03/–0,62	28,0/2103	1388	1389	0,03/–0,61	27,2/1977	1353	1355	0,03/–0,64
129	23,3/1223	996	1001	0,07/–0,06	25,3/1151	985	991	0,08/–0,07	25,3/1193	1011	1017	0,07/–0,06	24,7/1187	997	1004	0,08/–0,06
130	25,4/1923	1298	1301	0,04/0,04	27,4/1987	1360	1362	0,04/0,04	27,5/2064	1372	1374	0,04/0,04	26,7/1946	1335	1338	0,04/0,04
131	25,4/1920	1298	1300	0,04/0,06	27,4/1985	1359	1362	0,04/0,06	27,5/2062	1371	1374	0,04/0,06	26,7/1943	1335	1337	0,04/0,06
132	15,8/730	578	593	0,16/0,83	18,1/639	539	555	0,17/0,92	17,9/654	549	564	0,17/0,90	17,2/645	535	551	0,17/0,91
133	15,9/679	544	551	0,12/0,3	17,1/611	509	517	0,13/0,33	17,1/639	529	538	0,13/0,32	16,8/629	519	527	0,13/0,32
134	13,8/916	663	669	0,09/0,03	15,5/822	634	640	0,10/0,04	15,5/839	644	651	0,10/0,04	14,9/825	628	633	0,10/0,04
135	17,3/806	648	656	0,11/0,17	18,5/728	608	617	0,12/0,18	18,5/749	624	632	0,12/0,18	18,2/750	621	629	0,12/0,18
136	23,4/719	655	679	0,19/–0,04	25,4/742	693	716	0,19/–0,04	25,3/759	706	729	0,18/–0,04	24,6/749	690	714	0,18/–0,04
137	14,3/968	701	705	0,07/–0,11	16,1/890	684	688	0,08/–0,11	16,1/900	690	694	0,08/–0,11	15,5/887	673	678	0,08/–0,11
138	14,4/953	695	699	0,08/–0,04	16,4/885	687	691	0,09/–0,04	16,4/889	688	693	0,08/–0,04	15,7/879	672	678	0,09/–0,04
139	14,2/975	703	707	0,08/–0,12	16,1/909	697	701	0,08/–0,13	16,1/913	699	704	0,08/–0,13	15,5/902	682	687	0,08/–0,13
140	21,8/739	653	662	0,12/0,37	23,9/691	637	647	0,13/0,39	23,7/729	665	675	0,12/0,37	22,9/712	644	653	0,12/0,38
141	16,1/896	689	696	0,1/–0,23	18,4/835	681	689	0,11/–0,24	18,3/836	681	688	0,11/–0,24	17,5/829	666	674	0,11/–0,24
142	22,7/1220	984	988	0,06/–0,15	24,5/1242	1027	1031	0,06/–0,15	24,7/1220	1017	1021	0,06/–0,15	24,0/1213	1001	1005	0,06/–0,15
143	14,6/951	697	700	0,06/0,07	16,6/904	701	704	0,06/0,08	16,6/905	701	704	0,06/0,08	15,9/893	684	687	0,07/0,08

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
144	22,1/721	642	662	0,17/–0,24	24,1/711	654	675	0,17/–0,24	24,0/728	667	687	0,17/–0,24	23,2/745	673	691	0,17/–0,23
145	22,5/1157	945	950	0,07/–0,29	24,2/1197	995	1000	0,07/–0,28	24,4/1143	967	971	0,07/–0,29	23,7/1147	958	964	0,07/–0,29
146	23,2/619	571	590	0,18/–0,19	25,2/580	554	574	0,19/–0,2	24,9/635	599	618	0,17/–0,18	24,1/626	585	603	0,18/–0,18
147	19,7/2283	1127	1127	0,03/0,04	21,5/2242	1194	1194	0,03/0,04	21,5/2280	1189	1190	0,03/0,04	20,9/2263	1170	1172	0,03/0,04
148	19,7/2243	1133	1133	0,03/0,09	21,5/2202	1197	1198	0,03/0,09	21,5/2239	1194	1194	0,03/0,09	20,9/2224	1175	1176	0,03/0,09
149	22,8/816	722	740	0,15/0,15	24,6/887	796	811	0,14/0,14	24,7/868	784	799	0,14/0,14	23,9/862	770	786	0,14/0,14
150	27,4/45	45	57	0,54/0,69	29,3/34	34	51	0,71/0,91	29,5/37	37	53	0,65/0,83	28,7/36	36	52	0,67/0,86
151	21,7/2047	1207	1208	0,03/0,06	23,6/2022	1261	1262	0,03/0,06	23,6/2055	1263	1265	0,03/0,06	22,9/2016	1241	1243	0,03/0,06
152	21,8/2046	1212	1213	0,03/–0,13	23,7/2019	1265	1266	0,03/–0,13	23,8/2054	1268	1269	0,03/–0,13	23,1/2013	1246	1247	0,03/–0,13
153	20,0/1971	1155	1156	0,04/0,38	21,8/1935	1203	1205	0,04/0,37	21,8/1968	1207	1208	0,04/0,37	21,2/1957	1188	1190	0,04/0,37
154	22,3/753	669	689	0,17/–0,54	24,1/763	696	717	0,17/–0,53	24,1/763	697	717	0,17/–0,53	23,3/794	712	731	0,17/–0,51
155	22,0/1046	870	874	0,07/–0,11	23,5/1073	909	914	0,07/–0,11	23,9/1014	876	881	0,07/–0,11	23,2/1019	870	874	0,07/–0,11
156	21,9/1993	1211	1214	0,04/–0,23	23,8/1965	1262	1264	0,04/–0,22	23,8/1998	1266	1268	0,04/–0,22	23,2/1959	1244	1245	0,04/–0,23
157	23,2/946	821	833	0,12/–0,32	24,9/1008	886	897	0,11/–0,30	25,1/975	867	878	0,11/–0,31	24,4/953	842	853	0,12/–0,32
158	22,7/818	723	740	0,15/–0,18	24,5/875	786	802	0,14/–0,16	24,7/858	776	791	0,14/–0,17	23,8/864	769	785	0,14/–0,17
159	22,2/1040	870	874	0,07/–0,49	23,8/1075	915	919	0,07/–0,47	24,1/1026	888	892	0,07/–0,49	23,5/1021	875	879	0,07/–0,50
160	22,9/14	14	14	0,11/0,17	25,1/11	11	11	0,13/0,22	25,0/11	11	10	0,14/0,22	24,4/13	13	14	0,11/0,18
161	20,4/24	23	26	0,35/0,79	22,6/20	19	23	0,43/0,97	22,4/23	22	26	0,37/0,83	21,9/23	22	26	0,36/0,83
162	23,1/821	729	749	0,16/0,37	24,8/890	801	820	0,15/0,33	25,0/869	788	806	0,15/0,34	24,1/866	775	793	0,15/0,35
163	18,6/1347	968	972	0,07/–0,15	20,2/1330	993	996	0,06/–0,14	20,2/1296	976	981	0,07/–0,15	19,7/1271	954	958	0,07/–0,15
164	23,2/819	729	748	0,16/0,32	25,0/888	801	819	0,15/0,29	25,2/865	787	805	0,15/0,29	24,3/862	774	792	0,15/0,30
165	27,5/1238	1073	1079	0,08/–0,25	29,3/1253	1110	1117	0,07/–0,24	29,4/1275	1125	1132	0,07/–0,24	28,8/1222	1084	1090	0,08/–0,25
166	26,0/1501	1183	1187	0,06/–0,15	28,0/1496	1220	1224	0,06/–0,15	28,1/1525	1235	1240	0,06/–0,14	27,4/1481	1201	1205	0,06/–0,15
167	23,4/772	696	713	0,16/–0,42	25,1/816	748	765	0,15/–0,4	25,3/802	739	757	0,15/–0,40	24,4/823	745	762	0,15/–0,4

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}
168	23,9/13	12	14	0,27/0,61	26,1/11	11	12	0,31/0,70	26,1/9	9	10	0,38/0,86	25,5/12	12	12	0,29/0,66
169	21,8/1277	997	1004	0,08/–0,01	23,5/1221	998	1004	0,08/–0,01	23,5/1236	1005	1013	0,08/–0,01	22,8/1192	970	978	0,09/–0,01
170	21,9/1479	1091	1096	0,07/–0,08	23,5/1433	1104	1111	0,07/–0,08	23,5/1435	1105	1110	0,07/–0,08	22,9/1377	1066	1073	0,08/–0,08
171	21,9/1680	1158	1160	0,04/0,27	23,9/1667	1200	1202	0,04/0,27	23,9/1678	1204	1206	0,04/0,27	23,2/1651	1180	1182	0,04/0,27
172	28,7/420	420	433	0,17/0,01	30,5/408	408	420	0,18/0,01	30,6/443	443	454	0,16/0,01	29,9/436	436	448	0,17/0,01
173	23,8/776	703	718	0,14/–0,50	25,5/829	763	776	0,13/–0,46	25,7/811	751	764	0,14/–0,47	24,8/827	753	767	0,13/–0,47
174	28,7/367	367	382	0,20/0,05	30,5/355	355	369	0,21/0,05	30,6/386	386	399	0,19/0,05	29,8/380	380	393	0,19/0,05
175	24,7/11	11	12	0,20/0,35	26,9/11	11	11	0,21/0,36	26,9/8	8	8	0,29/0,51	26,2/11	11	12	0,20/0,36
176	22,7/1022	865	885	0,15/–0,38	24,5/955	844	864	0,15/–0,4	24,5/993	870	890	0,15/–0,39	23,8/965	842	862	0,15/–0,40
177	24,1/750	685	704	0,16/–0,73	25,7/796	740	757	0,15/–0,68	25,9/783	730	749	0,16/–0,70	25/811	743	761	0,15/–0,68
178	25,2/15	15	15	0,13/0,20	27,4/12	12	12	0,16/0,24	27,4/10	10	10	0,19/0,29	26,7/12	12	12	0,16/0,24
179	25,1/14	14	13	0,13/0,21	27,4/12	12	12	0,15/0,24	27,4/9	9	10	0,20/0,31	26,7/12	12	11	0,16/0,25
180	23,5/967	840	861	0,16/–0,39	25,2/912	822	845	0,17/–0,4	25,2/953	852	874	0,16/–0,39	24,6/930	827	849	0,16/–0,4
181	21,6/1430	1064	1067	0,04/0,28	23,6/1415	1097	1099	0,04/0,28	23,6/1419	1100	1102	0,04/0,28	22,9/1405	1080	1082	0,04/0,28
182	21,5/1343	1024	1026	0,04/0,38	23,4/1325	1051	1054	0,04/0,37	23,5/1330	1055	1058	0,04/0,37	22,8/1320	1037	1039	0,04/0,38
183	21,5/1349	1027	1028	0,04/0,37	23,4/1331	1054	1057	0,04/0,37	23,5/1336	1058	1060	0,04/0,37	22,8/1325	1040	1042	0,04/0,37
184	24,3/764	699	713	0,14/0,39	26,0/851	785	797	0,12/0,35	26,2/819	763	775	0,13/0,36	25,4/809	745	759	0,13/0,37
185	28,0/72	72	109	0,72/0,80	30,1/55	55	103	0,94/1,04	30,2/64	64	106	0,80/0,89	29,5/61	61	105	0,85/0,94
186	25,1/785	724	740	0,15/–0,17	26,7/846	789	804	0,14/–0,16	26,9/821	772	788	0,14/–0,16	26/838	775	791	0,14/–0,16
187	23,6/715	654	665	0,13/–0,83	25,1/792	730	740	0,12/–0,75	25,5/766	713	723	0,12/–0,77	24,8/746	690	700	0,13/–0,79
188	22,2/1150	936	940	0,07/–0,2	24,1/1146	964	968	0,07/–0,19	24,2/1144	963	968	0,07/–0,19	23,5/1133	946	950	0,07/–0,2
189	23,9/1587	1174	1177	0,06/0,02	25,8/1585	1213	1218	0,06/0,02	25,8/1619	1227	1231	0,06/0,02	25,2/1567	1194	1198	0,06/0,02
190	25,7/866	793	835	0,23/–0,52	27,2/916	848	888	0,21/–0,49	27,3/914	848	888	0,21/–0,49	26,6/926	849	888	0,21/–0,49
191	24,9/799	733	743	0,12/–0,76	26,6/851	792	802	0,11/–0,71	26,8/820	771	781	0,12/–0,73	26/828	767	777	0,12/–0,73

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
192	24,0/770	701	715	0,14/–0,70	25,6/850	781	793	0,13/–0,64	25,8/823	762	775	0,13/–0,65	25,2/817	750	764	0,13/–0,66
193	22,0/744	659	667	0,11/–0,23	23,4/761	687	695	0,11/–0,22	23,8/753	685	692	0,11/–0,22	22,9/742	668	675	0,11/–0,23
194	23,7/742	676	687	0,14/0,15	25,1/765	708	720	0,13/0,15	25,1/749	696	708	0,13/0,15	24,8/733	679	692	0,14/0,15
195	23,6/761	689	702	0,14/0,43	24,9/790	726	739	0,13/0,41	25,0/773	714	727	0,13/0,42	24,7/753	694	707	0,14/0,43
196	18,7/1426	1000	1001	0,04/–0,69	20,4/1358	1008	1010	0,04/–0,7	20,4/1409	1030	1032	0,04/–0,68	19,8/1339	988	990	0,04/–0,71
197	17,7/1623	1037	1037	0,03/–0,34	19,4/1620	1079	1081	0,03/–0,34	19,5/1654	1090	1091	0,03/–0,33	18,8/1627	1066	1067	0,03/–0,34
198	24,5/765	701	736	0,22/0,25	25,8/778	726	760	0,22/0,24	25,8/760	711	747	0,22/0,25	25,5/753	703	738	0,22/0,25
199	20,1/947	779	782	0,06/–1,59	21,8/919	783	786	0,06/–1,61	21,8/949	805	807	0,06/–1,57	21,2/897	760	763	0,06/–1,66
200	24,3/374	364	384	0,24/–0,02	26,1/373	371	392	0,24/–0,02	26,2/387	384	405	0,23/–0,02	25,5/359	355	376	0,25/–0,03
201	22,9/771	690	707	0,16/–0,18	23,9/753	686	704	0,16/–0,18	24,5/732	675	693	0,16/–0,18	23,4/765	690	707	0,16/–0,18
202	24,6/824	750	765	0,14/–0,16	25,8/806	748	764	0,14/–0,16	26,0/783	732	748	0,15/–0,16	25,5/804	742	758	0,14/–0,16
203	20,4/1191	927	933	0,08/0,16	22,1/1198	961	967	0,08/0,15	22,2/1224	976	982	0,08/0,15	21,5/1207	956	961	0,08/0,15
204	24,0/723	663	687	0,19/–0,30	25,7/737	691	714	0,18/–0,29	25,8/762	712	735	0,18/–0,28	25,2/729	680	703	0,19/–0,30
205	26,4/524	514	552	0,27/0,51	27,9/463	463	507	0,31/0,57	28,0/473	473	515	0,30/0,56	27,4/484	483	524	0,29/0,55
206	21,8/861	744	757	0,13/0,29	23,6/843	752	765	0,14/0,29	23,7/873	775	788	0,13/0,28	23,0/835	739	753	0,14/0,29
207	28,4/320	320	384	0,45/0,49	30,2/283	283	355	0,51/0,55	30,2/308	308	374	0,47/0,51	29,7/299	299	368	0,48/0,52
208	28,1/284	284	351	0,48/0,79	29,8/263	263	335	0,52/0,86	29,9/279	279	346	0,49/0,81	29,3/261	261	334	0,52/0,86
209	29,0/402	402	450	0,35/0,73	30,6/299	299	365	0,47/0,98	30,7/303	303	368	0,46/0,96	30,1/340	340	398	0,41/0,86
210	28,9/298	298	366	0,47/0,93	30,4/258	258	336	0,55/1,07	30,6/260	260	336	0,55/1,07	29,9/261	261	338	0,54/1,06
211	29,0/423	423	449	0,25/0,63	30,6/314	314	350	0,34/0,85	30,7/321	321	356	0,33/0,83	30,1/360	360	390	0,29/0,74
212	29,0/394	394	436	0,32/0,70	30,6/299	299	354	0,43/0,92	30,7/307	307	360	0,42/0,90	30,0/337	337	386	0,38/0,81
213	28,9/354	354	395	0,34/0,46	30,4/282	282	332	0,43/0,58	30,6/287	287	337	0,42/0,57	29,9/306	306	353	0,39/0,53
214	27,9/202	202	322	0,77/–0,16	29,5/169	169	312	0,92/–0,19	29,3/155	155	312	1,00/–0,21	28,9/141	141	313	1,10/–0,23
215	28,5/96	96	152	0,76/0,70	30,3/59	59	150	1,24/1,14	30,1/73	73	147	1,00/0,92	29,6/59	59	151	1,24/1,14

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}
216	29,0/295	295	370	0,50/0,09	30,7/265	265	347	0,56/0,10	30,7/231	231	327	0,64/0,11	30,2/217	217	318	0,68/0,12
217	28,5/594	593	626	0,24/-0,67	30,1/632	632	664	0,22/-0,63	30,2/520	520	558	0,27/-0,77	29,8/529	529	567	0,27/-0,75
218	30,5/215	215	281	0,56/0,19	32,4/152	152	247	0,79/0,27	32,3/161	161	251	0,74/0,26	31,8/135	135	240	0,89/0,31
219	30,5/165	165	220	0,58/0,27	32,5/109	109	191	0,88/0,40	32,4/123	123	197	0,77/0,36	31,8/101	101	191	0,94/0,43
220	28,1/1114	1002	1012	0,10/-0,38	29,5/1255	1115	1124	0,09/-0,34	29,5/1132	1035	1045	0,09/-0,38	29,1/1165	1052	1060	0,09/-0,37
221	30,7/281	281	318	0,37/-0,08	32,7/216	216	266	0,48/-0,11	32,7/218	218	267	0,47/-0,11	32,1/197	197	252	0,52/-0,12
222	29,3/192	192	218	0,37/0,34	31,8/132	132	172	0,54/0,50	31,5/152	152	186	0,47/0,43	30,9/127	127	168	0,56/0,52
223	30,6/297	297	340	0,38/0,12	32,9/229	229	285	0,50/0,15	32,8/235	235	289	0,48/0,15	32,2/215	215	274	0,53/0,17
224	30,2/327	327	365	0,34/0,25	32,6/263	263	308	0,42/0,32	32,5/269	269	315	0,41/0,31	31,9/249	249	298	0,44/0,33
225	30,4/456	456	481	0,24/-0,41	32,6/390	390	421	0,28/-0,47	32,6/383	383	414	0,28/-0,48	32,0/368	368	399	0,30/-0,50
226	26,3/1352	1117	1122	0,07/-0,11	28,0/1411	1178	1185	0,07/-0,11	28,0/1449	1198	1204	0,07/-0,1	27,3/1398	1160	1166	0,07/-0,11
227	26,7/1476	1186	1195	0,09/-0,22	28,4/1544	1250	1259	0,09/-0,21	28,4/1589	1270	1279	0,08/-0,21	27,8/1521	1227	1237	0,09/-0,22
228	27,6/1180	1039	1049	0,10/-0,13	29,4/1239	1104	1114	0,09/-0,13	29,4/1261	1117	1127	0,09/-0,12	28,8/1217	1080	1090	0,09/-0,13
229	27,8/1273	1099	1106	0,08/0,03	29,6/1350	1173	1181	0,08/0,03	29,6/1385	1192	1199	0,07/0,03	28,9/1324	1148	1154	0,08/0,03
230	29,6/686	683	696	0,14/-0,01	31,6/667	667	680	0,14/-0,01	31,6/686	686	699	0,14/-0,01	31,1/644	644	658	0,15/-0,01
231	28,4/1100	998	1005	0,08/-0,22	30,2/1175	1075	1081	0,08/-0,2	30,1/1230	1109	1116	0,07/-0,2	29,6/1157	1053	1060	0,08/-0,21
232	28,2/1177	1046	1055	0,09/-0,15	30,0/1268	1131	1138	0,08/-0,14	29,9/1329	1166	1174	0,08/-0,14	29,3/1247	1107	1116	0,09/-0,15
233	27,1/1671	1272	1283	0,09/-0,23	28,7/1740	1331	1341	0,09/-0,22	28,8/1837	1361	1370	0,08/-0,22	28,2/1720	1313	1323	0,09/-0,23
234	29,0/338	338	343	0,12/0,11	31,3/304	304	310	0,14/0,13	31,3/328	328	334	0,13/0,12	30,6/289	289	294	0,14/0,13
235	29,3/607	607	621	0,15/0,14	31,2/580	580	595	0,16/0,15	31,2/623	623	637	0,15/0,14	30,6/568	568	584	0,16/0,15
236	26,9/1639	1257	1266	0,08/-0,01	28,5/1718	1320	1329	0,08/-0,01	28,6/1817	1352	1360	0,08/-0,01	28,0/1704	1304	1312	0,08/-0,01
237	28,8/694	684	701	0,16/0,07	30,6/668	668	685	0,16/0,07	30,6/727	727	743	0,15/0,06	30,0/659	659	677	0,16/0,07
238	27,9/947	881	893	0,12/-0,06	29,5/966	915	927	0,11/-0,06	29,6/1041	972	982	0,11/-0,05	29,0/957	901	914	0,11/-0,06
239	26,3/1604	1232	1235	0,06/-0,91	27,9/1693	1298	1302	0,05/-0,86	28,0/1780	1328	1332	0,05/-0,83	27,4/1665	1278	1281	0,05/-0,87

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}
240	27,2/2683	1282	1284	0,04/–0,43	28,4/2666	1331	1333	0,04/–0,42	28,5/2822	1273	1275	0,04/–0,42	28,0/2661	1320	1321	0,04/–0,42
241	28,0/425	425	438	0,17/0,28	30,1/394	394	408	0,18/0,30	30,3/424	424	436	0,17/0,28	29,6/373	373	387	0,19/0,32
242	26,4/2503	1309	1310	0,03/–0,12	27,7/2483	1357	1359	0,03/–0,12	27,8/2630	1323	1324	0,03/–0,12	27,3/2479	1345	1345	0,03/–0,12
243	25,8/1575	1210	1213	0,05/–0,60	27,3/1634	1265	1268	0,05/–0,58	27,4/1707	1293	1296	0,05/–0,56	26,8/1603	1243	1246	0,05/–0,59
244	25,7/1403	1133	1137	0,06/0,00	27,3/1528	1221	1225	0,05/0,00	27,5/1599	1255	1258	0,05/0,00	26,8/1499	1198	1202	0,05/0,00
245	27,8/942	875	892	0,14/–0,10	29,4/942	894	911	0,14/–0,10	29,5/1002	942	957	0,13/–0,09	28,9/930	879	896	0,14/–0,10
246	27,5/3093	1080	1083	0,04/–0,61	28,7/2791	1294	1297	0,04/–0,59	28,8/3077	1142	1145	0,04/–0,6	28,4/2991	1178	1180	0,04/–0,59
247	27,0/2959	1146	1146	0,03/0,03	28,3/2796	1276	1277	0,03/0,02	28,4/3006	1169	1170	0,03/0,02	27,9/2908	1206	1208	0,03/0,02
248	24,5/1914	1274	1276	0,04/–0,4	26,1/1865	1303	1306	0,04/–0,4	26,1/1955	1322	1324	0,04/–0,39	25,5/1838	1285	1287	0,04/–0,41
249	24,5/522	499	516	0,19/0,00	24,9/337	331	359	0,29/0,01	25,2/392	385	409	0,25/0,01	24,9/424	413	434	0,23/0,01
250	27,6/2005	1366	1381	0,11/–0,55	28,1/1071	973	1002	0,17/–0,89	28,4/1353	1155	1177	0,14/–0,73	28,0/1493	1219	1239	0,13/–0,67
251	28,1/209	209	210	0,05/0,03	30,3/185	185	185	0,06/0,04	30,5/201	201	201	0,05/0,03	29,6/171	171	171	0,06/0,04
252	28,8/944	889	901	0,11/–0,59	30,4/978	934	946	0,11/–0,56	30,5/1010	961	971	0,11/–0,55	29,9/947	905	916	0,11/–0,58
253	25,6/1070	938	989	0,23/0,21	27,1/632	616	701	0,37/0,34	27,2/784	745	813	0,30/0,27	26,7/828	775	841	0,29/0,26
254	29,4/565	565	580	0,16/0,18	31,3/531	531	547	0,17/0,19	31,4/563	563	578	0,16/0,18	30,8/512	512	529	0,18/0,20
255	22,9/817	724	774	0,26/–0,37	24,1/664	616	677	0,31/–0,45	24,3/722	665	721	0,29/–0,41	23,7/745	678	733	0,28/–0,40
256	26,6/1797	1300	1311	0,09/0,21	27,9/1099	990	1007	0,13/0,31	28,0/1333	1137	1150	0,11/0,27	27,5/1407	1166	1180	0,11/0,26
257	25,5/2289	1315	1316	0,03/–0,24	27,1/2135	1366	1367	0,03/–0,24	27,2/2245	1369	1370	0,03/–0,23	26,6/2177	1352	1354	0,03/–0,24
258	24,8/1984	1290	1290	0,03/0,17	26,5/1788	1296	1297	0,03/0,18	26,5/1917	1326	1326	0,03/0,17	25,9/1816	1289	1291	0,03/0,18
259	24,6/1312	1067	1085	0,13/0,45	27,3/917	851	876	0,17/0,60	27,0/1060	951	974	0,15/0,53	26,3/1078	954	975	0,15/0,53
260	17,9/239	213	218	0,15/0,41	18,6/250	225	229	0,14/0,39	18,8/241	218	222	0,14/0,41	18,4/233	210	214	0,15/0,42
261	22,5/1095	907	935	0,17/–0,73	25,3/835	765	801	0,22/–0,91	25,1/945	844	876	0,19/–0,81	24,2/975	854	885	0,19/–0,8
262	22,4/897	776	795	0,16/0,13	24,4/800	729	751	0,17/0,14	24,3/829	750	771	0,17/0,14	23,6/862	766	787	0,16/0,14
263	21,9/1215	967	983	0,13/–0,87	24/1013	877	897	0,15/–1,01	23,9/1112	940	957	0,14/–0,93	23,2/1135	942	960	0,14/–0,92

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
264	28,9/944	891	904	0,12/–0,36	30,7/955	920	932	0,11/–0,36	30,8/987	946	959	0,11/–0,35	30,2/920	887	900	0,12/–0,37
265	20,7/566	506	524	0,19/0,43	22,9/493	462	482	0,21/0,48	22,7/521	485	504	0,20/0,45	22,0/490	453	474	0,21/0,48
266	22,1/1093	900	917	0,13/–0,44	24,2/954	839	858	0,15/–0,49	24,1/1020	883	901	0,14/–0,46	23,4/1026	877	894	0,14/–0,46
267	18,7/310	278	295	0,24/0,78	20,2/267	247	267	0,28/0,89	20,2/276	255	273	0,27/0,86	19,6/271	248	267	0,28/0,88
268	26,5/2366	1337	1339	0,04/–0,38	28,3/2314	1399	1400	0,04/–0,38	28,4/2403	1390	1392	0,04/–0,37	27,7/2321	1378	1380	0,04/–0,38
269	26,7/2253	1354	1355	0,04/0,49	28,6/2169	1409	1412	0,04/0,49	28,6/2292	1409	1411	0,04/0,47	27,9/2196	1391	1393	0,04/0,49
270	28,1/1086	984	997	0,12/–0,44	29,8/1123	1033	1046	0,11/–0,42	30,0/1156	1058	1071	0,11/–0,41	29,4/1083	1000	1013	0,12/–0,43
271	25,7/2114	1326	1329	0,05/–0,01	27,9/1903	1357	1360	0,05/–0,01	27,9/2069	1382	1386	0,05/–0,01	27,1/1977	1350	1354	0,05/–0,01
272	28,3/206	206	207	0,08/0,09	30,2/214	214	214	0,07/0,09	30,4/225	225	226	0,07/0,09	29,6/204	204	205	0,08/0,09
273	18,2/521	449	454	0,09/–0,07	19,0/484	426	431	0,10/–0,08	19,1/474	419	422	0,10/–0,08	18,7/511	445	450	0,09/–0,07
274	22,5/1397	1067	1072	0,07/0,12	24,5/1224	1016	1022	0,07/0,13	24,4/1315	1065	1070	0,07/0,12	23,8/1338	1064	1069	0,07/0,12
275	23,3/970	838	852	0,12/–0,01	25,4/876	798	811	0,13/–0,01	25,3/931	838	851	0,13/–0,01	24,6/919	820	833	0,13/–0,01
276	23,2/1631	1173	1178	0,06/–0,44	25,2/1475	1157	1161	0,06/–0,47	25,2/1574	1197	1201	0,06/–0,45	24,5/1605	1193	1198	0,06/–0,44
277	25,9/2142	1332	1334	0,04/–0,62	28,0/2081	1386	1387	0,04/–0,62	28,0/2209	1392	1393	0,04/–0,60	27,2/2091	1367	1369	0,04/–0,62
278	26,6/1481	1187	1192	0,06/–0,44	28,5/1558	1259	1263	0,06/–0,41	28,6/1602	1279	1282	0,06/–0,40	27,9/1502	1222	1227	0,06/–0,43
279	23,8/1857	1246	1249	0,05/–0,16	25,9/1712	1260	1265	0,06/–0,16	26/1805	1287	1291	0,05/–0,16	25,2/1790	1265	1268	0,05/–0,16
280	27,1/600	587	603	0,16/–0,19	28,9/610	610	626	0,16/–0,18	29,1/641	639	654	0,15/–0,17	28,4/595	592	608	0,16/–0,19
281	14,2/435	351	363	0,18/0,34	15,7/342	289	303	0,22/0,42	15,7/366	308	321	0,21/0,39	15,2/358	299	313	0,22/0,40
282	26,5/2276	1348	1351	0,05/0,15	28,5/2321	1403	1407	0,05/0,15	28,6/2393	1399	1401	0,05/0,14	27,8/2291	1385	1388	0,05/0,15
283	22,2/689	619	643	0,20/0,32	24,4/648	606	632	0,21/0,34	24,2/684	634	659	0,20/0,32	23,5/653	602	627	0,21/0,34
284	23,8/890	788	809	0,16/0,02	25,9/850	783	804	0,17/0,02	25,7/903	822	842	0,16/0,02	25,0/860	781	803	0,17/0,02
285	24,9/2031	1298	1300	0,04/0,18	26,9/2042	1354	1355	0,03/0,17	27,0/2114	1360	1362	0,03/0,17	26,2/2027	1333	1335	0,04/0,17
286	16,2/643	522	527	0,10/0,27	17,4/548	463	469	0,11/0,31	17,3/573	482	487	0,11/0,29	17,0/585	488	494	0,10/0,29
287	27,1/1009	916	924	0,10/–0,09	28,8/1037	959	967	0,09/–0,09	28,9/1061	977	985	0,09/–0,09	28,3/1020	939	947	0,09/–0,09

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}	T_{np} / X_{np}	$E_{np} = m_l$	α	Cv_{np} / Cs_{np}
288	23,7/730	667	690	0,19/0,08	25,8/723	680	705	0,19/0,08	25,6/762	710	733	0,18/0,08	25,0/728	677	700	0,19/0,08
289	26,0/647	619	640	0,19/–0,51	27,8/681	663	685	0,18/–0,48	27,9/719	698	717	0,17/–0,46	27,2/659	639	661	0,18/–0,50
290	14,5/665	518	531	0,16/0,57	16,5/551	458	473	0,18/0,67	16,4/580	478	492	0,17/0,64	15,8/567	463	477	0,18/0,65
291	13,2/552	427	438	0,16/0,35	14,8/459	374	388	0,19/0,41	14,7/493	399	411	0,18/0,38	14,4/472	380	393	0,18/0,40
292	22,8/1449	1097	1099	0,05/0,26	24,7/1381	1103	1106	0,05/0,26	24,8/1409	1118	1120	0,05/0,26	24,1/1416	1107	1110	0,05/0,26
293	15,6/660	527	537	0,13/0,14	16,9/577	481	491	0,15/0,16	16,9/606	502	512	0,14/0,15	16,5/603	497	507	0,14/0,15
294	26,1/480	472	485	0,16/0,48	28,0/473	473	486	0,16/0,48	28,2/507	507	518	0,15/0,45	27,4/471	471	484	0,17/0,48
295	25,4/2033	1313	1317	0,05/–0,59	27,5/2027	1367	1371	0,05/–0,58	27,5/2097	1375	1380	0,05/–0,57	26,8/2015	1347	1352	0,05/–0,59
296	24,1/774	704	723	0,16/0,01	26,0/794	741	759	0,16/0,01	26,0/818	760	777	0,15/0,01	25,3/792	732	750	0,16/0,01
297	24,7/2319	1288	1299	0,09/–0,6	26,6/2280	1349	1359	0,09/–0,60	26,7/2389	1340	1350	0,09/–0,58	26/2263	1331	1342	0,09/–0,6
298	18,3/814	666	674	0,11/–0,17	20,6/736	638	647	0,12/–0,18	20,5/744	643	651	0,12/–0,18	19,7/738	630	638	0,12/–0,19
299	25,1/1946	1294	1298	0,05/–0,02	27,1/1985	1352	1355	0,05/–0,02	27,2/2062	1364	1367	0,05/–0,02	26,4/1951	1329	1333	0,05/–0,02
300	22,5/708	636	653	0,16/0,09	24,6/686	639	656	0,16/0,09	24,4/717	663	678	0,16/0,08	23,6/710	649	666	0,16/0,08
301	23,7/1405	1095	1098	0,05/0,53	25,5/1448	1150	1153	0,05/0,51	25,6/1443	1149	1152	0,05/0,51	24,9/1410	1121	1123	0,05/0,52
302	24,6/2091	1292	1297	0,06/–0,45	26,6/2044	1345	1350	0,06/–0,45	26,6/2111	1350	1355	0,06/–0,44	25,9/2045	1327	1332	0,06/–0,45
303	23,9/889	789	803	0,13/0,02	25,7/944	851	864	0,12/0,01	25,8/928	841	854	0,12/0,01	25,1/914	823	835	0,12/0,02
304	27,5/704	681	691	0,13/–0,32	29,3/681	677	687	0,13/–0,33	29,4/731	722	732	0,12/–0,30	28,8/680	672	682	0,13/–0,33
305	23,0/1373	1067	1070	0,06/0,27	24,9/1390	1111	1114	0,06/0,27	24,9/1419	1125	1128	0,05/0,26	24,2/1371	1089	1093	0,06/0,27
306	20,2/841	709	715	0,09/–0,24	22,3/776	687	693	0,10/–0,25	22,2/801	704	710	0,09/–0,25	21,4/787	684	691	0,10/–0,25
307	19,6/1011	812	816	0,08/0,38	20,9/947	790	795	0,08/0,40	20,9/946	789	795	0,08/0,40	20,5/947	785	789	0,08/0,40
308	28,2/1368	1159	1165	0,07/–0,39	30,2/1351	1183	1189	0,07/–0,39	30,2/1387	1204	1210	0,07/–0,38	29,5/1334	1163	1169	0,07/–0,39
309	16,0/1020	758	761	0,06/–0,48	18,1/967	762	764	0,07/–0,5	18,0/968	762	764	0,07/–0,50	17,2/956	741	745	0,07/–0,51
310	28,0/632	622	633	0,13/–0,23	29,9/599	599	610	0,14/–0,24	30,0/644	644	655	0,13/–0,22	29,3/606	606	617	0,14/–0,23
311	19,8/1048	838	846	0,10/–0,48	21,8/978	823	831	0,10/–0,50	21,8/994	833	841	0,10/–0,49	21,0/971	808	816	0,10/–0,51

№	Commit 2040 – 2069				SRA1B 2040 – 2069				SRA2 2040 – 2069				SRBI 2040 – 2069			
	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$	$\frac{T_{np}}{X_{np}}$	$E_{np} = m_l$	α	$\frac{Cv_{np}}{Cs_{np}}$
312	23,6/769	695	704	0,12/–0,06	25,1/839	767	775	0,11/–0,05	25,4/812	749	758	0,11/–0,06	24,7/789	723	733	0,11/–0,06
313	28,4/877	833	840	0,09/–0,10	30,3/825	810	817	0,10/–0,10	30,3/884	859	866	0,09/–0,10	29,7/822	802	809	0,10/–0,10
314	26,6/41	41	53	0,53/0,48	28,7/32	32	46	0,69/0,63	28,8/31	31	47	0,70/0,63	28,1/30	30	46	0,72/0,65
315	22,0/839	730	740	0,11/–1,16	23,4/865	766	776	0,11/–1,12	23,9/836	750	759	0,11/–1,15	23,3/820	731	741	0,12/–1,17
316	27,8/1013	928	934	0,08/–0,11	29,6/949	903	909	0,08/–0,12	29,6/1012	950	955	0,07/–0,11	29,0/932	883	889	0,08/–0,12
317	27,2/584	573	581	0,11/–0,43	29,1/563	563	571	0,12/–0,44	29,0/604	604	611	0,11/–0,41	28,4/570	570	577	0,12/–0,44
318	24,7/1043	908	918	0,11/0,32	26,6/1066	949	960	0,10/0,31	26,6/1069	952	961	0,10/0,31	26,0/1040	923	933	0,11/0,31
319	27,5/258	258	275	0,26/–0,41	29,6/242	242	261	0,27/–0,44	29,6/267	267	285	0,25/–0,40	28,8/254	254	270	0,26/–0,42
320	23,2/740	669	680	0,13/–3,08	24,9/731	678	691	0,13/–3,07	24,9/757	700	712	0,13/–2,97	24,3/702	650	662	0,14/–3,20
321	23,3/527	494	518	0,22/–0,45	24,7/543	518	542	0,21/–0,43	24,9/555	531	553	0,21/–0,42	24,2/537	509	533	0,22/–0,44
322	22,7/469	439	465	0,24/0,23	23,9/496	471	496	0,23/0,22	24,3/494	472	496	0,23/0,22	23,3/492	463	488	0,23/0,22
323	27,2/73	73	132	0,91/2,20	29,1/64	64	133	1,03/2,49	29,1/67	67	132	0,99/2,39	28,4/64	64	133	1,03/2,49
324	26,7/522	513	560	0,30/0,29	28,4/531	531	577	0,30/0,28	28,5/557	557	601	0,28/0,27	27,9/524	524	570	0,30/0,28
325	27,7/174	174	287	0,81/1,94	29,6/153	153	282	0,92/2,21	29,6/167	167	286	0,84/2,02	28,9/157	157	283	0,89/2,15
326	26,2/1060	940	953	0,12/0,02	27,3/1060	955	968	0,12/0,02	27,4/1018	927	942	0,12/0,02	27,0/1048	943	956	0,12/0,02
327	28,0/389	389	431	0,33/0,37	29,7/352	352	399	0,36/0,41	29,8/378	378	420	0,34/0,39	29,2/371	371	414	0,34/0,39
328	27,0/1221	1056	1057	0,04/0,14	28,1/1273	1105	1106	0,04/0,14	28,2/1222	1075	1076	0,04/0,14	27,8/1270	1097	1099	0,04/0,14
329	27,4/912	848	894	0,23/–0,33	28,6/766	743	799	0,27/–0,39	28,5/748	728	784	0,28/–0,40	28,2/785	756	810	0,27/–0,38
330	28,5/601	599	602	0,08/0,16	29,8/469	469	474	0,10/0,20	29,8/461	461	465	0,10/0,21	29,4/504	504	509	0,09/0,19
331	26,6/236	236	260	0,32/0,37	28,3/240	240	263	0,32/0,37	28,5/247	247	270	0,31/0,36	27,5/237	237	261	0,32/0,37
332	26,5/386	385	419	0,30/0,11	28,1/395	395	429	0,29/0,10	28,3/401	401	434	0,29/0,10	27,5/375	375	411	0,31/0,11
333	27,2/267	267	295	0,32/–0,01	28,7/281	281	306	0,30/–0,01	29,0/277	277	304	0,31/–0,01	28,2/260	260	288	0,33/–0,01
334	26,3/163	163	213	0,55/0,14	27,7/167	167	215	0,54/0,14	28,0/153	153	206	0,59/0,15	27,2/158	158	209	0,57/0,14
335	26,9/74	74	179	1,20/1,65	28,0/80	80	179	1,11/1,52	28,3/73	73	181	1,21/1,66	27,6/74	74	180	1,20/1,65

где $T_{\text{пр}}$, $X_{\text{пр}}$ (или $N_{\text{пр}}$ в модели 4.6), $E_{\text{пр}}$, $Cv_{\text{пр}}$, $Cs_{\text{пр}}$ – прогнозные (сценарные) оценки норм температуры воздуха, осадков, суммарного испарения и его коэффициентов вариации и асимметрии на период с 2040 по 2069 гг.

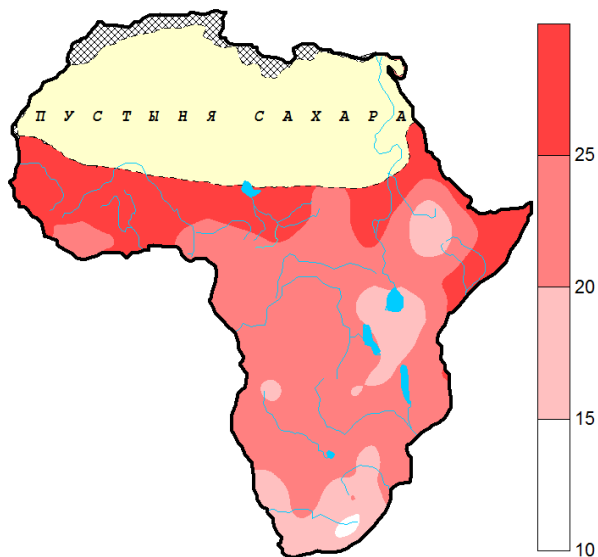
Нормы E и $Cv \approx f(m_1, m_2)$ и Cs определяется по соотношению Cs/Cv . $\alpha = m_2/m_1$ (или $m_2 = \alpha m_1$).

xx – жирными обозначены номера ретроспективных станций.

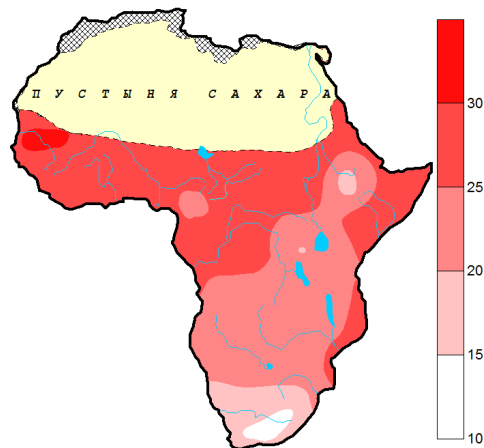
Приложение Ж – Фактические и сценарные карты-схемы распределения по территории Африки нормы метеорологических элементов и суммарного годового испарения

Норма среднегодовой температуры воздуха:

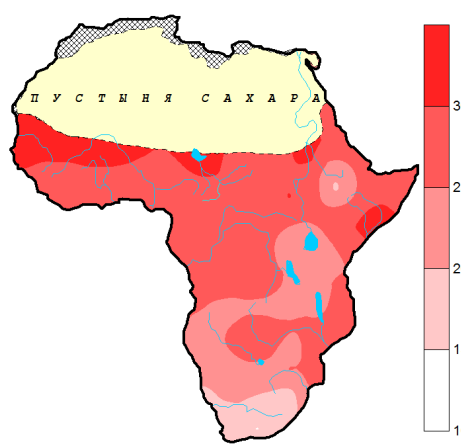
ФАКТИЧЕСКАЯ 1951 - 1990



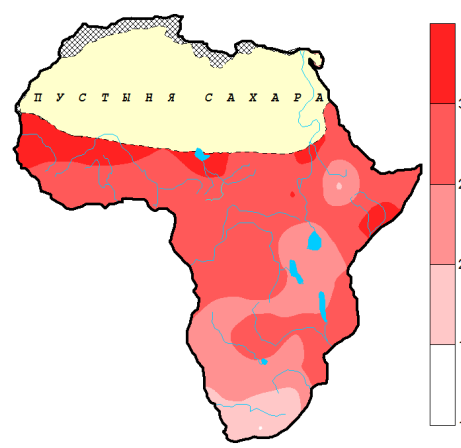
COMIT 2040 - 2069



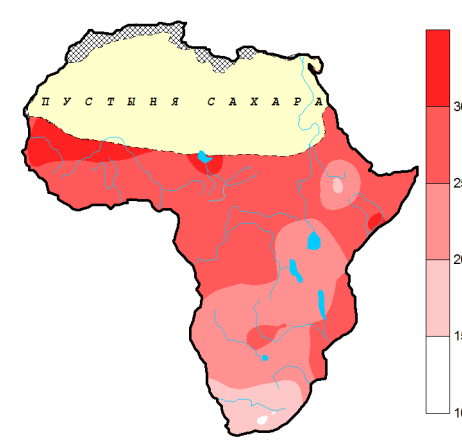
SRA1B 2040 - 2069



SRA2 2040 - 2069



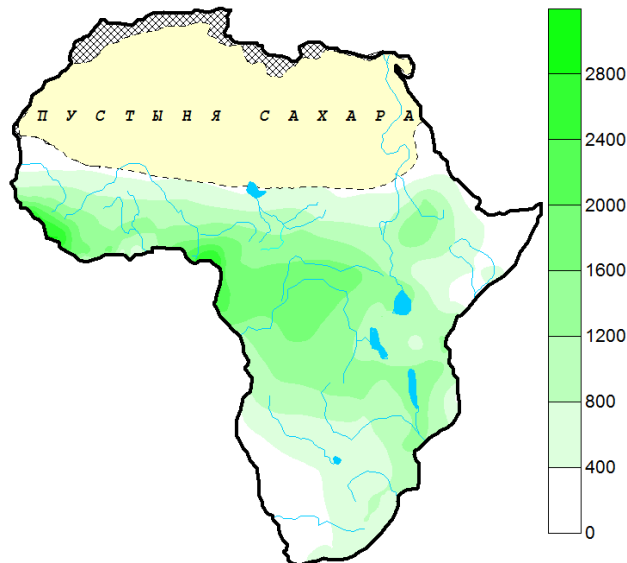
SRB1 2040 - 2069



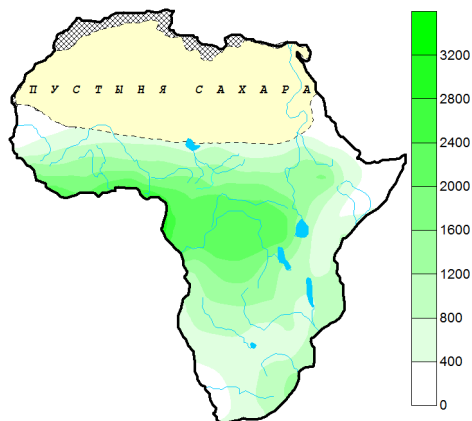
Продложение приложения Ж

Норма годовой суммы осадков:

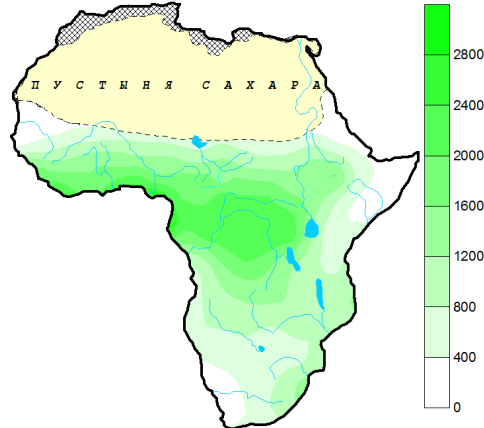
ФАКТИЧЕСКАЯ 1951 - 1990



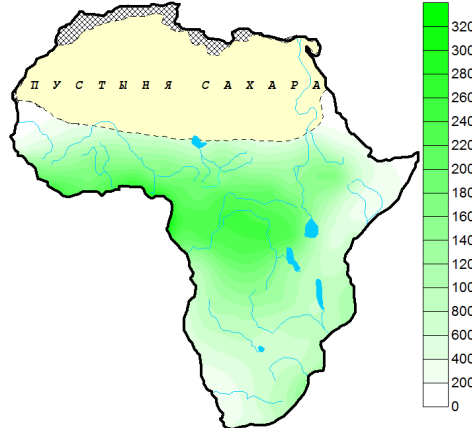
COMIT 2040 - 2069



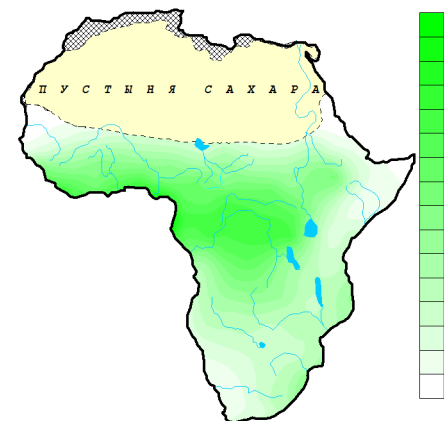
SRA1B 2040 - 2069



SRA2 2040 - 2069



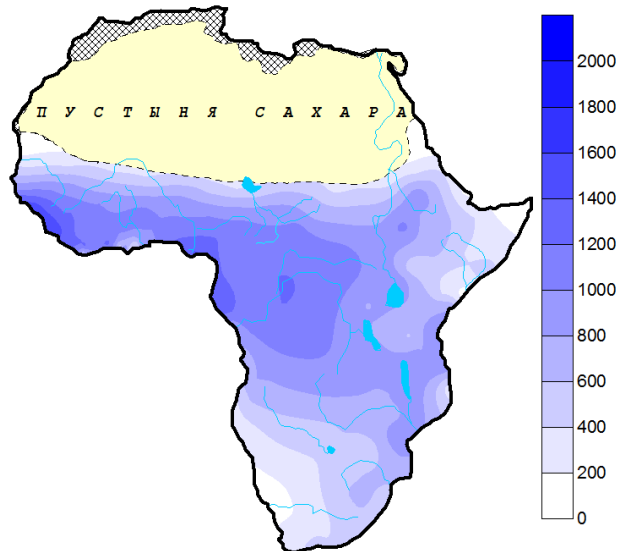
SRB1 2040 - 2069



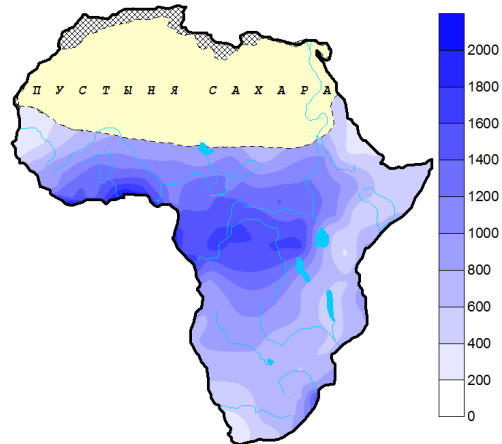
Продложение приложения Ж

Норма годовой суммы испарения:

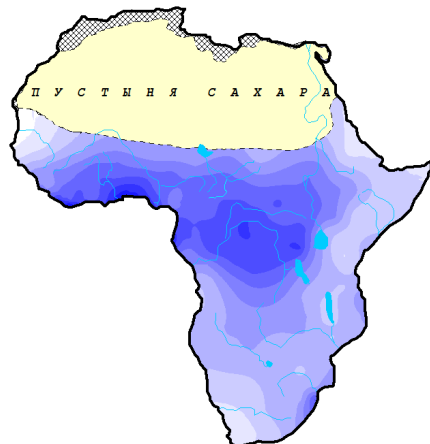
ФАКТИЧЕСКАЯ 1951 - 1990



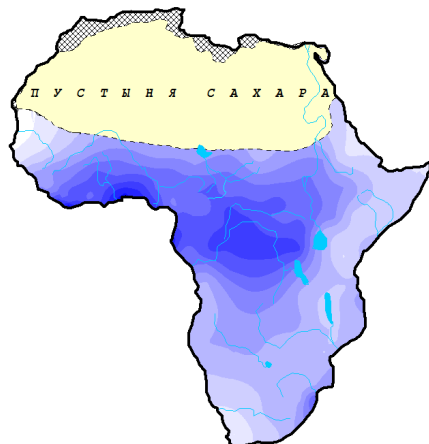
COMIT 2040 - 2069



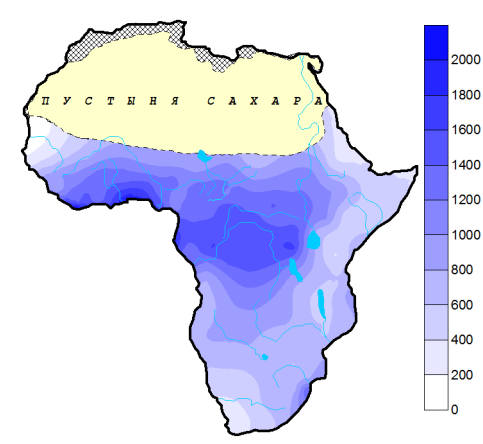
SRA1B 2040 - 2069



SRA2 2040 - 2069



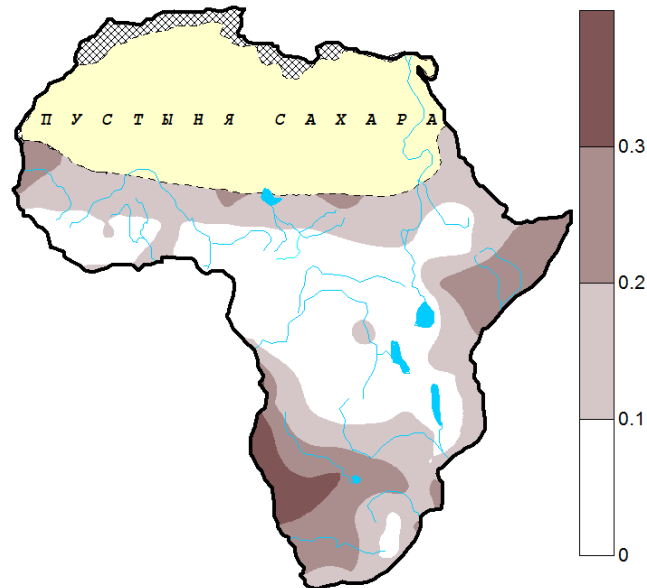
SRB1 2040 - 2069



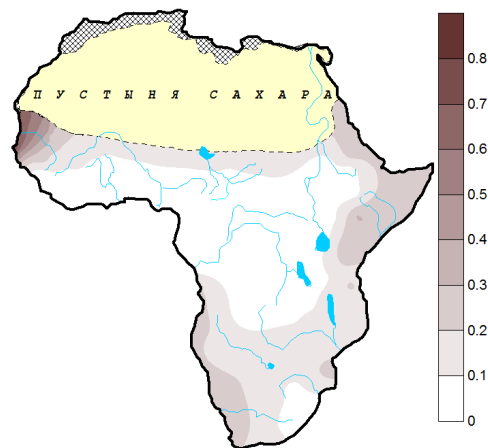
Продложение приложения Ж

Норма коэффициента вариации нормы испарения:

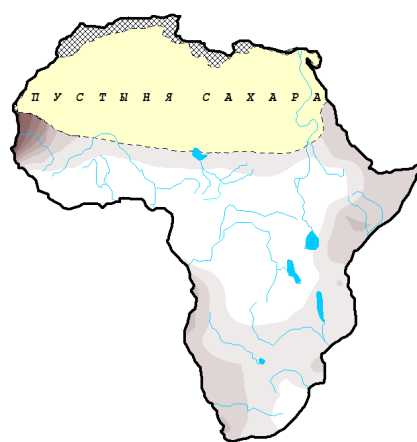
ФАКТИЧЕСКАЯ 1951 - 1990



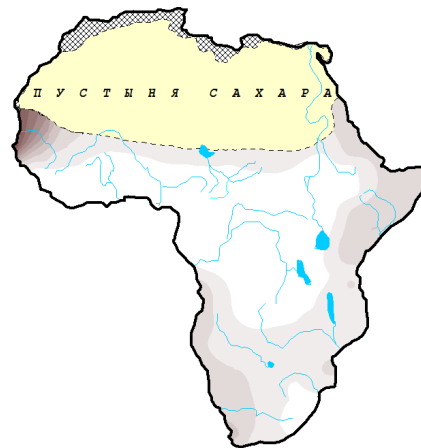
COMIT 2040 - 2069



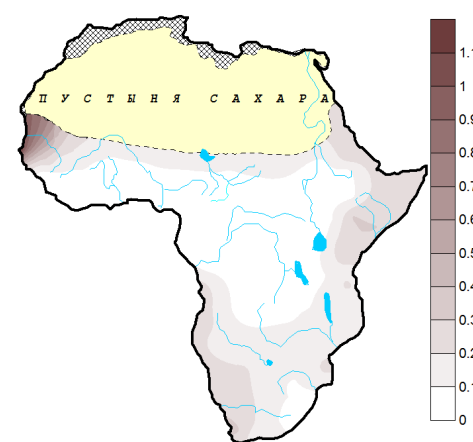
SRA1B 2040 - 2069



SRA2 2040 - 2069



SRB1 2040 - 2069



Приложение 3 – Справки об использовании результатов диссертации

MINISTRE DE L'EQUIPEMENT
ET DES TRANSPORTS

SECRETARIAT GENERAL

AGENCE NATIONALE DE
LA METEOROLOGIE



REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple – Un But – Une Foi

Cette note est remise à Hamidou DIAWARA, doctorant à l'Université d'Etat d'Hydrométéorologie de Russie, dans le but de la présenter au conseil des savants à l'occasion de la soutenance de sa thèse sur le thème « Evaluation des variations à long terme des caractéristiques de l'évaporation à partir des sols de l'Afrique dans les conditions de changements climatiques».

Dans ce travail il évalue l'état actuel de l'évaporation en Afrique, en proposant des cartes de la norme d'évaporation et de sa variabilité. En plus il propose une méthodologie d'évaluation de l'évaporation au niveau des sols de l'Afrique, permettant l'élaboration de cartes de la dite caractéristique selon les différents scénarios climatiques connus. L'utilisation de celles-ci peut nous permettre de faire une projection des besoins en eaux des plantes dans le futur et de délimiter des zones selon les différentes activités agropastorales qu'on pourra y exercer.

Ce travail, bien que l'objectif principal soit la recherche de solution à une problématique hydrologique, à savoir l'amélioration des prévisions hydrologiques avec l'insertion de l'évaporation (et/ou l'évapotranspiration) dans des modèles de prévisions hydrologiques, présente quelques résultats d'une grande importance pour l'activité météorologique au Mali. A savoir les différentes cartes d'évaporation (les cartes réelles et celles issues des scénarios climatiques), très couramment utilisées dans la pratique en agrométéorologie.



Directeur des Applications Météorologiques
et Climatologiques

M. Birama DIARRA

Bamako, le 07/10/2014

