

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский государственный университет»
(ТГУ, НИ ТГУ)

Ленина пр., 36, г. Томск, 634050
Тел. (3822) 52-98-52, факс (3822) 52-95-85
E-mail: rector@tsu.ru
http://www.tsu.ru
ОКПО 02069318, ОГРН 1027000853978
ИНН 7018012970, КПП 701701001

26.12.2019 № *66028/1012*
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора по научной
и инновационной деятельности
Национального исследовательского
Томского государственного
университета

Краснова Татьяна Семеновна

« *26* » декабря 2019 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Национального исследовательского Томского государственного университета – на диссертацию Бонгу Сотима Эрнесто «Вероятностные распределения многолетнего стока и испарения с территории речных бассейнов Западной Африки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 56 наименований, и 11 приложений.

Во введении обоснованы актуальность темы, цель и задачи работы, охарактеризованы материалы и методы исследования, представлены основные положения, выносимые на защиту, дана характеристика научной и практической значимости диссертации, научной обоснованности и достоверности результатов, приведены сведения об апробации полученных результатов на конференциях.

Цель исследования – разработка и адаптация к условиям Западной Африки методики совместного учета вероятностных распределений стока и испарения с возможностью наглядного визуального представления их обеспеченных значений одномерным многообразием в многомерном пространстве.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. создание базы многолетних совместных наблюдений по стоку, осадкам и температуре воздуха с целью генерации рядов годового испарения по методу Тюрка;
2. выбор репрезентативного периода и статистический анализ надежности исходных данных;
3. расчет двумерных поверхностей плотностей вероятности $p(Q, E)$ для речных бассейнов Западной Африки;
4. построение и анализ безусловных и условных распределений стока для повышения устойчивости последних в области малых вероятностей превышения стока;
5. построение совместных одномерных многообразий обеспеченности стока и испарения для современного климата и для наиболее вероятных климатических сценариев на XXI в.

Первая глава диссертации посвящена формированию совместной базы данных по стоку и испарению. Приводится описание климатических условий Африканского континента. Объем и характер исходных данных по речному стоку – 46 гидрологических створов. Проводится сравнительная характеристика методов расчета испарения М.И. Будыко, П.С. Кузина, А.Р. Константинова, формулы Тюрка и Пенмана-Монтейна. Приводится обоснование метода Тюрка, как более универсального для исследуемой территории, характеризующейся глубоким залеганием грунтовых вод. Поля среднегодовой температуры воздуха и сумм атмосферных осадков с разрешением в 1 градус по широте и долготе (источник NOAA) были основой для расчета испарения. При этом, сетевые данные, путем интерполяции, привязывались к центрам водосборов включенных в расчет рек. Был выполнен статистический анализ рядов данных по годовому стоку и испарению, с 1951 по 1990 гг., на однородность с использованием критериев Стьюдента и Фишера для 1 %, 5 %, 10 % уровней значимости. Показано, что для Западной Африки характерен синхронный ход атмосферных осадков, стока и испарения. Выполнен расчет статистических характеристик рядов слоя стока и испарения – норма, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, коэффициенты

вариации и асимметрии, эксцесс. Построены карты данных статистических характеристик, а также соотношения $\frac{Cs}{Cv}$, в изолиниях.

Вторая глава посвящена многомерным кривым распределения стока и испарения. Методика основана на уравнении Фоккера – Планка – Колмогорова (ФПК), которое можно аппроксимировать системой дифференциальных уравнений для начальных моментов. Для практических целей в работе использовался упрощенный вариант системы уравнений при следующих допущениях: рассматривается стационарный режим случайного процесса формирования испарения; подавляются внутренние и взаимные шумы системы в целях получения устойчивых решений; принимается постоянство соотношения коэффициентов вариации и асимметрии и интенсивности климатического шума при изменении климата. Описаны теоретические и эмпирические основы для перехода от асимметричных одномерных кривых к n -мерным, в частности, двумерным. Излагается методология частично инфинитного моделирования. Приводится алгоритм построения двумерной гистограммы и двумерной поверхности плотности вероятности рядов слоя стока и испарения. Доказывается необходимость, для последующего прогноза изменения стока рек исследуемого региона, перехода от т.н. «безусловных» – традиционных кривых обеспеченности к «условным», в которых условием служит информация об испарении. Делается вывод, что, хотя ошибки в определении нормы, коэффициентов вариации и асимметрии при этом увеличиваются, но открывается возможность корректного (устойчивого) прогнозирования характеристик стока малой обеспеченности в регионах с крайне вариативными условиями формирования стока рек. Приведены карты в изолиниях средних значений отклонения (в %) значений стока при 0,1 %, 1 %, 10 % обеспеченностях, полученных по условным и безусловным кривым обеспеченности.

В третьей главе представлен результат расчета характеристик слоя годового стока и испарения 0,1 %, 1 %, 10 % обеспеченностей по кривым обеспеченности в пространстве обеспеченность – слой годового стока – испарение, в авторской терминологии – *одномерные многообразия кривых обеспеченности* для Западной Африки и по данным до 1990 г. Построены карты в изолиниях слоя стока и испарения 0,1 %, 1 %, 10 % обеспеченностей.

В четвертой главе посвящена прогнозированию нормы годового стока, испарения, коэффициентов вариации и асимметрии на периоды 2016 – 2035 гг. и 2046 – 2065. Рассмотрены сценарные оценки *одномерных многообразий кривых обеспеченности* для наиболее вероятного климатического сценария. Выполнен общий краткий обзор климатических моделей (CMIP 5) и сценариев увеличения радиационного воздействия (RCP) на основе Пятого оценочного доклада МГЭИК. Руководствуясь диаграммой, приведенной на рисунке 4.1, диссертант выбирает для территории Западной Африки один сценарий – увеличение радиационного воздействия с последующей стабилизацией RCP 4.5 и две глобальные климатические модели: модель Центра климатических прогнозов и исследований Хэдли (Великобритания) HadGEM2-ES, модель Института Макса Планка MPI-ESM-LR, а также ансамбль моделей CMIP5, включающую две предыдущих модели. Выполненный в работе расчет значений температуры воздуха и атмосферных осадков на периоды 2016 – 2035 гг. и 2046 – 2065 гг. показал, что в целом на исследуемой территории прогнозируется рост температуры воздуха в диапазоне $0,9 - 1,9^{\circ}\text{C}$ в 2016 – 2035 гг. и $1,8 - 3,2^{\circ}\text{C}$ в 2046 – 2065 гг. Сценарная оценка динамики атмосферных осадков неоднозначна. Модели показывают, как рост, так и уменьшение осадков. Излагается методология оценки долгосрочных изменений вероятностных характеристик стока в условиях климатической и антропогенной нестабильности, разработанной в РГГМУ, в соответствии с которой диссертант выполняет расчет сценарных оценок испарения, нормы, коэффициентов вариации и асимметрии годового стока на два периода 2016 – 2035 гг. и 2046 – 2065 гг. Делается вывод, что в соответствии с выбранными климатическими сценариями, будет наблюдаться уменьшение годового стока малых обеспеченностей и рост годового стока больших обеспеченностей. Объяснение данного результата с позиций гидрометеорологических закономерностей отсутствует. Построены карты в изолиниях сценарных значений нормы годового стока, испарения, коэффициентов вариации и асимметрии на периоды 2016 – 2035 гг. и 2046 – 2065 гг. без указания уровня обеспеченности.

В заключении автором сформулированы основные результаты диссертации.

Личный вклад автора. Автором создана база гидроклиматических данных по речным бассейнам Западной Африки и осуществлена их статистическая обработка; проведены расчеты и сформулированы основные результаты исследований; разработан алгоритм визуализации совместных кривых обеспеченности речного стока и испарения в трехмерном пространстве и осуществлена его реализация в виде программного продукта; построены карты малых обеспеченностей стока и испарения для современного и прогнозируемого климата. Автором сформированы научные положения, вынесенные на защиту, выводы и рекомендации по построению двумерных вероятностных распределений стока с устойчивой нормой и коэффициентом вариации.

Актуальность темы диссертационного исследования

Актуальность темы диссертационной работы Бонгу Сотима Эрнесто высока. В настоящее время считается общепринятым факт потепления климата. Это подтверждается многолетними данными температурных наблюдений на всех континентах, включая Африку. Дискуссионным на сегодняшний день остается вопрос о причинах потепления: является ли оно антропогенным или его истоки – естественные природные факторы. Однако при любых причинах остается вопрос о гидрологических последствиях климатических изменений. Для Африки наиболее важной является оценка подобных последствий для многолетнего годового стока, который в большей степени, чем остальные виды многолетнего стока (минимальный и максимальный), характеризует водные ресурсы. Разработка и адаптация к условиям Западной Африки методики совместного учета вероятностных распределений годового стока и испарения для решения научно-практических задач гидротехнического проектирования и строительства в условиях современного и прогнозируемого климата позволит облегчить решение наиболее острых и сложных проблем водопользования стран данного региона.

Новизна научных положений и выводов

Новизна результатов, полученных в диссертационной работе, определяется районом исследования, т.е. речными бассейнами Западной

Африки, для которых впервые:

- получены двумерные эмпирические распределения $p(Q, E)$ по 46 водосборам, на основе которых построены безусловные и условные кривые обеспеченности годового стока;

- построены совместные *одномерные многообразия кривых обеспеченности* годового стока и испарения при 0,1 %, 1 %, 10 % обеспеченностях для условий современного климата и сценария изменения климата RCP 4.5 на периоды 2016–2035 гг. и 2046–2065 гг.

- построены карты 0,1 %, 1 %, 10 % обеспеченности стока и испарения для современного и сценарного климата и выявлены регионы ожидаемых статистически значимых отклонений (аномалий) годового стока и испарения.

Научно-практическая значимость результатов и выводов диссертационной работы

Впервые создана база совместных по времени гидроклиматических характеристик для Западной Африки.

К условиям Западной Африки адаптирована методика получения двумерных распределений плотности вероятности стока, обладающих устойчивыми расчетными характеристиками (нормой и коэффициентом вариации), что представляет собой важный аспект в определении стока малой обеспеченности как в целях безопасности в проектировании гидротехнических сооружений, так и в прогнозировании чрезвычайных ситуаций на реках.

Однако на практике методика построения устойчивого условного распределения (УУР) применима не для всех водосборов. Согласно таблице 2.1, применение УУР на отдельных водосборах дает следующие ошибки: для годового стока 0,1 % обеспеченности от -35 до +81 %; для 1 % обеспеченности от -30 до +72 %; для 10 % обеспеченности от -34 до +49 %. Поэтому оценивать эффективность методики величиной средней ошибки по всей территории, соответственно в 17 %, 14 % и 10 % будет неправильно. Вопрос же об условиях применимости УУР, видимо, остается предметом дальнейших исследований.

Подтверждением практической значимости результатов, полученных в рамках рассматриваемой диссертации, является их внедрение в Главное управление воды и в Гидрометеорологическую службу Республики Бенин (Акт о внедрении приведен в приложении).

Разработанный Бонгу С.Э. алгоритм автоматического построения эмпирических и теоретических двумерных плотностей вероятности (программа на языке высокого уровня) и апробация разработанного алгоритма для районов с неустойчивым описанием процесса формирования речного стока использовались при выполнении 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, грант Министерства образования и науки Российской Федерации). Факт использования результатов диссертационной работы в учебном процессе соискатель подтверждает справкой, подписанной деканом гидрологического факультета РГГМУ (приведена в приложении).

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе

Не совсем корректным является сформулированное автором положение о том, что научная обоснованность и достоверность результатов работы основывается на том обстоятельстве, что фрактальная диагностика, проведенная в предыдущих независимых исследованиях Куасси Би Гессан Арманом и Диавара Хамиду по этой же территории, показала, что *«подавляющее число рядов стока имеет размерность пространства вложения равную двум»*. В действительности только часть рек Камеруна и Мали, расположенных на периферии исследуемой территории, имеет размерность пространства вложения 2 и более. В работе Куасси Б.Г.А. (2008 г.) из 67 створов только 27 имеют размерность пространства вложения 2 и более, что составляет 40 %. Если убрать из этого списка реки Сенегала, которые не входят в данную работу, то процент рек с размерностью пространства вложения более 2 составит 37 %. Этот факт подтверждает и В.В. Коваленко

(соавторы Е.В. Гайдукова, Куасси Б.Г.А.) в статье «Прогнозирование изменений фрактальной размерности многолетнего речного стока». Цитата: «Для того, чтобы обосновать предположение об увеличении размерности пространств вложения к югу, проведена фрактальная диагностика годового стока Западной Африки. Из рис. 2.3 видно, что в этом регионе *отсутствуют области с размерностью пространства вложения больше двух*». Данный рисунок приведен в диссертации на стр. 56. Таким образом, большинство речных бассейнов Западной Африки попадают в область размерности пространства вложения годового стока до 1 (голубой цвет на рис. 2.3). Тем не менее, проведенные исследования важны и не теряют своей научной и практической значимости, даже если область их приложения ограничивается лишь 37 % рек исследуемой территории.

Тем не менее, проведенные исследования важны и не теряют своей научной и практической значимости, даже если область их приложения ограничивается лишь 37 % рек исследуемой территории.

Достоверность результатов статистических оценок основывается на получении их в рамках существующих в настоящее время гидрологических нормативов либо на моделях Фоккера–Планка–Колмогорова и Пирсона, прошедших апробацию на речных бассейнах всех континентов.

Полнота и логичность изложения материалов диссертации в публикациях соискателя

Автором опубликованы 15 научных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационного исследования. В этих работах, а также материалах научных конференций, опубликованных в сборниках трудов, и автореферате диссертации полностью отражены ее результаты. Текст диссертационной работы соответствует пунктам оглавления, достаточно логично и подробно раскрывает цели, задачи, методы и результаты исследования.

Замечания по диссертационной работе

1. Физико-географическая характеристики ограничивается описанием климата Африканского континента в целом. Нет четкого акцента на

особенностях Западной Африки, в том числе особенностей режима стока для разных физико-географических областей Западной Африки.

2. В работе отсутствует важная часть статистического исследования подобного вида – оценка ошибки вычисления случайной величины, в данном случае генерируемого ряда испарения. По теории ошибок, если случайная величина Z определяется косвенно, на основе независимо измеряемых случайных величины X и Y , со среднеквадратичными ошибками S_x и S_y , соответственно, то среднеквадратичная ошибка величины Z находится по формуле: $S_z^2 = S_x^2 + S_y^2$

3. При оценке однородности рядов стока и испарения использовались критерии Стьюдента и Фишера. Известно, что эти критерии являются параметрическими и требуют, чтобы проверяемая на однородность случайная величина была распределена по нормальному закону. Кроме того, существуют различия в использовании критерия Стьюдента при равенстве или неравенстве дисперсий. Также известно, что стоковым рядам зачастую присуща асимметричность. В диссертации не приведены результаты проверки рядов на соответствие выборки известному (нормальному) закону распределения по критериям согласия, без которого данные таблицы 1.2 вызывают сомнения.

4. Автор **некорректно** использует понятие «математическое ожидание», называя так среднее арифметическое значение выборки (цитата: «*исследование рядов на однородность по математическому ожиданию*», стр. 7). В статистике математическое ожидание – это характеристика генеральной совокупности, т.е. среднее значение случайной величины при стремлении количества её измерений к бесконечности.

5. Отсутствует описание методики построения карт в изолиниях статистических характеристик стока и испарения. Например, как автор проводил выбор шага изолиний картируемых характеристик без оценки их стандартных ошибок?

6. Выводы автора о закономерностях пространственного распределения коэффициента асимметрии и эксцесса в рядах стока и осадков вызывают сомнение в их достоверности, учитывая большие ошибки их определения по выборкам ограниченного объема.

7. Не понятно, как выбиралась величина диапазона ΔE при переходе от традиционной кривой обеспеченности к условной кривой на эллипсах рассеивания точек в координатном поле слой стока – испарение.

8. Непонятен и требует аргументации выбор климатических моделей HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR, а также ансамбля моделей CMIP 5 в качестве наиболее подходящих для прогноза стока и испарения для Западной Африки. Оценки верификации моделей (рисунок 4.1) выполнены на основе качества воспроизведения *современного глобального климата*, а не климата Западной Африки.

9. Требуется пояснения, почему сценарий увеличения радиационного воздействия с последующей стабилизацией RCP 4.5 автор называет *наиболее вероятным* (при формулировке защищаемых положений).

10. Не понятно, в каких единицах приведены карты изолиний, например, на рис. 4.7 б – карта отклонений сценарных значений C_v от фактических в -400 единиц?

11. Встречаются ошибки оформления, авторства текста и рисунков: 1) А.С. Боголюбов не является автором текста «Физическая география материков и океанов. Африка»; 2) рисунок 4.1 отсутствует в указанном источнике; 3) не указаны размерности на осях графиков или в подрисуночном тексте (рис. 3.3, 3.4, 4.6 – 4.9); 4) два рисунка в 4 главе имеют нумерацию 4.8.

Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Несмотря на сделанные выше замечания, диссертационная работа Бонгу Сотима Эрнесто «Вероятностные распределения многолетнего стока и испарения с территории речных бассейнов Западной Африки» по уровню выполнения, объему проведенных исследований, новизне, научной и практической значимости соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации за № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 01.10.2018), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Научная новизна и результаты, полученные соискателем в его диссертационной работе, соответствуют паспорту специальности 25.00.27 –

Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (технические науки).

Автором разработана и адаптирована к условиям Западной Африки методика совместного учета вероятностных распределений стока и испарения. Практическая значимость выполненной работы подтверждается фактом внедрения результатов работы в Гидрометеорологическую службу Республики Бенин. Диссертация изложена грамотным техническим языком. Все главы взаимосвязаны, дают полное представление о предмете и результатах исследования.

Заключение

Диссертация Бонгу Сотима Эрнесто «Вероятностные распределения многолетнего стока и испарения с территории речных бассейнов Западной Африки» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи повышения достоверности инженерных расчетов на основе устойчивых характеристик стока путем построения двумерных распределений стока $p(Q, E)$ для речных бассейнов Западной Африки, имеющей значение для развития гидрологических расчетов в странах данного региона. Автором разработан алгоритм автоматического построения эмпирических и теоретических двумерных плотностей вероятности и выполнена его реализация на языке программирования высокого уровня.

Диссертация выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне, написана грамотно и логически структурирована. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения соответствуют содержанию работы. Автореферат достаточно полно раскрывает основные положения диссертации.

Таким образом, работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Бонгу Сотима Эрнесто, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Отзыв на диссертацию Бонгу Сотима Эрнесто «Вероятностные распределения многолетнего стока и испарения с территории речных бассейнов Западной Африки» заслушан и одобрен на научном семинаре кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета, протокол № 84 от 25 декабря 2019 г.


Присутствовало на заседании: 10 человек из 12 человек. Проголосовали: «за» – 10, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Заведующий кафедрой гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета, доктор географических наук (25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, 25.00.36 – Геоэкология), профессор

 Земцов Валерий Алексеевич

Составители отзыва:

Доцент кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета, кандидат географических наук (25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия)

 Паромов Владимир Валериянович

Доцент кафедры гидрологии Национального исследовательского Томского государственного университета, кандидат физико-математических наук (01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы)

 Дубровская Лариса Ивановна

25 декабря 2019 г.