

## ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертации Бонгу Сотима Эрнесто «ВЕРОЯТНОСТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕГО СТОКА И ИСПАРЕНИЯ С ТЕРРИТОРИИ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЗАПАДНОЙ АФРИКИ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.27–гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Рецензируемая диссертация посвящена решению классической гидрологической задачи – оценке необходимых функций распределения (кривых обеспеченности) величин речного стока по данным инструментальных наблюдений при проектировании разнообразных гидротехнических сооружений.

Эта задача в современных условиях только усложняется по причине выявляемой нестационарности временных рядов, а также в виду возникновения новых требований к гидрологическому обеспечению различных практических задач.

Данное исследование выполнено в рамках научного направления, развиваемого в Российском государственном гидрометеорологическом университете, и предусматривающего исследование стохастических моделей многолетних колебаний стока в рамках многомерных уравнений Фоккера–Планка–Колмогорова. Расширение размерности осуществляется за счет совместного моделирования процессов стока, испарения и переходящих запасов влаги на водосборе.

Задача моделирования решена на примере территории Западной Африки, редко исследуемой в отечественной (русской) гидрологии.

**Целью диссертационного исследования** является адаптация к условиям Западной Африки предложенной проф. Коваленко методики построения распределений вероятностей стока и испарения. Соискателем созданы необходимые базы данных по стоку, осадкам и температуре воздуха, выполнена

статистическая обработки рядов, получены безусловные и условные распределения стока с использованием двумерных распределений осадков и испарения, сделаны прогнозные расчеты для наиболее вероятных климатических сценариев на XXI в.

Статистические оценки получены, как уже отмечалось выше, как в рамках, существующих в настоящее время, гидрологических методов, так и на основе уравнений Фоккера–Планка–Колмогорова для некоторых кривых из семейства Пирсона. Научной новизной обладают следующие результаты:

1. База данных по речному стоку и испарению с поверхности суши Западной Африки и результаты анализа временных рядов на однородность.

2. Полученные впервые для Западной Африки двумерные распределения вероятностей стока и испарения по 46 водосборам.

3. Впервые для Западной Африки построены совместные одномерные многообразия обеспеченности стока и испарения (для условных и безусловных распределений) для условий современного климата и для наиболее вероятного климатического сценария.

4. Впервые для Западной Африки построены карты обеспеченных значений стока и испарения для современного и прогнозируемого климата.

Положения, выносимые на защиту, соответствуют основным научным результатам. Автореферат отражает содержание диссертации.

Основные положения диссертации были представлены на ряде российских и международных семинаров и конференций. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 15 статьях, из которых 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК. Основные публикации подготовлены в соавторстве с научным руководителем, но результаты, касающиеся гидрологии Западной Африки, получены лично соискателем.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и 9 приложений. Работа изложена на 351 страни-

цах и включает 39 рисунков и 8 таблиц. Список использованных источников состоит из 56 источников российских и зарубежных авторов.

**Во введении** обосновывается актуальность исследования и рассматриваются основные научные результаты, а также положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена формированию совместной базы данных по стоку и испарению.

В главе описаны речные бассейны, речной сток на которых формируется под воздействием зональных факторов, а гидрологические наблюдения имеют продолжительность не менее 40 лет. Таким образом, на территории Западной Африки было отобрано 46 водосборов.

Ряды испарения рассчитывались по формуле Тюрка, включающей сумму годовых осадков и среднегодовую температуру воздуха. Метеорологическая информация взята из архивов Всемирной метеорологической организации.

Ряды стока и испарения были проверены на однородность, а соответствующие статистические характеристики стока и испарения представлены в виде карт.

По тексту первой главы имеются **замечания**:

- как можно объяснить тот факт, что в таблице с результатами проверки на однородность при любом уровне значимости ряды стока и испарения однородны?
- Раздел 1.2 называется «Формирование речного стока», а рассматривается в нем формирование базы данных. Надо в каком-то виде пояснить особенности формирования стока рек Африки.

**Вторая глава** посвящена многомерным законам распределения вероятностей стока и испарения для описания их многолетней изменчивости.

В данной главе соискатель обсуждает развиваемые в РГГМУ в последние годы идеи, согласно которым статистические моменты, определяемые по ря-

дам стока, могут быть неустойчивыми. Имеется в виду неустойчивость решения модели в виде системы уравнений для начальных моментов распределений. По мнению соискателя, неустойчивость указывает на то, что сток (или испарение) формируется по более сложной схеме, чем это следует из одномерного распределения, задаваемого уравнением Пирсона, например, имеет место их взаимодействие. Для учета такого взаимодействия рекомендуется переход к двумерным распределениям. В этом случае, согласно развитой Коваленко методологии частично инфинитного моделирования, вместо одномерного уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова (ФПК) применяется  $n$ -мерное, где основными параметрами являются коэффициенты сноса и диффузии  $A_i, B_{ij}$ . Как полагают авторы метода, устойчивость такой системы относительно выборочных оценок моментов повышается.

Для обоснования сложности вероятностной модели колебаний стока Западной Африки соискателем проверялись два условия: 1) наличие речных бассейнов с фрактальной размерностью больше 1 и 2) наличие зон неустойчивости по статистическим моментам. Результаты проверки этих условий представлены в виде карты. Далее по имеющимся совместным рядам слоя стока и испарения строились эмпирические двумерные гистограммы. Как утверждает соискатель, наличие эмпирических двумерных гистограмм создает возможности для разработки различных двумерных вариантов решения исследуемой системы уравнений для моментов и способов решения. В частности для случайных **установившихся** (термин соискателя) процессов предложен двумерный аналог уравнения Пирсона для совместного распределения стока и испарения  $p(Q, E)$ . Оно представляет собой уравнение в частных производных первого порядка, а его решением методом характеристик служит двумерная поверхность  $p(Q, E)$ .

**По этому поводу замечание:** имеются многочисленные решения системы уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова, например, в виде разложений по системам ортогональных функций, но они почему-то соискателем они не рассматриваются и нет анализа на предмет выбора наилучшего подхода. И в

целом свойства получаемого таким образом двумерного закона не исследованы.

Соискатель справедливо называет предложенный далее подход **паллиативом**, поскольку в теории случайных процессов имеются существенно более конструктивные решения в области построения двумерных распределений. Следствием такого подхода является некоторое упрощение методики, в основном за счет волевых решений по отношению к возможности не учета высших моментов распределений, но это конечно приближение, и не заменяет полного вероятностного решения проблемы. И насколько правдоподобны при этом результаты – не ясно.

Уравнение (2.2) записывается для условных плотностей или вероятностей перехода, а решение этого уравнения имеет вид стационарного безусловного распределения вероятностей. И как отмечено выше, имеется аналитическое решение уравнения Колмогорова для Пирсоновских кривых в виде двумерных плотностей. Это было показано А.Н.Колмогоровым в 30-е годы прошлого века. В работе на эту тему ничего не сказано. Еще раз отмечаю, что в формуле (2.5) присутствует условная вероятность.

**В третьей главе** соискателем сделана попытка построения кривых обеспеченности исследуемых характеристик на основе ранее полученных результатов для современных климатических условий. Подход предполагает использование уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова с поправленными в зависимости от результатов сценарных расчетов параметрами. В качестве климатических сценариев использованы результаты счета по моделям, рекомендуемым Межправительственной комиссией экспертов по изменению климата.

Соискателем сделан интересный вывод о том, что вероятностные распределения рядов испарения также принадлежат классу распределений Пирсона. Это делает правомерным применение к испарению модели, аналогичной таковой для речного стока с несколько другими параметрами.

Здесь, **в качестве замечания**, надо отметить, что по результатам ранее выполненных исследований, коэффициент автокорреляции рядов испарения

существенно выше, чем для речного стока, а дисперсия заметно ниже. Этот факт был положен Д.Я. Ратковичем в основу создававшейся им теории многолетних колебаний стока. Хорошо бы в диссертации иметь дискуссию по этому поводу, т.е. объяснить, почему результат Д.Я. Ратковича, который обрабатывал гидрометеорологические данные по всему миру, был проигнорирован соискателем.

Представленные в диссертации карты распределения стока и испарения 0,1 %-ной обеспеченности представляются экзотичными. Годовой сток такой обеспеченности этим методом будет рассчитываться с очень большой погрешностью, да и водохозяйственных расчетах не используется.

**В четвертой главе**, на основе предложенных моделей и сценариев, рассмотрены прогнозные оценки кривых обеспеченности для наиболее вероятного климатического сценария. Для каждого сценария построены прогнозные карты и карты аномалий стока.

В качестве **замечания** по этой главе следует отметить, что по тексту диссертации не обозначены погрешности прогнозирования (сценарных оценок) стока и испарения.

**В завершение** отзыва можно сказать следующее. Соискателем ученой степени освоен достаточно сложный метод вероятностного моделирования гидрометеорологических процессов, созданный в РГГМУ под руководством проф. В.В. Коваленко.

Рассмотренная модель была распространена на гидрологические условия Западной Африки, что включало сбор, обработку и анализ большого количества данных наблюдений, а также вывод о возможном упрощении модели для обеспечения устойчивости результатов моделирования.

Результаты представлены в виде набора карт стока различной обеспеченности для современного и прогнозируемого климата, и с помощью этих карт выявлены регионы с наиболее значимыми аномалиями, в которых возможны

негативные последствия для водозависимых отраслей экономики государств Западной Африки.

Отмеченные в отзыве недостатки не имеют принципиального значения и в целом по диссертации можно сделать вывод о том, что диссертационная работа Бонгу Сотима Эрнесто представляет собой завершённое научное исследование.

Считаю, что работа Бонгу Сотима Эрнесто, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует заявленной научной специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия. Работа обладает научной новизной и практической ценностью, соответствует квалификационным требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Бонгу Сотима Эрнесто заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент, заведующий  
лабораторией моделирования поверхностных вод  
Института водных проблем

д.т.н.

Болгов М.В.

Я, Болгов Михаил Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

04 декабря 2019 /Болгов М.В./

Адрес почтовый

119333, Москва

Ул.Губкина, 3, ИВП РАН

Тел. 7(499) 135-54-15

Эл. Почта: bolgovmv@mail.ru

*Подпись Болгова  
заверено: геор.*



04.12.2019