

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
Киреевой Марии Борисовны
на диссертацию Сучковой Ксении Викторовны
«Моделирование генетических составляющих речного стока на водосборе
Можайского водохранилища»,
представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по
специальности 25.00.27 — Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертационное исследование посвящено изучению генетических составляющих речного стока на водосборе Можайского водохранилища. Данная задача является классической для гидрологии речных бассейнов. В то же время в последние десятилетия анализ традиционных представлений в этой области гидрологии требует пересмотра и обновления подходов и методик в связи с существенной трансформацией процессов формирования стока на речных водосборах в условиях изменения климата. Углубление представлений о механизмах отклика гидрологических систем на меняющийся климат и антропогенное воздействие является одной из первостепенных задач современной гидрологии. В большинстве случаев подобные исследования затрагивают смежные дисциплины и подходы, включают гидрохимические, физико-математические и самые современные аналитические подходы. В работе выделены четыре похода к анализу генетических составляющих стока: (1) прямые натурные измерения на малых экспериментальных бассейнах, (2) косвенные оценки с использованием трассеров, (3) графоаналитические методы «расчленения гидрографа», (4) методы физико-математического моделирования формирования речного стока и его генетических составляющих.

Первые три подхода имеют ряд ограничений, связанных с необходимостью наличия весьма сложных и трудоемких натурных измерений или необходимостью внедрения определенных допущений, которые могут отражать реальные вклады компонентов питания лишь с определенной долей условности. Методы физико-математического моделирования позволяют воспроизводить процессы, происходящие на водосборе, и путем тестирования и калибровки параметров подбирать реалистичные варианты тех или иных реализаций. Разработка подходов в решении задачи выделения генетических компонентов стока с помощью физико-математических моделей, выводит данную работу в ряд методических и подчеркивает ее актуальность и значимость.

2. ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из четырех глав, введения и заключения. Общий объем работы составляет 156 страниц машинописного текста, включая 24 таблицы и 63 рисунка. Библиографический список содержит 157 наименований.

Во введении представлен обзор проблематики, которой посвящена работа, обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи диссертационного исследования, излагаются научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, отдельно выделен объект и исходные материалы для исследования, обозначена практическая значимость и сформулированы положения, выносимые на защиту.

Целью диссертационного исследования является разработка методов расчета генетических составляющих речного стока и их возможной трансформации при изменении климата на основе физико-математической модели его формирования и гидрохимического способа идентификации источников стокообразования (на примере водосбора Можайского водохранилища). Автором были поставлены следующие основные задачи для достижения цели работы:

- Осуществлена адаптация физико-математической модели формирования речного стока на основе информационно-моделирующего комплекса ECOMAG для бассейна Можайского водохранилища;
- Проведены численные эксперименты и анализ чувствительности модели формирования стока к данным о пространственном распределении характеристик подстилающей поверхности;
- Разработан метод калибровки модельных параметров по гидрометрическим и гидрохимическим данным для смягчения эффекта эквифинальности при моделировании генетических составляющих речного стока;
- Проведены испытания модели формирования генетических составляющих стока с учетом гидрохимического способа идентификации водных масс в периоды детальных гидрохимических съемок 1984, 2012 и 2019 г.;
- Оценено влияние возможных климатических изменений на трансформацию генетической структуры речного стока.

В первой главе приведен обзор представлений о генетической структуре речного стока и развитии теории в данной области гидрологии. Представлены различные подходы и взгляды на данную проблематику советской гидрологической школы и современных российских научных коллективов. Под генетической структурой речного стока понимается сочетание различных генетических типов вод – склоновых, почвенных, грунтовых, определяемое спецификой химического состава вмещающих горизонтов толщи почв и грунтов, дренируемых рекой. Также в разделе освещены проблемы расчленения гидрографа на генетические составляющие. Автор отмечает, что «в целом проблема расчленения гидрографа и выделение основного подземного стока исследуется и не утрачивает свою значимость уже более ста лет». Приведен обзор существующих подходов и их развития с начала XX века по настоящее время. Раздел содержит обзор существующих исследований, как российских, так и зарубежных авторов. Глава хорошо структурирована и освещает обозначенные во введении методы и подходы.

Во второй главе описана разработка и адаптация к натурным данным региональной модели формирования речного стока для бассейна Можайского водохранилища. Модель разработана автором на основе информационно-моделирующего комплекса ECOMAG. В разделе дано описание физико-географических условий формирования стока рек на водосборе Можайского водохранилища. Также приведена структура информационно-моделирующего комплекса ECOMAG, приведены основные расчетные уравнения. Автором полностью раскрыты методы пространственной схематизации водосбора, состав и структура информационного обеспечения модели. Особенно хотелось бы выделить раздел, посвященный испытаниям модели ECOMAG на основе данных наблюдений. Это раздел носит методический характер и представляет особый интерес. При настройке модели для условий бассейна р. Москвы реализована следующая схема оценки, задания и калибровки полей модельных параметров:

1. Задание большей части физически обоснованных параметров для речного бассейна производится на основе баз картографических данных региона (характеристики рельефа, почв и ландшафтов);

2. Калибровка параметров выполняется не для пространственных единиц речного бассейна (например, элементарных водосборов), а для типов характеристик подстилающей поверхности (почв, ландшафтов), слагающих эти элементарные водосборы. Своебразие частных речных бассейнов отдельных притоков отражается в модели сочетанием в них и пространственным распределением конкретных типов почв, растительности, рельефа, уклонов, структуры речной сети и метеорологических условий;

3. Для сокращения количества калибруемых параметров калибровка выполняется не для абсолютных значений параметров характеристик подстилающей поверхности, а для множителей к абсолютным значениям так, чтобы сохранить изначально заданные соотношения между ними.

Результаты соответствия гидрографов можно признать удовлетворительными ($0.51 < NS < 0.75$, $BIAS < 13.6\%$), как для калибровочной, так и для проверочной серий, а также для всего периода расчета. Значения осредненного критерия N_{Total} получились удовлетворительными для проверочной серии и всего периода расчетов, а для калибровочной серии их можно признать хорошими ($N_{Total} = 0.75$).

Автором проведен анализ чувствительности модели к пространственному разрешению характеристик подстилающей поверхности. Этот раздел является очень выигрышным и подчеркивает плюсы математического моделирования как метода. Отдельно выделен раздел связанный с эффектом эквифинальности на основе численных экспериментов

Третья глава посвящена методике калибровки параметров и проверки модели формирования речного стока с учетом гидрометеорологических и гидрохимических данных. Здесь приведены подходы к верификации модели с привлечением гидрохимических данных, которые позволяют независимым образом получить расчленение гидрографа на генетические составляющие.

В исследовании рассмотрен метод расчленения гидрографа стока, построенный на использовании химико-статистического анализа состава смеси водных масс по химическим элементам. Представленный метод аналогично основан на анализе уравнений баланса воды и массы химических элементов (трассеров) по формулам смешения водных масс. Рассмотрим его подробнее. Для определения генетических составляющих стока гидрохимическим способом используется метод П.П. Воронкова [Воронков, 1970], представляющий собой развитие графического метода расчленения гидрографа реки по данным наблюдений за внутригодовым изменением различных химических показателей. В частности, выделяются следующие категории: 1) Поверхностно-склоновые воды 2) Почвенно-поверхностные 3) Почвенно-грунтовые воды 4) Грунтовые воды

Главная гипотеза П.П. Воронкова заключается в возможности разработки количественных методов исследования генетической структуры локального стока на основании гидрохимического различия вод вышеприведенных категорий. В рамках данной работы для калибровки параметров физико-математической модели ECOMAG и моделирования генетических составляющих стока применяется рассмотренный выше

химико-статистический метод выделения элементов генетической структуры речного стока с использованием данных режимных гидрохимических и гидрологических наблюдений в бассейне Можайского водохранилища. В качестве дополнительного информационного обеспечения для проведения гидрологических расчетов по модели формирования стока привлекались гидрохимические данные в створе р. Москва – д. Барсуки. Для анализа были выбраны шесть взаимонезависимых показателей химического состава воды. В конце главы приводятся результаты калибровки параметров модели формирования речного стока, с учетом гидрохимических данных. Результаты моделирования гидрографов и его генетических составляющих проведены на примере 1984 и 2012 годов. Приведены результаты и анализ проведенного расчленения за гидрологические сезоны. Также автором приводятся результаты сопоставления источников питания на основе детальной гидрохимической съемки в 2019 м году и анализ генетических составляющих речного стока за 2019 год.

В четвертой главе рассмотрено применение различных графических и графоаналитических методов расчленения гидрографа и преимущества использования физико-математического моделирования в целях изучения генетических компонентов стока. Большинство подходов и методов по гидрографическому разделению речного стока, в том числе и рассмотренные в данной работе, направлены на выделение подземной составляющей. Это выделение позволяет оценить величину регионального подземного стока, то есть получить суммарные или средние (на единицу площади) значения подземного стока, формирующего во всем речном бассейне выше замыкающего створа, в котором производится изменение речного стока и построение расчетного гидрографа. В разделе рассматривается графический метод, метод Вундта, метод Б.И. Куделина, метод Н.Н. Веригина. Кроме того приведены результаты расчетов по автоматизированным методам – программа BFI и FlowComp, проведена оценка чувствительности автоматизированных методов по отношению к их параметрам. Кроме того в разделе 4.3 приводятся результаты численных экспериментов по оценке чувствительности стока к климатическим изменениям.

В Заключении отражены основные результаты, полученные в ходе работы над диссертацией.

Подводя итог, необходимо отметить, что диссертация К.В. Сучковой представляет собой законченное и качественно выполненное научное исследование, которое базируется на исключительно широком спектре исходных данных и методах исследования. Диссертация содержит важные научные результаты и свидетельствует о высокой квалификации ее автора при решении гидрологических задач. Работа выполнена диссидентом самостоятельно с

применением оригинальных подходов и наработок. Содержание автореферата в целом соответствует тексту диссертации и дает исчерпывающее представление, как о самой работе, так и о полученных результатах.

3. НОВИЗНА НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Научная новизна работы не вызывает сомнений. Автором получен набор важнейших результатов, которые во много м являются пионерными как с методической, так и с практической точки зрения. Особенно хотелось бы отметить подходы автора к сложнейшей задаче гидрологии – расчленении гидрографа на генетические компоненты с учетом процессов формирования стока на водосборе. В данной работе впервые была реализована подобная схема двумя независимыми методами, показаны хорошие результаты по сходимости этих двух методик и проанализированы возможные источники ошибок и чувствительность методов к заданию различных параметров. В результате работы были получены новые результаты, которые могут быть внедрены в практику:

1. Разработана пространственно-распределенная физико-математическая модель формирования генетических составляющих речного стока на водосборе Можайского водохранилища с использованием гидрохимического способа идентификации водных масс;
2. Предложен метод калибровки параметров модели формирования стока по гидрометрическим и гидрохимическим данным для смягчения эффекта эквифинальности и повышения идентифицируемости параметров модели при расчетах генетических составляющих речного стока;
3. Исследованы закономерности межгодовой и сезонной динамики генетических составляющих речного стока в различные фазы водного режима для бассейна Можайского водохранилища;
4. Выполнен анализ чувствительности генезиса речного стока к возможным климатическим изменениям и получены количественные оценки трансформации его генетической структуры для бассейна Можайского водохранилища.

4. ДОСТОВЕРНОСТЬ И ОБОСНОВАННОСТЬ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Научная обоснованность и достоверность результатов диссертации Сучковой К.В. подтверждается обработкой большого массива данных, в том числе собственных натурных наблюдений автора, использованием современных методов сбора и обработки гидрометеорологической информации, статистической оценкой результатов с помощью общепринятых критериев, надежностью используемого информационного обеспечения, оценкой конечных результатов с указанием степени неопределенности полученных расчетов речного стока. Особенно хотелось бы выделить преемственность данной работы и использование наработок прошлых лет, которые были заново пересмотрены автором, проанализированы с помощью современных подходов и переоценены заново. Данная работа является прекрасным примером разностороннего подхода к решению поставленных задач, что демонстрирует высокую квалификацию автора.

НЕДОСТАТКИ РАБОТЫ, ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ

К диссертации имеется ряд замечаний, в большинстве своем носящих характер рекомендаций:

1) Не до конца понятен используемый термин «источники стокообразования» (Введение, с.5). В традиционной гидрологии в данном контексте используется термин «источники питания», не ясно, почему автор заменил данное устойчивое словосочетание и являются ли эти понятия идентичными. Смысл введенного термина не разъяснен.

2) В автореферате обозначаются 4 подхода к оценке генетических составляющих речного стока, в то время как в первой главе диссертации в качестве раздела 1.2.3 представлен анализ «концептуальных» методов, не до конца понятно как соотносится этот раздел с теми 4 мя подходами, которые выделяет сам же автор. Пояснений в тексте работы на данные счет нет.

3) В целом методы, обозначенные в тексте автореферата, не полностью соответствуют методам, проанализированным в главе 1. С точки зрения читателя происходит некая путаница в терминологии: какие методы относятся к той или иной выделенной группе остается не до конца понятным. Как соотносятся между собой приведенные в автореферате и тексте работы классификации методов?

4) В главе 2, в разделе «Климат» приводятся осредненные характеристики климатических условий на водосборе Можайского водохранилища. В тексте нет ни одной

ссылки на исследования прошлых лет или опубликованные работы, в которых освещаются данные климатические характеристики. Отсюда напрашивается вывод, что представленные цифры получены автором. В таком случае не понятно, на основе каких данных были получены приведенные сведения, какие метеостанции использовались для расчетов, какой расчетный период был использован? Лишь в конце раздела значится: «На территории бассейна Можайского водохранилища действует одна метеорологическая станция в г. Можайск.» Означает ли это что все характеристики были рассчитаны для м/с Можайск, и если да, то почему не использовались метеостанции близкие к границе бассейна? При этом в разделе гидрометеорологическое обеспечение подчеркнуто, что «... Для задания граничных условий модели в бассейне р. Москвы использовались многолетние ряды метеоэлементов с суточным разрешением, которые задавались по данным наблюдений на 10 метеостанциях (рис. 2.10), расположенных в непосредственной близости от исследуемого объекта... » (с. 53)

5) Автором исследования подчеркивается, что работа призвана проанализировать влияние меняющегося климата на сток, при этом не проведен анализ изменений климатических характеристик в бассейне Можайского водохранилища ни на основе натурных данных, ни на основе исследований прошлых лет. Это является не существенным, но тем не менее недостатком работы, поскольку безусловно такие исследования существуют, с учетом того что в бассейне располагается Красновидовская УНБ МГУ имени М.В. Ломоносова.

6) В разделе Гидрологический режим Можайского водохранилища приведены сведения о водном режиме р. Москвы в створе д. Барсуки за период 1982-2015 гг. Этот гидрологический пост является постоянно действующим постом Росгидромета в пределах бассейна. Кроме этого в работе используются данные на постах Черники (р. Лусянка), Колочь (р. Колочь) и общем притоке воды к Можайскому водохранилищу (пос. Гидроузел). При этом в данном разделе они почему-то не приведены. Автором проводится анализ изменения только среднегодовых расходов воды. В тексте раздела приведены краткие сведения о сезонных особенностях стока. К сожалению, данный раздел не дает представлений о динамике основных характеристик сезонного стока на водосборе Можайского водохранилища. На взгляд рецензента было бы целесообразно проанализировать ряд существующих работ посвященных анализу водного режима рек Окского бассейна, куда, в том числе, относится бассейн Можайского водохранилища.

7) В работе не обоснован выбор периода для анализа 1982-2015 годы, почему наблюдения за более ранние годы не были взяты в расчет?

8) В главе 4 сделано предположение: «Для данной территории исследования

выделяемым типом взаимодействия поверхностных и подземных вод является наличие постоянной гидравлической связи». Однако автор не приводит источник данного утверждения или оснований, на котором оно было сделано.

9) Показанный эффект эквифинальности подчеркивает несостоительность результатов, которые получаются с помощью математического моделирования генетических компонентов стока. Значит ли это, что без дополнительных гидрохимических данных адекватно смоделировать генетические компоненты стока на физико-математических моделях не представляется возможным?

10) Выбор 6 гидрохимических показателей для анализа генетически различных типов вод представляется не до конца обоснованным. Почему повышенные значения электропроводности и концентрация ионов Na^+ и K^+ (мг/л) наилучшим образом отражают грунтовое питание на водосборе Можайского водохранилища?

11) Полученное сопоставление результатов моделирования грунтовых вод на ИМК EcoMag и с помощь гидрохимического метода показывает хорошее согласование их сезонного хода. Однако видно, что смоделированные значения систематически завышают грунтовый тип вод, с чем может быть связан данный факт?

12) Также на рис. 3.5 видно, что в период половодья, особенно за 1984 год пик грунтовой составляющей по гидрохимическим данным практически совпадает с максимумом половодья, в то время как смоделированный грунтовый сток довольно существенно отстает от него. С чем может быть связана данная особенность?

13) На рисунке 3.9. приведены связи грунтовой составляющей питания по модели и полученной путем расчетов на основе данных гидрохимических измерений. Аппроксимация зависимости линейным уравнением в данном случае довольно спорна, поскольку в основном на угол наклона связи влияют точки, расположенные по краям распределения. Отсутствие точек в центральной части графика и наличие отскакивающей точки в верхней части вызывает «недоверие» к данной зависимости. Проверялась ли ее устойчивость методом «выброшенной» точки? Данный график является важным и ограниченность данных для его получения бесспорно должна быть взята во внимание. Тем не мене рецензент не рекомендовал бы аппроксимировать его линейным уравнением.

Перечисленные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы, поскольку не уменьшают, по существу, ценность выполненного исследования.

5. ПОЛНОТА ИЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИССЕРТАЦИИ В ПУБЛИКАЦИЯХ СОИСКАТЕЛЯ

Автором по теме диссертации было опубликовано 8 работ, две из которых – на английском языке, в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, одна – в отечественном журнале. Все издания входят в список рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационного исследования. В двух работах диссертант является первым автором. Остальные работы – тезисы и материалы различных конференций. Результаты диссертации в основном опубликованы.

Основные положения диссертационной работы были доложены на российских и зарубежных научных конференциях в полном объеме.

6. ВЫВОДЫ, СООТВЕТСТВИЕ ДИССЕРТАЦИИ КРИТЕРИЯМ, УСТАНОВЛЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ О ПОРЯДКЕ ПРИСУЖДЕНИЯ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

Диссертация Сучковой Ксении Викторовны «Моделирование генетических составляющих речного стока на водосборе Можайского водохранилища», представленная на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия», является законченной научно-квалификационной работой, основанной на оригинальном фактическом материале и авторских подходах и наработках, в том числе методических. В работе представлен огромный фактический материал, собранный, в том числе авторов, проведен скрупулезный анализ полученных различными методами результатов, проведена оценка их сходимости и точности общепринятыми в гидрологии методами. Особенно хотелось бы отметить широту используемых подходов, и глубокий анализ продемонстрированный автором работы.

Диссертационная работа Сучковой К.В. выполнена на высоком научном уровне. Полученные автором результаты, обладающие научной новизной, имеют теоретическое значение и могут быть использованы при решении практических задач, связанных с моделированием генетических составляющих стока, расчетам расчленений гидрографов стока рек, а также в расчетах притока генетически различных вод к замыкающим створам водохранилищ РФ. Полученные выводы показывают неоднозначность результатов выделения генетических компонентов стока получаемых на основе только математического моделирования, без привлечения специалистов, их вдумчивого анализа и верификации на независимом материале. Работа является образцово-показательной с точки зрения оформления, прекрасно проиллюстрирована и сверстана, легко читается.

По объему научных исследований, научной новизне, теоретической и практической значимости, полученных автором, диссертационная работа **Сучковой Ксении Викторовны** полностью соответствует всем требованиям п. 9. «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор достоин присуждения искомой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 — Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент

Доцент, кандидат географических наук



Киреева Мария Борисовна

Сведения о составителе отзыва:

Ф.И.О.: Киреева Мария Борисовна

Адрес: 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, географический факультет

Телефон: +7 495 939 15 33

E-mail: kireeva_mb@mail.ru

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», географический факультет, кафедра гидрологии суши

Должность: Доцент, кандидат географических наук

Подпись руки Киреевой М.Б. заверяю

Декан географического факультета МГУ

член-корреспондент РАН



С.А.Добролюбов