Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу

Мотовилова Юрия Георгиевича

на тему **«СИСТЕМА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ПРОГНОЗОВ»**

по специальности 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия»
на соискание ученой степени доктора географических наук

Актуальность темы диссертации

Решение очень широкого круга задач, связанных как с эффективным использованием водных ресурсов, так и с минимизацией вредного влияния вод, требует объективной системы прогнозов гидрологических характеристик поверхностных водных объектов, анализа и оценки возможных экстремальных значений. Актуальность данной системы существенно возрастает в условиях отмечаемой нестабильности климата, когда статистические зависимости, построенные по данным наблюдений 40-50-летней давности, перестают работать. Также значительным фактором актуализации данных исследований является все более возрастающее антропогенное воздействие на водные объекты. За рубежом в настоящее время уделяется очень большое внимание построению больших моделей формирования речного стока, наиболее крупной и широко известной является Американская национальная гидрологическая модель (NHM), разрабатываемая геологической службой США. Прямой перенос зарубежных разработок в данной области практически не возможен из-за существенного различия как физико-географических условий рассматриваемых водосборов, так и методов сбора, получения и анализа исходной информации. Разрабатываемая модель ECOMAG ориентирована как на ситуационный анализ различных возможных экстремальных гидрологических режимов, так и на решение задач текущего оперативного прогнозирования гидрологического режима водотоков. При этом система ориентирована на максимальное использование всей доступной информации, получаемой в рамках ординарных сетевых наблюдений. Основная сложность построения таких Мега-моделей, кроме технических задач включения в общую программную оболочку большого количества отдельных частных моделей и создания для обеспечения их функционирования соответствующих информационных баз данных, заключается в необходимости решения очень серьезной теоретической проблемы обобщения результатов расчетов по отдельным частным водосборам на крупный водосбор. Принципиальная сложность таких моделей состоит в решении проблемы масштабирования. Если детальное задание исходных данных,

описание склонового стока возможно при максимальных размерах рассматриваемого объекта в несколько десятков метров, то реальные водосборы крупных рек имеют размеры в тысячи километров, при этом они характеризуются не только существенной географической зональностью, но и значительной морфометрической, а также почвенно-геологической неоднородностью.

В настоящее время ведется активная дискуссия по методическим подходам к решению проблемы масштабирования. Наиболее простым направлением ее решения является принятие гипотезы самоподобия – скейлинга – способности, свойства процессов, явлений повторять себя в изменяющихся масштабах. Если в структуре речной сети этот принцип выполняется, как минимум, в масштабах семи порядков и, при этом, имеет достаточно строгое объяснение в рамках теории перколяции, то с другими составляющими стокового процесса ситуация значительно сложнее.

В данной работе рассматриваются и реализуются практические подходы к решению данной проблемы.

Содержание диссертационной работы.

Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения. Список используемых источников содержит 249 наименований.

Первая глава посвящена аналитическому обзору развития и современного состояния физико-математических методов расчета и прогнозирования речного стока. Для своей реализации данные модели требуют большого объема информации о состоянии водосборов, необходимость ее оперативной обработки, их внедрение обусловлено активным проникновением ЭВМ в практику гидрологических расчетов и прогнозов.

Парадоксальность ситуации с построением физико-математических моделей для значительных по площади водосборов заключается в том, что, чем более детальней, с включением все большого количества определяющих параметров будет построена модель формирования стока для элементарного водосбора, тем сложнее перенести ее результаты на весь реальный водосбор, тем большие возникают погрешности, связанные с пространственной неоднородностью распределения определяющих параметров.

Поэтому возникает очень сложная, принципиально важная задача найти оптимальную детальность описания гидрологических процессов на элементарном водосборе, чтобы ее перенос на реальные водосборы обеспечивал минимальную погрешность расчетного соотношения.

Так как сток является фундаментальной интегральной характеристикой, весьма актуальной задачей является построение эффективных средних значений. Такой вопрос достаточно детально рассматривался также в данной главе.

При анализе склонового стока была принята, по аналогии со схемой руслового стекания, схема кинематической волны и ее упрощенные варианты. Априорно принимается, что склоновый сток вне русловой сети характеризуется турбулентным режимом, квадратичным законом сопротивления. Для того, чтобы могла быть реализована данная схема, необходимо допустить, чтобы склоновый сток был реализован в виде сети микроручейков. К сожалению, данный вопрос даже не рассматривался в данной работе.

В целом, если хотим детально описать формирование стока, то необходимо начинать рассматривать это явление с миллиметровых диапазонов, характерных для описания процессов задержания атмосферных осадков листвой, формирования микроручейковой сети на склонах, до масштабов ~ 1000 км, что характерно для водосборов очень крупных рек. Естественно, такая задача в данной постановке не может рассматриваться ни сейчас, ни в обозримом будущем. Необходимо использование моделей со значительно большими масштабами определяющих параметров, построение эффективных схем их масштабирования до размеров расчетных областей. В то же время очень важно, чтобы используемые модели сохраняли свою «физическую» сущность» и давали после их калибровки приемлемые результаты.

Вторая глава рассматриваемой диссертационной работы посвящена описанию модели ECOMAG, представляющей ядро данного исследования.

Отмечается, что рассматриваемый программный продукт имеет весьма длительную историю разработки. Его начальная версия была разработана Ю.Г. Мотовиловым еще в 1992 г., что подтверждает серьезность и глубину ее проработки.

В основе модели, на микроуровне, лежат достаточно простые для вычислительной реализации балансовые соотношения в виде полураспределенных физико-математических моделей, рассчитываемых на нерегулярной сетке, покрывающей все расчетную область.

Если сами частные процессы формирования склонового стока, динамики снежного покрова и снеготаяния на элементарных водосборах достаточно хорошо изучены, то определяющие эти процессы параметры характеризуются очень существенной пространственной неоднородностью и временной изменчивостью. При этом, основная задача состоит в том, чтобы, имея информацию на весьма ограниченном количестве опорных точек, воссоздать ее распределение по всему бассейну.

При этом необходимо добиваться оптимального соотношения между количеством определяющих параметров, их изменчивостью по площади водосборного бассейна, и при этом сохранить «физичность» используемых расчетных соотношений.

Третья глава посвящена вопросам моделирования гидрологических процессов на основе модели ECOMAG на малых речных бассейнах, используя материалы международного эксперимента NOPEX.

Рассматриваемый исследовательский полигон в Южной Швеции к северу от города Упсала имел размеры 80x100 км. Его территория представляет типичную европейскую лесную зону с преобладанием широко распространённых бореальных лесов. Значительная часть поверхности экспериментальной области занята хвойными и смешанными лесами ~ 57%, открытыми сельскохозяйственными угодьями 35,8%, болотами 2,6%, озерами 2,6%, урбанистическими территориями 2,0%.

Все географические данные были агрегированы в сетку, покрывающую расчетную область NOPEX с разрешением 2x2 км. При этом было выделено 9 речных водосборов с площадью водосбора от 6,0 км^2 до 950 км^2. Гидрологическая ситуация контролировалась на 10 постах, охватывая основную часть расчетной области, с частотой измерения 1раз/сут.

Величины среднесуточных осадков контролировались по 25 осадкомерным пунктам, достаточно равномерно рассредоточенным по рассматриваемой территории. В то же время высота снежного покрова оценивалась только на одной метеостанции.

Внутри каждого из экспериментальных водосборных бассейнов проводились измерения влажности почвы на квадратной сетке с частотой измерения через каждые 2 м.

Выбор расчетной сетки 2x2 км был обусловлен тем, что, как показал проведенный анализ неоднородности распределения полей влажности почвы, уровня грунтовых вод, происходит их стабилизация при увеличении масштабов их осреднения до характерных линейных размеров 1÷2 км.

Весьма существенным недостатком полигона NOPEX для исследования формирования гидрологических процессов, в том числе паводкового стока, является отсутствие на нем маршрутных снегомерных съемок, оценка толщины снежного покрова только по одной, как уже отмечалось, метеостанции.

При достаточной, в целом, близости расчетных и наблюденных значений по отдельным бассейнам наблюдаются весьма существенные отклонения. Так, в бассейне Orsundaan в период CFE2 наблюдается практически 2-кратное превышение расчетного максимального суточного стока над наблюдаемым (наблюдаемый Q_0 – 12 м^3/сек, расчетный Q_S – 20 м^3/сек).

В целом тестирование модели ECOMAG на данном полигоне по данным контрастных в климатическом отношении периодов стока показало ее применимость как для расчета составляющих гидрологического цикла для изученных в гидрологическом отношении водосборов, так и при возможных климатических изменениях.

Четвертая глава рассматриваемой диссертационной работы посвящена моделированию формирования речного стока на крупнейших речных бассейнах.

В качестве таких бассейнов были выбраны бассейны рек Волги, Лены, Амура и Маккензи, расположенные в физико-географических зонах с различными условиями формирования стока, типами питания и гидрологических режимов.

Для бассейна р. Волги расчеты выполнены с различными размерами расчетной области элементарного водосбора, используя при этом единые размеры ячеек ЦМР размерами 2х2 км. При проведении расчетов были использованы модельные схемы речной сети с 6 различными значениями критического числа K_p = 100, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000, т.е. при площадях элементарных расчетных водосборов от 400 км до 55000 км^2.

При этом использовались цифровые модели рельефа с разрешением 1 км, ежесуточная информация на 350 метеостанциях и гидрологическая информация по гидрологическим постам, а также ежедекадная информация по 370 пунктам снегомерных маршрутных наблюдений, 230 агрометеостанциям по изменению влажности почвы.

При описании полей запасов воды в снежном покрове калибровалось два параметра модели: температурный коэффициент стаивания снега для различных типов ландшафтов и критическая температура фазового состояния выпадения атмосферных осадков.

В расчетах полей влажности почвы также калибровалось два параметра. При этом калибровка параметров модели проводилась на самой детальной схематизации при Kp = 100.

Существенный методический интерес представляет полученная в данной главе зависимость изменения статистических критериев соответствия расчетных полей запасов влаги в снежном покрове в зависимости от критического числа Kp – характерных размеров расчетных водосборных бассейнов. Как показывают представленные результаты вычислительного эксперимента, существенное снижение статистического критерия наблюдается при увеличении характеристик расчетных ячеек до 13500 км^2, т.е. $L_{расч}$ ~ 110-120 км. Данный вывод подтверждается также результатами расчетов, представленных на рис. 4.12, 4.13.

Помимо единой модели для всего Волжского бассейна в данной главе рассматривались также результаты апробации частных моделей, построенных для

отдельных водосборов. В частности, для водосборов следующих водохранилищ: Камского, Нижнекамского, Чебоксарского, рр. Оки, Белой.

При сопоставлении рассчитанных гидрографов с реально наблюдаемыми расходами, к сожалению, не дается анализ наблюдаемых в ряде случаев значительных расхождений максимальных расходов воды. В то же время для потребителей, для решения задачи управления наибольший интерес представляет соотношение расчетных и наблюдаемых значений как в области средних расходов, так и в области экстремальных величин и, в первую очередь, максимального стока.

В целом на примере бассейна р. Волга продемонстрированы возможности разработанных технологий успешного моделирования полей гидрологических параметров, в масштабах крупных бассейнов с использованием стандартной гидрометеорологической информации, цифровых карт и баз данных водно-физических свойств почв и ландшафтов. В рамках выполненных на этой модели вычислительных экспериментов установлены минимальные и максимальные размеры расчетных ячеек для моделирования процессов формирования стока для крупных равнинных речных бассейнов ЕТР.

Также в данной главе рассматривается построение модели речного стока бассейна р. Лены. Данный бассейн имеет свои весьма специфические условия, при очень большой водосборной площади ~ 2,49 млн. км^2, данная территория имеет очень слабую сеть гидрометеорологических наблюдений (170 метеостанций и 11 гидрометрических постов). Для рассматриваемой водосборной территории характерен резко континентальный климат с очень низкими температурами в зимний период (-50÷-60^{0}С) и высокими летними (+20÷+35^{0}С), а годовое количество осадков изменяется от 200÷250, в приустьевой области до 1000 км в горах и юге бассейна. Также весьма характерной особенностью бассейна является то, что вся рассматриваемая территория расположена в зоне многолетних мерзлых пород.

Всего на водосборе бассейна р. Лены было 668 расчетных элементов, с характерной площадью 3600 км^2, т.е. линейные размеры расчетной ячейки ~ 60 км.

Проведенный анализ модели ECOMAG для данного бассейна показал ее принципиальное применение, хотя низкая освещенность рассматриваемой территории гидрометеорологической информацией снижает соответствие расчетных и наблюденных гидрологических характеристик.

Одной из причин данного наблюдаемого различия рассчитываемых и фактических гидрологических характеристик является то, что карты почв и ландшафтов масштаба 1:25000 000 характеризуются недостаточным пространственным разрешением.

Как показывает опыт использования модели ECOMAG на других значительно меньших по площади водосборах, для их эффективного применения необходимо наличие ландшафтно-почвенных карт в масштабе 1:100 000.

Очень существенным фактором влияния на точность расчетов стока на основе модели ECOMAG для рассматриваемой модели р. Лена является то, что многие относительно небольшие реки данного региона перемерзают, что обуславливает очень низкие значения зимнего стока. В то же время сама модель эти эффекты не учитывает. Однако в целом рассматриваемая модель дает неплохие результаты соответствия расчетных и наблюденных значений гидрологических параметров по используемым статистическим критериям.

Существенный интерес в свете анализа прошедших в 2013 г. катастрофических паводков представляет в данной главе модель формирования стока р. Амур.

В отличии от бассейнов р. Волги и р. Лены бассейн р. Амур расположен на территории трех стран, что существенно усложняет получение однородной гидрометеорологической информации.

Общая площадь водосбора р. Амур составляет 1,85 млн км^2, при этом исходя из водопользования выделено три основных участка: Верхний Амур от слияния рр. Шилки и Аргуш до впадения р. Зеи, Средний Амур от г. Благовещенска до г. Хабаровска и Нижний Амур от г. Хабаровска до устья. Средний многолетний расход в устье составляет 11330 м^3/сек, при этом объем стока формируется за рубежом на территории Китая и Монголии и составляет ~ 28% (46% площади бассейна).

Поэтому для задания почвенного покрова использовались глобальные базы данных Harmonized Soil Database (HWSD), ландшафта Global Land Cover Characterization (GLCC), а рельефа с разрешением 1x1 км база данных HJDRDLK, метеорологическая информация задавалась по данным 232 метеостанций (из них 165 на Российской территории).

При построении расчетной водосборной сети был принят параметр Kp = 500, что позволило сформировать речную сеть бассейна р. Амур с интегральной погрешностью менее 1%.

Калибровка параметров модели для р. Амур проводилась по материалам наблюдений с 1994 по 2003 гг. на 15 гидропостах (6 - на Амуре, 9 - на его притоках). Верификация модели проводилась по данным наблюдений 2004-2013 гг.

Как показали выполненные расчеты, для 13 из 15 задействованных в модели створов были получены приемлемые результаты. Наихудший результат качества модели расчетов оказался для створов с малой площадью водосборов, либо для створа, где фактический расход восстановлен по зависимости $Q=f(H)$. Данные результаты были

вполне ожидаемы, так как устойчивость зависимостей $Q=f(H)$ для р. Амур, характеризующейся активными русловыми процессами, невелика.

В то же время для относительно небольших водосборов более остро сказалась ограниченность исходной гидрометеорологической информации.

Наибольший интерес представляет воспроизведение рассматриваемой моделью условий формирования и прохождения катастрофического паводка 2013 г. Общий объем дождевого паводка наблюдается в июле-сентябре, а максимальный расход на пике паводка наблюдавшийся 4 сентября в г. Хабаровске – 46000 м^3/сек.

Выполненные модельные расчеты, позволили не только воспроизвести близкие характеристики гидрологического стока, но и причины формирования такого экстремального явления, что принципиально важно для разных эффективных мер по минимизации их последствий.

Существенный интерес представляет представленная в данной главе модель реки Маккензи. Сток данной реки составляет 5-10% от общего притока пресной воды в Северный Ледовитый океан. Для построения гидрологической модели этой реки на базе ИМК ECOMAG использовались модель рельефа с разрешением 1x1 км HJDROIK, почвенная база HWSD, ландшафтная база GLCC, карты пространственного распределения характеристик гидрологического цикла в масштабе 1:10 000 000.

Бассейн р. Маккензи разделен на 492 частных водосбора с характерной площадью 3600 км^2 (линейные размеры L~60 км).

Специфика рассматриваемого водосборного бассейна потребовала разработку и включение двух дополнительных блоков, связанных с регулированием речного стока крупными озерами и летнего питания правобережных притоков р. Маккензи за счет таяния ледников. Калибровка модели была проведена на основе материалов наблюдений за период 1991-2001 гг., а ее верификация – по наблюдениям на постах 1971-1990 гг.

Несмотря на то, что условия формирования стока в отдельных частях бассейна существенно различны, как отмечается в работе, модель позволяет учитывать эти неоднородности.

Наибольшей спецификой из рассмотренных в данной главе речных бассейнов характеризуется бассейн реки Маккензи. Данная река является крупнейшей водной артерией Арктического бассейна в Западном полушарии.

Ее бассейн составляет 1,8 млн км^2. К ее бассейну относятся крупнейшие канадские озера – Большое Медвежье (площадь зеркала F – 31300 км^2), Большое Невольничье (F – 28570 км^2), Атабаска (F -7850 км^2).

Результаты расчетов оказались удовлетворительными для всех гидрологических постов, кроме поста, расположенного на р. Большое Медвежье. Расчетная амплитуда внутригодовых колебаний стока оказалась существенно больше по сравнению с фактическими колебаниями. Основная причина данного расхождения расчетных и наблюденных значений – некорректная аппроксимация такого большого водного объекта как Большое Медвежье озеро в виде простейшей линейной емкости.

В целом выполненные вычислительные эксперименты показали, что модель ECOMAG позволяет получить вполне приемлемое соответствие расчетных и наблюденных значений гидрологических характеристик в бассейне р. Маккензи. В то же время, учитывая специфику рассматриваемого водного бассейна, необходим учет влияния на формирование стока озер со значительными изменениями в течение года ледового покрова.

Основная сложность применения комплекса ECOMAG для рассматриваемого водного бассейна является слишком слабая гидрометеорологическая освещенность, связанная с очень низкой плотностью гидрометеорологических наблюдений.

Последняя **пятая глава** рассматриваемой диссертационной работы посвящена использованию рассматриваемого ИМК ECOMAG в задачах управления водноресурсными системами.

Существенное влияние уделено оценке опасности наводнения и роли водохранилища в снижении пиков наводнения на примере Среднего Амура.

Была рассмотрена в сценарной постановке на основе вычислительных экспериментов роль Зейского и Бурейского водохранилищ на формирование катастрофического паводка 2013 г. Показана существенная противопаводковая роль данных водохранилищ. Существенное значение для отработки технологии решения данных задач, как показано в работе, имеет корректное сопряжение гидрологических и гидродинамических моделей.

В качестве основы для решения задач сопряжения принят открытый стандарт моделей OGC Open MI 2.0.

Существенный интерес представляет также рассмотренная в данной главе технология информационной поддержки при управлении каскадного водохранилища на основе сопряжения ИМК ECOMAG с моделью функционирования водохозяйственных систем VOL POW.

Данная задача рассматривается на основе регулирования Волжско-Камского каскада, включающего 11 водохранилищ и являющегося одной их крупнейших в мире водохозяйственных систем комплексного назначения.

Главной задачей каскада является перераспределение весьма неравномерного стока р. Волги, когда во время весеннего половодья продолжительностью 2-3 месяца проходит 2/3 годового стока.

Поэтому задача управления таким каскадом с учетом, а тем более оптимизацией часто антагонистических интересов водопользователей, является очень сложной.

Использование ИМК ECOMAG позволяет сделать процедуры принятия управленческих решений значительно более прозрачными, более научно-обоснованными.

Существенный практический интерес представляет алгоритм расчета режимов работы гидроузлов Волжско-Камского каскада, с учетом сценариев долгосрочных прогнозов бокового притока и водохранилищ. При этом, как продемонстрировано в табл. 5.4, оценка точности расчетов боковой приточности к водохранилищу обратно пропорциональна их площади, что объясняется усилением роли местных региональных факторов при уменьшении площади водосборов. В то же время при рассмотрении суммарных оценок погрешность не превышает 2%.

Выполнена оценка экономического и социального эффектов по использованию ИМК ECOMAG для решения задач эффективности водохозяйственного комплекса. Показано, что экономический эффект составляет 200 млн руб/год. при ежегодных затратах на эксплуатацию системы в несколько миллионов рублей.

Заключительный раздел данной 5 главы посвящен развитию методов краткосрочного прогноза притока воды в водохранилище с использованием метеорологических прогнозов на примере Бурейского, Чебоксарского водохранилищ.

Створ плотины Бурейского гидроузла расположен в 174,2 км выше устья р. Буреи, площадь водосбора - 652 000 км^2. Среднегодовой расход в створе ГЭС - 866 м^3/сек, а максимальный зафиксированный - 14500 м^3/сек.

Для снятия проблем последствий русловых колебаний попусков на данной станции в 84,6 км ниже Бурейской ГЭС при отладке модели ECOMAG было выделено для данного водного объекта 36 частных водосборных бассейнов со средней площадью 1800 км^2.

Калибровка модели осуществлялась по данным наблюдений с 10.01.2005 г. по 31.12.2009 г., а верификация модели по материалам наблюдений с 01.01.2010 г. по 31.12.2013 г.

Опытные оперативные испытания методов прогнозов притока воды к Бурейскому водохранилищу на ИМК проводились в основном в 2016 г., а к Чебоксарскому водохранилищу – в 2018 г. Сравнение прогнозных оценок и фактических наблюдений с использованием статистических критериев дают вполне приемлемые результаты. При

этом выполненные эксперименты показали значительную чувствительность данных методов прогноза к результатам метеопрогнозов и, в первую очередь, осадков.

В заключении даются общие выводы по работе, показаны достоинства и ограничения разработанного ИМК ECOMAG.

Данный раздел отражает в кратком виде основные выводы по отдельным рассмотренным главам диссертационной работы.

Используемый список литературы достаточно полно отражает как базовые, так современные отечественные и зарубежные публикации по рассматриваемой проблематике.

Научная новизна исследования

Впервые разработаны физико-математические модели с распределенными параметрами для широкого круга речных бассейнов, с учетом процессов вертикального тепло- и влагопереноса в снежном покрове, в мерзлой почве при инфильтрации в нее талых вод. Предложены алгоритмы и методы численной реализации уравнений тепло- и массопереноса в почвах и снежном покрове.

Разработана физико-математическая модель формирования стока ECOMAG и проведена ее апробация на примере водосборов крупнейших рек Северного полушария, находящихся в существенно различающихся физико-географических условиях (Волга, Лена, Амур, Маккензи), характеризуемых различными условиями формирования стока, питания.

Разработаны новые методы и технологии расчетов прогнозирования экстремальных гидрологических характеристик, необходимых для решения широкого круга водохозяйственных задач водохозяйственного управления и рационального использования водохозяйственных комплексов и охраны водных объектов.

Практическая значимость

Практическая значимость данного исследования подтверждается успешным использованием программного комплекса ECOMAG в решении широкого круга практических задач, связанных, как с управлением каскада Волжских водохранилищ, так и с оценкой эффективности противопаводковых мероприятий на широком круге речных бассейнов.

Достоверность выполненных исследований и ее апробация подтверждаются большим объемом проведенных верификационных оценок на различных реках с использованием современных методов статистического анализа. При этом калибровка параметров модели и ее верификация выполнены по различным массивам исходных

данных. Результаты исследований изложены в 2 монографиях и 82 статьях, в том числе в 51 рецензируемых, докладывались и широко обсуждались на крупнейших международных и российских конференциях по методам расчетов и прогнозирования речного стока.

Замечания

1. Основная сложность создания таких Мега-моделей, кроме чисто технических, касающихся включения в общую программу обеспечения очень значительного количества различных частных моделей, создания, соответственно, баз информационных данных, заключается в необходимости решения очень серьезной теоретической проблемы – трансляции результатов расчетов по отдельным частным моделям на очень крупные водные бассейны в условиях очень существенной пространственной неоднородности определяющих параметров. К сожалению, теоретическому анализу этой проблемы не уделено в работе должного внимания.

2. Представляла бы существенный как теоретический, так и практический интерес оценка влияния количества рассматриваемых определяющих параметров на точность оценки стока на элементарных водосборах и перенос этих результатов на крупные реальные водосборы в условиях существенной пространственной неоднородности и временной неустойчивости.

3. Вместо средних арифметических значений в условиях неопределенности распределения определяющих параметров значительно более эффективнее представляется использование медианных оценок. Так как распределения рассматриваемых переменных далеко не всегда описываются нормальным распределением, для которого средние арифметические оценки априорно наиболее эффективные.

4. При калибровке достаточно сложных моделей формирования стока на крупных водосборах принципиальной становится проблема эквивалентности, когда определенное сочетание различных исходных параметров дают близкие результаты в изменении расчетного параметра. Данная проблема приобретает особую остроту, если ставится задача оценки расчетных экстремальных значений стоковых характеристик. К сожалению, анализу этого вопроса так же не уделено должного внимания .

5. Калибровка коэффициентов гидравлической шероховатости проводилась в априорном допущении, что гидравлическое сопротивление в русловых потоках определяется только зернистой шероховатостью. Однако в аллювиальных руслах, как правило, значительный вклад вносит грядовая шероховатость, характеристики которой, в значительной мере, определяются гидрологическим режимом водотока. Соответственно,

параметры шероховатости, откалиброванные для одних значений расходов воды, могут существенно отличаться для других, в первую очередь, для экстремальных значений.

6. При анализе воспроизводства моделью ECOMAG расходов воды в ряде случаев не учитывалась, не анализировалась срезка расходов воды выше расположенным гидроузлом. Так, при анализе результатов расходов воды по р. Косьва – п. Перемское не учитывалось, что высокие пиковые значения весенних паводков срезаются выше расположенным Широковским гидроузлом.

7. Встречаются определения, неточности, небрежности как в описании рассматриваемых природных и техногенных объектов, так и в анализе используемых литературных источников. Так на стр. 172 отмечается, что Камское водохранилище введено в эксплуатацию в 1964 г., а на самом деле в 1954 г. В 1964 г. было введено в эксплуатацию Воткинское водохранилище. На стр. 16 указано, что работа Л.С. Кучмента «Математическое моделирование речного стока» издана в 1971 г., в действительности данная книга вышла в 1972 г.

8. Вряд ли, в рамках одной диссертационной работы, целесообразно рассматривать включение в модель расчетов не только стока воды, но и химических ингредиентов, как представлено на стр.101, в виде блока по оценке химического стока. К сожалению, представленный на стр.103 пример не очень удачный, так как под фенолами подразумевается весьма широкий класс веществ, характеризуемый своими значениями ПДК и константами неконсервативности. Простейшие фенолы, для которых рыбохозяйственные ПДК – 0,001 мг/л, имеют, соответственно, санитарно-гигиенические ПДК, не указанные на рис. 2.6, – 1,0 мг/л. Также не корректно указаны коэффициенты неконсервативности, их величина существенно зависит от температуры воды, а также летальные концентрации $LC_{50\%}$ В то же время подобные модели для гидрохимии весьма полезны и актуальны, однако вряд ли их следует рассматривать в рамках одной диссертационной работы.

Заключение

В целом представленная диссертационная работа представляет целостное крупное законченное научное исследование, решающее важную и актуальную гидрометеорологическую задачу – построение физико-математических моделей речного стока для крупных водных бассейнов. Данный комплекс моделей необходим как для решения задач расчетов речного стока, так и его оперативного прогнозирования.

Текст автореферата соответствует основным защищаемым положениям, выдвинутым в диссертации.

По поставленным задачам, а также результатам, полученным при их решении, диссертационная работа соответствует профилю научной специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Основные научные результаты диссертационной работы докладывались и прошли обсуждения на большом количестве международных и российских конференций, опубликованы в двух монографиях, 82 статьях, в том числе в 51 изданиях, рекомендованных ВАК. Получено 4 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Печатные публикации в целом отражают содержание диссертационной работы.

Исходя из выше изложенного считаю, что рассматриваемая диссертационная работа, имеющая как научную ценность, так и практическую значимость, удовлетворяет требованиям п.9. «Положения о порядке присуждения ученой степени», утвержденная Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013г., а ее автор Мотовилов Юрий Георгиевич заслуживает присвоения ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент
Зав. лабораторией проблем гидрологии суши
«ГИ УрО РАН»,
д.г.н., профессор Лепихин А.П.

10.03.2019г.

614007 г. Пермь , ул. Сибирская 78а
Тел . +7 342 216 90 49 E-mail: lepihin49@mail.ru
«ГИ УрО РАН»
Зав. лабораторией проблем гидрологии суши
Доктор географических наук, профессор Лепихин Анатолий Павлович

Подпись Лепихина А.П. удостоверяю

Главный специалист по кадрам Еремина Л.А.

ОТДЕЛ КАДРОВ