

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор-начальник Управления
Научной политики и организации научных
Исследований МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор
А.А. Федянин



05 марта 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Мотовилова Юрия Георгиевича** «Система физико-математических моделей формирования речного стока и ее применение в задачах гидрологических расчетов и прогнозов», представленной на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (науки о Земле).

Диссертационная работа посвящена развитию направления, связанного с разработкой системы моделей гидрологического цикла речного бассейна, включая детальные физико-математические модели с распределенными параметрами и региональную модель формирования стока ECOMAG, полученную на основе концепции агрегирования параметров и уравнений детальных моделей на характерных для описываемого речного бассейна пространственных масштабах, определяемых физико-географическими факторами, с использованием оригинальных методов и алгоритмов, разработанных автором.

На основе информационно-моделирующего комплекса ECOMAG, включающего модель формирования стока, геоинформационную систему для схематизации водосборов и обширные базы данных, основанные на стандартных данных гидрометеорологического мониторинга, разработаны региональные гидрологические модели для крупнейших речных бассейнов северного полушария (Волги, Лены, Амура и Маккензи), проведена их детальнейшая калибровка и верификация по данным наблюдений за многолетний период как на основе данных о стоке в различных створах исследуемых бассейнов, так и на основе пространственных полей стока и стокоформирующих факторов (снегозапасов, испарения, влажности почвы, среднемноголетних значений стока).

Значительное внимание в работе уделено разработке и совершенствованию методов и технологий гидрологических расчетов и прогнозов с использованием разработанных моделей, включая актуальные для нашей страны водохозяйственные задачи оценки опасности наводнений и противопаводкового эффекта действующих и планируемых водохранилищ, управления водноресурсными системами с каскадами водохранилищ комплексного назначения, долгосрочного и краткосрочного прогнозирования притока воды к водохранилищам, краткосрочные и долгосрочные прогнозы стока.

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Объем работы составляет 333 страницы, включая 78 рисунков и 22 таблицы. Библиографический список содержит 249 наименований.

Диссертационная работа организована следующим образом:

Во **введении** работы автором обоснована теоретическая и практическая значимость исследования, сформулированы цели и задачи диссертации, защищаемые положения и научная новизна полученных результатов, их практическая значимость.

В **первой главе** рассмотрены этапы развития исследований и основные дискуссионные вопросы, связанные с построением физико-математических моделей формирования стока в речных бассейнах, представлены разработанные автором модели с распределенными параметрами, описывающих гидротермический режим снежного покрова и мерзлой почвы на небольших водосборах, приведены результаты сопоставления численных экспериментов с данными лабораторных и полевых исследований, дана характеристика разработанной физико-математической модели формирования стока весеннего половодья, реализованной на примере водосбора р. Сосны.

Вторая глава работы посвящена описанию структуры, уравнений, алгоритмов и информационного обеспечения разработанной физико-математической модели ECOMAG и одноименного информационно-моделирующего комплекса. Представлены разработанные автором методические приемы оценки, задания и калибровки полей модельных параметров.

В **третьей** главе работы представлены результаты комплексных испытаний модели ECOMAG в рамках международного эксперимента NOPEX для 9-ти

бассейнов малых рек в Швеции на основе детальных полевых и экспериментальных исследований. Получено хорошее соответствие результатов моделирования и данных наблюдений за стоком, испарением, динамикой влажности почвы и уровня грунтовых вод. Показано, что модель удовлетворяет, по крайней мере, двум пунктам принадлежности к региональным моделям (применимость для крупных территорий и применение модели всюду в пределах рассматриваемой области, в том числе для неизученных водосборов, с единым региональным набором параметров).

В **четвертой** главе рассмотрен опыт применения модели ECOMAG для построения региональных моделей и моделирования гидрографов и полей характеристик гидрологического цикла в ряде крупнейших речных бассейнов северного полушария: Волги, Лены, Амура и Маккензи. Испытания региональной модели в бассейне Волги проиллюстрированы на примере сопоставления смоделированных пространственных полей запасов воды в снежном покрове и влажности почвы с данными снегомерных наблюдений и измерений продуктивной влаги на агрометеорологических станциях, показано их хорошее соответствие. Проанализирована серия численных экспериментов по выявлению влияния размеров (масштабов) расчетных ячеек и предложенных алгоритмов генерализации и осреднения параметров модели на точность результатов расчетов. Показано, что процедура поэтапной калибровки параметров модели, показавшая эффективность для бассейна Волги, не применима для бассейна Лены, где мониторинговая сеть снегомерных маршрутов и агрометеорологических станций весьма разрежена. Поэтому здесь калибровка ключевых параметров модели производилась по данным наблюдений о речном стоке в различных точках русловой сети реки Лены и ее притоков, а валидация модели на независимом материале выполнялась в том числе для гидропостов, которые не были включены в калибровочную серию. Для бассейна р. Амур по результатам моделирования оценено влияние основных природных факторов на формирование критического состояния водосбора к началу паводка 2013 г. и экстремального стока в период его прохождения.

Для воспроизведения особенностей формирования стока в бассейне р. Маккензи оригинальная версия модели ECOMAG расширена за счет включения двух дополнительных блоков модели, первый из которых описывает регулирование речного стока имеющимися в бассейне крупными озерами в виде линейных

емкостей с учетом нарастания и таяния ледяного покрова на этих озерах, а второй блок – летнее питание левобережных притоков р. Маккензи за счет таяния ледников и снежников в высокогорных областях.

В **пятой** главе работы показаны возможности новых методов и технологий, созданных на базе физико-математической модели ECOMAG, для модернизации традиционных методов гидрологических расчетов и прогнозов. Представлена компьютерная технология гидроинформационной поддержки управления риском наводнений для оценки противопаводковой функции действующих и планируемых водохранилищ на реках Зее и Бурее, технология информационной поддержки при управлении каскадами водохранилищ на примере Волжско-Камского каскада, включая методы долгосрочного ансамблевого прогноза притока воды к водохранилищам. Методы краткосрочного прогноза притока воды в водохранилища с использованием метеорологических прогнозов (на примере Чебоксарского и Бурейского водохранилищ).

Научная новизна диссертационной работы заключается в существенном вкладе в развитие методов математического моделирования процессов формирования стока, включая алгоритмы и методы численной реализации уравнений тепло- и влагопереноса в мерзлой почве и снеге, методы расчета гидрофизических характеристик талых и мерзлых почв, методы генерализации описания процессов и параметров влагообмена при изменении пространственных масштабов моделирования с использованием статистических распределений и различных процедур пространственного осреднения параметров подстилающей поверхности. Предложены методы задания и калибровки полей модельных параметров, смягчающие эффект эквивинальности и повышающие идентифицируемость значений параметров региональных гидрологических моделей.

Наиболее значимым результатом работы является разработанный автором информационно-моделирующий комплекс ECOMAG, на основе которого реализованы региональные модели различного пространственного масштаба для речных бассейнов, расположенных в различных физико-географических зонах с различными условиями питания и типами гидрологического режима водных объектов. Стоит отметить, что в диссертации представлены только наиболее

значительные из исследованных на основе модели речных бассейнов, не меньшее их число из-за ограничений объема диссертации не вошло в текст.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается многочисленными примерами их успешного внедрения в отечественную водохозяйственную практику. Методы и информационные технологии, разработанные Ю.Г.Мотовиловым, чрезвычайно полезны в задачах оценки опасности наводнений и противопаводкового эффекта действующих и планируемых водохранилищ, управления водноресурсными системами с каскадами водохранилищ комплексного назначения, долгосрочного и краткосрочного прогнозирования притока воды к водохранилищам.

При непосредственных консультациях автора с использованием рассматриваемой модели защищены многие курсовые и дипломные работы, магистерские и кандидатские диссертации студентами и аспирантами кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В.Ломоносова. Можно с уверенностью говорить о внедрении теоретических и практических результатов автора в учебный процесс подготовки специалистов-гидрологов в Московском университете и создании соответствующего на кафедре научного направления.

Основные положения диссертации отражают результаты многолетней работы автора и представлены в многочисленных публикациях, в том числе изложены в двух монографиях и 82 статьях, из них в 51 статье в рецензируемых изданиях. Расчеты выполнены с использованием 4 разработанных автором сертифицированных программ для ЭВМ.

Диссертационная работа в целом представляет собой законченное фундаментальное исследование, все защищаемые положения хорошо раскрыты и проиллюстрированы многочисленными примерами.

По работе имеются следующие незначительные замечания.

1. Диссертантом выполнен большой объем работ, связанный с эмпирическими оценками с помощью объективных статистических критериев максимальных размеров расчетных ячеек, допустимых с точки зрения сохранения вычислительной точности моделирования. И по оценкам на данных пространственного мониторинга характеристик снежного покрова, и по оценкам точности расчета гидрографов стока при различных схематизациях и масштабах

расчетных ячеек для бассейна Волги получены примерно одинаковые максимальные размеры расчетных ячеек не более 13500 км². В то же время, вопросы назначения минимальных размеров расчетных ячеек и связанные с этим масштабные эффекты, на наш взгляд остались недостаточно освещенными.

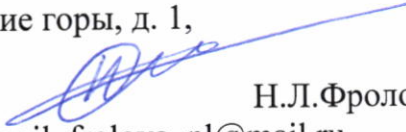
2. При валидации пространственно-распределенной модели ECOMAG для ряда крупных речных бассейнов (водосборы Камского и Нижнекамского водохранилищ, бассейн Лены) в диссертации впервые задействованы карты среднемноголетних модулей стока. Среднемноголетний модуль стока зависит от физико-географических условий и ландшафтных особенностей территории и отражает средний уровень баланса тепла и влаги на земной поверхности. Модуль стока является одной из важнейших характеристик речного стока, используемой в гидрологических расчетах при гидротехническом проектировании. Для сравнения полученной по данным моделирования за многолетний период карты рассчитанных среднесуточных величин эффективного водообразования в бассейнах с фактической картой среднемноголетнего модуля годового стока задействована карта для территории бывшего СССР, опубликованная в СН 435-72, 1972. Представляется, что за 50 прошедших лет в связи с увеличением объемов мониторинговой гидрометрической информации карты среднемноголетнего модуля стока могли претерпеть значительные изменения, и для сравнения рассчитанных и фактических карт модуля стока целесообразно привлекать карты, полученные путем осреднения для одних и тех же временных периодов.
3. В разработанной автором схеме уточнения краткосрочного прогноза притока воды в водохранилища с заблаговременностью до семи суток с использованием прогнозных метеорологических данных вносятся поправки, связанные с усвоением вновь поступающей гидрометеорологической информации и корректировкой модельных прогностических гидрологических расчетов. При этом задействован традиционный подход, связанный с предположением инерционности ошибок прогноза, когда разница между рассчитанным и фактическим гидрографом на дату выпуска прогноза «разбрасывается» с определенными весами на даты заблаговременности прогноза. Вместе с тем, остались не исследованы более современные подходы, разрабатываемые в

практике гидрологического распределенного моделирования в последние годы, основанные на вероятностных оценках неопределенностей (ансамблевый фильтр Калмана). Хотелось бы услышать пояснения по этому вопросу.

Данные замечания, возникшие при прочтении диссертации, не носят кардинального характера и не снижают высокого мнения о ней.


Диссертация соответствует “Положению о порядке присуждения ученых степеней” Высшей Аттестационной комиссии Российской Федерации. Она является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена важная научная задача разработки системы физико-математических моделей формирования речного стока и ее применения в задачах гидрологических расчетов и прогнозов. Диссертационная работа имеет высокое теоретическое и практическое значение, соответствует требованиям к докторской диссертации, а ее автор Ю.Г. Мотовилов несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия (науки о Земле).

Зав. кафедрой гидрологии суши
Географического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова
Профессор, доктор географических наук
(специальность 25.00.27- гидрология суши,
водные ресурсы и гидрохимия)
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,
Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова
Тел.раб. (495) 939-1001, Моб. 8-916-609-3454, E-mail, frolova_nl@mail.ru



Н.Л.Фролова

Доцент кафедры гидрологии суши
Географического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова
кандидат географических наук
(специальность 25.00.27- гидрология суши,
водные ресурсы и гидрохимия)
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,
Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова
Тел.раб. (495) 939-53-26, Моб. 8-9104506328, E-mail, andrei_alabyan@mail.ru



А.М.Алабян

Декан Географического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова,
Член-корреспондент РАН



С.А.Добролюбов



**МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА
(МГУ)
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ**

Ленинские горы, Москва,
ГСП-2, 119992
Тел.: 939-10-00, 203-65-65
Факс: 939-01-26

01.03.2019 № 108-9-33/40
На № _____

УТВЕРЖДАЮ:
Декан географического факультета МГУ
имени М.В.Ломоносова,
член-корреспондент РАН



С.А.Добролюбов

АКТ

о внедрении результатов диссертации, представленной на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, **Мотовилова Юрия Георгиевича**
«СИСТЕМА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ПРОГНОЗОВ»

Результаты диссертации Ю.Г.Мотовилова, в частности разработанная физико-математическая модель формирования стока ECOMAG, ориентированная на моделирование гидрологических процессов в крупных речных бассейнах со смешанным дождевым и снеговым питанием рек, а также информационно-моделирующий комплекс (ИМК), созданный на базе этой модели и включающий помимо расчетного модуля средства информационной и технологической поддержки работы модели, внедрены в учебный процесс кафедры гидрологии суши.

При непосредственных консультациях Ю.Г.Мотовилова с использованием рассматриваемой модели защищены многие курсовые и дипломные работы, магистерские и кандидатские диссертации студентами и аспирантами кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В.Ломоносова. На базе этой модели с помощью ИМК были построены региональные гидрологические модели для крупнейших речных бассейнов мира, расположенных в различных физико-географических зонах с различными условиями питания и типами гидрологического режима водных объектов.

Результаты диссертационного исследования используются в лекционных и практических занятиях по курсу «Моделирование гидрологических процессов» по направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология» профиль «Гидрология» уровня высшего образования магистратура.

Зам. декана по учебной работе
Географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,
Д.г.н., профессор

А.В.Бредихин

Зав. Кафедрой гидрологии суши
Географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,
Д.г.н., профессор

Н.Л.Фролова