

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ОНЗ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И
ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ВОДНАЯ СТИХИЯ: ОПАСНОСТИ, ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

07–13 октября 2013 г.

г. Краснодар



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
07-13.10.2013 г.

ВОДНАЯ СТИХИЯ:

ОПАСНОСТИ, ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ,
УПРАВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ОНЗ РАН «ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ СУШИ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И
ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ»

**ВОДНАЯ СТИХИЯ: ОПАСНОСТИ,
ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ,
УПРАВЛЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УГРОЗ**

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

07–13 октября 2013 г.

г. Краснодар

НОВОЧЕРКАССК

2013

УДК 627.51:504.06(06)

ББК 38.77я43

В 62

Редакционная коллегия:

доктор физико-математических наук – *А.Н. Гельфан*

доктор технических наук *В.Г. Пряжисинская* – ответственный редактор

кандидат технических наук – *М.И. Степанова*

Р.И. Бедная

Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз: материалы всероссийской научной конференции, г. Краснодар, 07–13 октября 2013 г. – Новочеркасск: ЛИК, 2013. – 496 с.
ISBN 978-5-9947-0373-1

В настоящий сборник вошли доклады, представленные на Всероссийскую научную конференцию «Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз» (г. Краснодар, 07–13 октября 2013 г.), проведенную Научным советом Отделения наук о Земле РАН «Водные ресурсы суши», Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН), Северо-Кавказским филиалом Федерального государственного унитарного предприятия Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (РосНИИВХ).

Организация конференции и издание сборника осуществлены при финансовой поддержке Российской академии наук, Федерального агентства водных ресурсов, Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-05-06064-г).

УДК 627.51:504.06(06)

ББК 38.77я43

ISBN 978-5-9947-0373-1

- © Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук, 2013
- © Северо-Кавказский филиал Федерального государственного унитарного предприятия Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, 2013
- © Авторы докладов, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	Стр. 9
I. ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ: СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАСШТАБОВ И РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ; ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ..	
<i>Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Жук В.А.</i> Пространственные особенности экстремальных гидрологических условий на территории Российской Федерации.....	10
<i>Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Ретеюм К.Ф., Юмина Н.М.</i> Научное обоснование структуры и содержания базы данных для изучения процессов затопления освоенной местности...	17
<i>Болгов М.В., Бубер А.Л., Коробкина Е.А., Осипова Н.В.</i> Комплексный анализ факторов опасного развития гидрологической обстановки 6-7 июля 2012 года; разработка научно-обоснованных рекомендаций для предотвращения катастрофических паводков и обеспечения безопасности территории Крымского района Краснодарского края.....	23
<i>Боревский Б.В., Зекцер И.С., Язвин А.Л.</i> Оценка и картирование ресурсного потенциала пресных подземных вод России	36
<i>Васильев О.Ф., Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Кудишин А.В., Ловцкая О.В., Овчинникова Т.Э., Семчуков А.Н.</i> Разработка информационно-моделирующих систем оперативного прогнозирования опасных гидрологических ситуаций для крупных речных систем Сибири (на примере Верхней Оби).....	41
<i>Гусев Е.М., Насонова О.Н., Джоган Л.Я.</i> Сценарное прогнозирование изменения составляющих водного баланса северных речных бассейнов в связи с возможным изменением климата.....	47
<i>Дебольская Е.И., Дебольский В.К., Грицук И.И., Масликова О.Я.</i> Деформации нижних бьефов ГЭС в криолитозоне, вызванные воздействием волн различного происхождения.....	52
<i>Десинов Л.В., Коронкевич Н.И.</i> Программа дистанционного зондирования земной поверхности «Ураган» и использование ее данных для мониторинга гидрологических ситуаций.....	59
<i>Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Бугров А.А., Телегина Е.А., Фролова Н.Л., Киреева М.Б.</i> Ведущие факторы современных изменений подземного стока – надёжного и устойчивого источника водоснабжения.....	65
<i>Ефремова Н.А., Магрицкий Д.В.</i> Наводнения на устьевом участке реки Преголи и возможности их моделирования.....	72

	Стр.
Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б. Плановая модель для оценки и прогнозирования затопления пойменных территорий на участках рек со сложной морфометрией русла (на примере Верхней Оби).....	78
Зырянов В.Н. Каспий: циркуляция вод и штормовые нагоны.....	83
Калинин М.Ю., Волчек А.А., Шведовский П.В. Опасные природные явления на реках Беларуси.....	92
Калугин А.С., Крыленко И.Н. Исследование возможностей гидродинамического моделирования движения воды в крупной речной системе при недостатке исходной информации (на примере р. Дон).....	100
Кашарин Д.В., Тхай Тхи Ким Тьи. Исследования мобильных дамб для предотвращения затопления территорий населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий.....	108
Кожевникова И.А., Швейкина В.И. Метод построения модели колебаний уровня водоемов для прогноза экологически опасных состояний.....	114
Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Вишневская И.А., Долгов С.В., Зайцева И.С. Изменения условий формирования стока в бассейне Волги и их гидрологические последствия.....	121
Котляков В.М., Десинов Л.В. Анализ развития катастрофического наводнения в г. Крымске на основе данных дистанционного зондирования бассейна реки Адагум.....	127
Кофф Г.Л., Чеснокова И.В., Борсукова О.В. Разработка методов оценки опасных природных процессов на берегах водных объектов городских территорий.....	137
Красов В.Д. Динамика параметров регулирования стока в условиях его нестационарности.....	144
Курбатова И.Е. Использование спутниковой информации для оценки экологического состояния русловых водохранилищ.....	151
Кучмент Л.С. Ансамблевые гидрологические прогнозы (методические основы, эффективность, опыт применения).....	159
Кучмент Л.С., Демидов В.Н. Моделирование годового гидрологического цикла и межennaleго стока горной реки (на примере Верхней Кубани).....	167
Лебедева С.В. Гидродинамическое моделирование устья реки Северная Двина и оценка степени возможных ущербов от наводнений в ее дельте	174
Магрицкий Д.В., Алексеевский Н.И., Крыленко И.Н., Юмина Н.М., Ефремова Н.А., Школьный Д.И. Риски наводнений в низовьях и устьях рек Черноморского побережья России.....	181

	Стр.
<i>Магрицкий Д.В., Алексеевский Н.И., Самохин М.А., Школьный Д.И.</i> Стоковые наводнения в дельте реки Терек: прошлое, настоящее и будущее.....	187
<i>Матишов Г.Г., Клещенков А.В. Шевердяев И.В.</i> Катастрофический паводок в бассейне реки Адагум 6-7 июля 2012 года.....	194
<i>Мотовилов Ю.Г.</i> Моделирование полей влажности почвы для крупных речных бассейнов (на примере бассейна Волги).....	198
<i>Музылев Е.Л., Старцева З.П., Успенский А.Б., Волкова Е.В., Кухарский А.В., Успенский С.А.</i> Моделирование характеристик водного режима территории сельскохозяйственного региона с использованием спутниковой информации о состоянии подстилающей поверхности.....	205
<i>Орлянкин В.Н., Фисенко Е.В., Ларина А.Б.</i> Методика расчета наивысших уровней воды рек при отсутствии гидрометрических наблюдений и дистанционное картографирование зон затопления.....	216
<i>Падалко Ю.А.</i> Факторы экстремальных гидрологических ситуаций в Оренбургской области.....	220
<i>Панин Г.Н., Соломонова И.В., Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А.</i> Влияние северной Атлантики на климат бассейна Каспийского моря.....	225
<i>Семёнов В.А.</i> Территориальное и временное распределение климатообусловленных изменений рисков опасности наводнений и маловодий на реках России.....	232
<i>Сенцова Н.И.</i> Развитие методов оценки возникновения маловодных периодов в бассейнах крупных рек Европейской территории России.....	236
<i>Сивохин Ж.Т., Чибилев А.А.</i> Территориальный анализ опасных гидрологических явлений в трансграничном бассейне р. Урал...	242
<i>Сотникова Л.Ф.</i> Совместный анализ пространственно-временных характеристик водности основных рек Европейской части России.....	248
<i>Филлипова И.А.</i> Пространственно-временная структура полей межennale и минимального стока рек Европейской территории России в условиях меняющегося климата.....	255
<i>Шержуков Е.Л.</i> Региональные системы мониторинга опасных природных и техногенных явлений на примере Краснодарского края.....	262
II. НОВЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД СУШИ, СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ.....	265

2. Азява Г. В., Аземша В.В. Защита от паводковых наводнений в Белорусском Полесье. Состояние и перспектива// Белорусское Полесье. Вып. 1. Пинск: Фонд «Белорусское Полесье» 2001. С. 49 – 53.
3. Бурлибаев Б.Ж., Волчек А.А., Калинин М.Ю. Чрезвычайные ситуации в природной среде. Алматы: Изд. «Каганат», 2011. – 356 с.
4. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. – М.: Прогресс-традиция, 2000. – 416 с.
5. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. 2010. М.: Научный мир. – 232 с.
6. Калинин М.Ю., Волчек А.А., Шведовский П.В. Чрезвычайные ситуации и их последствия: мониторинг, оценка, прогноз и предупреждение/РУП Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. Минск: Белсенс, 2010. – 275 с.
7. Рутковский П.П. Проблема наводнений в Республике Беларусь и пути её решения// Природные ресурсы, 2001. №2. С. 59–63.
8. Таратунин А.А. Наводнения по континентам и странам мира/ Под ред. Н.И. Коронкевича. Екатеринбург: Изд. ФГУП РосНИИВХ. 2011. – 480 с.
9. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. – Минск, 1996. – 286 с.
10. Швеу Г.И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 243 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В КРУПНОЙ РЕЧНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ р. ДОН)

Калугин А.С.^{*}, Крыленко И.Н.^{**}

^{*}ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва

^{**}МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, г. Москва
kalugin-andrei@mail.ru

Использование математических моделей движения водных потоков в речной сети позволяет расширить представления об особенностях водного режима, количественно оценить скорости перемещения паводковых волн, глубины и границы затопления территорий и другие характеристики. При этом появляются возможности не только для исследования водного режима в наблюдавшихся условиях, но и для решения прогностических задач, в том числе, например, оценки его возможных изменений вследствие антропогенных изменений морфометрии речных русел, изучения особенностей прохождения паводков, превышающих зарегистрированные за период инструментальных измерений и т.д. Реализация этих возможностей зависит, в значительной мере, от полноты и надежности данных, используемых для построения гидродинамических моделей. При этом объем исходной информации, достаточный для расчета характеристик водного режима с заданной точностью, может заметно отличаться для разных речных систем в зависимости от особенностей морфометрии русла и поймы, изменчивости их характеристик по длине реки, наличия гидротехнических сооружений и т.д. Большое значение в этой связи приобретает накопление

опыта использования гидродинамических моделей для описания движения воды в речных системах, по-разному обеспеченных исходными данными, а также разработка методов оценки чувствительности расчетов к полноте и составу этих данных.

Цель данного исследования – определение возможностей гидродинамического моделирования неустановившегося движения воды в речной системе при использовании разных по составу и детальности исходных данных о морфометрических характеристиках русла и поймы. В качестве инструмента исследования использовалась одномерная гидродинамическая модель, основанная на решении уравнений Сен-Венана и реализованная в рамках программного комплекса МИКЕ 11, разработанного в Датском гидравлическом институте (ДНИ) [1].

Система уравнений Сен-Венана в одномерной схематизации потока включает одномерное уравнение неустановившегося движения воды (1), уравнение неразрывности (2):

$$\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha U^2 / 2g)}{\partial x} + \frac{U^2}{C^2 h} = I \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial t} = q, \quad (2)$$

где U – средняя скорость потока, q – боковой приток (отток), Q – расход воды, h – средняя глубина потока, I – уклон водной поверхности, C – коэффициент Шези, α – коэффициент Кориолиса, g – ускорение силы тяжести, x – расстояние по продоль-

ной оси водотока, t – время, $\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t}$ – локальное ускорение и $\frac{\partial(\alpha U^2 / 2g)}{\partial x}$ – конвективное ускорение – инерционные члены уравнения движения, $\frac{U^2}{C^2 h}$ – уклон трения.

В рамках программного комплекса МИКЕ 11 реализовано численное решение системы Сен-Венана на основе неявной конечно-разностной схемы. Исходными данными для моделирования является информация о морфометрии речных долин, представленная в виде поперечных профилей. Граничными условиями являются расходы воды на верхней и уровни воды на нижней границах расчетного участка как функции времени; начальные условия задаются в виде уровней водной поверхности в пределах участка на начало расчета. Результатами моделирования является временной ход расходов и уровней воды в пределах расчетного участка.

Краткая географо-гидрологическая характеристика бассейна р. Дон. Объектом исследования явился участок р. Дон и ее притоки в пределах верхней части бассейна р. Дон – от истока до станицы Казанской. Площадь этой части бассейна составляет 102 тыс. км². Река Дон в верхнем течении имеет извилистое, устойчивое, преимущественно неразветвленное русло, неширокую асимметричную долину (0,5–0,8 км), которая по мере продвижения вниз увеличивается и у г. Воронежа составляет 2–3 км. Правый склон долины на всем протяжении реки высокий, левый – пологий. Пойма на Верхнем Дону у истока составляет около 200 м, постепенно расширяясь до 0,6–3 км, местами до 7 км [2]. На участке Верхнего Дона основными притоками являются реки Красивая Меча, Сосна, Воронеж, Тихая Сосна и Битюг. По характеру водного режима р. Дон и ее притоки относятся к рекам равнинного типа с резко выраженным половодьем и низкой маловодной меженью. Основным источни-

ком питания являются талые воды. На долю весеннего стока (март-май) приходится 70-90% годового, сток летне-осеннего (июль-ноябрь) и зимнего (декабрь-февраль) периодов составляет 10-30% [3].

Методика подготовки исходных данных для моделирования. На основе топографических карт 100:000, 50:000 и 25:000 масштаба на исследуемую территорию был создан ГИС-проект, выделены элементы речной сети, включая русло основной р.Дон от г/п Задонск до г/п Казанская, а также притоки: р.Тихая Сосна от г/п Алексеевка, р.Битюг от г/п Бобров и р.Толучеевка от г/п Калач. В результате модель описывает русловую сеть протяженностью около 840 км, включающую 600 километровый участок русла Дона и три притока. На рис.1 жирным шрифтом выделена моделируемая часть речной сети.

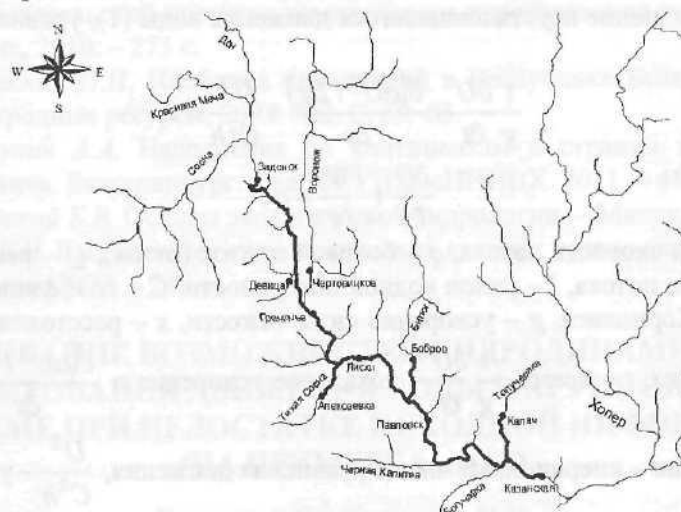


Рис.1. Схема речной сети исследуемой территории бассейна р. Дон

Информация о рельефе подготовлена в виде поперечных профилей через долины рек с плановой привязкой и привязкой к абсолютной системе высот. Русло задавалось в форме прямоугольника по данным ширины и средней глубины, которые указаны на топографических картах для меженного периода. На исследуемом участке р. Дон было построено 50 поперечных профилей и 15 на притоках. При формировании блока граничных условий на верхней границе расчетного участка р.Дон – г/п Задонск и верхних границах на притоках Тихая Сосна – г/п Алексеевка, Битюг – г/п Бобров, Толучеевка – г/п Калач задавались среднесуточные значения расходов воды по данным гидрологических постов. На нижней границе задавались уровни воды по г/п Казанская. Неучтенный боковой приток рассчитывался по модулю стока ближайшего притока. В качестве начальных условий задавались абсолютные отметки урезов воды в меженный период.

Калибровка модели. Следующим этапом являлась калибровка модели, т.е. достижение минимальных отклонений расчетов от данных измерений посредством подбора параметров. Для одномерных уравнений Сен-Венана таким параметром является коэффициент шероховатости.

Для калибровки модели был выбран период наблюдений с 2003 по 2007 гг. При этом использовались фактические данные по следующим гидрологическим постам

река Дон: Гремячье (173 км по руслу реки от Задонска), Лиски (285 км), Павловск (406 км) и Казанская (605 км). Наилучшее совпадение рассчитанных и фактических расходов и уровней воды наблюдалось при едином по длине реки коэффициенте шероховатости $n=0,035$, что хорошо согласуется с общими представлениями о шероховатости русел равнинных рек (рис.2 и 3).

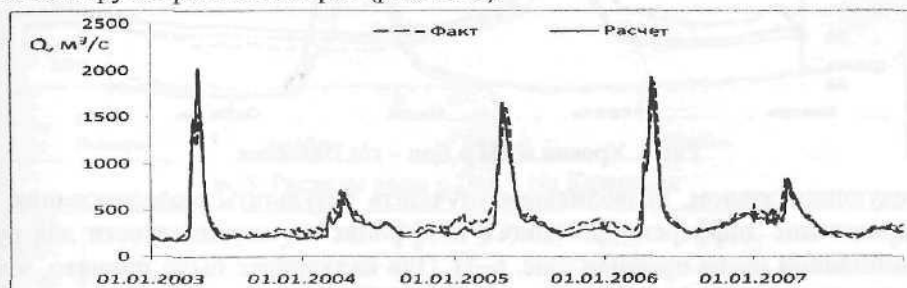


Рис.2. Расходы воды р.Дон – г/п Казанская.

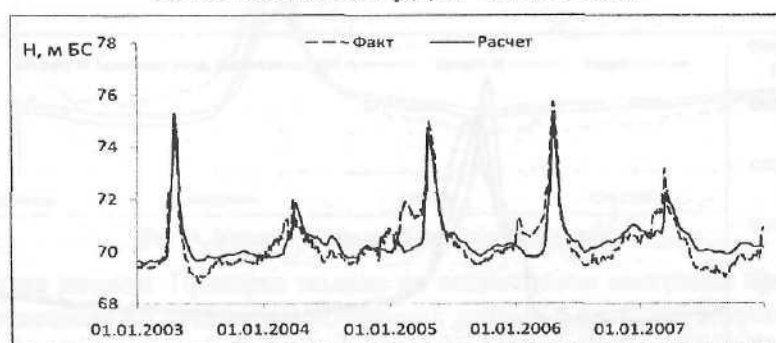


Рис.3. Уровни воды р. Дон – г/п Павловск

При калибровке модели было обнаружено, что на результаты расчетов заметное влияние оказывают следующие факторы: возможности уточнения рельефа поймы на основе крупномасштабных карт, увеличение коэффициента шероховатости для пойменных участков и задание боковой приточности в основном в форме сосредоточенного, а не распределенного притока.

Изначально рельеф поймы задавался по данным оцифровки топографических карт 100:000 масштаба. После чего, было произведено уточнение рельефа поймы при использовании карт большего масштаба: 50:000 и 25:000. Результаты уточнения представлены на рис. 4, 5 на примере 2006 года.

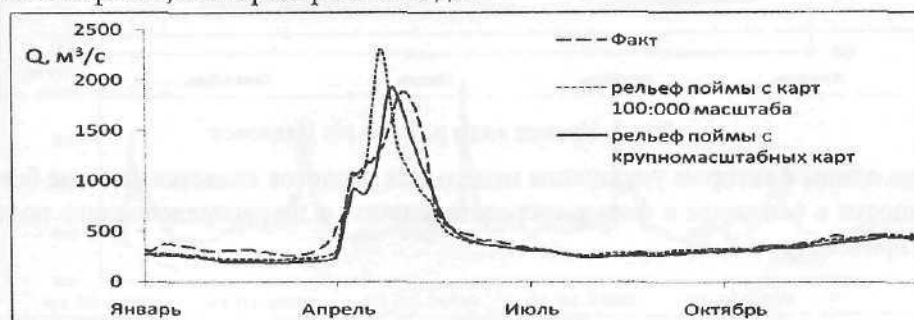


Рис.4. Расходы воды р.Дон – г/п Казанская

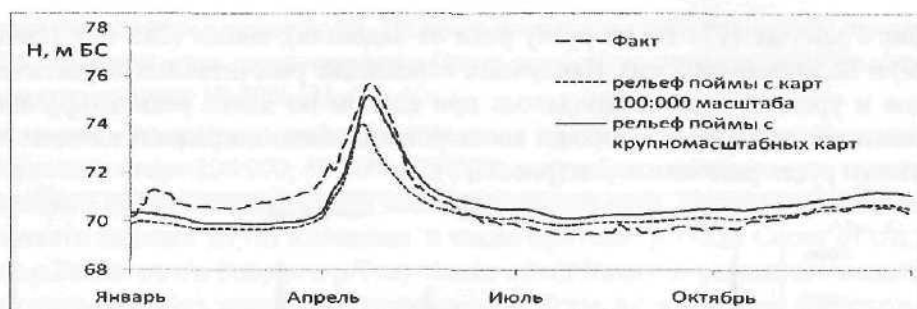


Рис.5. Уровни воды р.Дон – г/п Павловск

Следующим этапом, позволившим улучшить результаты моделирования, явилось определение дифференцированного коэффициента шероховатости для русловой и пойменной части профиля (рис. 6–7). При калибровке было принято, что оптимальное значение коэффициента n для русла 0,035, а для поймы в 2 раза больше – 0,07.

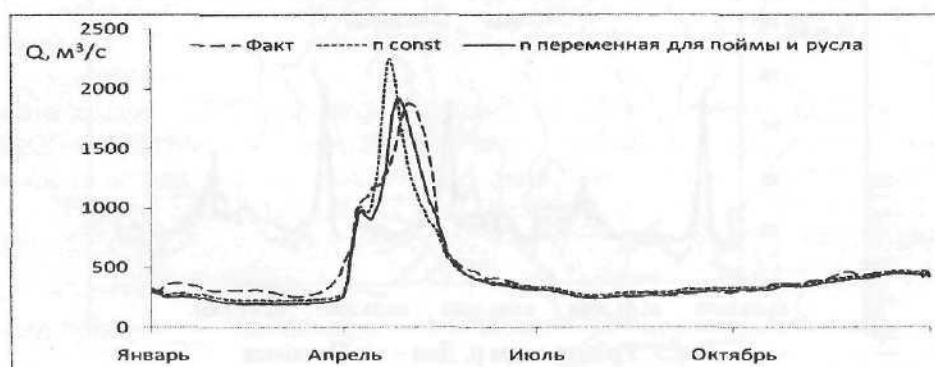


Рис.6. Расходы воды р.Дон – г/п Казанская

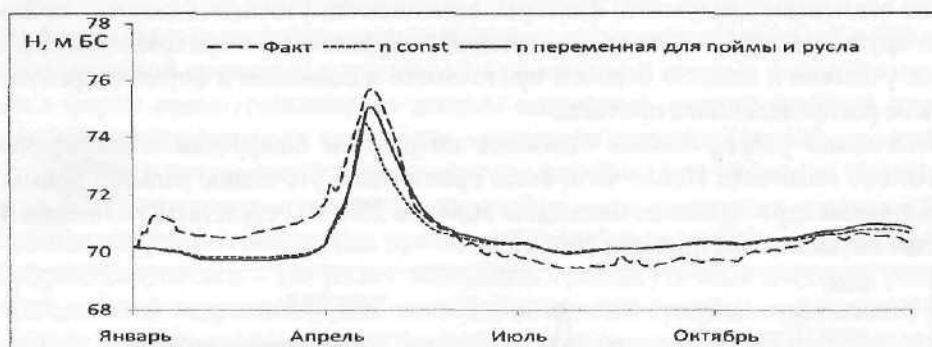


Рис.7. Уровни воды р.Дон – г/п Павловск

Еще одним фактором улучшения модельных расчетов является задание боковой приточности в основном в форме сосредоточенного, а не распределенного по длине р. Дон притока (рис. 8–9).

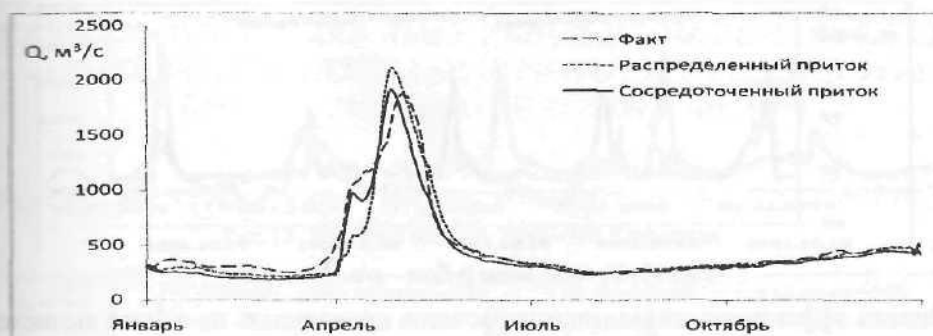


Рис.8. Расходы воды р.Дон – г/п Казанская

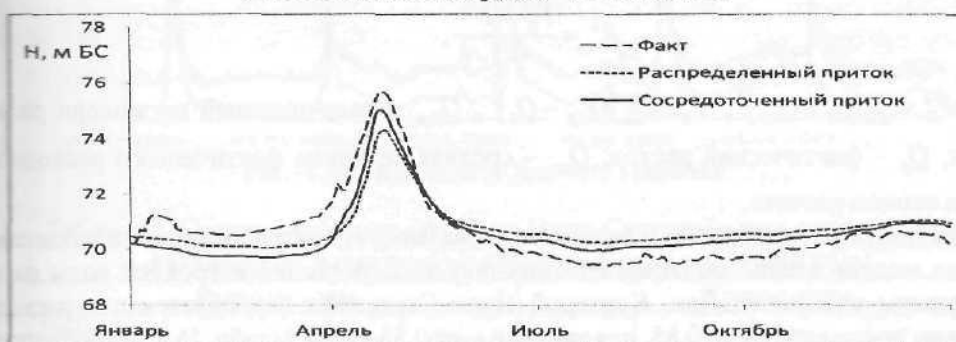


Рис.9. Уровни воды р. Дон – г/п Павловск

Валидация модели. Проверка модели на независимом материале проводилась путем сопоставления расчетных и фактических данных о расходах и уровнях воды, не использовавшихся при калибровке, за период с 1998 по 2002 гг. (рис. 10–12).

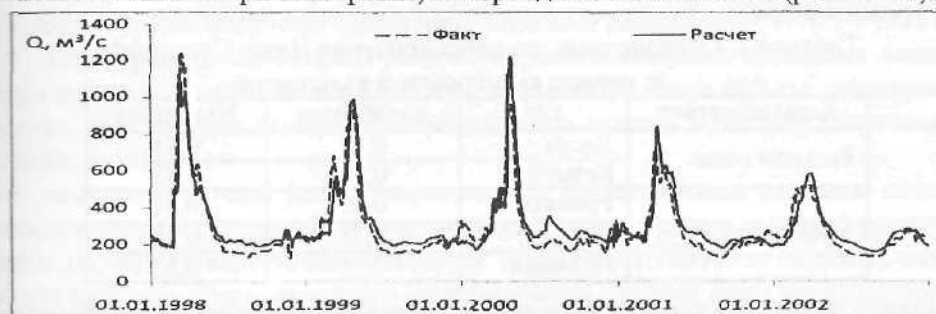


Рис.10. Расходы воды р.Дон – г/п Казанская

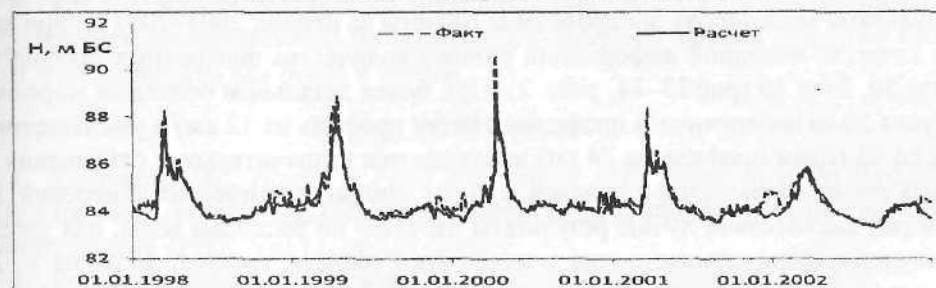


Рис.11. Уровни воды р.Дон – г/п Гремяче

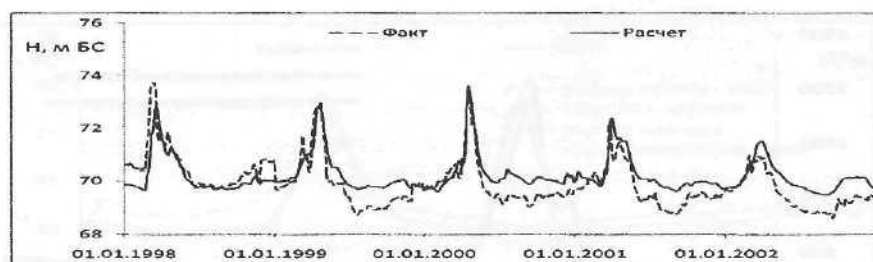


Рис.12. Уровни воды р.Дон – г/п Павловск

Оценка эффективности модельных расчетов проводилась на основе вычисления критерия Нэша-Сатклифа:

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2}, \quad (3)$$

где $F_0^2 = \sum (Q_i - Q_{cp})^2$, $F^2 = \sum (Q_{i,p} - Q_i)^2$, $Q_{i,p}$ – рассчитанный по модели расход воды, Q_i – фактический расход, Q_{cp} – средняя величина фактического расхода воды за период расчета.

Результаты калибровки и валидации показали, что разработанная гидродинамическая модель адекватно отражает динамику хода расходов и уровней воды на исследуемом участке р. Дон. Критерий Нэша-Сатклифа варьируется для расходов воды по постам от 0,8 до 0,85, для уровней – от 0,53 до 0,87 (табл. 1), что соответствует хорошим и удовлетворительным значениям ($R^2 \geq 0,75$ хорошо; $0,36 \leq R^2 < 0,75$ удовлетворительно). Результаты расчета уровней воды оказались несколько хуже, чем расходов; что вероятно связано с не учитываемым моделью увеличением шероховатости перед началом половодья вследствие влияния ледового покрова и приводит к росту уровней воды.

Таблица 1. Осредненные значения критерия Нэша-Сатклифа за период калибровки и валидации.

Характеристики	г/п	Калибровка	Валидация
Расходы воды	Лиски	0,85	0,85
	Казанская	0,80	0,82
Уровни воды	Гремячье	0,86	0,87
	Лиски	0,72	0,54
	Павловск	0,68	0,53

Оценка чувствительности модельных расчетов к изменению морфометрических данных. Для установления влияния детальности описания морфометрии долин на результаты моделирования проведены расчеты за период 2003–2007 гг. при задании в качестве исходной информации разного количества поперечных профилей, а именно 50, 25 и 10 (рис.13–14, табл. 2). При более детальном описании морфометрии русла 50-ю поперечными профилями (один профиль на 12 км) и уменьшении их числа до 25 (один профиль на 24 км) наблюдаются незначительные отклонения модельных расчетов расходов и уровней воды от данных фактических измерений. При 10 створах значительно лучше результаты расчетов по расходам воды, для уровней они неудовлетворительные – для приемлемого расчета уровней воды на р. Дон морфометрия русла должна быть задана с частотой не менее одного профиля на 24 км.

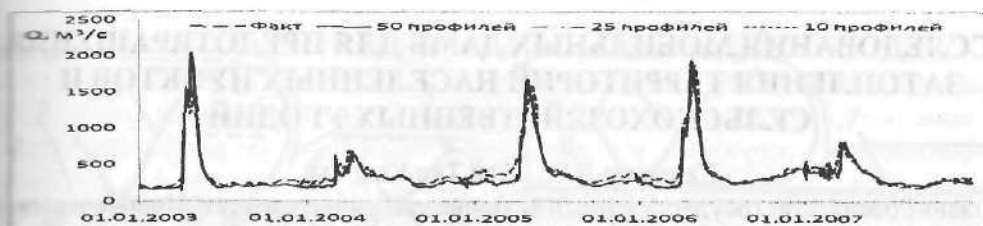


Рис.13. Расходы воды р. Дон – г/п Казанская

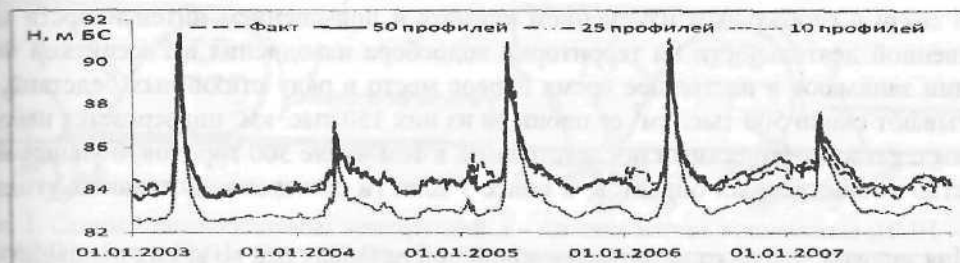


Рис.14. Уровни воды р. Дон – г/п Гремячье

Таблица 2. Среднее значение критерия Нэша-Сатклифа при сопоставлении фактических и смоделированных расходов и уровней воды

Число поперечных профилей	Расходы воды			Уровни воды			
	Лиски	Казанская	Среднее	Гремячье	Лиски	Павловск	Среднее
50	0,85	0,8	0,83	0,86	0,72	0,68	0,75
25	0,82	0,8	0,81	0,83	0,66	0,6	0,70
10	0,85	0,78	0,82	-0,18	0,53	0,51	0,29

Таким образом, получены следующие основные результаты:

- адаптирована одномерная модель неустановившегося движения воды для участка р.Дон и его притоков общей протяженностью более 800 км, проведена калибровка, валидация и оценка чувствительности модели к составу и детальности исходных данных.
- показано, что для удовлетворительного моделирования расходов воды для протяженного участка реки Дон оказалось достаточно данных о рельефе долин, заданного на основе карт топографических масштаба 1:100000 с частотой около 1 профиля на 20 км. Для адекватного моделирования уровней воды необходимо уточнять профили на основе крупномасштабных карт.
- для улучшения результатов моделирования предложено дифференцировать коэффициенты шероховатости на поперечном профиле, задавая отдельно коэффициент шероховатости для русла и поймы.

Литература

1. Refsgaard, J.C., Havnø, K., and Ammentorp, H.C. Applications of Hydrological Models for Flood Forecasting and Flood Control in India and Bangladesh. //Advances in Water Resources, /1988. Vol 11, pp 101-105.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., 1973, Т.7: Донской бассейн.
3. Вода России. Речные бассейны. Екатеринбург, 2000.