

УТВЕРЖДАЮ



Заместитель Директора  
ФГБУН Института географии РАН  
д.г.н., профессор  
А.А.Тишков

2016 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института географии Российской академии наук на диссертационную работу **Калугина Андрея Сергеевича « Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима»**, представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

### 1. Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертационная работа А.С. Калугина несомненно актуальна. Ее актуальность обусловлена возросшей неопределенностью в оценке характеристик речного стока, возникшей в результате изменений показателей климата и усиления антропогенной нагрузки на водосборы речных систем. Особенную значимость разработка моделей формирования речного стока приобретает для субрегиональных речных бассейнов, к которым относится водосбор р. Амур, в связи с формированием там катастрофического наводнения в 2013 году. Поэтому предпринятая автором попытка разработать региональную гидрологическую модель формирования стока такой сложнейшей гидрологической системы как р. Амур, рассмотреть возможность ее применения для анализа катастрофического наводнения 2013г, оценить с ее помощью противонаводковый эффект действующих и проектируемых водохранилищ, а также влияние возможных изменений климата на режим этой реки представляется весьма ценной и своевременной.

### 2. Оценка содержания диссертационной работы.

Диссертация состоит из 4 глав, введения, заключения и 2 приложений. Объем работы составляет 185 страниц, включая 134 рисунка и 23 таблицы. Библиографический список содержит 141 наименование.

**Во введении** обоснованы актуальность темы, цели и задачи работы, дана характеристика материалов и методов исследования, основные положения, выносимые на защиту, характеристика ее научной значимости, раскрыты перспективы практического использования полученных результатов, ее апробация на конференциях и совещаниях.

**В первой главе** рассмотрены физико-географическая, климатическая и гидрологическая характеристики бассейна р. Амур. Приведены сведения о наводнениях и противопаводковой роли водохранилищ бассейна. Отмечено, что для бассейна Амура на фоне современных глобальных гидрометеорологических тенденций в начале XXI века характерен рост амплитуды и частоты колебаний температуры и осадков, и, как следствие, возможно увеличение числа экстремальных гидрологических событий, что, однако, не прослеживается ни для максимального, ни для годового стока Амура у Хабаровска. Выполнен обзор опубликованных методов моделирования речного стока и возможных изменений водного режима в бассейне р. Амур

**Во второй главе** описаны процессы гидрологического цикла, рассчитываемые в региональной модели формирования речного стока в бассейне Амура, основанной на использовании информационно-моделирующего комплекса ECOMAG, разработанного Ю.Г. Мотовиловым в традициях школы *гидролого-математического* моделирования Л.С. Кучмента. Показана процедура адаптация модели к натурным данным. Проанализированы условия формирования катастрофического наводнения в бассейне Амура в 2013 г.: это снежная долгая зима, позднее половодье, высокая насыщенность грунтов влагой, отсутствие летней межени и обильные летние осадки на всей территории бассейна. Установлено, что для Нижнего Амура качество расчета по модели не зависит от водности года: с высокой точностью рассчитывается гидрограф как экстремально высокого по водности 2013 г., так и маловодного 2008 г.

**В главе 3** расчетами на модели выполнены оценки противопаводкового эффекта действующих и проектируемых водохранилищ в бассейне Амура. Показана возможность объединения нескольких моделей, разнородных по структуре, детальности, требованиям к исходной информации (физико-математической модели формирования стока ECOMAG, одномерной гидродинамической модели MIKE 11 и двумерной гидродинамической модели STREAM-2D (в рамках стандарта OpenMI) для оценки риска возникновения наводнений.. По результатам численных экспериментов получена тесная зависимость ( $R^2=0.90$ ) срезки максимальных уровней р. Амур на г/п Гродеково от величины суммарной противопаводковой емкости проектируемых Нижне-Зейского и Селемджинского водохранилищ



**В главе 4** получены оценки возможных изменений стока р. Амур в XXI веке, на основе численных экспериментов с разработанной моделью формирования стока и глобальными моделями климата из серии международного проекта CMIP5. При проведении экспериментов регулирование стока водохранилищами, расположенными в бассейне Амура, не учитывалось. Важным в этой главе представляется анализ чувствительности модели к изменениям годовых и сезонных значений показателей климата - температуры воздуха, осадков и дефицита влажности воздуха, рассчитываемого как функция от температуры. Показано, в частности, что при неизменных осадках рост средней по бассейну температуры воздуха на  $1^{\circ}\text{C}$  приведет к уменьшению рассчитанного по модели среднего многолетнего стока на 12%, а увеличение средних по бассейну осадков на 10% - приведет к увеличению среднего многолетнего стока на 26%. Для оценки изменения стока р.Амур при возможных изменениях климата были использованы данные моделирования температуры, осадков и дефицита влажности воздуха, полученные по 9 глобальным моделям климата для 4-ех сценариев изменения поступления солнечной радиации на поверхность Земли. Расчеты показали, что разные модели при различных сценариях притока солнечной радиации дают разные результаты изменений годового стока р.Амур в XXI веке и однозначного вывода сделать не представляется возможным.

*В Заключении* сформулированы основные результаты, полученные А.С. Калугиным в процессе работы над диссертацией, отмечена ее научная и практическая значимость, заключающаяся в том, что впервые разработана физико – математическая модель формирования стока сложной трансграничной гидрологической системы, которой является р.Амур, определены ее параметры и решены важных научных и практических задач, таких как оценка противопаводкового эффекта действующих и проектируемых водохранилищ, прогноз водного режима этой реки при возможных изменениях климата.

Подводя итог рассмотрению диссертации А.С. Калугина, следует отметить, что она представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне с применением самых современных методов и технологий. Диссертация свидетельствует о том, что в ней самостоятельно решены важные научные задачи, связанные с разработкой моделей процессов формирования речного стока, в том числе для целей прогноза его изменений под возможным изменением климата и создания противопаводковых гидротехнических сооружений. Она свидетельствует о высокой квалификации автора в использовании географо-гидрологических и физико–математических методов анализа сложных процессов формирования речного стока для сверхкрупных речных бассейнов. Диссертация написана хорошим, понятным языком,

автореферат прекрасно оформлен, полностью отражает ее содержание и дает объективное представление о самой работе и полученных в ней результатах и выводах.

### 3. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Новизна полученных в диссертационной работе результатов обусловлена тем, что в ней **впервые** разработаны следующие положения:

1. Решена чрезвычайно важная задача. Разработана, параметризована и верифицирована **физико-математическая** модель гидрологического цикла с высоким уровнем пространственного (порядка 900 км<sup>2</sup>) и временного (1 сутки) разрешения для сложного в геоморфологическом отношении речного бассейна субконтинентального масштаба, пересекающего несколько природных зон – от лесной до пустынной, в последние годы подвергающегося воздействию катастрофических наводнений, но недостаточно освещенного исходной географической и гидрометеорологической информацией
2. Для бассейна Амура апробирован метод задания параметров модели по значениям почвенно-гидрологических констант (объемная плотность, пористость, наименьшая полевая влагемкость, влажность завядания, коэффициент вертикальной фильтрации), определенных с помощью педотрансферных функций по характеристикам механического состава почв для каждого из 70 типов почв, выделенных в бассейне. Построены и приведены в диссертации карты распределения почвенно-гидрологических констант (параметров модели) по площади бассейна р. Амур.
3. Для разработки интегрированной системы информационной поддержки управления риском наводнений в бассейне Амура в работе в рамках стандарта OpenMI в действующую работающую систему объединены нескольких моделей, разнородных по структуре, детальности, требованиям к исходной информации (физико-математическая модель формирования стока ECOMAG, одномерная гидродинамическая модель MIKE 11 и двумерная гидродинамическая модели STREAM-2D.
4. Региональная физико-математическая модель стока в бассейна Амура использована для оценки противопаводкового эффекта существующих и проектируемых водохранилищ Среднего Амура.
5. По результатам численных экспериментов показано, что гидрографы стока р. Амур в замыкающем створе, рассчитанные с учетом и без учета регулирования стока всеми водохранилищами (включая расположенные на территории КНР),



отличаются незначительно – примерно на 7%, что меньше относительной погрешности определения стока р. Амур по данным об уровне воды. Таким образом, в нижнем течении реки значимое воздействие существующих водохранилищ не прослеживается.

6. Для оценки возможных гидрологических последствий прогнозируемых изменений климата в расчетах на региональной (субконтинентальной) в качестве входной информации использованы результаты ансамблевых расчетов по глобальным климатическим моделям. Показано, что модели из ансамбля CMIP5 неплохо воспроизводят сезонный ход температуры воздуха в бассейне Амура, но не смогли корректно описать внутригодовое распределение осадков и дефицита влажности воздуха за период 1986-2005 г. Достаточно близко к фактическим величинам климатические модели воспроизводят годовые значения этих параметров. Для условий XXI века по результатам расчетов на проекциях выбранных климатических моделей сделан важный вывод, о том, что глобальные антропогенные воздействия могут вызвать в бассейне Амура значимые изменения температуры воздуха и осадков во второй половине XXI века.» (с.146). Вместе с тем, гораздо менее очевидно можно говорить об изменениях речного стока.

#### **4. Практическая значимость работы заключается**

1. в разработке и апробации региональной модели формирования речного стока в бассейне р. Амур, позволяющей с удовлетворительной точностью рассчитать гидрографы суточного стока в основном русле и на притоках, моделировать пространственное распределение характеристик водного режима на всей территории бассейна;
2. в создании для всего бассейна р. Амур интегрированного архива гидрометеорологических наблюдений и характеристик подстилающей поверхности;
3. в разработке и апробации технологий сценарных оценок противопаводкового эффекта действующих (Зейского, Бурейского) и проектируемых (Селемджинского, Нижне-Зейского) водохранилищ на Среднем Амуре. Созданные методические разработки были использованы при выполнении проекта «Разработка технологии гидроинформационной поддержки принятия решений по инженерной защите селитебных территорий в бассейне реки Амур» в Институте водных проблем РАН по заказу Научно-исследовательского института энергетических сооружений ПАО «РусГидро»;

4. в создании и апробации технологий оценки и анализа значимости возможных изменений водного режима р. Амур в XXI веке

#### **5. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе.**

Обоснованность и достоверность результатов работы определяется использованием автором основных достижений мировой науки в рассматриваемой области. Результаты расчетов по модели формирования речного стока и гидродинамической модели проверены на материалах наблюдений гидрометсети, данных гидрологического и водохозяйственного мониторинга Росводресурсов. Методики, использованные для проверки надежности расчетов, являются принятыми к использованию в научном сообществе. Результаты работы докладывались на 11 международных и всероссийских конференциях и ассамблеях, состоявшихся в 2014 – 2016 гг. Основные результаты опубликованы автором в научных изданиях, в том числе в пяти статьях в журналах, рекомендованных ВАК.

#### **6. Недостатки работы, замечания.**

1. На с.28 несмотря на утверждение автора, что «региональной гидрологической модели для всего бассейна Амура не существует», ниже сам же диссертант пишет о разработанной в Гидрометцентре и НИЦ «Планета» системе мониторинга, прогнозирования и оповещения о наводнениях «ГИС Амур» для осуществления эффективного контроля гидрологической обстановки в бассейне, также представляющей из себя информационно-моделирующий комплекс [Борц и др., 2016; Фролов и др., 2016]. Было бы целесообразно показать отличия подхода диссертанта и Гидрометцентра.

2. Возникает вопрос в отношении учета в модели подъема грунтовых вод к поверхности, имея в виду неоднородное строение толщи почвогрунтов, наличие горизонтов А и В. Представляется, что не во всех почвах региона между почвенными горизонтами А и В образуется относительный водоупор - это характерно для лесных почв и не характерно для черноземов.

3. Не совсем ясно, что понимается под «элементарными водосборами», для которых «модель рассчитывает характеристики снежного покрова и снеготаяния, увлажнения, промерзания и оттаивания почвы, поверхностного (склонового), подповерхностного (внутрипочвенного) и грунтового стока, движения воды по русловой сети»? Площадь бассейна Амура 1855 тыс. км<sup>2</sup>. По словам автора (с. 44), «При схематизации водосбора Амура оптимальным минимальным количеством расчетных



ячеек ЦМР (цифровая модель рельефа), сток с которых начинает формировать речную сеть, было принято 500». Получается, что каждая ячейка около 3700 км<sup>2</sup>, или примерно 60х60 км. А у автора «средняя площадь построенных элементарных речных водосборов в бассейне Амура составила 944 км<sup>2</sup>» - значительно меньшую величину.

4. На с.12 автор пишет: «Годовое количество осадков возрастает от 400 мм на Верхнем Амуре до 600 мм на Среднем и вновь снижается до 500 мм в низовьях, что связано с его наиболее северным положением» - приведены осадки на равнинах или в горных котловинах? И далее « В горных районах и на побережье годовые величины осадков могут достигать 700-1200 мм.» - но ведь низовья Амура это и есть побережье, здесь какое-то противоречие с предыдущим предложением. К сожалению, не указано, какими данными по осадкам, приведенными на сайте ВНИИ МЦД, пользовался диссертант – данными без поправок, с поправками на смачивание или со всеми поправками, и проводилось ли сопоставление для метеостанций бассейна Амура этих значений?

5. Расчет коэффициента фильтрации осуществлялся по педотрансферным функциям. Эти формулы разрабатывались не для условий вечной мерзлоты, различные виды которой распространены в регионе.

6. Схематизация ландшафтов в бассейне достаточно грубая. Нет дифференциации лесов по возрасту, продуктивности, в агроландшафтах выделены только рисовые поля (а все остальное представлено как сельскохозяйственные культуры), не учтены урбанизированные территории, масштабы рубок леса. Для дальнейшего развития модели необходимо более подробно учитывать свойства растительного покрова, возможно, по данным космического мониторинга.

7. Вертикальный градиент температуры воздуха, коэффициент шероховатости Маннинга для русла реки и параметр испарения в верхнем горизонте почвы – параметры, калибруемые в модели, приняты постоянными для всего бассейна Амура для любых метеорологических и геоморфологических условий, что не совсем понятно, учитывая сложность физико-географических условий в бассейне р. Амура.

8. В качестве личного вклада автор в автореферате отмечает «разработку гидродинамической модели неустановившегося движения воды на Среднем Амуре» - здесь скорее нужно говорить об адаптации одномерной гидродинамической модели MIKE 11 и двумерной гидродинамической модели STREAM-2D к расчетам для Среднего Амура.

9. Есть ряд технических и редакционных замечаний. Так, не во всех таблицах указан временной период, за который приведены данные наблюдений (Табл.1.1.1,

1.1.2,1.1.4) – хорошо было бы указать период наблюдений за стоком и уровнями воды в разных створах. Не везде приведена значимость наблюдаемых трендов (Рисунки 4.2.1, 4.2.3). Не указано авторство районирования бассейна Амура по условиям формирования наводнений (С.20-21). На с. 19 говорится, что «Катастрофическими наводнениями охватываются одновременно несколько крупных бассейнов, ими затапливаются практически все земли поймы...» - представляется, что катастрофические наводнения не ограничиваются затоплением только поймы.

Высказанные в отзыве замечания имеют уточняющий и рекомендательный характер и не ставят под сомнение высокие научный уровень и значимость диссертации.

#### **7. Полнота изложения материалов диссертации в публикациях соискателя.**

Результаты работы докладывались на 11 международных и всероссийских конференциях и ассамблеях, состоявшихся в 2014 – 2016 гг. Основные результаты опубликованы автором в ряде научных изданиях, в том числе в пяти статьях в журналах, рекомендованных ВАК.

#### **9. Выводы, соответствие диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.**

Диссертационная работа **Калугина Андрея Сергеевича**, представленная на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия, представляет собой законченное научно - квалификационное исследование, выполненное под руководством доктора физико – математических наук А.Н.Гельфана и кандидата географических наук Ю.Г. Мотовилова. В нем решена важная научная и практическая проблема в области гидрологии суши, водных ресурсов - разработана региональная модель формирования стока р.Амур, с использованием которой получены оценки противопаводкового влияния действующих и проектируемых водохранилищ по смягчению экстремальных наводнений в этом бассейне, а также изменения ее водного режима при возможных изменениях климата в XXI веке. Полученные в работе результаты имеют большое научное и практическое значение в целях улучшения качества гидрологических и метеорологических прогнозов в этом слабо освещенным наблюдениями и опасном в гидрологическом отношении регионе.

По объему исследований, научной новизне, научной и практической значимости диссертационная работа **Калугина Андрея Сергеевича** полностью соответствует всем



требованиям п. 9, 10, 11, 13 Положения «О порядке присуждения ученых степеней...» (в редакции постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Калугин Андрей Сергеевич** достоин присуждения ему искомой ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Заведующий лабораторией гидрологии

ФГБУН Института географии Российской академии наук

Доктор географических наук, профессор

**Николай Иванович Коронкевич**

119017 г. Москва, Старомонетный пер. д.29

Телефон +7 499 1290474

<http://www.igras.ru/>

E-mail: [hydro-igras@yandex.ru](mailto:hydro-igras@yandex.ru)

Ведущий научный сотрудник

ФГБУН Института географии Российской академии наук

Доктор географических наук

**Сергей Владимирович Ясинский**

119017 г. Москва, Старомонетный пер. д.29

Телефон +7 499 1290474

<http://www.igras.ru/>

E-mail: [direct@igras.ru](mailto:direct@igras.ru); [yasisergej@yandex.ru](mailto:yasisergej@yandex.ru)

Старший научный сотрудник

ФГБУН Института географии Российской академии наук

Кандидат географических наук

**Екатерина Александровна Кашутина**

119017 г. Москва, Старомонетный пер. д.29

Телефон +7 499 1290474

<http://www.igras.ru/>

E-mail: [kategeo@mail.ru](mailto:kategeo@mail.ru)

Подпись руки тов.  
заверяю

Зав. канцелярией  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт географии  
Российской академии наук

*Коронкевича Н.И.*  
*Ясинского С.В.*  
*Кашутиной Е.А.*