

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора географических наук Симонова Юрия Андреевича
на тему: «Прогнозирование стока рек России: научно-методические
основы и практическая реализация» по специальности 1.6.16 –
«Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия»

Актуальность темы. Прогнозы – необходимая часть нашей жизни в ее многообразных проявлениях. Гидрологические прогнозы относятся к числу наиболее актуальных ввиду чрезвычайно важной роли водного элемента окружающей среды, водных ресурсов. Особенно важно предвидеть экстремальные гидрологические явления, в первую очередь наводнения. Но и предвидение обычных гидрологических явлений, их размеров, повторяемости, сроков наступления необходимо при планировании повседневной деятельности людей и хозяйства. Гидрологическая наука, в том числе в нашей стране, добилась немалых успехов в области гидрологического прогнозирования. Тем не менее, многие аспекты прогнозирования, особенно в области применения самых современных методов, а также автоматизации систем подготовки и выпуска гидрологических прогнозов, нуждаются в совершенствовании. Эту чрезвычайно актуальную цель применительно к речному стоку поставил перед собой Ю.А. Симонов и, как показывает анализ его диссертации, весьма успешно в целом решил.

Основные новые научные результаты. С учетом некоторого обобщения выводов автора они следующие:

1. Выполнено обобщение отечественных и зарубежных методов прогнозирования речного стока.
2. Разработаны рекомендации по оценке погрешности и эффективности прогнозов речного стока.

3. Разработана автоматизированная система подготовки и выпуска кратко- и среднесрочных прогнозов стока рек России методом экстраполяции гидрографа на основании данных о прогнозируемой величине стока на дату прогноза и за несколько предшествующих суток.

4. Выполнено районирование территории России с учетом возможности применения этого метода в зависимости от площади водосбора и его среднего уклона.

5. Оценена применимость концептуальной модели формирования речного стока HBV-96.

6. Оценено качество прогнозирования суточного слоя осадков и среднесуточной температуры приземного слоя воздуха по данным краткосрочного прогноза погоды COSMO-RU.

7. Для 546 речных бассейнов реализована автоматизированная система подготовки и выпуска краткосрочных прогнозов расхода воды на основе модели HBV-96 и системы прогноза погоды COSMO-RU.

8. Оценен вклад неопределенности хода метеорологических элементов в погрешность долгосрочного прогноза, который может составлять от 20 до 80% и более.

9. Даны рекомендации по разработке схем долгосрочных прогнозов речного стока с учетом целого ряда факторов.

10. На основе этих рекомендаций разработаны и введены в практику методики долгосрочного прогнозирования стока рек в бассейне Тобола и притока в Цимлянское водохранилище.

11. Предложен общий методический подход к разработке систем раннего предупреждения о половодьях, паводках и наводнениях.

12. Эта система реализована для бассейнов Амура, Кубани, рек черноморского побережья Кавказа, то есть для районов, наиболее часто подвергающихся наводнениям.

13. Для бассейна Волги разработана автоматизированная система подготовки, выпуска и доведения до потребителей прогнозов стока различной заблаговременности.

14. Единая автоматизированная система подготовки и ежедневного выпуска краткосрочных и среднесрочных прогнозов расхода и уровня воды разработана для территории России.

Помимо этих основных результатов, в диссертации содержится и ряд других, менее крупных, но тоже оригинальных результатов, о которых будет сказано ниже – при рассмотрении отдельных ее разделов.

Достоверность полученных в работе результатов обусловлена тем, что они получены на основе огромного общедоступного фактического материала, обобщенного современными методами исследования. Полностью справедливо утверждение диссертанта, что «общим применяемым в работе подходом является сопоставление полученных результатов с данными имеющихся натурных наблюдений и другими опубликованными результатами». Результаты диссертационного исследования неоднократно докладывались на авторитетных, в том числе международных, конференциях, опубликованы в монографии с участием еще двух авторов, в более чем 50 статьях, включая 23 статьи в изданиях, индексируемых в ведущих международных базах данных и входящих в перечень рекомендуемых ВАК и МГУ. Особо следует отметить, что в Роспатенте зарегистрировано более 10 результатов интеллектуальной деятельности (программ и баз данных), а также использование основных выводов диссертации в нормативных документах ВМО.

Достоверности полученных результатов способствует весьма тщательное, детальное рассмотрение имеющегося материала.

Диссертация состоит из Введения, шести глав, Заключение, списка обозначений и сокращений и списка литературы. В ней 245 страниц текста, 55 иллюстраций, в том числе много картосхем, и 54 таблицы. В списке литературы 231 работа, из которых 110 на иностранных языках.

Во Введении излагается актуальность и степень разработанности диссертационной работы, указаны цель и задачи исследования, методы исследования, защищаемые положения, их новизна, достоверность, апробация результатов, личный вклад соискателя и практическая значимость работы.

В Главе 1 рассматриваются основные положения прогнозирования речного стока. При этом диссертант проявил незаурядную эрудицию. Излагается деление прогнозов на краткосрочные (с заблаговременностью до 5–6 суток), среднесрочные (от 6–7 до 12–15 суток), долгосрочные (с заблаговременностью более 12–15 суток). Указываются прогнозируемые гидрологические характеристики, факторы, определяющие ошибки прогнозов речного стока. Отмечается, что прогнозы в основном даются в двух формах – детерминированные и вероятностные, но при этом в работе основное внимание уделено детерминированным. Рассмотрены основные методы прогнозирования речного стока, а также математические модели. Показано, что в гидрологическом прогнозировании наиболее часто используются концептуальные (упрощенного типа) и эмпирические модели. При этом одной из первых хорошо себя проявивших концептуальных моделей является модель формирования стока Гидрометцентра СССР. Автором же в качестве расчетной основы для составления методики краткосрочных прогнозов на территории России выбрана широко распространенная в мире концептуальная модель HBV. Предлагается два метода коррекции полученных с помощью того или иного метода прогнозов. Первый – метод линейной регрессии. Как показано в диссертации, данный метод позволяет снизить погрешность различных методик на 10–35%. Второй метод заключается в учете автокорреляции ошибок прогнозирования. Приводятся примеры, когда данный метод коррекции снижает погрешность ежедневно выпускаемых краткосрочных прогнозов в несколько раз. Для получения статистически обоснованных оценок погрешности и тем самым эффективности прогнозов рекомендовано использовать результаты,

опубликованные в монографии С.В. Борща и А.В. Христофорова «Оценка качества прогнозов речного стока» (2015). Один из важных показателей погрешности прогнозов – среднеквадратичное отклонение. Для оценки погрешности долгосрочных и среднесрочных прогнозов речного стока, выпускаемых один раз в год, рассматриваются два метода – один более простой, заключающийся в использовании теоретической формулы, в которой учитывается соотношение между длиной ряда проверочных прогнозов и числа оцениваемых параметров формулы. Второй – более сложный, так называемый метод «выбрасываемой точки», автор которой Дж.В. Тьюки. Оценка погрешности краткосрочных и среднесрочных прогнозов, выпускаемых ежедневно, предлагается осуществлять методом «кросс-валидации» и более трудоемкого, являющегося вариантом метода «выбрасываемой точки». Показано, что в нашей стране эффективность методики прогнозирования оценивается путем сравнения ее погрешности с погрешностью альтернативного прогноза. Дана оценка широко используемого в мире, а в последние годы и в России, показателя эффективности прогнозов стока Нэша–Сатклифа. Сделан вывод, что он годится для долгосрочных и некоторых среднесрочных прогнозов, но неприменим для краткосрочных и ряда среднесрочных прогнозов. Приводятся 12 примеров оценки погрешности и эффективности прогнозов, в том числе с учетом их корректировки. Завершается глава рекомендациями по выбору наиболее подходящих методик прогнозирования, в том числе с учетом интересов потребителей прогноза, затрат на их получение.

Глава 2 посвящена краткосрочному и среднесрочному прогнозированию речного стока и уровней воды методом экстраполяции гидрографа. Среднесуточные уровни воды прогнозировались для 2776 створов на территории России, а среднесуточные расходы воды для 2098 створов. Приводится расчетная формула. Ее параметры определялись по ряду ежедневных гидрологических наблюдений за период с 2010 по 2020 годы. Показано, что даже с заблаговременностью 10 суток расходы воды

удовлетворительно прогнозируются для 240 створов, а уровни воды для 223 створов в основном на крупнейших равнинных реках. Вместе с тем, этот метод оказался неприменим для рек с малой площадью водосбора и его большим уклоном. Представлены районы с единой расчетной зависимостью показателя прогнозируемости речного стока от функции морфометрических характеристик (площади водосбора и уклона). Определена максимальная заблаговременность прогнозов Δt_{\max} в сутках, при которой возможны удовлетворительные прогнозы. Примеры использования метода экстраполяции гидрографа для прогнозирования детально рассмотрены на примере рек бассейнов Тобола и Дона. При этом показателем успешности прогноза принято соотношение между среднеквадратичной погрешностью прогноза и погрешностью инерционного прогноза. На этих примерах выявлено, что максимальная заблаговременность удовлетворительных прогнозов варьирует от 1 до 10 суток и в среднем превышает 5 суток.

В Главе 3 рассматривается краткосрочное ежедневное прогнозирование речного стока по разработанной диссертантом методике с использованием концептуальной модели формирования стока HBV-96 и оперативной системы численного моделирования погоды COSMO-RU по 2081 метеостанции РФ. Модель HBV-96 использует ежедневные значения средней суточной температуры приземного слоя воздуха и суточного слоя осадков. Система COSMO-RU дает возможность получать четыре раза в сутки прогнозы с заблаговременностью до 78 часов более 70 метеорологических полей. Методика применена для более 500 речных бассейнов на территории России. В качестве исходной информации использованы данные за 2010–2020 годы. Точность расчетов и прогнозов определена на независимом материале за период 2017–2020 годы. Реализация методики выполнена с привлечением программного обеспечения. Показатель NSE качества моделирования Нэша–Сатклиффа в среднем оказался равным 0,68. Лишь для 13% всех речных бассейнов получены неудовлетворительные результаты показателя – менее 0,5. С учетом коррекции показатель качества моделирования возрос до 0,95, а

неудовлетворительные результаты расчетов речного стока получены лишь для 1% бассейнов. Также показаны преимущества коррекции при оценке качества метеорологических прогнозов. В заключительной части главы приводятся результаты реализации и проверки предлагаемой методики среднесуточных расходов воды. Сделан вывод, что хорошие удовлетворительные прогнозы по предлагаемой методике с заблаговременностью 1–3 суток могут быть получены для большинства речных бассейнов. Интересно, что расчеты по бассейну Камы показали преимущества методики, основанной на модели HBV-96 и системе COSMO-RU, по сравнению с методом экстраполяции гидрографов в оправдываемости краткосрочных прогнозов.

В Главе 4 оцениваются возможности долгосрочного прогнозирования речного стока. Проанализированы факторы, ограничивающие эти возможности. Среди главных – неопределенность хода метеорологических элементов, влияние которой продемонстрировано на примере весеннего незарегулированного притока в Чебоксарское водохранилище. Другой фактор – неопределенность пространственной изменчивости формирования стока. Предложена формула учета этой неопределенности, проверенной на примере рек бассейна Тобола. При этом коэффициент корреляции фактических и прогнозных величин максимального уровня воды за время половодья колебался за период с 1968 по 2021 годы для рек этого бассейна в диапазоне от 0,66 до 0,86, а число случаев, когда абсолютное значение ошибки прогноза не превышало значение допустимой ошибки составило от 64 до 88% (табл. 4.11). Для бассейна Дона (створ Цимлянского водохранилища) отмечено, что из-за произошедших климатических и антропогенных изменений при прогнозе стока следует ориентироваться только на данные последних десятилетий.

В Главе 5 дано описание разработанной с учетом отечественного и зарубежного опыта под руководством диссертанта системы выпуска гидрологических прогнозов и доведения их результатов до потребителя.

Подчеркивается, что такая система должна работать в автоматизированном режиме.

Более подробно об автоматизированных системах прогнозирования речного стока и раннего предупреждения об опасных гидрологических явлениях говорится в *Главе 6*. Рассматриваются автоматизированные системы, реализованные в бассейнах Кубани, рек черноморского побережья и Амура. Отмечено, что система «ГИС Амур» ведущим мировым центром по геоинформационным технологиям ESRI была признана «Проектом 2015 г.», а ее авторы (в том числе диссертант) получили высшую награду за особые достижения в области применения геоинформационных технологий. Приводится также информация о разработанной под руководством диссертанта в 2017–2019 годах автоматизированной системе выпуска среднесрочных гидрологических прогнозов по бассейну Волги – «ГИС Волга». В завершении главы представлена разработанная в 2019–2022 годах под руководством диссертанта автоматизированная система подготовки и выпуска краткосрочных и среднесрочных прогнозов расходов и уровней воды более чем для 2000 речных створов на территории России. Она основана на использовании концептуальной модели формирования стока HBV с учетом оперативной системы прогнозирования погоды COSMO-RU и метода экстраполяции гидрографов. В качестве примера приводится картосхема прогнозируемого состояния рек России, подготовленной для потребителя.

Завершается диссертация основными выводами.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Подводя итог изложенному, можно уверенно утверждать, что Ю.А. Симонов представил оригинальное решение крупной актуальной научной проблемы, имеющей и большое практическое значение. Полученные результаты соответствуют защищаемым положениям.

Замечания.

1. В такой фундаментальной работе, как рассматриваемая диссертация, целесообразно было бы хотя бы кратко сказать о зарождении гидрологического прогнозирования в нашей стране и за рубежом, о работах 1930–1940-х годов. Может быть, автор диссертации восполнит этот пробел в монографии, опубликовать которую очень желательно.

2. Название Главы 1 «Гидрологическое прогнозирование» неконкретно, повторяет название темы диссертации. Наверное, лучше было бы «Современное состояние гидрологического прогнозирования» или что-то близкое к этому.

3. В диссертации справедливо очень большое внимание уделено оценке точности прогнозов, их погрешности и эффективности. Применяемые при этом методы понятны для специалистов, но порой не очень понятны для широкой общественности, для лиц, принимающих решения. Это будет особенно очевидно при публикации результатов диссертации. Не мешало бы в ряде случаев, например, при определении объема или максимального расхода половодья и паводков оценить в процентах различие прогнозируемой величины от фактической как при первоначальном прогнозировании, так и после коррекции прогноза.

4. Выбор шведской модели HBV-96 и метода экстраполяции гидрографов в качестве основных в гидрологическом прогнозировании в диссертации нуждается в более детальном объяснении.

5. Провозглашено, что наряду с учетом климатических факторов, морфометрических характеристик водосбора в гидрологическом прогнозировании следует учитывать и ряд антропогенных факторов. Фактически этот учет свелся на примере бассейна Дона к тому, что признавая их существенную роль в прошлом, диссертант предлагает, как отмечено выше, ориентироваться при прогнозах в качестве базового периода в гидрологическом ряду лишь на последние десятилетия. Однако, выбранный период 1985–2018 весьма неоднороден по характеру хозяйственной

деятельности на водосборе. В середине 1980-х годов зяблевая пахота и другие мероприятия, заметно уменьшающие поверхностный и полный речной сток, получили здесь наибольшее развитие, а в начале XXI столетия их применение резко сократилось.

6. Не понятно, почему хорошие и удовлетворительные прогнозы среднесуточных расколов воды на основе модели HBV-96 и системы COSMO-RU с заблаговременностью одни сутки получились для 62% речных бассейнов, а с заблаговременностью трое суток – для 88% бассейнов (с. 127), хотя с увеличением заблаговременности прогноза его должна снижаться, о чем неоднократно говорится в диссертации. Аналогичный вывод сделан и автореферате на с. 29, а утверждение о снижении точности прогнозов с увеличением их заблаговременности имеет место на с. 28.

7. В работе приводится список обозначений и сокращений, но, к сожалению, отсутствует подобный список обозначений различных показателей, что затрудняет понимание многочисленных формул.

8. В табл. 4.12 сумма за год месячных притоков к створу Цимлянской ГЭС пусть незначительно, но не равна 100%.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.16 – «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Симонов Юрий Андреевич, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора географических наук по специальности 1.6.16 – «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия».

Официальный оппонент:

доктор географических наук, профессор,
главный научный сотрудник
лаборатории гидрологии
ФГБУН «Институт географии РАН»

КОРОНКЕВИЧ Николай Иванович

«14» ноября 2023 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(499)129-04-74, e-mail: koronkevich@igras.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.27 – «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия»

Адрес места работы:

119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4,

ФГБУН «Институт географии РАН», лаборатория гидрологии

Тел.: +7(495)959-00-22, e-mail: direct@igras.ru

Подпись сотрудника лаборатории гидрологии ФГБУН «Институт географии РАН»
Н.И. Коронкевича удостоверяю:

