

УТВЕРЖДАЮ

проректор

МГУ имени М.В. Ломоносова

А.А. ФЕДЯНИН

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертацию Л.А. Путинцева «Факторы формирования, модели и расчетные оценки бокового притока в Богучанское водохранилище», представленной на соискание учёной степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Актуальность темы исследования связана с необходимостью увеличения точности прогнозов притока воды к водохранилищам в условиях недостатка гидрометеорологической информации для улучшения качества управления водными и гидроэнергетическими ресурсами. Необходимость перехода к углеродно-нейтральным источникам энергии также обуславливает как потребность в совершенствовании схем работы существующих ГЭС, так и в строительстве новых, проектирование которых ведется и в нижнем створе Богучанского водохранилища (Нижнебогучанская и Мотыгинская ГЭС).

Диссертация состоит из 4 глав, 4 приложений, введения и заключения. Текст диссертации представляет с собой рукопись, изложенную на 101 странице машинописного текста, включает 24 рисунка, 31 таблицу. Библиографический список содержит 99 наименований, в т.ч. 12 англоязычных публикаций.

Во **Введении** последовательно обосновывается актуальность работы, формулируются цели, задачи и предмет исследования, дается информация об объекте и исходных данных исследования, характеризуется научная новизна и практическая значимость. Приведены защищаемые положения, обоснованность и достоверность результатов, практические результаты исследования. Содержание работы отражено в трех статьях в журналах из перечня ВАК 2015 и 2016 г. издания и 5 сборниках конференций.

В **первой главе** даются сведения о физико-географических характеристиках бассейна бокового притока Богучанского водохранилища и прилегающих территорий, об основных факторах формирования стока на этой территории и особенностях их пространственно-временной изменчивости, а также о степени ее гидрометеорологической изученности. Этот раздел является важным для дальнейшего понимания выбора методов и параметров расчета и прогноза бокового притока.

Несмотря на достаточно полный обзор, по главе имеется несколько частных вопросов, требующих прояснения. В последнем абзаце раздела 1.1 не вполне понятно утверждение «Температура больше 10°C проникает на глубину до 140 см и в паханом слое держаться около 100 дней» - это средние для всего бассейна величины или же они относятся только к долиненной части? На рисунке 1.3 даны графики изменения температуры воздуха для холодного и весенне-летнего периодов, при этом в тексте не указаны границы этих периодов. Представляется также, что усредненные за пятилетия данные не дают представления о их многолетней изменчивости. В таблицах 1.2 и 1.3 даются среднемноголетние величины по трем метеостанциям, при этом на карте представлена лишь одна из них (Богучаны) и в тексте не указано, за какой период представлены данные. К картам на рисунке 1.7 следовало бы добавить легенду. Какие метеостанции использовались для построения пространственной корреляционной функции (ПКФ) температуры воздуха за период снеготаяния и максимального запаса воды в снеге (рис. 1.9)? На рис. 1.5 представлены 7 метеостанций с измерениями запасов воды в снеге. На рис. 1.9 ПКФ запасов воды в снеге была построена по данным 6 метеостанций, а ПКФ температуры воздуха по 5.

Имеется некоторая неоднозначность в оценке долей генетических составляющих стока. Так, на стр. 22 указано, что на долю снегового питания приходится 70–75% годового стока, в то время как на стр. 23 сказано, что за время половодья проходит более половины годового стока. Также на стр. 22 сказано, что на долю дождевого питания приходится всего 5-10% годового стока. При этом, судя по данным табл. 1.4, на теплый период приходится от половины до $2/3$ годовой суммы осадков. Можно ли как-то объяснить столь низкую долю дождевого питания?

Требует пояснения формула 1.1, выражающая изменение запасов влаги в бассейне за период снеготаяния. Согласно этой формуле, рост количества влаги, задержанной на поверхности водосбора (P), ведет к уменьшению влагозапасов в бассейне. Кроме того, несмотря на то, что уравнение выражает изменение запасов влаги за период снеготаяния, в нем также присутствуют члены Z_2 и J_2 , выражающие испарение снежного покрова и инфильтрацию за период от конца снеготаяния до окончания половодья, а также сток за период половодья Y , включая период после завершения снеготаяния. Помимо несоответствия временных промежутков, не вполне очевидно, почему инфильтрация ведет к снижению общих влагозапасов в бассейне.

Поскольку боковой приток к водохранилищу непосредственно не измеряется, **вторая глава** посвящена методам его расчета и непосредственно его расчету, принимаемому в дальнейшем за истинное значение. В главе рассмотрены несколько методов, требующих

для реализации различной информации. Выполнено обоснование их использования и допустимого упрощения с учетом особенностей формирования стока на водосборе Богучанского водохранилища. С учетом доступной на настоящий момент информации в качестве основного метода был выбран гидрометрический. В качестве вспомогательного метода выбран метод водного баланса участка русла. Показано, что приток воды к Богучанскому водохранилищу может быть рассчитан по данным рек-аналогов, расположенных за пределами рассматриваемого водосбора.

Однако, при оценке точности расчета бокового притока различными методами в качестве основной метрики выбрано значение коэффициента корреляции, расчет которого для нестационарных величин, с выраженным сезонным или многолетним ходом, говорит не только о синхронности колебаний двух величин, но и о вкладе неслучайной составляющей в их изменчивости, что уже не отражает точность расчета. Аналогично, наличие неслучайной составляющей может вести к завышению t -статистики при оценке значимости коэффициентов регрессии. Представляется необходимым дополнить представленную оценку точности другой метрикой, не зависящей от степени нестационарности рядов, к примеру средней абсолютной относительной разностью. Также из текста не вполне ясно, имеется ли систематическая разность между величинами бокового притока, полученными гидрометрический методом и методом водного баланса.

В **третьей** главе представлены три метода прогноза бокового притока воды к Богучанскому водохранилищу во втором квартале, а также результаты расчета. Первые два метода используют связь предшествующего состояния водосбора и погодных условий (в пределах водосбора – первый метод, или на реках аналогах – второй метод) с величиной притока на основе уравнения множественной линейной регрессии. В уравнении (3.2) используется семь предикторов, в уравнениях (3.5-3.7) – 6 предикторов, коэффициенты получены по выборке длиной в 33 года, что явно мало для получения устойчивых связей. Третий метод заключается в использовании инфильтрационно-емкостной модели. Обоснован выбор предикторов для этих моделей. Все три метода по расчетам автора имеют относительно высокую точность прогноза с отношением S/σ порядка 0.3 – 0.4.

Однако имеется несколько вопросов, касающихся оценки точности прогноза. Для определения параметров модели во втором методе использовались данные о боковом притоке, полученные по данным наблюдений в самом бассейне (по 1987 г.) и по уравнению водного баланса (1988–2012 гг.), однако проверка происходила на данных, полученных расчетом по стоку рек-аналогов, как и в первом, и третьем методе. При этом второй метод основан на прогнозе стока рек-аналогов. Не ведет ли такой подход к завышению точности метода? Также не вполне ясно, какие прогнозные данные использовались в качестве

входных для третьего метода? Любопытно, что для каждого из трех методов точность прогноза на контрольной выборке оказалось больше точности по обучающей выборке. С чем это может быть связано?

Четвертая глава посвящена краткосрочному (до 7 дней) прогнозу бокового притока воды в водохранилище на основе концептуальной модели Д.А. Буракова. Также представлен краткий обзор существующих типов моделей, используемых в практике краткосрочных прогнозов речного притока. Использование модели Д.А. Буракова показало высокую эффективность, что было подтверждено на независимом материале. В то же время отметим, что описанию модели, которое уже присутствует в ряде публикаций, занимает в четвертой главе непропорционально много места, в то время как на определение параметров модели отведено менее страницы, а на оценку точности прогноза порядка страницы.

Краткость этого раздела вызывает несколько вопросов. Возникает парадоксальная ситуация, когда качество прогноза растет по мере роста его заблаговременности. Как можно объяснить данный факт? Частным замечанием к главе является то, что при ссылке на способы обработки спутниковой информации о снежном покрове дается сразу 4 источника, что, вероятно, чрезмерно. В одной из этих работ (Zotov et al., 2015 [99]), спутниковые данные о снежном покрове не используются вовсе. Также для одной из статей из этих 4 работ (Zakharova et al., 2014 [98]) в списке литературы название журнала дано с ошибкой.

В **Заключении** автор в достаточно полном виде сформулировал и обосновал значимость и новизну выполненного исследования. При этом наряду с наработкой общих методов и подходов к расчету и прогнозу бокового притока воды к водохранилищам в условиях недостатка гидрометеорологической информации предложены и конкретные решения для Богучанского водохранилища, готовые для внедрения в практику.

Одним из основных достижений работы является демонстрация того, что сток половодья на водосборе Богучанского водохранилища в подавляющей степени связан с предшествующим состоянием водосбора. Этот вывод позволяет планировать дальнейшее проектирование ГЭС в районе Богучанского водохранилища с учетом возможности достаточно точного долгосрочного прогноза, что может позволить сократить затраты для создания требуемой регулирующей емкости.

Вторым крупным достижением работы является создание конкретных методик долгосрочного и краткосрочного бокового притока воды к Богучанскому водохранилищу, что потребовало также решения задачи расчета притока на основе имеющихся скудных данных наблюдений.

Таким образом, анализ диссертации Л.А. Путинцева показывает, что она соответствует «Положению о порядке присуждения учёных степеней ВАК РФ», является законченной научно-исследовательской работой, в которой решена очень важная в общенаучном методологическом плане и для решения конкретных практических вопросов проблема – создана методология решения актуальных водохозяйственных задач, связанных с расчетом, краткосрочным и долгосрочным прогнозом бокового притока воды к водохранилищу в условиях недостатка гидрометеорологической информации, в частности непродолжительности рядов измерений. Выбор конкретных моделей и их параметров обоснован, исходя из особенностей водного объекта, поставленных задач и доступной информации, что позволяет перенести полученный опыт для других территорий. Это позволяет считать, что работа Л.А. Путинцева соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Отзыв обсужден на заседании кафедры гидрологии суши 18 апреля 2023 г. (протокол № 5).

Зав. кафедрой гидрологии суши Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор, доктор географических наук
(специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия)
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, 1
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Тел. раб. (495)939-10-01, Моб. 8-916-609-34-54



E-mail: frolova_nl@mail.ru

Н.Л. Фролова

Младший научный сотрудник кафедры гидрологии суши

Кандидат географических наук

(специальность 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия)

119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Тел.раб. (495) 939-10-01, Моб. 8-985-9717423, E-mail: vadim308g@mail.ru

В.Ю. Григорьев

Подписи Н.Л.Фроловой и В.Ю.Григорьева заверяю

Декан географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
академик РАН

С.А. Добролюбов

17 мая 2023 г.

