

Отзыв

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Морейдо Всеволода Михайловича «**Разработка методов ансамблевого прогноза характеристик сезонного речного стока (на примере притока воды в Чебоксарское водохранилище)**», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.07- гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Цель исследования В.М. Морейдо – моделирование и прогноз весеннего и летнего притока воды в Чебоксарское с применением методов ансамблевого долгосрочного прогноза. Диссертация опирается, с одной стороны, на предшествующие фундаментальные исследования в области построения математических моделей формирования стока Л.С. Кучмента, В.Н. Демидова, Ю.Г. Мотовилова, А.Н. Гельфана. С другой стороны, в ней используется вероятностный (композиционный) подход к расчетам гидрологических характеристик, восходящий к работам М. А. Великанова, Г. А. Алексева, Ю.Б. Виноградова и других гидрологов, а в настоящее время воплощенный в методологии ансамблевых долгосрочных прогнозов характеристик весеннего половодья на основе детальных физико-математических моделей его формирования (Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан, [2007, 2009]).

Диссертация объемом 185 стр. включает введение, 4 главы, заключение. Она содержит 50 рисунков, 33 таблицы, библиографический список (91 источник) и 3 приложения.

Во **введении** обоснованы актуальность и научная новизна исследования, перечислены положения, выносимые на защиту.

В **Главе 1** освещаются вопросы теории и практики прогнозов речного стока, непосредственно связанные с содержанием диссертации.

В **Главе 2** дано последовательное обоснование модели формирования бокового притока воды к Чебоксарскому водохранилищу, разработанной с применением созданной Ю.Г. Мотовиловым интегрированной информационно-

моделирующей системы ECOMAG. Модель ECOMAG в идейном плане базируется на достижениях школы ИВП РАН [Кучмент и др., 1983]. По уровню описания гидрологических процессов она занимает промежуточное положение между концептуальными и физико-математическими моделями.

В главе 2 приводится ландшафтно-гидрологическая характеристика бассейна Чебоксарского водохранилища и описывается процедура адаптации модели ECOMAG к данным наблюдений. По фактическим данным о расходах воды за период с 2000 по 2010 год выполнена калибровка модели. Ее проверка на независимых данных производилась для периода с 1982 по 2000 год. Разработанная модель позволяет рассчитать по данным метеорологических измерений различные характеристики бокового притока воды к водохранилищу в весенний и летний сезоны года. Точность расчетов, согласно действующей методике оценки качества прогнозов, относится к категориям хорошая и удовлетворительная.

Глава 3 посвящена разработке стохастических «генераторов погоды» для моделирования методом статистических испытаний ансамблей временных рядов суточных осадков, температуры и влажности воздуха за период заблаговременности сезонного прогноза притока воды в водохранилище. «Генератор погоды» - название разработанной К. Ричардсоном стохастической модели, описывающей совместный временной ход нескольких среднесуточных метеорологических величин. Сочетание модели формирования речного стока со стохастическим генератором погоды позволяет воспроизводить ансамбль прогнозируемых гидрографов стока для построения выборочных оценок прогнозируемых величин.

В диссертации разработаны два стохастических генератора погоды: 1) точечный (NEWGEN), позволяющий моделировать методом Монте-Карло временные ряды метеорологических переменных в отдельных точках бассейна без учета пространственной статистической связности рядов, и 2) распределенный (SFRWG) – с учетом пространственной структуры метеорологических полей.

Далее автор объединяет созданные стохастические генераторы погоды с детерминистической моделью формирования снежного покрова, разработанной Ю.Г. Мотовиловым [1993] для расчета характеристик снежного покрова по измеренным или смоделированным метеорологическим данным. Многочисленные статистические расчеты и их корректный анализ подтверждают возможность использования стохастического генератора погоды SFRWG для воспроизведения полей снежного покрова на рассматриваемой территории.

В **Главе 4** рассмотрена разработанная автором диссертации методика ансамблевого прогноза сезонного притока воды к Чебоксарскому водохранилищу с применением интегрированной информационно-моделирующей системы ECOMAG и стохастического генератора погоды SFRWG.

Программный комплекс содержит математическую модель с упрощенными обыкновенными дифференциальными уравнениями, описывающими основные процессы стока с водосбора, и ГИС с базами данных о характеристиках территории, упорядоченной в так называемые “элементарные водосборы”, с помощью которых строится модель водосбора любого масштаба. Использование данных дистанционного зондирования Земли и электронных тематических карт обеспечивает возможность учета в заданном масштабе основных физико-географических, почвенных и топографических особенностей бассейна. Для этого в базе данных ГИС заводился ряд слоев электронных тематических карт бассейна (карты рельефа, гидрографической сети, почв, ландшафтов). Цифровая модель рельефа организуется автоматически на базе пакета ArcView (используется ЦМР GLOBE с разрешением 1 км).

Выделенные водосборы являются расчетными элементами модели. Например, в бассейне р. Оки выделено свыше 650 элементарных водосборов со средней площадью 360 км². Для элементарных водосборов с соответствующих тематических карт считывается информация о типах почв и ландшафтов, а необходимые для расчетов гидрофизические параметры для них автоматически выбираются из баз данных, и в дальнейшем усредняются с учетом весовых коэффициентов по занимаемой ими площади. Для уточнения наиболее весомых

параметров (с точки зрения оценки потерь стока и других характеристик) используется процедура оптимизации по условию наилучшего соответствия фактических и рассчитанных гидрографов.

В диссертации приведены результаты калибровки модели по фактическим данным за период с 2000 по 2010 год и ее проверки на независимых данных с 1982 г. по 2010 г. В качестве исходных данных при калибровке использовались ряды фактических среднесуточных значений температуры и влажности воздуха, суточных сумм осадков и притока воды в Чебоксарское водохранилище. Результаты калибровки модели расчета ежедневного притока по метеорологическим данным наблюдений показали, что модель обеспечивает хорошую точность: среднеквадратическая погрешность расчетов расходов бокового притока составила порядка $800 \text{ м}^3/\text{с}$ при стандартном отклонении фактических величин около $2100 \text{ м}^3/\text{с}$.

Порядок детерминистического прогноза притока воды к водохранилищу следующий:

1. За период с конца половодья предыдущего года по 28 (29 февраля) текущего года по данным метеорологических наблюдений моделируется распределение по площади водосбора запасов воды в снежном покрове, глубины промерзания и влажности почвы, а также рассчитывается начальный запас воды в русловой сети.
2. По данным многолетних наблюдений на метеорологических станциях бассейна рассчитываются ряды среднемноголетних (климатических) значений температуры воздуха, осадков, и влажности воздуха на каждую дату за весенний и летний периоды (с 1 марта по 31 мая и с 1 июня по 31 августа).
3. По смоделированным начальным условиям на 1 марта и задаваемым на период заблаговременности климатическим значениям осадков, температуры и влажности воздуха, рассчитывается прогнозируемый гидрограф притока воды в водохранилище.

Модель позволила получить удовлетворительную точность детерминистического долгосрочного прогноза характеристик притока воды в водохранилище по климатическим данным за период заблаговременности проверочных прогнозов. Дальнейшие расчеты показали, что ансамблевый подход к заданию метеорологических характеристик позволяет несколько повысить точность прогноза притока воды в Чебоксарское водохранилище.

Реализация принципов ансамблевых долгосрочных прогнозов при помощи информационно-моделирующего комплекса ECOMAG сводится к заданию рассчитанных значений запасов воды в снеге, глубины промерзания и влажности почвы на дату выпуска прогноза, а также к заданию ансамбля возможных сценариев метеорологических условий на период заблаговременности. На выходе рассчитываются ансамбли гидрографов талого стока. По ансамблю гидрографов затем строятся вероятностные оценки прогнозируемых характеристик притока, в том числе их кривые распределения. В диссертации рассмотрен случай, когда метеорологические сценарии задаются по следующим схемам:

Схема 1 – по фактическим данным наблюдений за рассматриваемые сезоны, т.е. за 29 весенних (1 марта-31 мая) и 29 летних (1 июня-31 августа) сезонов в период с 1982 по 2010 год,

Схема 2 – в виде рядов метеорологических величин по 500 весенних и 500 летних сезонов, рассчитанных методом Монте-Карло на основе стохастического генератора погоды SFRWG.

Задание ансамбля сценариев метеорологических условий на период заблаговременности позволяет выпускать прогноз как в детерминистической, так и в вероятностной формах.

Рассчитанные с помощью прогностической Схемы 2 проверочные прогнозы характеристик притока воды к водохранилищу квалифицируются как удовлетворительные. Эффективность и оправданность прогнозов с помощью Схемы 2 для большинства рассмотренных характеристик притока воды в Чебоксарское водохранилище оказались выше, т.е. использование генератора погоды позволило полнее учесть неопределенность задания метеорологических

условий за период заблаговременности прогноза, чем перебор наблюдавшихся сценариев погоды (Схема 1).

Следует особо подчеркнуть следующие результаты диссертационной работы, представляющие интерес и новизну для гидрологических прогнозов.

1. Выводы о эффективности и точности прогнозов притока воды в Чебоксарское водохранилище, полученные при различных подходах к учету метеорологических условий за период заблаговременности прогноза (по их многолетним суточным нормам; по ансамблям метеорологических наблюдений за предшествующие годы; по ансамблям, включающим 500 весенних и 500 летних сезонов, рассчитанных методом Монте-Карло на основе стохастического генератора погоды SFRWG). Подобные эксперименты важно продолжить на примере водных объектах в различных физико-географических условиях.
2. Разработка методик прогноза не только для традиционно прогнозируемых величин (объем сезонного стока), но также и для *максимального расхода* весеннего стока, *количества дней с расходами воды выше* (для весеннего стока) и *ниже* (для летнего стока) характерных наблюдаемых значений, а также для *показателей масштаба прогнозируемого половодья и глубины летней межени*.
3. Методы верификации результатов проверочных ансамблевых прогнозов летнего стока (представленных в детерминистической и вероятностной формах) с использованием категориальных критериев масштаба весеннего половодья и глубины летней межени.
4. Развитие методики построения стохастического генератора погоды для моделирования методом статистических испытаний ансамблей временных рядов суточных осадков, температуры и влажности воздуха.
5. Развитие методики динамико-стохастического моделирования формирования снежного покрова.

На наш взгляд, некоторым пробелом выполненного исследования является отсутствие в нем анализа климатических изменений, происходящих в бассейне р. Волги, включая бассейн Чебоксарского водохранилища, нарушающих, по мнению ряда исследований, гипотезу стационарности региональных климатических характеристик. Для рек бассейна Оки эта тенденция проявляется для последних 35 лет. Она обусловлена повышением температуры воздуха зимой, которое сопровождается увеличением числа и продолжительности оттепелей и, следовательно, уменьшением предвесенних запасов снега, максимальных расходов весеннего половодья [Н.И. Алексеевский и др.//ВОДА: ХИМИЯ и ЭКОЛОГИЯ, 4, апрель 2013 г. с. 3–12]. Возникает вопрос: следует ли, например, учитывать при разработке генераторов погоды тренд температуры воздуха? Однако, если принять во внимание сложность решения поставленной проблемы и неоднозначность мнений о целесообразности ее постановки в настоящее время, а также путях ее решения не только в гидрологических прогнозах, но и в расчетах гидрологических характеристик, можно утверждать, что высказанное нами суждение является пожеланием на будущее.

Диссертационная работа хорошо оформлена, изложена стилистически грамотно, автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, публикации по теме диссертации широко и полно освещают основные защищаемые положения.

Достоверность результатов исследования подтверждается систематическим использованием

- обширных материалов гидрометеорологических наблюдений,
- картографических материалов,
- апробированного и подтвердившего свою эффективность программного обеспечения;
- многочисленной научной отечественной и зарубежной специальной литературы.

Автором проделана большая работа по осмыслению, анализу и обобщению всей этой информации, что повышает степень достоверности научных результатов.

По глубине, широте и значимости решаемых задач, выполненное исследование полностью отвечает уровню диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.07-гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Морейдо Всеволод Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 – «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия».

Доктор географических наук, профессор.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», Институт экономики, управления и природопользования, кафедра экологии и природопользования, профессор.

Дмитрий Анатольевич Бураков

Адрес: 660041, г. Красноярск,
пр. Свободный, 79.
Тел. 8-983-269-46-59

ФГАОУ ВПО СФУ		
Подпись	<i>Бураков Д.А.</i>	зарегистрировано
Начальник общего отдела	<i>[Signature]</i>	
" 19 "	10	20 г.

