

# Региональная модель расчета нормы стока рек бассейна верхней Оки



Захарова Марина Владимировна, к.г.н., доц.  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского



## Аннотация

В работе на примере верхней части бассейна Оки с замыкающим створом в г. Калуге рассматривается построение регрессионной модели определения нормы стока в зависимости от физико-географических и гидрографических факторов.

Для построения модели использованы величины слоя стока с 28 водосборов, приведенные к многолетнему периоду за 1882-2010 гг. В результате получено региональное уравнение регрессии с оптимальными предикторами (лесистость и широта) и статистически значимыми коэффициентами.

Установлена адекватность модели, которая на 76% объясняется за счет вариации факторных признаков, которые в нее включены. Оценка эффективности модели осуществлялась как на зависимом, так и независимом материале. Определено, что остатки не коррелируют между собой и их распределение не отличается от нормального. Погрешность определения нормы стока по региональной зависимости составляет порядка 30%.

## Введение

Одной из важных проблем гидрологических расчетов, связанных с определением основных гидрологических характеристик, остается недостаточная гидрологическая изученность речных бассейнов. В то же время известно, что эти характеристики очень часто необходимы для проектирования и последующего строительства различных хозяйственных объектов в тех створах гидрографической сети, где данные непосредственных гидрологических наблюдений отсутствуют.

В соответствии с пунктом 7.1 нормативного документа СП 33-101-2003 [8] для получения расчетных гидрологических характеристик рекомендуется использовать региональные методы, которые основываются на результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений, приведенных в официальных изданиях Росгидромета, или неопубликованных данных инженерно-гидрометеорологических изысканий в районе проектирования.

## Материалы и методы

Алгоритм построения региональных моделей включает две основные части: определение расчетных гидрологических характеристик на гидрологических постах и построение региональных зависимостей между гидрологическими характеристиками и физико-географическими, гидрографическими факторами, а также оценку их эффективности.

Для построения модели отобраны 28 гидрологических поста, имеющие длительные ряды наблюдений и расположенные в верхней части бассейна р. Оки с площадями водосборов от 15 км<sup>2</sup> (р. Нугрь – в/п д. Андросово) до 54800 км<sup>2</sup> (р. Ока – в/п г. Калуга).

Величины среднего слоя стока, приведенные к многолетнему периоду за 1882-2010 гг. взяты из научно-прикладного справочника «Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги».

## Результаты

Установлено, что для построения региональной модели нормы стока от физико-географических и гидрографических характеристик можно принять две независимые переменные – широту и лесистость, которые мало коррелируют между собой (0,64) и хорошо коррелируют (0,86 и 0,71) с предиктантом (нормой стока).

Используя аддитивную структуру модели, можно составить следующее региональное уравнение регрессии:

$$Y = 0,90f_{л} + 11,7\varphi - 478,5. \quad (1)$$

Проведенный анализ остатков построенной зависимости (рис. 1) показывает, что остатки попадают в горизонтальную полосу с центром по оси абсцисс, следовательно, предлагаемую методику расчета нормы стока можно рассматривать как адекватную.

Для оценки экстраполяционных свойств полученного уравнения определены величины нормы стока на независимом материале девяти контрольных водосборов, не вошедших в обучающую выборку, с площадями водосборов от 96 км<sup>2</sup> (р. Орлица – в/п д. Большой Пог) до 4900 км<sup>2</sup> (р. Ока – в/п д. Костомарово).

Анализ остатков, полученных при независимой проверке показан на рис. 2, на котором представлены зависимости остатков от лесистости и широты, а также сопоставление расчетных и фактических значений нормы стока.

Графики остатков демонстрируют, что полосы остатков остаются горизонтальными, однако, видно, что они смещены в область отрицательных значений, что явно связано с недостаточным количеством независимого материала. Однако, между нормами стока, рассчитанными на независимых данных и фактическими существует достаточно тесная зависимость, имеющая коэффициент корреляции 0,9, что позволяет говорить о наличии удовлетворительной сходимости, но требует более тщательного анализа остатков.

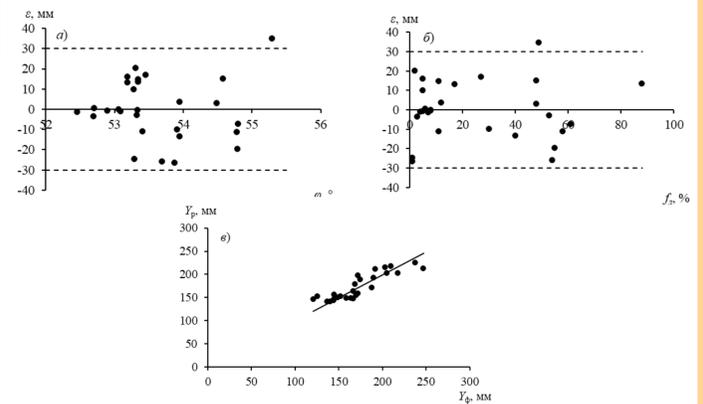


Рис. 1. Графики анализа остатков региональной зависимости (1) на зависимых данных.

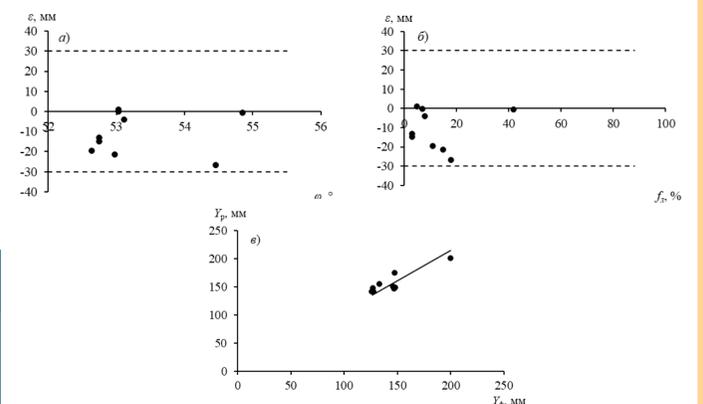


Рис. 2. Графики анализа остатков региональной зависимости (1) на независимых данных

## Выводы

Установлено, что эффективность модели обуславливается следующими аспектами: 1) 76% объясненной вариации нормы стока приходится на лесистость и широту, которые установлены оптимальными предикторами уравнения; 2) коэффициент множественной корреляции между ними и нормой стока составляет более 0,8 и является значимым; 3) достоверность многофакторной регрессионной модели объясняется результатами дисперсионного анализа, который показал, что значение вычисленного уровня значимости значительно меньше заданного; 4) отношение стандартной ошибки уравнения к среднему квадратическому отклонению ряда-предиктанта составляет 0,5, что свидетельствует о хорошем качестве модели; 5) адекватность модели подтверждается графическим анализом остатков, который демонстрирует уверенное попадание остатков в горизонтальную полосу; 6) отсутствие значимых внутрирядных связей в ряде остатков подтверждается значением статистики Дарбина-Уотсона на заданном уровне значимости; 7) анализируемое распределение остатков не отличается от нормального, поскольку уровень значимости, вычисленный по теоретическому критерию Шапиро-Уилкса, оказался больше заданного; 8) экстраполяционные свойства полученного уравнения, проверенные на независимом материале, указывают на удовлетворительную сходимость рассчитанных и фактических значений нормы стока; 9) погрешность расчета нормы стока по региональной зависимости на независимой информации будет составлять порядка 30%.

## Контактные данные:

Захарова Марина Владимировна  
Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского  
248023, г. Калуга, ул. Степана Разина, 26, каб. 222  
Email: ZaharovaMV@tksu.ru  
Website: <https://tksu.ru/>