



ОСОБЕННОСТИ СРЕДНЕГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ВОЛГИ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ (СЕЛО ЕЛЬЦЫ)

Б.А. Головки, студент,
retmo1@bk.ru

В.А. Наумов, д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Построена интегрально-разностная кривая среднегодовых расходов р. Волги (село Ельцы). Данные выборки противоречат гипотезе однородности ряда. Использование модели случайной величины для определения расчетных значений годового стока не рекомендуется.

р. Волга, верхнее течение, среднегодовой расход, статистические гипотезы, однородность, случайность

Проведенные исследования водности рек бассейна нижней и средней Волги [1–3] за период 1881–2009 гг. показали затяжное маловодье 1930–1939 гг. (обеспеченностью $P = 1\%$), также отмечено маловодье с 1929 по 1946 г. и с 1970 по 1977/78 г. Период повышенной водности наблюдался после 1978 г. Наибольшие климатические изменения произошли в течение относительно небольшого промежутка времени в 1970-х годах и привели к значительной перестройке всей системы водосбора. В результате существенно изменились условия формирования стока рек волжского бассейна, что непосредственно отразилось на их водном режиме.

Со второй половины 1970-х годов в бассейне р. Волги сформировался новый водный режим [2]. В последние годы характер водности в створе Волгограда практически полностью совпадает с таковым бассейна р. Камы: многоводный период бассейна Волги за последнее время обусловлен повышенной водностью Камы [3]. В это же время в остальных частях бассейна Волги отмечалось уменьшение стока за многолетний период. В [4] указывается на особый характер стока в самой верхней части Волги (гидроствор у села Ельцы Тверской области). В данной статье проведен статистический анализ гидрологического ряда (среднегодовых расходов) р. Волги в указанном створе за период 1891–1985 гг.

Исходные данные (рис. 1) были получены путем обработки таблиц, представленных в Интернет-ресурсе [5]. Уравнение линейной регрессии среднегодовых расходов ($\text{м}^3/\text{с}$) р. Волги у села Ельцы

$$Q = f(t) = 505,9 - 0,222 \cdot t, \quad (1)$$

где t – время, годы.

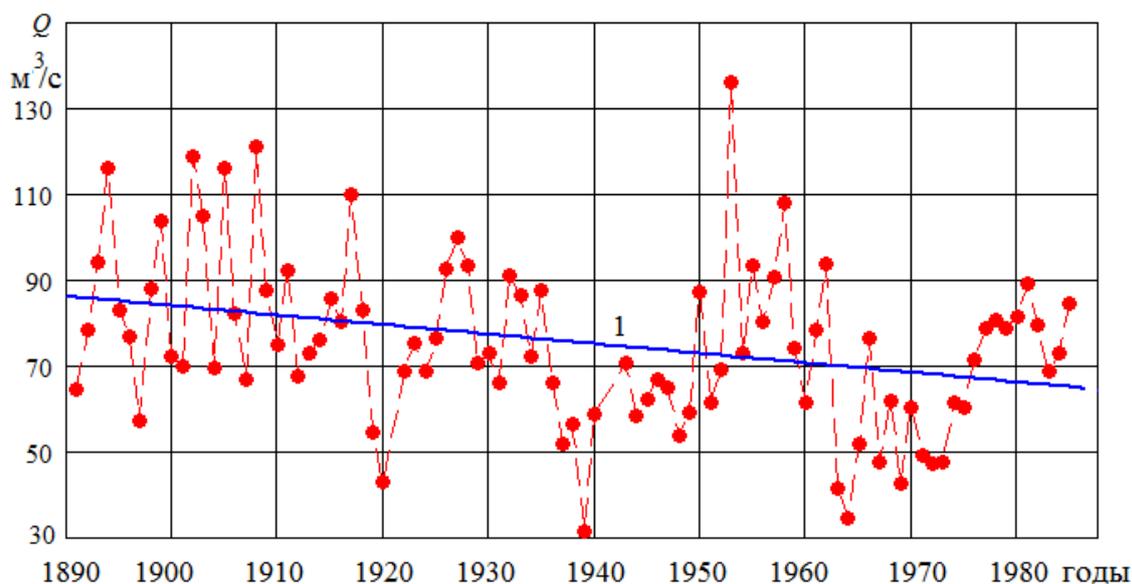


Рисунок 1 – Среднегодовые расходы р. Волги у села Ельцы [5]: 1 – линейный тренд (1)

Линейный тренд показывает уменьшение водности. На рис. 2 представлены границы доверительного интервала линейного тренда, рассчитанные по формулам [6]:

$$\varphi_1(t) = f(t) - t\gamma \cdot S \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(t-t_s)^2}{SS}}, \quad Q_s \quad \varphi_2(t) = f(t) + t\gamma \cdot DS \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(t-t_s)^2}{SS}}; \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i - f(t_i))^2} = 18,74, \quad SS = \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_s)^2 = 3,51 \cdot 10^4, \quad Q_s = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i,$$

где $n = 92$ – длина ряда,

$Q_s = 75,2 \text{ м}^3/\text{с}$ – многолетняя норма среднегодового расхода,

$t\gamma$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $\gamma = 0,95$.

Границы доверительного интервала линейного тренда на рис. 2 свидетельствуют, что снижение водности в указанные годы находится в пределах статистической погрешности и не обязательно связано с устойчивой тенденцией аналогично [7, 8].

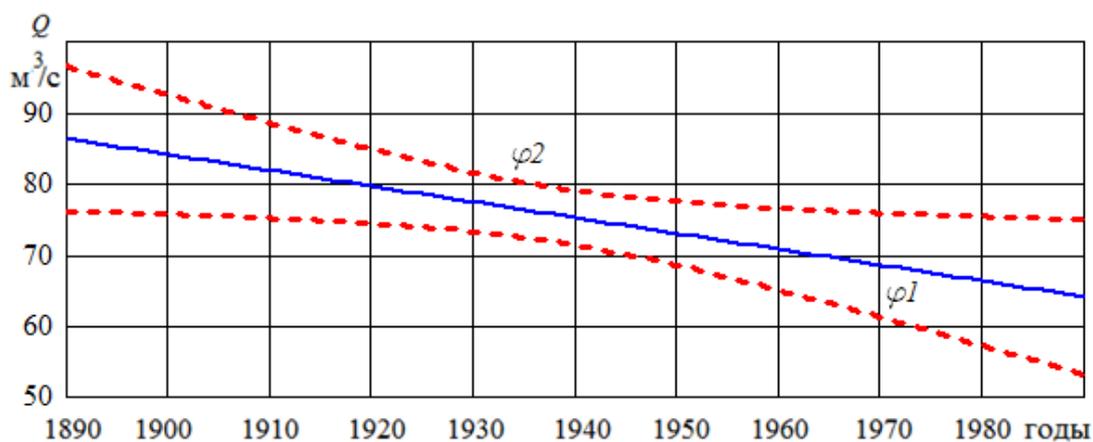


Рисунок 2 – Доверительный интервал линейного тренда среднегодовых расходов р. Волги у села Ельцы

Для дальнейшего анализа была построена интегрально-разностная кривая среднегодовых расходов (рис. 3) по формулам [9, 10]:

$$k_i = \frac{Q_i}{Q_s}; \quad IR_0 = 0; \quad IR_i = IR_{i-1} + \frac{k_i - 1}{C_v}, \quad i = 1 \dots n, \quad C_v = \frac{\sigma}{Q_s} = 0,261, \quad (3)$$

где k_i – модульные коэффициенты расхода,

C_v – коэффициент вариации расхода,

$\sigma = 19,64 \text{ м}^3/\text{с}$ – точечная оценка среднего квадратичного отклонения расхода.

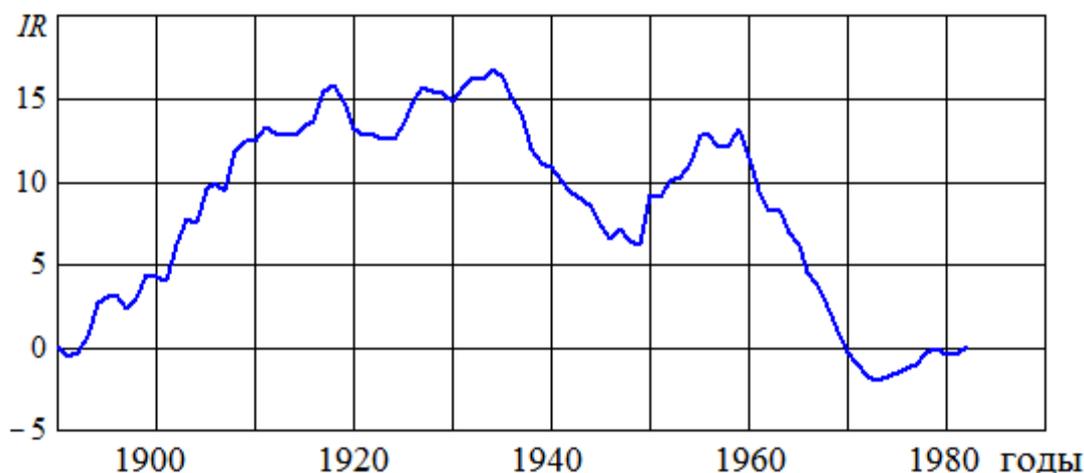


Рисунок 3 – Интегрально-разностная кривая расходов р. Волги у села Ельцы

По рис. 3 с начала наблюдений до середины 30-х годов прошлого века отмечался глобальный многоводный период. Далее чередовались маловодные периоды (до конца 40-х и начала 70-х годов) и многоводные (1949–1959). С начала 70-х годов наблюдается многоводный период. Видны отличия от выводов [1–3], полученных по бассейну Средней и Нижней Волги.

Для проверки однородности ряда разбиваем его на две равные части, так как нет гидрологических причин вводить иное разбиение: $n1 = n2 = 46$. Нулевая гипотеза: дисперсии двух частей ряда равны. Выборочные средние расходы каждой части ряда

$$Q_{g1} = \frac{1}{n1} \cdot \sum_{i=1}^{n1} Q_i = 81.64; \quad Q_{g2} = \frac{1}{n2} \cdot \sum_{i=n1+1}^n Q_i = 68.73. \quad (4)$$

Исправленные выборочные дисперсии каждой части ряда

$$D1 = \frac{1}{n1-1} \cdot \sum_{i=1}^{n1} (Q_i - Q_{g1})^2 = 319,7; \quad D2 = \frac{1}{n2-1} \cdot \sum_{i=n1+1}^n (Q_i - Q_{g2})^2 = 375,3. \quad (5)$$

Параметр критерия Фишера $Ff = D2 / D1 = 1.174$.

Критическое значение находится по встроенной функции Mathcad

$$Fc = qF(0.95, n1-1, n2-1) = 1.642.$$

$Ff < Fc$, нулевая гипотеза о равенстве дисперсии не отвергается.

Нулевая гипотеза: математические ожидания двух частей ряда равны. Оценка средневзвешенной дисперсии [11]:

$$Sf = \sqrt{\frac{(n1-1) \cdot D1 + (n2-1) \cdot D2}{n1 + n2 - 2}} = 18.64. \quad (6)$$

Значение параметра для проверки гипотезы о равенстве средних значений

$$Tf = \frac{|Qg1 - Qg2|}{Sf} \cdot \sqrt{\frac{n1 \cdot n2}{n1 + n2}} = 3.322. \quad (7)$$

Критическое значение по распределению Стьюдента $Tc = qt(0.95, n - 2) = 1.662$.

$Tf > Tc$, нулевая гипотеза о равенстве математических ожиданий расходов отвергается. Данные выборки противоречат гипотезе однородности.

Для проверки применимости модели случайной величины используем критерий общего числа серий. Сформируем массив $DQ_i = Q_i - Q_s$. Серия состоит из следующих подряд элементов DQ_i одного знака. Общее число серий будет равно количеству изменений знака в соседних элементах указанного массива. Программа, изложенная в [9], позволяет рассчитать это число

$$Ns := \begin{cases} N \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 2..n \\ N \leftarrow N + 1 \text{ if } DQ_j \cdot DQ_{j-1} < 0 \\ N \end{cases}$$

В рассматриваемом примере $Ns = 35$. Математическое ожидание числа серий и среднее квадратическое отклонение для случайной величины [6]

$$mN = (n + 1) / 2; \quad \sigma N = \sqrt{n - 1} / 2. \quad (8)$$

Доверительный интервал для числа серий случайной величины

$$[mN - tn \cdot \sigma N; mN + tn \cdot \sigma N] \text{ или } [38,65; 54,34].$$

Так как Ns не принадлежит найденному интервалу, нулевая гипотеза о возможности применения модели случайной величины отвергается.

Таким образом, исследованный ряд средних годовых расходов р. Волги (Ельцы) нельзя считать однородным. Использование модели случайной величины для прогнозирования и определения расчетных значений расходов при проектировании гидротехнических сооружений не рекомендуется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макарова, О.А. Пространственно-временная изменчивость водности рек европейской части России / О.А. Макарова, Л.Ф. Сотникова // Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление: сборник трудов первой открытой конференции Научно-образовательного центра (Москва, 8–9 декабря 2011 г.). – Москва: Институт водных проблем РАН, 2011. – С. 143–150.
2. Георгиевский, В.Ю. Гидрологический режим и водные ресурсы / В.Ю. Георгиевский, А.Л. Шалыгин // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем: монография. – Москва: Росгидромет, 2012. – С. 53–86.
3. Сотникова, Л. Ф. Совместная оценка колебаний водности и метеорологических факторов основных рек европейской части России / Л.Ф. Сотникова // Перспективные научные разработки. Материалы заочной научной конференции, 2014 [Электронный ресурс]. URL: http://www.rusnauka.com/24_PNR_2014/Geographia/3_174280.doc.htm. (дата обращения: 01.03.2017).
4. Великанов, Н.Л. Математическое моделирование в задачах природообустройства и водопользования: монография / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 201 с.

5. International Hydrological Programme UNESCO [Электронный ресурс]. URL: <http://webworld.unesco.org/water/> (дата обращения: 01.09.2016).
6. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика: монография / А.И. Кобзарь. – Москва: Физматлит, 2006. – 816 с.
7. Наумов, В.А. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Среднегодовые расходы до 1985 / В.А. Наумов, Л.В. Маркова // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2015. – Т. 1, № 2. – С. 73–83. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/10/2015-№2-Наумов.pdf>.
8. Наумов, В.А. Результаты статистического анализа региональных гидрологических и климатических рядов / В. А. Наумов // Вестник науки и образования Северо-Запада России: электронный журнал, 2016. – Т. 2, № 3. – С. 46–56. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf>.
9. Наумов, В.А. Методы обработки гидрологической информации. Лабораторный практикум для студентов высших учебных заведений, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Природообустройство и водопользование» / В.А. Наумов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – 111 с.
10. Наумов, В.А. Методы обработки гидрологической информации / В.А. Наумов // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. Вып. 7. – Москва: Изд-во ФГБОУ ВПО «РГАУ им. К.А. Тимирязева», 2015. – С. 144–150.
11. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

FEATURES OF THE AVERAGE ANNUAL FLOW OF THE VOLGA RIVER IN ITS UPPER COURSE (ELTCY VILLAGE)

V.A. Golovko, student,
retmo1@bk.ru

V.A. Naumov, Doctor of Engineering, Sciences, Professor,
FGBOU VO “Kaliningrad State Technical University”

The integral-differential curve of the average annual expenses of the Volga river (Eltsy village) was built. The sample data contradict the hypothesis of the homogeneity of the series. Using the model of the random value and determine the calculated values of the annual runoff is not recommended.

Volga river, upper stream, average annual flow, statistical hypotheses, homogeneity, randomness