

## ОЦЕНКА РУСЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ АМУДАРЬИ <sup>1</sup>

Г.Х.Исмайылов\*, К.Ю.Шаталова\*\*

\*Московский Государственный университет природообустройства, 127550

Москва, ул. Прянишникова, 19

\*\* Институт водных проблем РАН, 119991 Москва, ул. Губкина, д.3

Река Амударья является наиболее крупным естественным водотоком бассейна Аральского моря. Она берет свое начало в месте слияния рек Вахш и Пяндж, площадь водосбора 309000 км<sup>3</sup>. По условиям питания и характеру протекания р. Амударью можно разделить на три участка – верхний, средний и нижний. Верхний участок простирается от слияния рек Вахша и Пянджа (образующих Амударью) до г. Керки, средний располагается между г. Керки и тесниной Тюямуюн и нижний занимает приустьевую область течения. На участке верхнего течения водность р. Амударьи постоянно увеличивается. Практически весь сток р.Амударьи формируется в верхней ее части (горной и предгорной) до г. Керки ( $F=30900\text{км}^2$ ,  $Q_{\text{ср.}}= 2190 \text{ м}^3/\text{сек}$ ), а на участках среднего и нижнего течения наблюдается снижение водности реки, обусловленное как формированием естественных потерь стока, так и изъятиями воды на хозяйственные нужды.

Авторами исследовался участок среднего течения р. Амударьи от г. Керки до в/п Ильчик протяженностью 295 км. Участок бесприточный и находится в зоне интенсивной водохозяйственной деятельности. Здесь расположены крупные магистральные каналы (Каракумский, Каршинский, Амубухарский), забирающие воду в маловодные системы бесприточных рек. Кроме того, происходит рассеивание стока естественным путем, за счет испарения в зоне движения речного потока и фильтрации вод из русла реки в песчаные отложения. Речной поток претерпевает существенную трансформацию при движении его по руслу. При этом влияние на изменчивость стоковых характеристик оказывают как водохозяйственные мероприятия на участке, так и сложная конфигурация русла, неустойчивость его в плане и по глубине, пойменные разливы.

Не учитываемые потери стока на участке в годы повышенной водности могут достигать 5-6 км<sup>3</sup> за вегетационный период [6,7].

Учет и оценка русловых потерь по длине реки является слабым местом при разработке имитационной модели функционирования ВХС бассейна р. Амударьи.

Для построения зависимости потерь речного стока и учета их при имитационном моделировании авторами предложен метод, учитывающий основные особенности процесса, гибкий в вычислительном и информационном отношении, и легко адаптирующийся в имитационных моделях функционирования ВХС. Это - аппарат одномерных кубических сплайнов [1,2] соединенных с методом остаточных отклонений [5]. Речной бассейн в этом случае рассматривается как некая динамическая система, где

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04-05064048

известны лишь входные и выходные параметры. Блок-схема методики приведена на рис. 1.

Исследования проводились по стандартной гидрологической информации за период 1969 - 87 гг., в месячном разрезе.

Потери воды на участке были оценены по замыкающему члену водного баланса, т.е. в них заложены затраты воды на испарение, русловой и пойменный влагообмены.

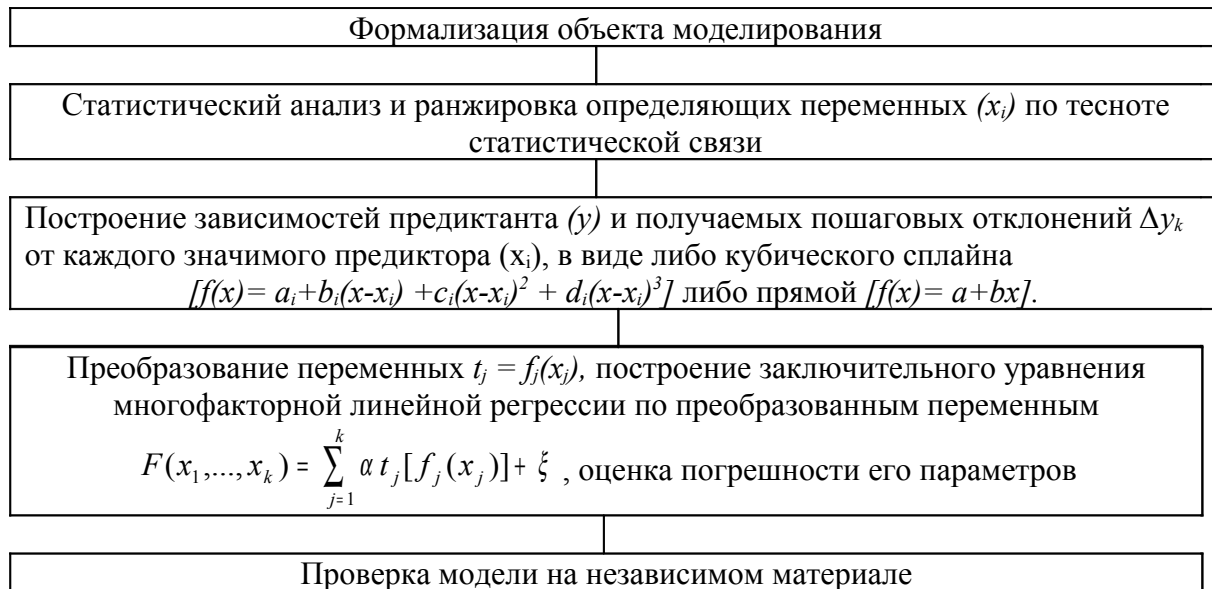


Рисунок 1. Блок – схема построения модели.

При решении задачи определения стратегии охраны и рационального использования природных вод обычно используется месячный и более длительный интервал времени, поэтому в настоящей работе за единицу времени также был принят месяц.

Первоначально в качестве предикторов были выбраны:  $X_1$  - расход в створе Керки, в текущий интервал ( $t$ ), м<sup>3</sup>/сек;  $X_2$  - водозабор на участке, в текущий интервал ( $t$ ), м<sup>3</sup>/сек;  $X_3$  - расход в створе Ильчик, в текущий интервал ( $t$ ), м<sup>3</sup>/сек;  $X_4$  - расход в створе Керки за предыдущий интервал ( $t-1$ ), м<sup>3</sup>/сек;  $X_5$  - расход в створе Ильчик за предыдущий интервал ( $t-1$ ), м<sup>3</sup>/сек; Искомый предиктанта:  $Y$  - потери воды на участке.

Анализ матрицы парных коэффициентов корреляции предикторов показывает, что все они имеют довольно тесную связь ( $r_j = 0.43 \div 0.95$ ). Это говорит о том, что и в данном наборе данных заложена заведомо избыточная информация.

Для построения зависимости в качестве обучающего массива из всей имеющейся информации выбран массив длиной в 162 члена, а каждый четвертый набор значений  $Y$  и  $X_i$ , где  $i = 1, \dots, 5$  оставлен для ее проверки (массив из 53 членов). Расчет осуществляется по-шагово, начиная с наиболее значимой переменной. Ранжировка предикторов по тесноте связи с искомой величиной проводилась как по линейному

(коэффициент корреляции), так и нелинейному (метод нормированной автокорреляционной функции) [5] критериям.

Оказалось, что на первом шаге наиболее существен первый фактор  $X_1$ . Между ним и  $Y$  с помощью кубического сплайна была построена зависимость на сетке из 148 узлов (1). Число узлов меньше, чем длина исходного массива, что объясняется совпадением значений аргумента, при этом в качестве значения функции берется среднее из соответствующих величин.

$$f_i(X_i) = a_i + b_i(X_i - X_{li}) + c_i(X_i - X_{li})^2 + d_i(X_i - X_{li})^3$$
$$X_{li} \leq X_i \leq X_{l,i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, 148, \quad (1)$$

На рис. 2 приведен график фактических и полученных на первом шаге промежуточных значений потерь в зависимости от расхода в ств. Керки ( $X_1$ ). На втором шаге наиболее тесно связанной с отклонением  $\xi_1 = Y - f_1(X_1)$  оказалась переменная  $X_3$  (расход в створе Ильчик). Зависимость между ними также строится в виде кубического сплайна на сетке 145 узлов (рис. 3). Рисунки 2 и 3 наглядно демонстрируют преимущества сплайнов для описания кривых сложной формы. На следующем шаге исследуется отклонение  $\xi_2 = \xi_1 - f_2(X_3)$  и его связь с оставшимися предикторами. Наиболее существенна здесь величина  $X_2$  (водозабор на участке).

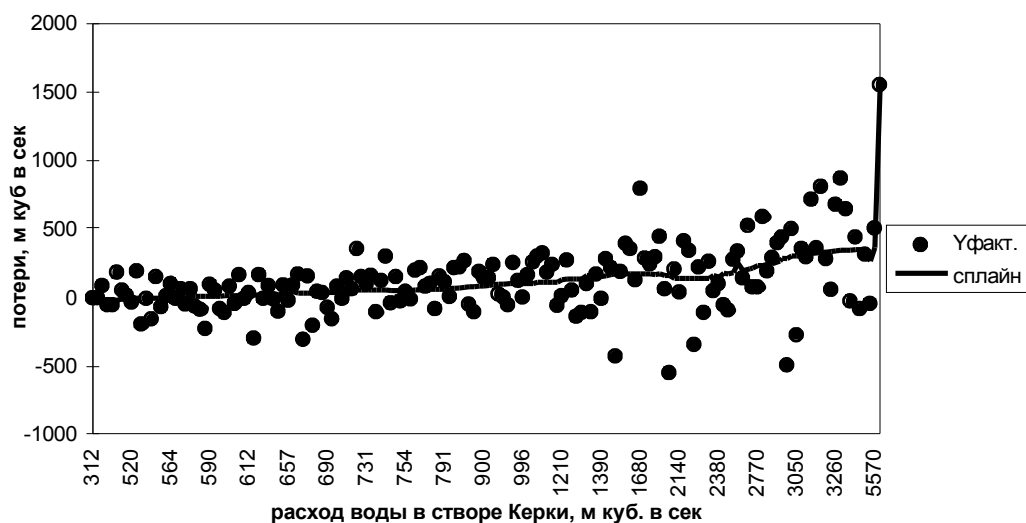


Рисунок 2. Зависимость потерь на участке Амударьи от г.Керки до в/п. Ильчик от расхода воды в створе г.Керки.

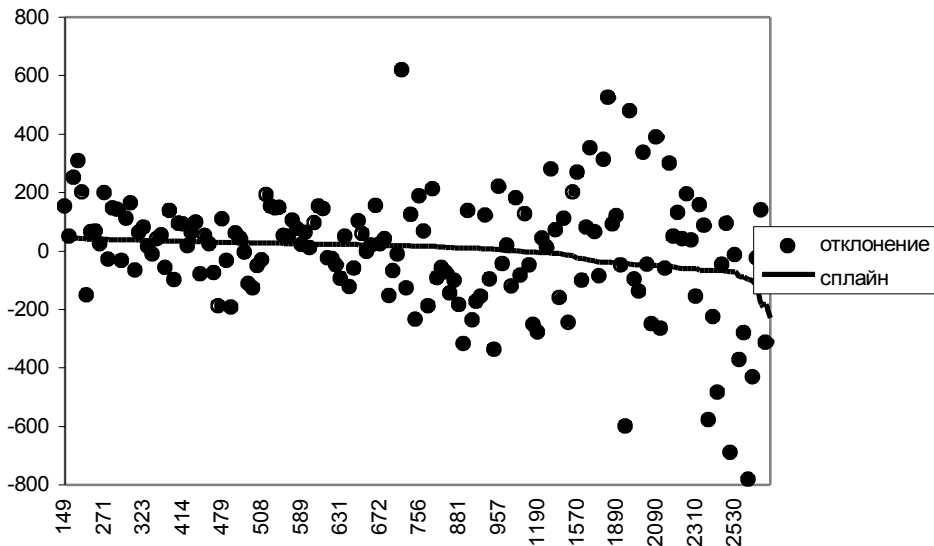


Рисунок 3. Зависимость отклонения после первого шага от расхода воды в створе Ильчик

На заключительном этапе после преобразования переменных и построения линейной регрессионной модели (методом наименьших квадратов) общее уравнение искомой зависимости будет иметь вид:

$$Y = -96.97 + (1.86 \pm 0.17)f_1(x_1) + (3.65 \pm 0.55)f_2(x_3) + (1.04 \pm 0.33)f_3(x_2)$$

где  $f_1(x_1)$ ,  $f_2(x_3)$ ,  $f_3(x_2)$  кубические сплайны, имеющие значения коэффициентов свои для каждого переменных и интервалов.

Полученная модель была проверена на независимом материале – массив 53 члена. Точность полученных результатов хорошо согласуется с точностью исходной информации – 25-35%. Исключение составляет одна точка, попадающая в интервал близкий к граничному – по видимому сказывается влияние способа задания граничных условий. Однако в силу локальных свойств сплайна влияние граничных условий существенно только вблизи концов отрезка и почти незначимо при удалении от них на несколько шагов сетки. Таким образом, в целом полученный результат вполне удовлетворительный. Коэффициент корреляции между фактическими и рассчитанными значения 0.65. Рисунок 4 иллюстрирует неплохое согласование фактических и рассчитанных потерь на участке.

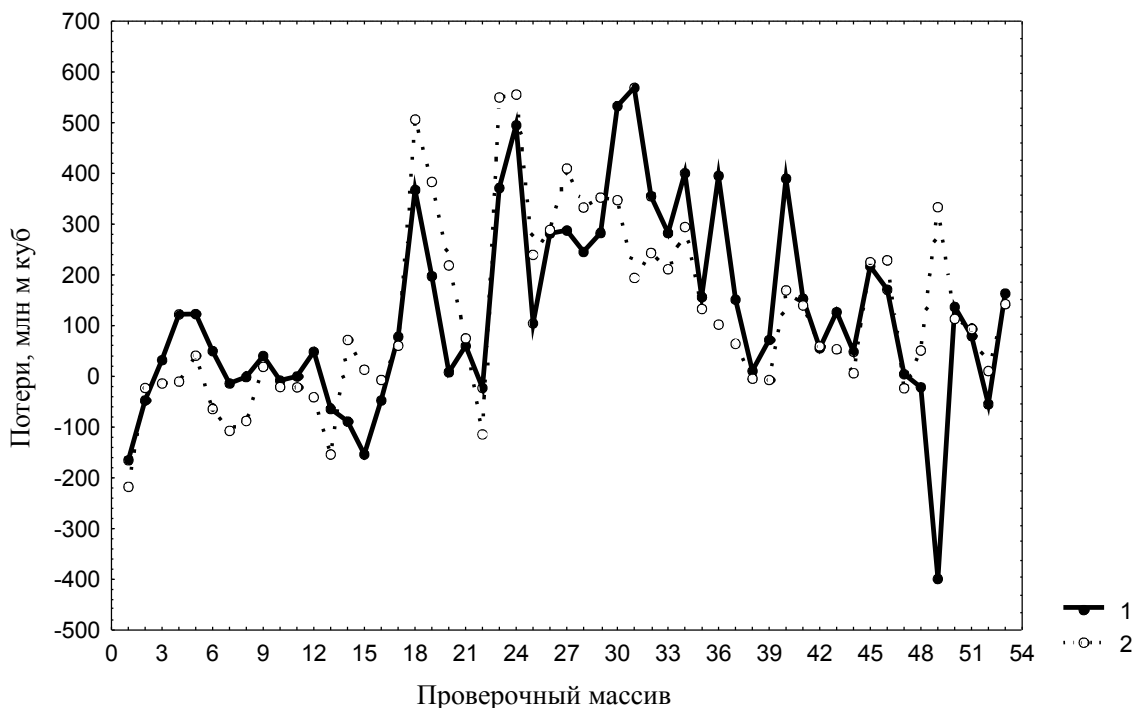


Рисунок 4. Фактические (1) и рассчитанные (2) потери воды на участке р.Амударьи г.Керки- в/п. Ильчик

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее применения. М.: Мир, 1972. 316с.
2. Вагер Б.Г., Серков Н.К. Сплайны при решении прикладных задач метеорологии и гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 160 с.
3. Исмайлов Г.Х., Шаталова К.Ю. Исследование возможности применения сплайнов для формализации гидрологических процессов при решении водохозяйственных задач.// Водные ресурсы, 2003. Том 30, № 2. С.245-249
4. Исмайлов Г.Х., Шаталова К.Ю. Формализация гидрологических особенностей в моделях управления водохозяйственными системами //Сб. Водные проблемы на рубеже веков, М.: Наука, 1999г. С.279.-290
5. Константинов А.Р., Химин Н.М. Применение сплайнов и метода остаточных отклонений в гидрометеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. 184с.
6. Проскуряков А.К. Водный баланс р. Амударьи на участке от г. Керки до г. Нукуса. Л., Гидрометеиздат, 1953. 90 с.
7. Шульц В.А. Реки Средней Азии. Т.т. 1,2. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 690 с.