

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ВОДОДЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА СТОКА ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

**Наврузов С.Т., Мусинов А.С.**

*(Технологический университет Таджикистана, Душанбе, Таджикистан)*

Статья посвящена проблеме рационального использования водных ресурсов трансграничных рек Центральной Азии с учетом изучения закономерности изменения речного стока.

Изменение водности рек по времени, как правило, не совпадает с режимом водопотребления и водоиспользования, что вызывает необходимость организации регулирования речного стока водохранилищами. С ростом их числа на реках увеличивается сложность их оптимального проектирования и эксплуатации.

Для того чтобы с определенной точностью прогнозировать речной сток необходимо широко использовать новые математические методы в гидрологических исследованиях. Особую актуальность эта проблематика приобретает сейчас, когда на базе новой компьютерной технологии, можно разработать автоматизированные системы по моделированию гидрологических рядов.

Рассмотрим вероятностную модель речного стока, базовую основу которой составляет так называемые исторические ряды наблюдения за речным стоком. Задача заключается в нахождение закономерности изменения речного стока, и прогнозирование стока на определенный период в будущем.

Считается, что поступление воды в водохранилище носят случайный характер. Вероятностная модель приточности строится на базе исторического ряда наблюдений, который будем обозначать

$$\bar{V} = \{V^k(t); t = 1, 2, \dots, T; k = 1, 2, \dots, n\}.$$

Построение модели проводится методом фрагментов [1]. Сначала определяется годовой объем поступления воды, а затем формируется распределения этого объема по интервалам  $t$ . Для этого предварительно подсчитывается годовой объем  $V^k = \sum_{t=1}^T V^k(t)$

притока года  $k$  из исторического ряда  $V$  и средний многолетний объем притока  $\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n V^k$ . Далее определяется процесс скользящего среднего для коэффициентов

$\chi_i$  водности года  $i$  (для смоделированного года  $i$ ):

$$\chi_{i+1} = \xi_i + \gamma(\xi_{i-1} - 1), \quad i = 1, 2, \dots,$$

где  $\xi_0 = 1$ , а  $\xi_i$  при  $i > 1$  независимые, одинаково распределенные случайные величины с математическим ожиданием  $M\xi_i = 1$ .

Считается что, величина,  $\xi_i$  распределенная по закону Пуассона III рода (двух параметрической гамма-распределение). В водохозяйственной практике обычно берется срезка распределения и считается, что  $\xi_i$  может принимать значения на некотором отрезке  $[\xi^-, \xi^+]$ ,  $\xi^- > 0$ ;  $\xi^+ < \infty$ .

Последовательность случайных величин  $\chi_1, \chi_2, \dots$  определяет последовательность случайных годовых притоков

$$\bar{V}_i \cong \chi_i \cdot \bar{V}, \quad i = 1, 2, \dots$$

Далее по значению  $\bar{V}_i$  определяется группа лет исторического ряда с заданными пороговыми значениями  $\rho_1 < \rho_2$ , выделяющими маловодные, средневодные и многоводные годы. Соответствующие группы обозначим  $K_1, K_2, K_3$ :

$$\begin{aligned} K_1 &= \left\{ k \mid \bar{V}^k < \rho_1 \right\}, \\ K_2 &= \left\{ k \mid \rho_1 \leq \bar{V}^k < \rho_2 \right\}, \\ K_3 &= \left\{ k \mid \bar{V}^k \geq \rho_2 \right\}. \end{aligned}$$

Внутригодовое распределение для года  $i$  со случайным объемом  $\bar{V}_i$  определяется равновероятным выбором  $\tilde{k}$  из соответствующей группы  $K_j$ :

$$\tilde{v}_i(t) = \frac{\bar{V}_i}{V^{\tilde{k}}} \cdot v^{\tilde{k}}(t).$$

Таким образом, получается случайная последовательность поступления воды в водохранилище

$$\left\{ \tilde{v}_i(t), t = 1, \dots, T \right\}, i = 1, 2, \dots,$$

вероятностное описание которой полностью определено.

**Компьютерное моделирование.** Разработана компьютерная модель на базе выше описанной математической модели прогнозирования гидрологических рядов. Компьютерный инструментарий разработан на основе объектно-ориентированного языка *Borland Delphi*.

I. Первый этап включает анализ многолетних гидрографов среднегодового стока отдельных рек бассейнов Амударьи и Сырдарьи, по работам [2].

Отметим многолетнюю тенденцию к незначительному увеличению стока рек, для которых доля ледникового питания существенна (реки Нарын, Зеравшан, Вахш, Пяндж). Для рек, формируемых сток главным образом за счет сезонных осадков, тренды не выражены. Подобные колебания водности формируют общий естественный фон многолетних изменений стока рек, характерный для рядов в 40-70 лет и более. На этот фон, как показывают наблюдения, накладываются более резкие короткопериодические колебания. Таким образом, гидрологические тренды построенные для периодов различной длины могут отличаться друг от друга.

Предлагаемый нами подход к построению рядов естественного стока рек бассейнов Амударья и Сырдарья на ближайшую перспективу (20 лет), учитывающий влияние возможного изменения климата, основывается на анализе исследований, выполняемых ранее [3-5]. Суть подхода заключается в следующем.

При построении гидрологических трендов на будущее будем придерживаться концепции цикличности колебаний природных процессов, используя наблюдаемые ранее ряды естественного стока рек. Цикличность рассматривается не как простое периодическое повторение наблюдаемых явлений, а как поступательное развитие, на которое накладываются климатические отклонения.

Мы отказались от применения стохастической концепции колебаний стока, исходящей из предпосылки, что процесс стока случаен, и описать его можно с помощью методов теории вероятностей и математической статистики, поскольку точность таких прогнозов на краткосрочный период невысока.

Методология построения гидрологических рядов на краткосрочный период основывается на раздельном построении гидрологического тренда и отклонений от него, вызванных климатическим фактором.

$$\tilde{V}_i = k \cdot V_{i-\Delta i}, i = 1, (i + \Delta i)$$

где:  $\tilde{V}_i$  - прогностический гидрологический ряд стока реки,  $V_{i=\Delta i}$  - наблюдаемый и гидрологический ряд стока реки, предшествующий прогностическому,  $\Delta i$  - период прогноза, совпадающий по длительности с предшествующим наблюдаемым,  $k$  - коэффициент, учитывающий влияние климатических факторов.

Для проведения компьютерного моделирования, предполагаем, что гидрологическую основу прогнозных рядов составляют фактические гидрографы рек с шагом - сезон (вегетация: *апрель-сентябрь*, межвегетация: *октябрь-март*).

Корректировка данных рядов осуществляется исходя из следующих предположений:

- Влияние климата будет осуществляться как на объемы годового стока, так и на внутригодовое его изменение.
- За ориентир возможного изменения стока рек на перспективу (уровень 2020 года) можно принять результаты исследований, выполненных по оценке изменения водных ресурсов к 2030 году [2], основанные на анализе климатических воздействий на водные ресурсы зон формирования.
- Климатическое изменение стока для 2020 года можно выразить в виде характеристик (в относительных величинах к норме), поправляющих. (уменьшающих или увеличивающих) норму стока за расчетные сезоны.
- Интерполяция климатических поправок, корректирующих прогнозный ряд, на период 2001 - 2020 годы может осуществляться по принятому типовому распределению.
- Типовое распределение климатических поправок может быть получена по анализу трендов изменения естественного стока рек характерного периода потепления.

Таким образом, по оценкам [2], к 2020 году для всех рек региона ожидается незначительное уменьшение вегетационного стока (по сравнению с нормой). В межвегетационный период для некоторых рек (Чирчик, Зеравшан) следует ожидать незначительное увеличение стока, а для некоторых рек (Нарын, Карадарья, Вахш) уменьшение.

При этом особо следует, отметить развитие и разработка сценария водodelения между государствами, которая базируется на формировании приточности в основных реках трансграничного бассейна Сырдарья и Амударья. Математические основы управления трансграничными водными ресурсами подробно представлены в работах [7-10].

**II.** Второй этап включает разработку компьютерной инструментари для моделирования гидрологических рядов с удобным интерфейсом пользователя.

Пользователю предоставляется возможность выбора периодов, как для исторических рядов наблюдений, так и для прогнозируемых рядов. Анализ осуществляется путем сравнения спрогнозированного притока с притоком из набора наблюдаемых данных.

Полученные данные, для реального водохозяйственного объекта - трансграничного бассейна реки Сырдарья, свидетельствуют о высокой точности предложенного метода. Простой и удобный интерфейс пользователя делать работу с системой весьма эффективной и наглядной. Формы основных блоков системы с соответствующим интерфейсом пользователя представлены на рис. 1-4.



Рис. 1

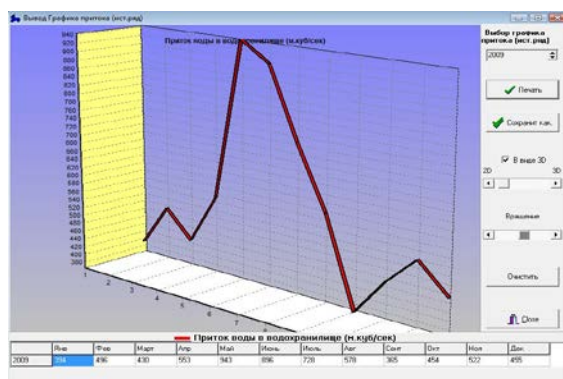


Рис. 2.

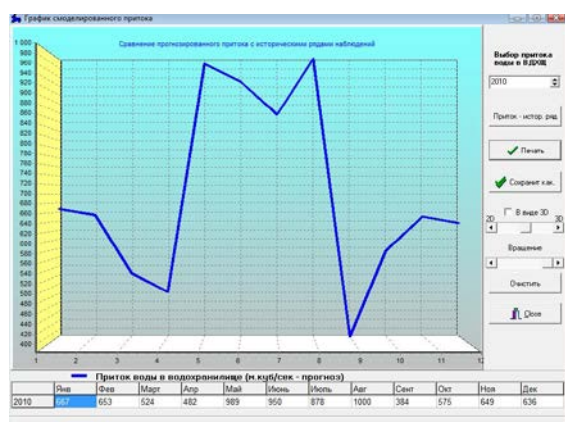


Рис. 3



Рис. 4.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты .Л.: Гидрометеиздат, 1952., 391 с.
2. Влияния изменения климата на водные ресурсы в Центральной Азии//Обобщенный отчет. ИК МФСА., 2009.- 57 с.
3. Алексеев Г.А. Совместное моделирование временных рядов на основе нормализации законов распределения. //Водные ресурсы. 1979. №1.
4. Бусалаев И.В. Сложные водохозяйственные системы: методы гидрологического обоснования моделирования и оптимизации решений. Алма-Ата. 1980.
5. Захаров В.П., Ким В.Я. Непрерывная периодичность гидрологического процесса как основа водохозяйственных расчетов. «Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства». Алма-Ата, 1963. Вып.1.
6. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. Л., 1977.
7. Наврузов С.Т. Расчет правил управления каскадом водохранилищ ирригационно-энергетического назначения. М., Академия наук СССР, 1986 г., 25 с.
8. Наврузов С.Т. Диалоговая имитационная система управления каскадом водохранилищ. М., Академия наук СССР, 1990 г., 25 с.
9. Наврузов С.Т. К вопросу о моделирование трансграничных водных ресурсов. Материалы второй международной конференции "Математическое моделирование и компьютерные эксперименты" ISMMSE. Душанбе, 11-15 октября 2000 г.
10. Наврузов С.Т. Математические модели управления водными ресурсами трансграничных рек (на примере Центральной Азии). – Душанбе.: Дониш, 2010.-234 с.