

УДК 551,48(584,5):519,24/27

Г.Н.Петров

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ВОДНОГО СТОКА РЕКИ ВАХШ*(Представлено членом-корреспондентом АН Республики Таджикистан А.Р.Файзиевым 23.11.2007 г.).*

Энергетика Таджикистана сегодня на 95% основана на использовании гидроэнергоресурсов речного стока. Согласно принятой правительством республики стратегии экономического развития, такое же место гидроэнергетика будет занимать и в будущем.

При этом речные водные ресурсы отличаются большой изменчивостью - среднегодовое количество стока даже наиболее крупных рек может меняться от года к году в два и более раз. Естественно, что в таких же пропорциях будет меняться и потенциально возможная годовая выработка электроэнергии на сооружаемых на таких реках гидроэлектростанциях. Поэтому прогноз многолетней водности рек очень важен для планирования работы ГЭС и определения её экономических показателей.

В настоящей статье рассматривается вопрос долгосрочного прогноза реки Вахш. Эта река протекает через весь Таджикистан с северо-востока на юго-запад, пересекая все основные высотные и климатические пояса и вбирая в себя по пути большое количество крупных и мелких притоков. Поэтому водный сток Вахша и его изменчивость являются характерными для всего Таджикистана [1]. Одновременно р. Вахш обладает очень большим гидроэнергетическим потенциалом – 251.15 кВт.ч. в год [2]. На ней уже построена крупнейшая в республике Нурекская ГЭС, мощностью 3000 МВт, с самой высокой в мире каменно-земляной плотинной (300 м), Байпазинская ГЭС, мощностью 600 МВт. и каскад Вахшских ГЭС из трех станций, общей мощностью 300 МВт. Строятся Сангтудинские ГЭС 1 и 2, мощностью соответственно 670 и 220 МВт и Рогунская ГЭС, мощностью 3600 МВт. В дальнейшем планируется возведение еще 10 новых ГЭС, с доведением общей мощности всех гидроэлектростанций в бассейне р. Вахш до 14980 МВт, с годовой выработкой электроэнергии – 53,36 млрд. кВт.ч. в год [3].

Гидрологическое изучение реки Вахш началось в 30-х годах прошлого века. В табл. 1 приведены результаты таких наблюдений для гидропоста Комсомолабад, который расположен на участке реки между самыми крупными Рогунской и Нурекской ГЭС, для которых этот гидропост является базовым для всех водно-энергетических расчетов.

Как известно, общая изменчивость речного стока определяется тремя факторами:

- трендом, связанным с общим глобальным изменением климата;
- циклическими изменениями, связанными с такими же климатическими циклами;
- случайными колебаниями.

Рассмотрим прежде всего влияние на водность р. Вахш глобального изменения климата. На рис. 1 показан график изменений годового стока реки на г/п Комсомолабад за весь период наблюдений, построенный на основании табл. 1. Для большей наглядности на оси ординат этого графика отложены не сами объемы стока, а их отклонения от среднегодовой за весь период величины:

$$\Delta W_t = W_t - W_{cp} = W_t - 20.180,$$

где: W_t – общий водный сток за t -й год, км^3 , $W_{cp} = 20,180 \text{ км}^3$ – среднеегодовое значение водного стока реки за весь период наблюдений с 1932 по 2005 г. км^3 .

Таблица

Наблюденный годовой сток р. Вахш (г/п Комсомолабад)

Год, t	Сток, км^3	Год, t	Сток, км^3	Год, t	Сток, км^3	Год, t	Сток, км^3	Год, t	Сток, км^3
1932	20.293	1947	16.768	1962	16.643	1977	18.471	1992	22.080
1933	19.537	1948	22.011	1963	18.746	1978	20.625	1993	22.320
1934	21.827	1949	24.812	1964	20.856	1979	18.677	1994	24.909
1935	19.400	1950	18.844	1965	16.294	1980	21.104	1995	18.524
1936	20.669	1951	17.058	1966	21.065	1981	18.157	1996	20.039
1937	20.714	1952	23.212	1967	17.664	1982	16.189	1997	19.028
1938	17.954	1953	22.730	1968	19.218	1983	18.351	1998	26.445
1939	18.742	1954	22.518	1969	27.622	1984	20.486	1999	21.312
1940	16.702	1955	18.289	1970	21.678	1985	19.706	2000	17.830
1941	23.204	1956	22.814	1971	18.594	1986	15.960	2001	19.426
1942	24.672	1957	15.434	1972	16.030	1987	22.356	2002	22.737
1943	21.559	1958	22.944	1973	24.551	1988	23.695	2003	20.751
1944	21.462	1959	22.568	1974	14.950	1989	14.519	2004	20.555
1945	22.520	1960	20.208	1975	17.775	1990	20.503	2005	22.045
1946	19.627	1961	18.475	1976	17.797	1991	19.456	-	-
								средн.	20.180

Показанная на этом же графике линия тренда с высокой точностью описывается уравнением:

$$\Delta W = f(t) = - 0.0006t + 0.0209$$

Угловый коэффициент этого линейного тренда (0.0006) практически равен нулю. Это говорит о том, что в бассейне реки Вахш за последние 75 лет не наблюдалось какой-либо общей изменчивости стока, который можно было бы объяснить глобальным изменением климата. Дополнительным доказательством этого является пренебрежительно малое значение для показанной на рис.1 линии тренда (регрессии) коэффициента детерминации R^2 , равное 0.00002.

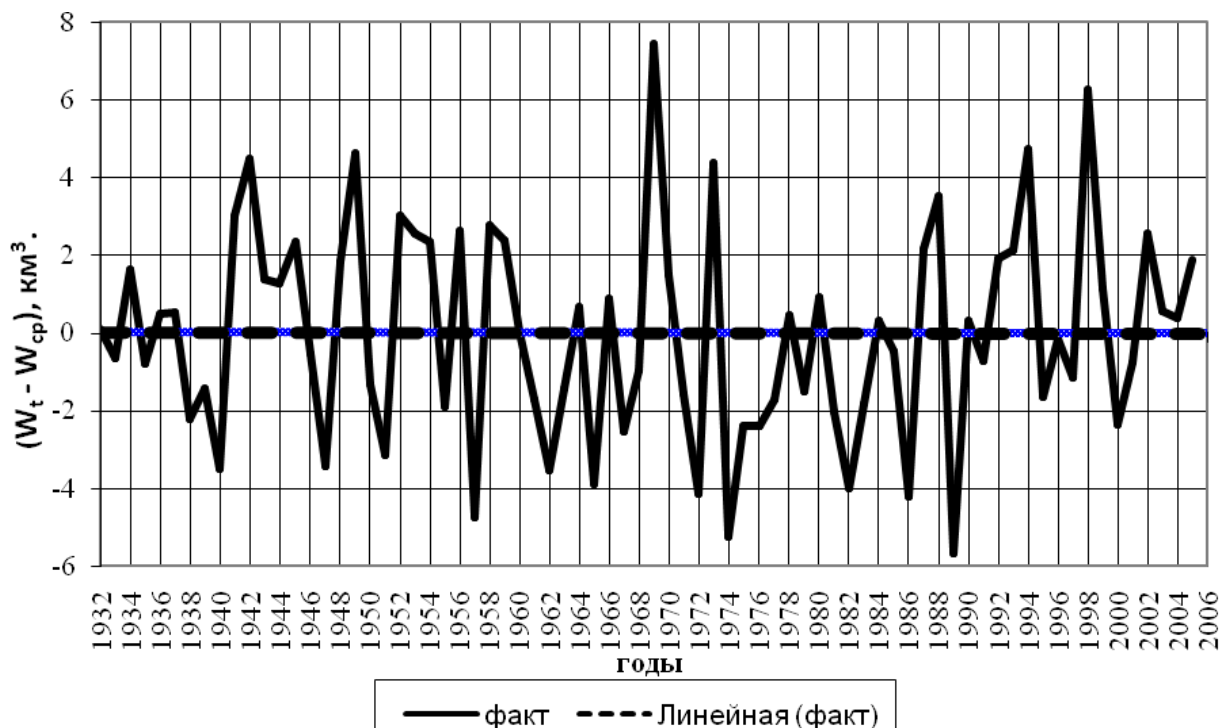


Рис. 1. Фактическая водность реки Вахш.

Отсутствие общей изменчивости стока реки Вахш за весь период наблюдений может быть связано как с отсутствием влияния на достаточно замкнутый бассейн реки глобальных мировых процессов потепления, так и компенсацией их другими факторами, как природными, так и антропогенными. К последним нужно прежде всего отнести интенсивное орошение, имевшее место как раз в последние три четверти века.

Для оценки циклических изменений стока реки Вахш на рис. 2 построен график изменения во времени накопленных алгебраических разностей годовых стоков от их среднеголетнего значения:

$$\sum_{t=1932}^{2006} \Delta W_t = f(t).$$

Этот график хорошо показывает наличие циклической изменчивости стока реки Вахш с периодом 66 лет – началом одного цикла является 1939, концом – 2005 год.

Математически такую цикличность можно представить рядом Фурье с разложением по синусам:

$$\sum_{t=1939}^{2005} \Delta W_t = a_0 + \sum_{n=1}^4 a_n \sin n\pi T_{\text{норм}} , \quad (1)$$

где: $T_{\text{норм}}$ – нормированный год, вычисляемый по зависимости:

$$T_{\text{норм}} = (t - 1939)/T_{\text{цикл}},$$

$$T_{\text{цикл}} = (2005 - 1939) = 66 - \text{период цикла}$$

$$a_0 = -0.54595$$

$$a_1 = 1.967158$$

$$a_2 = 10.88016$$

$$a_3 = -2.11901$$

$$a_4 = 0.158375$$

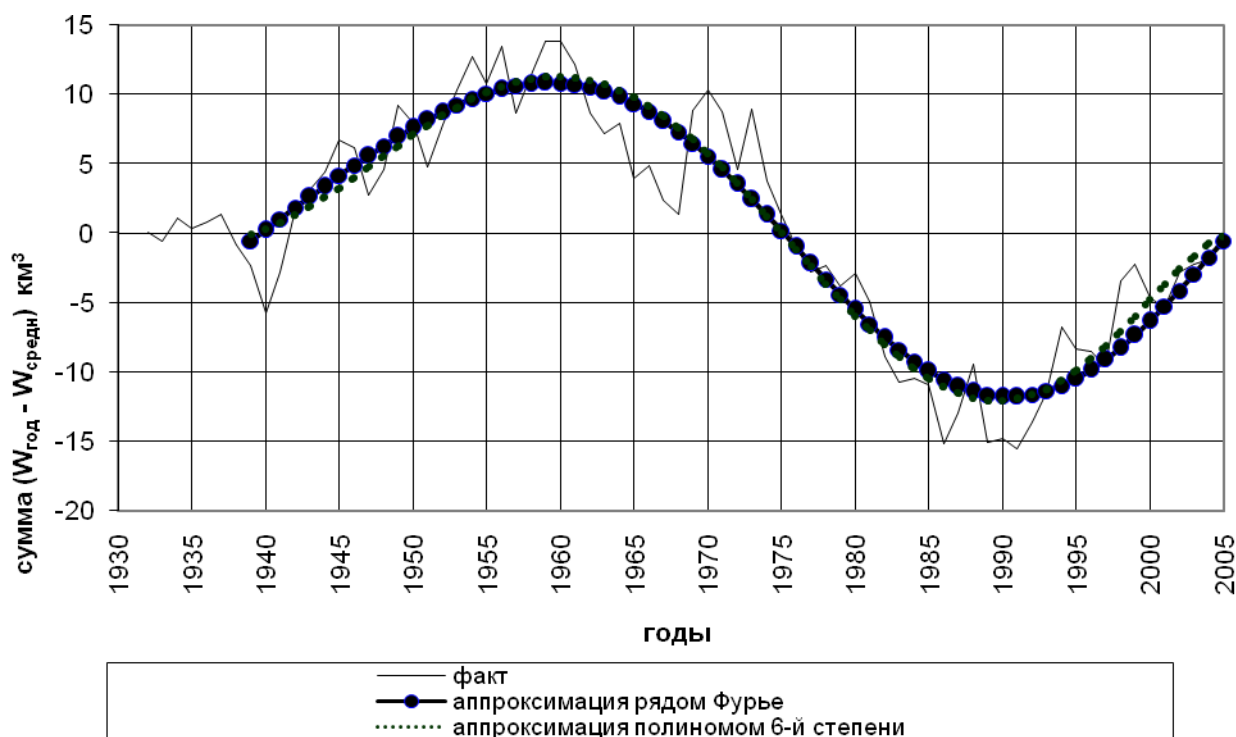


Рис. 2. Циклическая изменчивость стока р. Вахш.

Количество членов в формуле (1) ряда Фурье выбрано равное четырем на основании предварительного анализа, показавшего, что дальнейшее их увеличение не приводит к сколько-нибудь заметному повышению точности регрессии.

Коэффициент детерминации для аппроксимации циклических колебаний стока р. Вахш уравнением (1), $R^2 = 0.887$, что существенно больше минимально необходимого для технических приложений значения 0.7.

Высокая значимость регрессии изменчивости подтверждается проверкой с использованием F-критерия Снедекора. Вычисленное его фактическое значение, 121.29 существенно больше критического, равного 11.93 даже для уровня значимости $<3E-07$.

Точность представления циклической изменчивости водности стока реки Вахш рядом Фурье по формуле (1) такая же, как аппроксимация ее полиномом 6-й степени:

$$\sum_{N=1}^{66} \Delta W_N = a_0 + a_1 N^1 + a_2 N^2 + \dots + a_6 N^6, \quad (2)$$

где: N – номер года, $N = 1, 2, \dots, 66$, соответственно для конкретных годов: 1939, 1940, ..., 2005.

Но использование зависимости (2) не только технически сложнее, так как требует для входящих в нее коэффициентов 15 знаков после запятой, но просто неприменима для экстраполяции за пределы исследованного цикла: 1932-2005 гг., то есть для прогноза будущего стока, что является главной задачей настоящего исследования.

Случайные колебания водного стока по самому своему определению представляют собой изменения, связанные с неучтенными или невыявленными факторами. Так, до выполненного выше анализа все колебания, представленные на рис. 1, можно было считать случайными. После выделения циклических колебаний случайными будут уже только отклонения от линии цикла (рис. 2). При этом их величина существенно, практически на порядок, уменьшается. Регрессионный анализ показывает, что полная сумма квадратов отклонений для графика зависимости водного стока от времени равна:

$$SS = 4670.46.$$

В то же время сумма квадратов остатков отклонений от регрессии равна всего:

$$SS_2 = 529.223,$$

то есть среднеквадратическое отклонение отдельных значений водного стока от линии цикла равно:

$$\sqrt{\frac{SS_2}{n-k-1}} = \sqrt{\frac{529.223}{66-4-1}} = 2.95,$$

тогда как среднеквадратическое отклонение для общей кривой на рис. 2 равно 8.00.

Все это показывает, что выявленная нами цикличность может служить достаточно надежным основанием для долгосрочного прогноза стока реки Вахш.

Такой прогноз на период до 2072 г., рассчитанный по уравнению (2), приведен на рис. 3. Видно, что до 2020 г. водность реки Вахш будет выше средней примерно на 0.7 км³, а затем наступит маловодный период, который продлится до 2050 г.

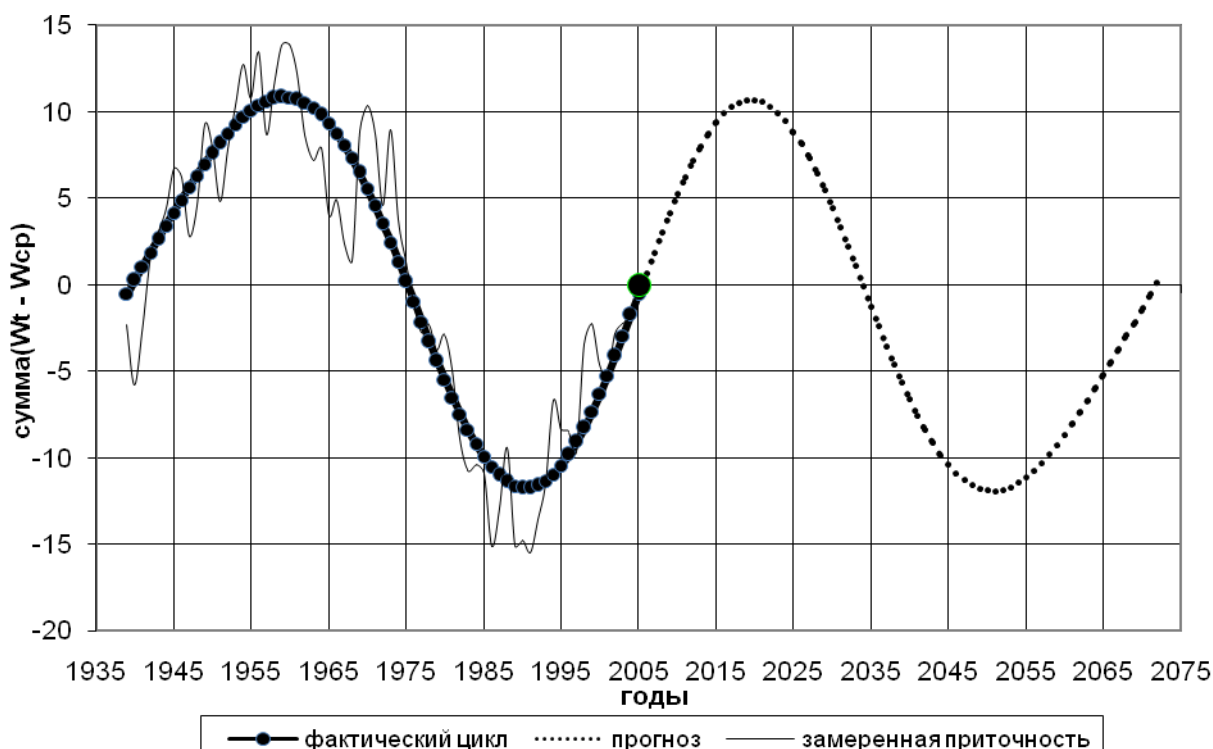


Рис. 3. Прогноз водного стока р. Вахш.

Учет такого прогноза в деятельности энергокомпании Таджикистана может существенно повысить ее эффективность за счет более точного планирования возможной выработки электроэнергии как на действующих, так и на строящихся, и даже планируемых ГЭС.

Конечно, сделанный в настоящей работе на основании наблюдений только за одним циклом многолетних колебаний прогноз водности реки Вахш требует дальнейших уточнений. Необходим мониторинг за стоком также других рек и выявление связи его с конкретными климатическими параметрами. Но даже в таком виде сделанный прогноз может быть полезен для практического использования.

Институт водных проблем,

Поступило 23.11.2007 г.

гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Г.Н., Норматов И.Ш., Леонидова Н.В. – Водные ресурсы Центральной Азии, 2004, №1, с.35-49.

2. Абдуллаева Ф.С. и соавт. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. Л.: Недра, 1965, 658 с.
3. Petrov G. – Tajikistan's Energy Projects: Past, Present and Future, 2004, №5(29), p.93-103.

Г.Н.Петров

ПЕШГЌИИ ДАРОЗМУЌЛАТ ОИДИ ҲАҶМИ МАҶРОИ ДАРЌИ ВАХШ

Мақолаи мазкур пешгўии дарозмуддати ҳаҷми маҷрои дарёи Вахшро дар асоси мушоҳидаҳои дақиқ, ки дар муддати 75 сол ҳисоб карда шудааст дарбар гирифта, инчунин маълумотҳои бадастомада барои истифода дар таҳияи Стратегияи рушди гидроэнергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба мақсад мувофиқ мебошанд.

G.N.Petrov

THE LONG-TERM FORECAST OF THE RIVER VAKHSH DISCHARGE

In article, on the basis of the factual data analysis for the 75-years period, the long-term forecast of the river Vakhsh discharge is developed. The forecast can be useful by strategy development of water-power engineering evolution of Tajikistan.