

УДК 626.81-84(575.3)

Г.Н.ПЕТРОВ, А.КУРБАНОВ*

ОПЕРАТИВНЫЙ ПРОГНОЗ СТОКА РЕКИ ВАХШ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НУРЕКСКОГО ГИДРОУЗЛА

Из всех видов энергоресурсов Таджикистан обладает в достаточном количестве только гидравлической энергией рек. Потенциальные запасы гидроресурсов только крупных и средних рек республики равны 527 млрд. кВт.ч. в год, из которых сегодня освоено только 3% [1]. При этом гидроэнергия является возобновляемым и экологически чистым источником энергии, которая к тому же существенно дешевле всех других видов промышленной энергии - газовой, нефтяной, угольной и атомной.

Но при всех своих неоспоримых преимуществах, гидроэнергия рек обладает одним очень существенным недостатком - изменчивостью во времени. Например, для реки Вахш, одной из основных рек Таджикистана, на которой построена Нурекская ГЭС, мощностью 3000 МВт, с самой высокой в мире земляной плотиной (300 м), годовой сток за 75-летний период наблюдений изменялся более, чем в 2 раза, среднемесячные расходы воды в реке – более, чем в 17 раз, а расчетные паводковые расходы по сравнению с минимальными меженными – более, чем в 60 раз.

В то же время потребности в электроэнергии в республике почти постоянны в течение всего года. Это требует выравнивания колебаний естественного стока реки за счет строительства водохранилищ. Но для полного выравнивания речного стока требуется сооружение большого количества плотин. Например, для реки Вахш с ее основными притоками – реками Сурхоб и Обихингоу, для этого требуется более 35-ти плотин высотой 100 м [2].

В этих условиях эффективное использование гидроресурсов реки Вахш Нурекской ГЭС возможно, только если имеется надежный прогноз водного стока на достаточный период времени. Только при наличии прогноза возможно полное использование для выработки электроэнергии всего речного стока путем наполнения водохранилища до максимальной отметки в период паводка с аккумуляцией воды для максимально возможной выработки электроэнергии в осенне-зимний, наиболее холодный период года.

В настоящее время в Таджикистане резко сократились наблюдения за ледниками и снеговыми запасами, являющимися основными источниками питания всех крупных рек. При этом количество гидропостов также сократилось со 150 до 80. В результате на-

дежность прогнозов речного стока резко снизилась. Она совершенно недостаточна для эффективного планирования режимов работы Нурекской ГЭС - основной ГЭС Таджикистана, на которой вырабатывается почти 80% всей электроэнергии в стране.

Настоящее исследование посвящено разработке оперативного прогноза речного стока р. Вахш с целью повышения эффективности работы Нурекской ГЭС. Исходными данными для такого прогноза являются среднемесячные расходы реки в створе ближайшего к Нурекскому гидроузлу гидропоста Комсомолабад.

У гидроэнергетиков-практиков существует мнение, что в большинстве рек многоводные и маловодные годы наблюдаются не изолированно, а в виде циклов: несколько маловодных рек подряд, затем несколько многоводных и т. д. Если это так, то такая цикличность может служить основой прогноза и водность каждого последующего года может определяться по водности предыдущего или предыдущих.

Для проверки этой гипотезы на рис. 1 представлен график среднегодовых расходов реки Вахш за 1932÷2006 годы. Видно, что годы разной водности чередуются случайным образом и невозможно выделить какие-либо отдельные циклы многоводных, средних и маловодных лет. Значимость корреляции годовых расходов воды в реке во времени при этом очень низкая, значение R^2 равно всего 0.0219, то есть близко к нулю.

В регрессионном анализе значение R^2 характеризует тесноту корреляционной связи - чем R^2 ближе к единице, тем эта связь теснее [3].

Таким образом, эта гипотеза о наличии связи между водностью соседних лет не подтверждается, во всяком случае, для реки Вахш.

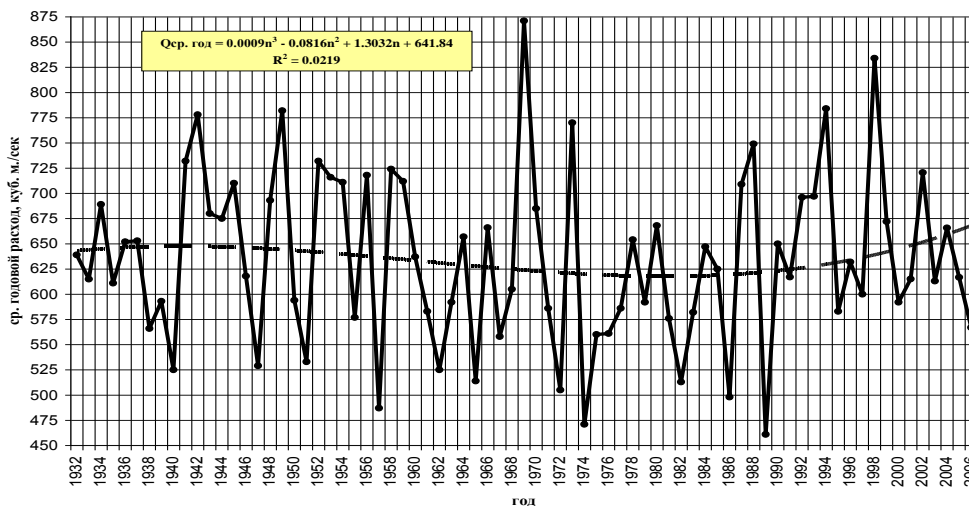


Рис.1. Среднегодовые расходы р.Вахш (г/п Комсомолабад) за 1932-2006 гг.

Рассмотрим теперь другую гипотезу, заключающуюся в том, что сток реки формируется за счет пропорционального вклада в него всех месячных стоков. То есть в многоводные годы сток в каждом отдельном месяце больше, чем в аналогичном месяце ма-

ловодного года. Если это так, то должна существовать заметная связь между водностями отдельных месяцев года.

К сожалению, и эта гипотеза не подтверждается на практике. На рис. 2 приведены соответствующие величины значимости корреляции, R^2 между соседними месяцами для всего года. Они в среднем равны 0.4 и нигде не превышают 0.6, что ниже минимально допустимого для практического использования значения 0.7.

Еще более слабые связи существуют между объемами стоков отдаленных месяцев - значение R^2 для корреляции января с другими месяцами года, как показано на рис. 3, везде ниже 0.5.

Еще одним подтверждением отсутствия значимых связей между водностями отдельных месяцев является рис. 4, на котором показаны гидрографы реки Вахш наиболее характерных лет - многоводного, среднего и маловодного. Они показывают, что даже для таких крайних случаев гидрографы не располагаются четко один над другим, а пересекаются друг с другом.

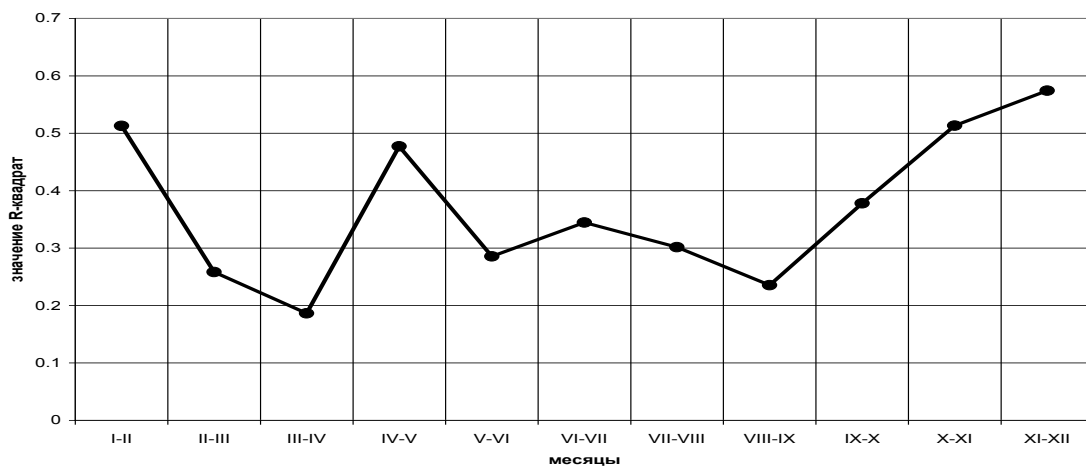


Рис.2. Значимость корреляции значений стока между двумя соседними месяцами.

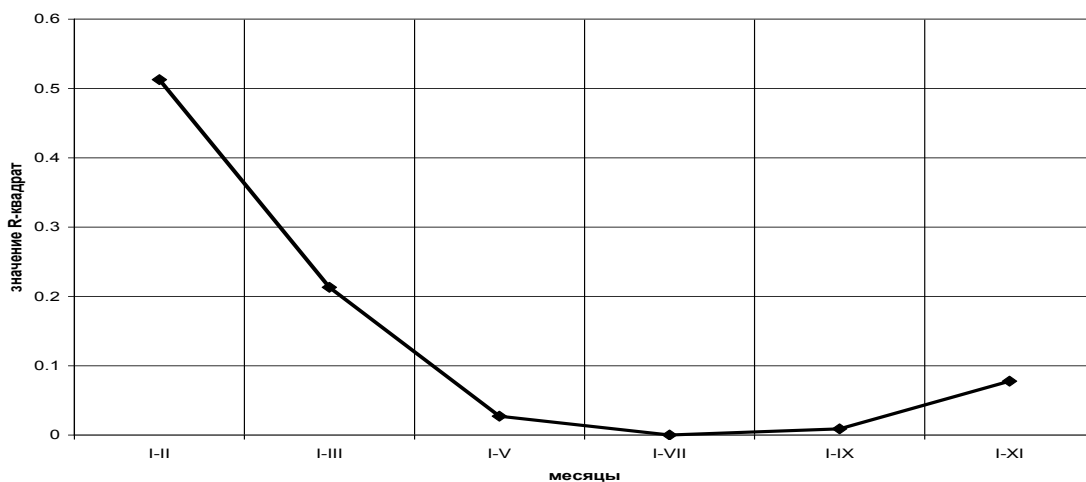


Рис. 3. Значимость корреляции значений стока января с отдаленными месяцами.

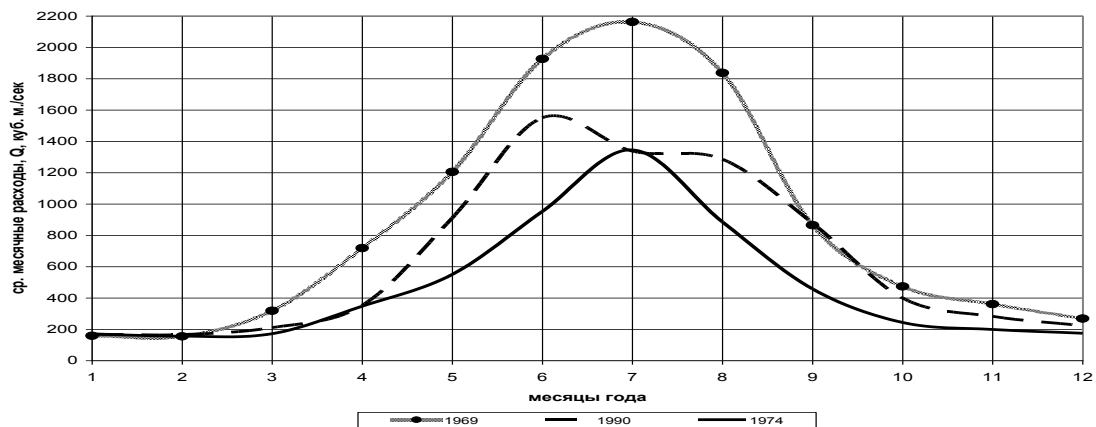


Рис. 4. Характерные гидрографы р. Вахш.

Рассмотрим теперь не объемы стока отдельных месяцев, а их накопленные суммы за период. Такие интегральные кривые годового стока для тех же характерных лет, что и на рис. 4, показаны на рис. 5. Видно, что в этом случае они для всех периодов года располагаются четко одна над другой, нигде не пересекаясь. Поэтому, в отличие от водности отдельных месяцев, суммарная водность за несколько месяцев является более представительной характеристикой годового стока.

При этом очевидно, что с увеличением числа месяцев, рассчитанный по их суммарному объему годовой сток должен все больше приближаться к действительному. Поэтому прогноз годового стока по суммарному объему стока за "n" начальных месяцев года имеет практический смысл, только если такой прогноз надежен уже при небольшом количестве месяцев, по которым он делается.

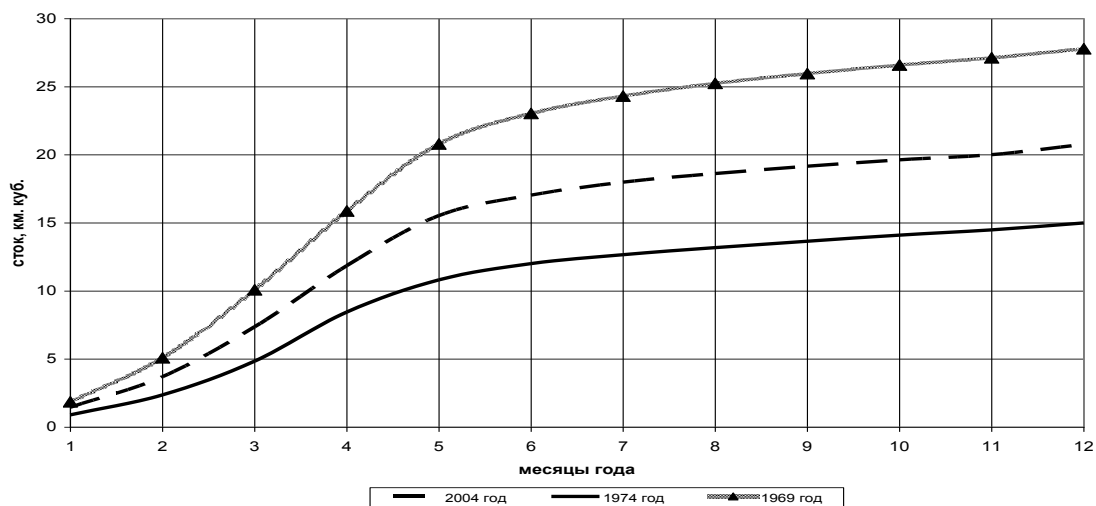


Рис.5. Характерные интегральные гидрографы стока.

Соответствующий график значений R^2 для последовательно возрастающих периодов наблюдения для календарного года: январь-декабрь показан на рис. 6. Хорошо видно, что точность прогноза годового стока в этом случае действительно очень быстро возрастает с увеличением количества месяцев, по объему стока которых он рассчитывался. При этом при 5-ти месяцах значение R^2 достигает 0.7 - минимально необходимого для практического применения значения, а дальше продолжает возрастать практически до 1.0. То есть для календарного года необходимая значимость корреляции годового стока от суммарного стока за "n" месяцев ($R^2 > 0.7$) достигается только с апреля месяца. Это говорит о том, что именно с этого периода начинается формирование годовой водности реки. Принятое же сегодня календарное начало года с 1-го января не связано с физическими процессами в природе. К сожалению, именно на основе календарного года сегодня осуществляется в Таджикистане все планирование экономической деятельности, в том числе и в энергетике.

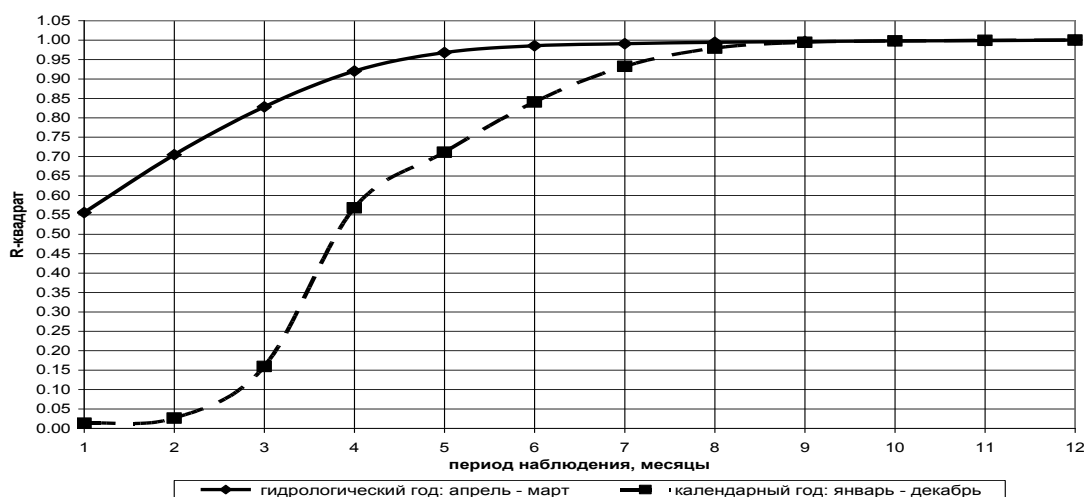


Рис. 6. Значения R^2 при прогнозе годового стока, в зависимости от периода наблюдения фактического стока.

Для подтверждения целесообразности переноса начала года на 1 апреля можно также вспомнить, что в народном календаре Востока начало года и праздник пробуждения природы Навруз, уже издревле приурочены как раз к этому времени - концу марта, началу апреля.

Еще одним аргументом в пользу такого переноса начала года является то, что такая сдвигка уже давно используется и в сельском хозяйстве, где выделяются два периода года по 6 месяцев: вегетационный – с 1 апреля по 30 сентября и межвегетационный – с 1 октября по 31 марта. Прогнозирование водности реки на основе гидрологического года, вместо календарного, является более целесообразным и с точки зрения самой гидроэнергетики, так как позволит планировать работу Нурекской ГЭС сразу для всего маловодно-

го, осеннее-зимнего сезона. Сегодня же оно заканчивается и начинается снова как раз в середине этого самого сложного периода – 31 декабря.

Значения критерия значимости уравнений регрессии для прогноза на основе гидрологического года приведены также на рис. 6. Видно, что действительно, в этом случае точность прогноза существенно повышается по сравнению с предыдущим вариантом, основанном на расчетах по календарному году и минимально необходимое для практического применения значение $R^2 = 0.7$ достигается уже при прогнозе не за 5, а только за 2 месяца.

Сделанный выше анализ позволяет получить для гидрологического года основные уравнения, по которым можно рассчитывать прогнозные значения общего годового стока, по фактически наблюдаемому его объему с начала года до определенного периода (за "n" месяцев). Они приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные уравнения для прогноза годового стока

Период наблюдения фактического стока	Уравнения прогноза стока
апрель	$W_{\text{год}} = 5.9388W_4 + 12.954$
апрель - май	$W_{\text{год}} = 2.9317W_{4-5} + 10.090$
апрель - июнь	$W_{\text{год}} = 1.9503W_{4-6} + 7.0814$
апрель - июль	$W_{\text{год}} = 1.3641W_{4-7} + 5.0705$
апрель - август	$W_{\text{год}} = 1.1877W_{4-8} + 2.6679$
апрель - сентябрь	$W_{\text{год}} = 1.1009W_{4-9} + 1.9077$
апрель - октябрь	$W_{\text{год}} = 1.0627W_{4-10} + 1.5692$
апрель - ноябрь	$W_{\text{год}} = 1.0464W_{4-11} + 1.1815$
апрель - декабрь	$W_{\text{год}} = 1.0272W_{4-12} + 0.9535$
апрель - январь	$W_{\text{год}} = 1.0160W_{4-12-1} + 0.6806$
апрель - февраль	$W_{\text{год}} = 1.0101W_{4-12-2} + 0.3776$

В уравнениях, приведенных в таблице 1:

$W_{\text{год}}$ – прогнозный объем годового стока, км³,

W_{4-k} – фактически наблюдаемый объем стока за период от начала гидрологического года ($n = 4$, апрель) до месяца "k" ($k > 4$).

Для более достоверной оценки точности предлагаемого метода по уравнениям табл. 1 были сделаны поверочные расчеты общего годового стока реки Вахш для всего периода фактических наблюдений: 1932÷2006 гг. и определены их ошибки по сравнению с фактическими данными.

Величины максимальных и средних ошибок прогноза общего годового стока реки Вахш для обоих рассматриваемых случаев приведены, соответственно, на рис. 7 и 8. При этом в обоих случаях, при расчете относительных ошибок прогноза приведены не их действительные значения, средние величины которых для всей выборки, очевидно, равны нулю, а их абсолютные значения.

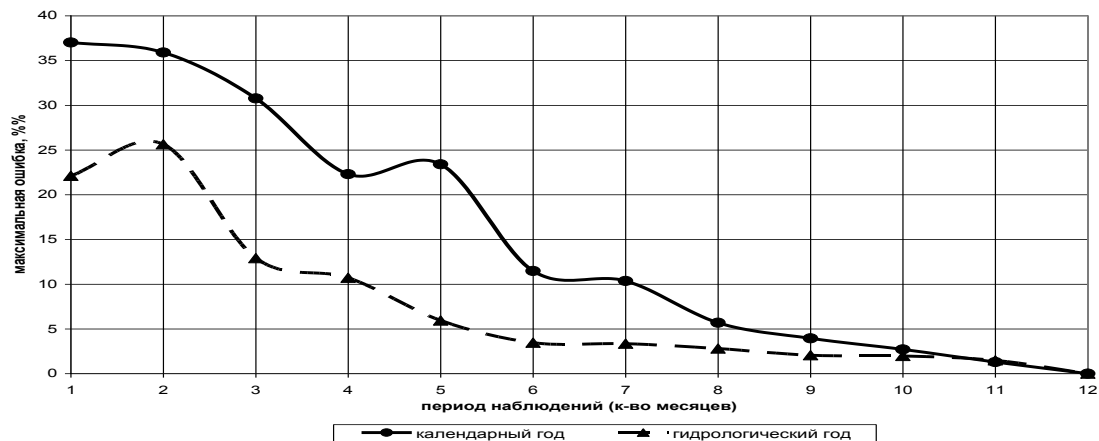


Рис. 7. Максимальные ошибки прогноза годового стока в зависимости от периода наблюдений.

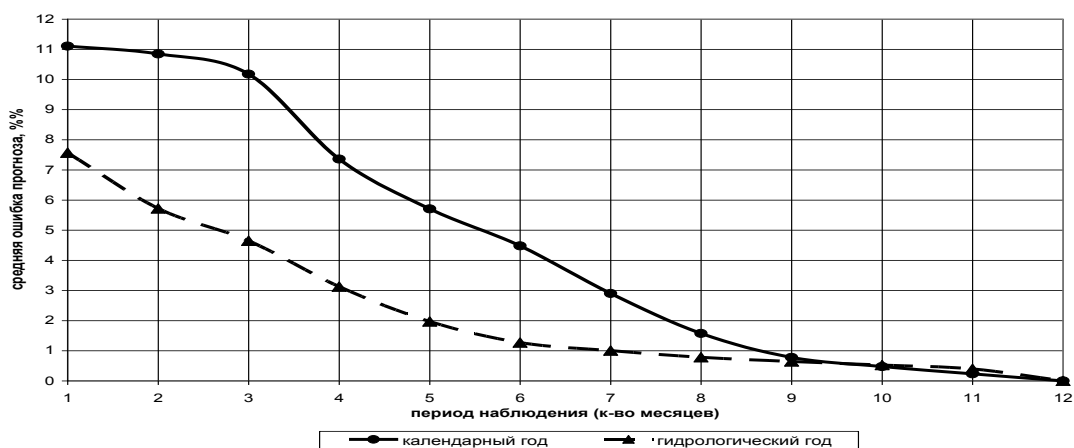


Рис. 8. Средние ошибки прогноза годового стока в зависимости от периода наблюдений.

Все эти данные показывают, что предлагаемый метод прогноза общего годового стока реки Вахш действительно обладает высокой точностью. При этом безусловным преимуществом обладает вариант прогноза, основанный на использовании гидрологического года. В этом варианте прогноза уже при расчетах за 5 месяцев с начала гидрологического года даже максимальная ошибка становится меньше 5%, а средняя уменьшается до 2%. Для 6 и более месяцев средняя ошибка становится меньше 1%, а максимальная 2%. Такая точность значительно выше, чем точность сегодняшних водно-балансовых расчетов на самой Нурекской ГЭС.

Сделанный анализ позволяет с достаточной для практики точностью прогнозировать общий годовой сток реки Вахш и его остаток на определенную дату – управляемый сток.

Предлагаемый метод прогноза годового объема стока является самокорректирующимся и его точность постоянно возрастает со временем. При этом наибольшая точность прогноза достигается к тому времени, когда вода в реке и водохранилище приобретает наибольшую ценность для энергетики – к осенне-зимнему сезону. Именно в это время наблюдается наибольший дефицит электроэнергии, основным ресурсом для выработки которой в Таджикистане является речной сток.

В качестве примера применения этого метода в таблице 2 приведен расчет параметров стока реки Вахш для уже прошедшего 2005-2006 гидрологического года. Можно отметить его очень высокую точность.

Таблица 2

Точность предлагаемого способа прогноза стока

Дата прогноза	1.05.2005	1.06.2005	1.07.2005	1.08.2005	1.09.2005	1.10.2005	1.11.2005	1.12.2005	1.01.2006	1.02.2006	1.03.2006
Расчетный годовой сток, км ³	19.87	19.40	20.73	20.23	19.31	19.11	19.14	19.23	19.29	19.33	19.43
Фактический сток, км ³	19.433										

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Petrov. – Central Asia and the Caucasus. Journal of social and Political Studies. Sweden, 2003, №3 (21), p. 153-161.
2. Петров Г. Н., Халиков Ш. Х. – Экономика Таджикистана: стратегия развития. 2006, № 3, с. 97-118.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ т.1 М: Финансы и статистика, 1986, 320 с.

Институт водных проблем,

12 сентября 2007 г.

гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан

**Министерство энергетики и промышленности Республики Таджикистан*

Г.Н.ПЕТРОВ, А.А.ҚУРБОНОВ

**БА ТАВРИ ФАВРӢ ПЕШГӢИИ ҲАҶМИ ҶОРИШАВИИ МАҶРОИ
ДАРӢИ ВАХШ, ОИДИ БЕҲТАР НАМУДАНИ РЕҶАИ КОРИИ
ОБАНБОРИ "НОРАК"**

Самаранок истифодабарии дарё барои истехсоли нерӯи барқ, дар ҳолати ба тезӣ ё яқбора гуногунҳаҷм ҷоришавии маҷрои он, танҳо бо истифода аз иншоотҳои танзимкунандаи обанбор имконият дорад ва пешгӯии боэътимодно талаб менамояд.

Тоҷикистон, ки дар шароити вазнини иқтисодӣ қарор дорад, коркарди ин гуна пешгӯии ҳаҷми маҷро бо тарзи ба ҳамагон маълум мушкил мебошад, бинобар он мушоҳида ва назорати доимии пиряхҳо ва захираҳои барф, ки дарёҳо аз онҳо сарчашма мегиранд, ба роҳ монда нашудааст.

Дар асоси мушоҳидаҳои дақиқ серобии дарё дар мавсимҳои давраҳои гузашта, тарзи пешгӯи намудани ҳаҷми ҷоришавии маҷрои дарё нишон дода шудааст. Ба ин тарз пешгӯи намудани ҳаҷми ҷоришавии мавсимии дарё содда ва дақиқ буда, дар амал истифода бурдани он, ба мақсад мувофиқ мебошад.

Аз ин лиҳоз, истифода бурдани пешгӯии мазкур барои нерӯгоҳи аз ҳама бузурги Осиёи Марказӣ - НБО-и "Норак", ки дорои сарбанди сангу хокӣ ва обанбори ҳаҷми ғоиданоки лоиҳавиаш 4,5 км³ мебошад, пешниҳод карда мешавад.

G.N.PETROV, A.KURBANOV

**RAPID FORECAST OF VAKHSH RIVER RUNOFF FOR OPTIMIZATION
OF NUREK POWER STATION OPERATIONAL MODES**

When river runoff is highly heterogeneous it still can be effectively used for electric power production, but only in case of water reservoirs regulators using, and it requires reliable forecast. Today such river runoff forecast done by well-known methods is not always possible, because constant observations of glaciers and snow stock as the main river sources have been practically stopped due to hard economic conditions in modern Tajikistan. The article describes river runoff forecast method based on actual observations of river water during the previous period. The method is simple, allows being highly accurate, and that makes it suitable for practical use.