

УДК 556.16

В. Г. ГУСЬКОВ, И. В. ПРОШЛЯКОВФедеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»**ОЦЕНКА БОКОВОГО ПРИТОКА С ЧАСТНЫХ ВОДОСБОРОВ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ**

На примере Волжско-Камского каскада водохранилищ рассматривается возможность учета колебаний естественного стока Волги с частных водосборов в различные фазы водности года для построения диспетчерских графиков водохранилищ. Это позволит более рационально управлять зарегулированным стоком Волги как при пропуске высоких половодий, так и при выдерживании гарантированных попусков в нижние бьефы гидротурбин в маловодные годы.

Гидрологический расчет, каскад водохранилищ, формирование диспетчерских графиков, пропуск высоких половодий, маловодные годы, теплая межень, холодная межень.

On the example of the Volga-Kama cascade of water reservoirs there is considered a possibility of taking into account fluctuations of the Volga natural flow from private water basins in various phases of annual water content for building operations schedules of water reservoirs. This will allow to more efficiently control the Volga regulated flow both when high flooding passing and when withstanding guaranteed passages into the lower ponds of hydraulic units during the years of little water content.

Hydrological estimation, cascade of water reservoirs, formation of operations schedule, passage of high water, low-flow years, warm mean water, cold mean water.

В практике гидрологических расчетов в последнее время все большее значение придается учету колебаний стока (естественного бокового притока) с частных водосборов водохранилищ как в пространстве (каскады водохранилищ), так и во времени. При этом в качестве временных характеристик рассматривают не только годовой сток, но и максимальный сток весеннего половодья, минимальный сток за летне-осенний (теплая межень) и зимний (холодная межень) периоды, которые определяют внутригодовое распределение стока.

Учет колебаний стока как в пространстве, так и во времени неоднозначен, его количественная оценка приближительная и сложная, тем более когда она осуществляется во всем диапазоне кривой обеспеченности рассматриваемых показателей. Одним из наиболее простых и надежных методов, учитывающих колебания стока в пространстве и во времени, является метод асинхронности стока, разработанный Н. В. Сомовым [2, 3]. В дальнейшем этот

метод получил развитие в работе А. А. Волчека и других исследователей при оценке асинхронности стока рек Белоруссии [1]. Основное преимущество этого метода заключается в возможности однозначного определения количественных параметров эффекта асинхронности (сопряженности) в любых зонах кривой обеспеченности в отдельности и для всей совокупности значений исследуемой величины. В основу данной методики положено определение эффекта сопряженности колебаний стока по совмещенным кривым обеспеченности суммарных значений гидрометеорологической величины (например, объемов стока) хронологического и равнообеспеченного рядов.

Методика прогнозирования значений объемов естественного стока с данного частного водосбора каскада (например, Камы) за рассматриваемую фазу водности (например, за половодье – IV...VI месяцы) текущего года в зависимости от объемов стока той же фазы водности с другого частного водосбора

того же речного бассейна (например, водосбора Верхней Волги) поэтапно реализуется в следующем порядке:

1) по исходным хронологическим рядам объемов естественного стока половодья на Верхней Волге в створе Чебоксарского гидроузла – $W_{пi, в. волга}$ и Каме в створе Нижнекамского гидроузла – $W_{пi, кама}$ вычисляют соответствующие каждому i -му календарному году модульные коэффициенты:

$$K_{пi, в. волга} = W_{пi, в. волга} / W_{оп, в. волга}, \quad (1)$$

$$K_{пi, кама} = W_{пi, кама} / W_{оп, кама}, \quad (2)$$

где $W_{оп, в. волга}$ и $W_{оп, кама}$ – среднееголетние значения объемов естественного стока половодья на Верхней Волге и Каме соответственно;

2) модульные коэффициенты объемов естественного стока половодья

$K_{пi, в. волга}$ и $K_{пi, кама}$ за одноименные годы суммируют:

$$K_{пi, в. волга \cap кама} = K_{пi, в. волга} + K_{пi, кама}, \quad (3)$$

после чего выполняют ранжирование в убывающем порядке полученного ряда сумм модульных коэффициентов объемов стока половодья хронологического ряда с вычислением эмпирической обеспеченности $R(K_{пi, в. волга \cap кама})$, по которым строят эмпирическую кривую обеспеченности;

3) выполняют раздельное ранжирование модульных коэффициентов объемов стока половодья $K_{пj, в. волга}$ и $K_{пj, кама}$ в убывающем порядке с вычислением соответствующей обеспеченности $R(K_{пj, в. волга})$ и $R(K_{пj, кама})$ и построение соответствующих эмпирических кривых обеспеченностей;

4) равнообеспеченные модульные коэффициенты объемов естественного стока половодья Верхней Волги $[K_{пj, в. волга}](P)$ и Камы $[K_{пj, кама}](P)$ суммируют для построения соответствующей кривой обеспеченности:

$$[K_{пj, в. волга \cap кама}](P) = [K_{пj, в. волга}](P) + [K_{пj, кама}](P); \quad (4)$$

5) вычисляют коэффициенты асинхронности (сопряженности) колебаний объемов половодий на Верхней Волге и Каме определенной обеспеченности $A(P)$ как отношение значений суммарных за один и тот же год модульных

коэффициентов объемов стока половодья $[K_{пi, в. волга \cap кама}](P)$ и суммарных ранжированных (равнообеспеченных) модульных коэффициентов объемов стока половодья $[K_{пj, в. волга \cap кама}](P)$:

$$A_{(P)} = [K_{пi, в. волга \cap кама}](P) / [K_{пj, в. волга \cap кама}](P) \quad (5)$$

или

$$A_{(P)} = \frac{[K_{пi, в. волга} + K_{пi, кама}](P)}{[K_{пj, в. волга}](P) + [K_{пj, кама}](P)}; \quad (6)$$

6) представив уравнение (6) в виде

$$A_{(P)} = \frac{(P)[W_{пi, в. волга} / W_{оп, в. волга} + W_{пi, кама} / W_{оп, кама}](P)}{\left[\frac{W_{пj, в. волга}}{W_{оп, в. волга}} \right](P) + \left[\frac{W_{пj, кама}}{W_{оп, кама}} \right](P)} \quad (7)$$

и учитывая, что в анализируемом году $W_{пi, в. волга} = [W_{пj, в. волга}](P)$, после несложных преобразований получим расчетное выражение для прогноза объемов стока половодья в текущем году с частного водосбора Камы по данным об объеме стока половодья на Верхней Волге:

$$W_{пi, кама} = [W_{пj, кама}](P)A_{(P)} + [W_{пj, в. волга}](P) \frac{W_{оп, кама}}{W_{оп, в. волга}} [A_{(P)} - 1], \quad (8)$$

где $[W_{пj, в. волга}](P)$ и $[W_{пj, кама}](P)$ – соответственно объемы естественного стока половодья Верхней Волги и Камы равной обеспеченности.

Данный прием оценки сопряженности колебаний объемов стока прост в использовании при выполнении обязательного требования, а именно при наличии равномерной и густой гидрометеорологической сети.

Выполнению этого требования всецело отвечает Волжско-Камский каскад водохранилищ, оценка эффекта сопряженности (асинхронности) естественного бокового притока к которым и является целью данной работы.

Полученные с помощью вышеописанной методики результаты сопоставили с результатами расчета по известному уравнению регрессии:

$$W_{пi, кама} = W_{оп, кама} + R \frac{\sigma_{п, кама}}{\sigma_{п, в. волга}} (W_{пi, в. волга} - W_{оп, в. волга}), \quad (9)$$

где $W_{п.в.волга}$ и $W_{п.кама}$ – объемы естественного стока половодья текущего i -го года на Верхней Волге и Каме; $W_{оп.в.волга}$ и $W_{оп.кама}$ – среднееголетние значения объемов половодья; $\sigma_{п.в.волга}$, $\sigma_{п.кама}$ – соответствующие среднеквадратические отклонения; R – коэффициент корреляции между значениями объемов стока половодий на Верхней Волге и Каме.

Исходными данными служили среднемесячные значения стока (естественного бокового притока) за период 1914/15 по 2002/03 год (89 лет) с частных водосборов 8 водохранилищ Волжско-Камского каскада, а именно: Ивановского, Угличского, Рыбинского, Горьковского, Чебоксарского, Камского, Воткинского и Нижнекамского.

Предварительный анализ показал, что основную долю (60...62 %) в среднемноголетнем стоке Верхней Волги и Камы составляет половодье. Поэтому на первом этапе расчет проводился для этой фазы водности по укрупненным частным водосборам Волжско-Камского каскада водохранилищ:

Верхняя Волга – от истока Волги до створа Чебоксарского гидроузла (частные водосборы Ивановского, Угличского, Рыбинского, Горьковского и

Чебоксарского водохранилищ);

Кама – от истока Камы до створа Нижнекамского гидроузла (частные водосборы Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ).

Известно, что количественным показателем асинхронности стока является коэффициент корреляции между объемами стока с рассматриваемых водосборов. При этом с увеличением значения коэффициента корреляции эффект асинхронности стока падает, а с уменьшением значения – возрастает.

Анализ временных рядов естественного стока показал, что коэффициент корреляции между значениями объемов стока в период половодья на Верхней Волге и Каме составляет $R = 0,39$.

Результаты прогноза объемов стока половодья с частного водосбора Камы по данным об объеме стока половодья на Верхней Волге двумя методами (рассматриваемым методом асинхронности и по уравнению регрессии), а также фактически наблюдаемые значения стока для трех лет различной водности представлены в таблице.

Сопоставление прогнозируемых и фактических объемов естественного стока половодья с частных водосборов Волжско-Камского каскада водохранилищ

Год	Половодье, IV...VI мес.									
	Верхняя Волга		Кама							
	Фактически		Прогноз: метод асинхронности			Прогноз: метод регрессии			Фактически	
	км ³	P, %	A	км ³	ε, %	R	км ³	ε, %	км ³	P, %
1917/18	94,00	10,00	0,939	66,57	11,66	0,389	64,41	8,03	59,62	38,89
1995/96	69,75	50,00	0,960	52,57	3,74	0,389	57,28	4,89	54,61	55,56
1939/40	49,53	90,00	1,044	42,15	18,11	0,389	51,32	0,29	51,47	62,22

Как видно из таблицы, в среднемводном 1995/96 г. на Верхней Волге ($P = 50 \%$) ошибка предсказания стока половодья на Каме ϵ методом асинхронности составляет 3,74 %, а по уравнению регрессии – 4,89 %, т. е. практически ошибки одинаковы и не превышают допустимого значения.

В многоводном 1917/18 г. ($P = 10 \%$) ошибки прогноза стока обоими методами также находятся в допустимых пределах и составляют по методу асинхронности 11,7 % и 8 % – по уравнению регрессии.

В маловодном 1939/40 году ($P = 90 \%$) ошибки прогноза стока составляют по методу асинхронности 18,1 % и 0,3 % по уравнению регрессии.

Выводы

Предлагаемая методика прогнозирования стока половодья с частных водосборов Волжско-Камского каскада водохранилищ не дает существенных преимуществ по сравнению с прогнозом, основанном на уравнении линейной регрессии. Это, по-видимому, объясняется незначительной корреляционной связью ($R = 0,39$) между значениями стока в

рассматриваемых створах. Поэтому метод асинхронности рекомендуется использовать для краткосрочных прогнозов стока при наличии существенной положительной корреляционной связи между значениями стока с частных водосборов одного речного бассейна.

Список литературы

1. **Волчек, А. А.** Оценка асинхронности в формировании максимальных и минимальных расходов воды рек Беларуси [Текст] / А. А. Волчек, В. В. Лукша, А. А. Волчек, О. И. Грядунова // География в XXI веке: Проблемы и перспективы: Материалы Международной научной конференции. – Минск : Изд-во «Квадрограф», 2004. – С. 15–16.

2. **Сомов, Н. В.** Асинхронность и цикличность колебаний стока рек СССР [Текст] / Н. В. Сомов // Труды ЦИП. – 1963. – Вып. 117. – С. 180–214.

3. **Сомов Н.В.** Асинхронность колебаний стока крупных рек СССР [Текст] / Н. В. Сомов // Метеорология и гидрология. – 1963. – № 5. – С. 14–21.

Материал поступил в редакцию 29.04.09.

Гуськов Виталий Геннадьевич, старший преподаватель кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8 (495) 976-17-45, 8 (499) 747-57-04

E-mail: vitold.gus@mail.ru

Прошляков Игорь Валентинович, кандидат технических наук, профессор кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8 (495) 976-17-45, 8 (499) 137-72-06

E-mail: iprosh@mail.ru

УДК 502/504: 551.5

В. В. ИЛЬНИЧ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

Р. БУТУТАУ

Университет Оурагла, Алжир

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ

В статье уточняются параметры формулы для расчета потерь воды на испарение с поверхности водохранилищ для условий засушливого климата Алжира. На основе полученных результатов по уточненной формуле построена карта изолиний значений испарения с водной поверхности водоемов для территории Алжира.

Водохранилище, испарение с водной поверхности, корреляция, формула расчета испарения, территория Алжира.

In the article there are specified formula parameters for estimation of evaporative water losses from water reservoir surface in the dry climatic conditions of Algeria. The map of isolines of water evaporative values was developed on the basis of the obtained results according to the corrected formula for the territory of Algeria.

Water reservoir, evaporation from water surface, correlation, formula of evaporation estimation, territory of Algeria.

При проектировании водохранилищ, а также при их эксплуатации очень значима оценка потерь воды на испарение с водной поверхности. В условиях засушливого климата Алжира эти потери достигают весьма значительной

величины и составляют во многих районах страны более 50 % годового стока [1]. Сеть испарителей ограничена. В связи с этим весьма актуальна задача разработки и повышения надежности инженерного расчета и оценки