

А.Б. Китаев

## СРЕДНЕМНОГОЛЕТНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА КАМСКОГО И ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

A.B. KITAEV

THE AVERAGE LONG-TERM CHARACTERISTIC OF WATER BALANCE'S COMPONENTS  
OF KAMA AND VOTKINSK WATER RESERVOIR

Пермский государственный университет 614990 г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: [hydrology@psu.ru](mailto:hydrology@psu.ru)

Представлена среднемноголетняя характеристика составляющих водного баланса Камских водохранилищ за многолетний период (1956-1993 гг.). Дан ее сравнительный анализ с материалами более ранних исследований (1956-1967 гг.). Рассмотрены составляющие баланса, ранее не учитываемые (забор воды на хозяйственные нужды, промышленные сбросы, фильтрация воды через плотину).

К л ю ч е в ы е с л о в а: водохранилище; водный баланс; регулирование стока; приток воды; сброс воды.

K e y w o r d s: water reservoir; water balance; backwater; increment inflow; evacuation of water.

Водный баланс и связанный с ним обмен вод определяют в той или иной степени все элементы режима естественных и искусственных водоемов. Поскольку с изменениями составляющих водного баланса связаны колебания уровня вод, с ними меняются и морфометрические характеристики водоемов.

Водный баланс водохранилищ хотя по структуре и аналогичен водному балансу озер, но отличается рядом специфических особенностей в ходе и соотношении составляющих приходной и расходной частей. Своеобразие водного баланса водохранилищ обусловлено в первую очередь тем, что он отражает сложное взаимодействие природных и антропогенных факторов, причем воздействие последних определяет характер расходной, а в водохранилищах каскадов ГЭС – во многом и приходной частей балансов.

### Изученность вопроса

Впервые характеристика среднемноголетних величин составляющих водного баланса Камского и Воткинского водохранилищ дана В.И.Пономаревым, Э.А.Снегиревым, Л.И.Пономаревой [8] в 1973 г. в «Ресурсах поверхностных вод СССР (Т.2). Ими были обобщены материалы 1956–1967 гг. В этот интервал времени вошли и характерные (для данного отрезка времени) по водности годы (1965 – многоводный, 1967 – маловодный). Аналогичные материалы по Воткинскому водохранилищу представлены в одном из разделов коллективной монографии «Водохранилище Воткинской ГЭС на р. Каме» Ю.М.Матарзиным и И.К.Мацкевичем [6]. Этими исследованиями был охвачен период с 1962 по 1967 гг., т. е. интервал времени, включающий промежуточное наполнение Воткинского водохранилища (1962–1964 гг.) и первые годы его существования. В отмеченный период вошли (как и на Камском водохранилище) характерные по водности годы. Несколько позже И.К.Мацкевичем сделаны обобщения по составляющим водного баланса Воткинского водохранилища за более длительный период – 1964–1970 гг [7]. Среднемноголетних характеристик величин составляющих водного баланса как по Камскому, так и по Воткинскому водохранилищам за более длительный период не было.

В 1983 г. мною была дана характеристика составляющих водного баланса водохранилищ Камского каскада за характерные по водности годы: 1965 г. – многоводный, 1966 г. – средний по водности, 1967 г. – маловодный [1]. Такая же характеристика водного баланса Воткинского водохранилища представлена мною в соавторстве с Ю.М.Матарзиным в коллективной монографии «Биология Воткинского водохранилища» [2]. Позже оценка составляющих водного баланса

водохранилищ Камского каскада за характерные по водности годы дана в работах [3], [4], и [5]. Причем в последней в качестве многоводного года рассмотрен 1979-й, который ко времени опубликования материалов этих исследований был уже более многоводным, чем 1965 г.

### **Водный баланс Камского (1956–1993) и Воткинского (1964–1993) водохранилищ за многолетний период**

Водные балансы составляются по материалам наблюдений всех станций и постов, расположенных на водохранилище. Используются также материалы гидрологических станций (постов), осуществляющих учет стока на притоках водохранилища, и материалы ГЭС, выполняющих учет стока на сооружениях гидроузлов. Составляются месячные, декадные и годовые балансы. Месячные балансы составляются систематически в течение года, а годовые – по окончании года. Декадные балансы составляются для периодов высокой водности (весеннее половодье) и только для тех объектов, где сокращение расчетного интервала времени не приводит к недопустимому возрастанию погрешностей расчета баланса.

Водный баланс Камского и Воткинского водохранилищ составляется по стандартной формуле ГГИ:

$$P_O + P_B + O + L - (C + И + L_1) = A_B + A_{П} \pm H, \quad (1)$$

где  $P_O$  - приток воды в водохранилище по основной реке;  $P_B$  – боковой приток и склоновый сток в водохранилище;  $O$  – атмосферные осадки, выпадающие в жидком и твердом виде на зеркало водоема;  $L$  – объем воды во всплывшем (весной) льду со снегом;  $C$  – сток воды через сооружения замыкающего гидроузла;  $И$  – потери воды на испарение с зеркала водоема;  $L_1$  - объем воды во льду, осевшем на берегах водохранилища;  $A_B$  – аккумуляция воды в чаше водохранилища;  $A_{П}$  – подземная аккумуляция в грунтах, слагающих борта и ложе водохранилища;  $H$  – невязка баланса.

Начиная с 1978 г. при составлении водного баланса стали фиксировать поступление воды в водоем в результате промышленных сбросов ( $П_C$ ) и забор воды из водохранилища на хозяйственные нужды ( $З$ ). С этого же года начали публиковать данные по потерям воды на шлюзование ( $Ш$ ) и на фильтрацию воды через плотину ( $Ф$ ).

**Камское водохранилище.** По материалам водного баланса 1956–1993 гг. (см. таблицу) годовой приток воды по основной реке (Каме) составил  $29,76 \text{ км}^3$  (53,18 % от приходной части баланса), что несколько выше аналогичной величины по материалам более короткого периода расчета (1956–1967 гг.), представленной в «Ресурсах поверхностных вод СССР» [8]. Там эта величина составляла  $29,44 \text{ км}^3$ , или 53,1 % от прихода воды в водоем. Боковая приточность в водохранилище по более длительному периоду оказалась несколько ниже ( $24,08 \text{ км}^3$ , или 43,03 % от прихода), чем за короткий период ( $24,56 \text{ км}^3$ , или 46,3 % от прихода). Величина же суммарного поступления воды в водоем по основной реке и боковым притокам осталась ( $53,84 \text{ км}^3$ ) практически без изменения ( $54,00 \text{ км}^3$  – 1956–1967 гг.). Величина выпадающих на зеркало водохранилища атмосферных осадков также не претерпела каких-либо серьезных изменений. По материалам 1956–1967 гг. она составляла (в году)  $0,92 \text{ км}^3$ , или 1,6 % от приходной части водного баланса. За период с 1956 по 1993 г. она была равна  $0,93 \text{ км}^3$ , или 1,66 %. Годовой объем воды во всплывшем весной льду и снеге за длительный период ( $0,47 \text{ км}^3$ , или 0,84 % от прихода) стал несколько ниже, чем за короткий период ( $0,50 \text{ км}^3$ , или 1,0 % прихода). Величина промышленных сбросов в водохранилище по материалам 1978–1993 гг. составила в годовом аспекте  $0,72 \text{ км}^3$ , или 1,29 % от притока воды в водоем. Поскольку данных по этой составляющей баланса за короткий период наблюдений нет, то оценить отмеченную составляющую за сравниваемые два периода не предоставляется возможным.

Общий приток воды в Камское водохранилище за более длительный период наблюдений составил  $55,96 \text{ км}^3$ , что несколько выше, чем за короткий период ( $55,41 \text{ км}^3$ ).

Отмеченная разница в величинах поступления вод в водоем определяется появлением и соответственно оценкой такой составляющей баланса, как поступление вод с промышленными стоками. Если данная составляющая присутствовала бы в годовом водном балансе за более короткий период (даже если предположить, что она была в 1956–1967 гг. меньше по величине, чем в 1978–1993 гг.), то общий приток воды в водоем за короткий и более длительный периоды наблюдений практически совпали бы.

Основной расходной составляющей водного баланса водохранилища является величина сброса вод через турбины ГЭС. За 1956–1967 гг. ее величина составила в годовом балансе  $51,68 \text{ км}^3$

(97,6 % от расходной части баланса). За длительный период она стала выше – 52,78 км<sup>3</sup> (95,89 % от прихода в водоем). Величина потери вод за счет испарения с зеркала водоема за оба сравниваемые



периоды одинакова и составляет  $0,79 \text{ км}^3$  (1,5 % от расхода за короткий период и 1,4 % – за длительный). Потери воды за счет льда, осевшего на берегах водохранилища, за длительный период стали несколько ниже ( $0,46 \text{ км}^3$ , или 0,83 % от расхода), чем за короткий период ( $0,51 \text{ км}^3$ , или 0,9 % от расхода).

С 1978 г. стали учитывать при составлении водного баланса величину фильтрации воды через тело плотины. За период 1978–1993 гг. ее годовая величина составила  $0,51 \text{ км}^3$ , или 0,92 % от расходной части баланса. Кроме того, в этот же период стали учитывать и потери воды при шлюзовании (годовая величина составила  $0,08 \text{ км}^3$ , или 0,14 % от расхода), и величину забора воды на хозяйственные нужды ( $0,76 \text{ км}^3$ , или 1,37 % от расхода). Сравнить отмеченные характеристики за длинный и короткий периоды наблюдений не представляется возможным.

Общие потери воды из водохранилища за 1956–1967 гг. в годовом аспекте составили  $52,92 \text{ км}^3$ , что ниже, чем за более длительный период ( $55,38 \text{ км}^3$ ). Отмеченный факт связан прежде всего с учетом новых составляющих (Ф, Ш, З). Если не учитывать эти составляющие, то величина потерь воды за длительный период будет также выше ( $54,03 \text{ км}^3$ ), чем за короткий период ( $52,92 \text{ км}^3$ ).

Сопоставляя приходную и расходную части водного баланса водохранилища за короткий и более длительный периоды наблюдений, можно отметить следующее:

- величины притока вод в водоем за короткий ( $55,41 \text{ км}^3$ ) и длинный периоды ( $55,96 \text{ км}^3$ ) достаточно близки (если учесть промышленные сбросы за короткий период, то они будут практически одинаковы);

- величины потери вод из водоема за короткий ( $52,92 \text{ км}^3$ ) и длинный период ( $55,38 \text{ км}^3$ ) неодинаковы;

- годовые величины приходной и расходной частей водного баланса за длинный период достаточно близки ( $55,96 \text{ км}^3$  и  $55,38 \text{ км}^3$ ), за короткий период они существенно отличаются ( $55,41 \text{ км}^3$  и  $52,92 \text{ км}^3$ ).

Отмеченные различия во втором и третьем пунктах связаны прежде всего с учетом в длительном периоде новых составляющих баланса (Пс, З, Ш, Ф), а также более точным определением величины сброса вод через замыкающий гидроузел.

**Воткинское водохранилище.** По материалам водного баланса за 1964–1993 гг. приток по основной реке, т. е. сброс через плотину Камского гидроузла в годовом аспекте составил  $53,37 \text{ км}^3$ , или 92,82 % от приходной части баланса. Сравнить эту величину с материалами предшествующих исследований сложно, поскольку в работе В.И.Пономарева с соавторами дана характеристика составляющих водного баланса за 4 года (отдельно) – 1964, 1965, 1966 и 1967; среднемноголетние величины не определены (по-видимому, из-за слишком короткого периода) [8]. Из отмеченных лет 1966 г. является близким к среднему по водности, и, по-видимому, целесообразно вести сравнение среднемноголетних величин составляющих баланса с материалами этого года. Величина годового сброса воды через КамГЭС в 1966 г. составила  $58,11 \text{ км}^3$  (92,3 % от прихода), что заметно выше, чем среднемноголетняя величина за длительный период ( $54,47 \text{ км}^3$ ). Боковая приточность в водохранилище в 1966 г. составила  $3,86 \text{ км}^3$  (6,3 % от прихода). Среднемноголетняя величина за длительный период наблюдений была несколько ниже ( $3,19 \text{ км}^3$  или 5,55 %), чем в отмеченном году. Количество осадков, выпавших на зеркало водоема, было в 1966 г.  $0,63 \text{ км}^3$  (1,0 %), по среднемноголетним данным –  $0,57 \text{ км}^3$  (0,97 %). Годовой объем воды во всплывшем во время весеннего наполнения водохранилища льду и снеге составил в 1966 г.  $0,13 \text{ км}^3$  (0,2% от прихода). За многолетний период эта величина была немного выше –  $0,15 \text{ км}^3$  (0,26 % от прихода). Величина промышленных сбросов в водоем за период 1978–1993 гг. составила  $0,22 \text{ км}^3$ , или 0,38 % от приходной части баланса. Данных по этой характеристике за 1966 г. нет. Суммарное поступление вод в водохранилище в 1966 г. составило  $62,73 \text{ км}^3$ , что заметно выше среднемноголетней величины ( $58,60 \text{ км}^3$ ).

Основной составляющей расходной части водного баланса водохранилища является поступление вод в нижний бьеф Воткинской ГЭС. В 1966 г. это поступление составило  $60,27 \text{ км}^3$  (98,85% от расходной части баланса), что выше этой характеристики за многолетний период ( $57,21 \text{ км}^3$ , или 98,13 %). Последняя величина складывается из сброса вод через турбины гидроузла ( $55,91 \text{ км}^3$ , или 95,88 %), потерь воды при шлюзовании ( $0,95 \text{ км}^3$ , или 1,63 %) и поступления воды в нижний бьеф ГЭС путем фильтрации через плотину ( $0,35 \text{ км}^3$ , или 0,60 %). Величина потерь воды при испарении с поверхности водоема в 1966 г. была  $0,56 \text{ км}^3$  (0,90 % от расходной части баланса), по многолетним данным –  $0,41 \text{ км}^3$  (0,70 %). Потери воды за счет льда, осевшего на

берегах водоема, составили в 1966 г. – 0,15 км<sup>3</sup> (0,30 %), по многолетним данным также 0,15 км<sup>3</sup> (0,26 %). Величина забора воды на хозяйственные нужды составила по среднемноголетним данным (1978–1993 гг.) – 0,53 км<sup>3</sup> (0,93 % от расхода).

Суммарные потери воды из водохранилища в 1966 г. составили 60,98 км<sup>3</sup>, что выше среднемноголетней характеристики (58,31 км<sup>3</sup>).

Сопоставление приходных и расходных частей водного баланса показало, что в 1966 г. приток вод в водохранилище был несколько выше потерь воды из водоема (62,73 км<sup>3</sup> и 60,98 км<sup>3</sup>). По среднемноголетним характеристикам эти величины достаточно близки (58,60 км<sup>3</sup> и 58,31 км<sup>3</sup>).

Сравнение составляющих водного баланса по Камскому водохранилищу за короткий (1956–1967 гг.) и более длительный периоды (1956–1993 гг.) является вполне правомочным. Сравнение составляющих баланса по Воткинскому водохранилищу за 1966 г. и среднемноголетних величин (1964–1993 гг.) является несколько условным. Несмотря на то что 1966 г. и является годом, близким к среднему по водности, данные за этот год все же не являются данными среднемноголетней характеристики за определенный период времени (как по Камскому за 11 лет).

### Выводы

Исследование составляющих водного баланса Камского (1956–1993 гг.) и Воткинского (1964–1993 гг.) водохранилищ показало:

1) основными составляющими приходной части баланса Камского водохранилища является приток по основной реке (Каме) – 53,18 % (в годовом аспекте), боковая приточность – 43,03 %, осадки на зеркало водоема – 1,66 %, промышленные сбросы – 1,29 %, поступление воды за счет всплывшего весной льда и снега – 0,84 %; на Воткинском водохранилище составляющие приходной части баланса те же и их процентное соотношение следующее: сброс через гидроузел Камской ГЭС – 92,82 %, боковая приточность – 5,55 %, атмосферные осадки – 0,99 %, промышленные сбросы – 0,38 %, поступление вод за счет всплывшего весной льда – 0,26 %;

2) основные составляющие расходной части водного баланса Камского водохранилища следующие: сброс вод через турбины Камской ГЭС – 95,31 %, испарение с водной поверхности – 1,43 %, забор воды на хозяйственные нужды – 1,37 %, фильтрация воды через плотину – 0,92 %, потери за счет льда, осевшего на берегах водоема, – 0,83 %, потери воды при шлюзовании – 0,14 %; аналогичные составляющие на Воткинском водохранилище имеют следующее годовое процентное соотношение: сброс вод через турбины Камской ГЭС – 95,88 %, испарение с водной поверхности – 0,70 %, забор воды на хозяйственные нужды – 0,93 %, фильтрация воды через плотину – 0,60 %, потери за счет льда, осевшего на берегах водоема, – 0,26 %, потери воды при шлюзовании – 1,63 %.

Сравнение величин составляющих приходной и расходной частей водного баланса исследуемых водоемов за короткий (1956–1967 гг.) и более длинный период показало, что на Камском водохранилище несколько возросла величина притока воды по основной реке (Каме) (29,76 км<sup>3</sup> против 29,44 км<sup>3</sup>), в то же время снизилось поступление вод в водоем по боковым притокам (24,08 км<sup>3</sup> против 24,56 км<sup>3</sup>). Количество выпадающих осадков на зеркало осталось практически тем же, поступление вод за счет всплывшего весной льда несколько снизилось (0,47 км<sup>3</sup> против 0,50 км<sup>3</sup>). Сброс воды через турбины Камской ГЭС несколько увеличился (52,78 км<sup>3</sup> против 51,68 км<sup>3</sup>), испарение с поверхности водоема не изменилось, потери вод за счет льда, осевшего на берегах, несколько снизилось (0,46 км<sup>3</sup> против 0,51 км<sup>3</sup>). Аналогичных сравнений по Воткинскому водохранилищу сделать не представляется возможным ввиду отсутствия обобщений за короткий период времени.

Ввиду расположения, морфометрических и гидрографических особенностей Камского и Воткинского водохранилищ в них существенно отличается величина боковой приточности (24,08 км<sup>3</sup> против 3,19 км<sup>3</sup>). Ввиду большей площади водного зеркала Камского водохранилища величина выпадающих на него осадков и испарения с его водной поверхности выше, чем на Воткинском (осадки 0,93 км<sup>3</sup> против 0,57 км<sup>3</sup>; испарение 0,79 км<sup>3</sup> против 0,41 км<sup>3</sup>). Величина потерь воды за счет льда, осевшего на берегах Камского водохранилища (0,51 км<sup>3</sup>), заметно выше аналогичного значения на Воткинском (0,15 км<sup>3</sup>). Причина – более глубокая зимняя сработка Камского водохранилища (до 7 м) по сравнению с Воткинским (до 4 м), а также большая площадь мелководий на Камском водохранилище. Аналогичные соотношения характерны и для величины поступления вод за счет всплывшего во время весеннего наполнения льда.

Величина промышленных сбросов в Камское водохранилище ( $0,72 \text{ км}^3$  в год) заметно больше, чем в Воткинское ( $0,22 \text{ км}^3$ ), что является результатом более развитой инфраструктуры на водосборе Камского водохранилища. Забор воды на хозяйственные нужды на Камском водохранилище ( $0,76 \text{ км}^3$ ) выше, чем на Воткинском ( $0,54 \text{ км}^3$ ), что также связано с различиями в развитии инфраструктуры на их водосборах.

Безвозвратные потери воды при ее хозяйственном использовании на Камском водохранилище составляют  $0,04 \text{ км}^3$  в год, на Воткинском  $0,32 \text{ км}^3$ . Связано это с характером производственных процессов на промышленных предприятиях.

### Библиографический список

1. *Китаев А.Б.* Роль гидродинамических факторов в формировании гидрохимического режима долинных водохранилищ (на примере камского каскада): автореф. дис...канд. геогр. наук. Пермь, 1983. 22 с.
2. *Китаев А.Б., Матарзин Ю.М.* Водный баланс и уровенный режим // Биология Воткинского водохранилища / Иркут. ун-т. Иркутск, 1988. С. 8–11.
3. *Китаев А.Б.* Водный баланс // Актуальные вопросы гидрологии и гидрохимии Камского водохранилища / Перм. ун-т. Пермь, 2004. С. 60–66.
4. *Китаев А.Б., Девяткова Т.П.* Водный баланс водохранилища и его частей // Условия возникновения гидрологического риска на водных объектах Пермской области / Перм. ун-т. Пермь, 2005. Ч.1. С. 77–86.
5. *Китаев А.Б.* Водный баланс Камского водохранилища в характерные по водности годы // Гидрология и гидроэкология Западного Урала / Перм. ун-т. Пермь, 2006. С. 12–23.
6. *Мацкевич И.К., Матарзин Ю.М.* Гидрологический режим водохранилища // Водохранилище Воткинской ГЭС на р. Каме. Пермь, 1968. С. 64–109.
7. *Мацкевич И.К.* Особенности гидрологического режима Воткинского водохранилища в связи с его положением в каскаде: автореф. дис...канд. геогр. наук. Пермь, 1973. 19 с.
8. *Пономарев В.И., Снегирев Э.А., Пономарева Л.И.* Режим больших водохранилищ // Ресурсы поверхностных вод СССР (Средний Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеиздат, 1973. Т.2. С. 476–548.

### SUMMARY

Comparison of components input part sizes and discharge parts sizes for short (1956-1967) and longer period has shown that on the Kama reservoir inflow from the Kama river has increased from 29,44 cubic kilometers to 29,76 cubic kilometers, lateral inflow has decreased from 24,56 cubic kilometers to 24,08 cubic kilometers). The amount of precipitation has not changed, water from emerged ice has decreased from 0,50 cubic kilometers to 0,47 cubic kilometers. Water evacuation through the Kamskaya hydroelectric power station turbine has increased from 51,68 cubic kilometers to 52,78 cubic kilometers, evaporation from a reservoir surface has not changed, stranded ice losses are decreased from 0,51 cubic kilometers to 0,46 cubic kilometers. Similar comparisons on Воткинск water basin to make it is not obviously possible in a kind of absence of generalizations for the short period of time.