

УДК 556.552(574.51)

## ВОДНЫЙ БАЛАНС КАПШАГАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Канд. геогр. наук

И.И. Скоцеляс

Канд. техн. наук

В.И. Ли

Канд. геогр. наук

В.П. Попова

*Дан краткий обзор предшествующих исследований. Изложена методика расчета годового водного баланса Капшагайского водохранилища. Приведены результаты расчета за 1971...2000 гг. и их анализ.*

### Краткий обзор предшествующих исследований

Капшагайское водохранилище располагается на р. Или, в западной части Илийской долины, и является вторым по размерам среди искусственных водоемов Республики Казахстан. Площадь водосбора 113 тыс. км<sup>2</sup>. Кроме р. Или, его достигает ряд мелких водотоков (реки - Шилик, Каскелен, Мал. Алматинка, Кутентай, Саз-Талгар, Есик, Курузек, Карасу, Лавар, Терень-Кара, Актоган, ручьи - Шадай и Шенгельды).

Наполнение водохранилища начато в 1970 году. Несмотря на более чем 30-летнее существование, в настоящее время оно заполнено примерно наполовину по сравнению с проектировавшимся объемом. В 2000 году его объем составлял 16,42 км<sup>3</sup>, площадь зеркала - 1275 км<sup>2</sup>, в 2001 году - соответственно 16,60 км<sup>3</sup> и 1282 км<sup>2</sup>.

При проектировании водохранилища его водный баланс рассчитывался на уровни 1990, 1995 и 2000 годов исходя из наполнения водоема до отметок 480 и 485 м. В водном балансе учитывались приток поверхностных вод за вычетом их безвозвратных отъемов выше Капшагайской ГЭС, испарение с водной поверхности, фильтрация воды, сброс ее через агрегаты ГЭС и изменение объема водохранилища. Для расчета притока поверхностных вод использовался ряд естественного стока р. Или за период 1911...1981 гг. Среднее значение последнего за весь период составило 14,84 км<sup>3</sup>/год. Безвозвратные отъемы воды в бассейне рассматривались в трех вариантах - 0,83, 1,20, 1,40 км<sup>3</sup>/год. При этом приток поверхностных вод к водохранилищу по первому варианту безвозвратного водопотребле-

ния находился в пределах 9,84...22,81, по второму варианту - 9,47...22,44, по третьему варианту - 9,27...22,24 км<sup>3</sup>/год. Средние значения притока поверхностных вод за весь рассматривавшийся период соответственно равны 14,01, 13,64, 13,44 км<sup>3</sup>/год. Испарение с водохранилища при нормальном подпертом уровне (НПУ) = 480 м, более близкому к современному уровню, изменялось от 0,81 до 1,63 км<sup>3</sup>/год и в среднем составляло 1,19 км<sup>3</sup>/год. Фильтрация воды принималась постоянной, 0,32 км<sup>3</sup>/год. Сброс воды через агрегаты ГЭС рассчитывался также в трех вариантах - исходя из гарантированной водоотдачи не менее 10,80, 11,00 и 11,40 км<sup>3</sup>/год.

Первый водный баланс Капшагайского водохранилища, за 1971 год, составлен К. Б. Шергиной [11, 12]. В 1978...1987 годах водные балансы этого водоема помещались в серии "Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод" Государственного водного кадастра (ГВК), издаваемой Казгидрометом. Вопросы испарения с водной поверхности водохранилища отдельно посвящены работы С.Н. Нургалиева [5], К.Б. Шергиной [13], Е.В. Большаковой и Э.В. Пакалн [1]. Оценка притока поверхностных вод в водоем за 1971...1973 годы дана в [14], бокового притока за 1970...1997 годы - в [8]. В упомянутой работе Е.В. Большаковой и Э.В. Пакалн приведены также результаты определения испарения с территории, подтопленной водохранилищем, и пополнения подземных вод.

В опубликованных годовых водных балансах Капшагайского водохранилища учитывались приток поверхностных вод, поступление воды с атмосферными осадками, сброс воды в нижний бьеф, испарение с водной поверхности, потери воды на орошение и испарение с подтопленных территорий, изменение объема в водоеме.

Основной приток поверхностных вод к водохранилищу К.Б. Шергиной и Казгидрометом принимался по данным наблюдений за стоком р. Или в 170(171) км выше ГЭС. Для учета боковой приточности большей частью использовались данные гидрометрических измерений на постах, располагавшихся у выхода из гор или находившихся на сравнительно небольшом удалении от последних. Только для оценки притока по рекам Шилик и Каскелен Казгидрометом и по р. Шилик К. Б. Шергиной привлекалась фактическая информация о расходах воды на устьевых участках. С площади водосбора, не охваченной гидрометрическими измерениями, К.Б. Шергиной [11] боковая приточность рассчитывалась по среднемесячному модулю стока:

$$V_{\text{пр}} = 86,4 \cdot M \cdot F_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{пр}}$  - боковая приточность с площади водосбора, не охваченной гидрометрическими измерениями, м<sup>3</sup>/мес;  $M$  - модуль стока по карте среднего годового стока [6], дм<sup>3</sup>/с км<sup>2</sup>;  $F_{\text{пр}}$  - площадь водосбора, не охваченная гидрометрическими измерениями, км<sup>2</sup>.

В работе [12] К. Б. Шергина, а позже и Казгидромет, для определения боковой приточности использовали эмпирическое выражение

$$V_{\text{пр}} = n(0,0004 \cdot Q_{\text{ш}} + 0,0002 Q_{\text{к}}), \quad (2)$$

где  $V_{\text{пр}}$  - боковая приточность с площади водосбора, не охваченной гидрометрическими измерениями, км<sup>3</sup>;  $n$  - число суток в месяце;  $Q_{\text{ш}}$  - расход воды руч. Шенгельды у с. Шенгельды, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{к}}$  - то же р. Курты у колхоза им. Ленина (пос. Куртстрой).

Как полагает К.Б. Шергина [11], полученные таким путем величины  $V_{\text{пр}}$  включают также подземный приток воды в водохранилище и подрусловой сток в створах тех рек, в которых производились гидрометрические измерения. С этим, по-видимому, нельзя полностью согласиться, так как выражение (1) не учитывает изменения стока, происшедшие под влиянием хозяйственной деятельности. В выражении (2) этот учет не полный. Общій приток вод в водохранилище, по данным этих исследований, за рассматривавшиеся годы находился в пределах 12,40...17,78 км<sup>3</sup>/год.

Согласно исследованиям С.М. Шапиро и Т.Н. Винниковой [10], подземный сток равен 0,22 км<sup>3</sup>/год (607 590 м<sup>3</sup>/сут). По Ж. Достаеву [3], из предгорной равнины, примыкающей к Заилийскому Алатау, в 1970...1982 гг. подземный сток в сторону Капшагайского водохранилища составлял от 0,10 до 0,28, в среднем 0,19 км<sup>3</sup>/год. При этой оценке подземный сток принимался пропорциональным поверхностному из той же территории, что в принципе не совсем правильно: ежегодные изменения его должны быть более сглаженными. Последнее связано с тем, что выклинивание подземных вод по времени запаздывает по сравнению с потерями поверхностного стока в подземные горизонты.

В работе [8] боковую приточность к Капшагайскому водохранилищу рекомендуется определять по формуле

$$Q_{\text{БП}} = 1,02 \sum Q - 1,37 Q_{\text{ВЗ}} - 18,7, \quad (3)$$

где  $Q_{\text{БП}}$  - суммарный средний годовой расход воды рек в нижней части

предгорной равнины, расположенной в междуречье Каскелен - Шилик,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\sum Q$  - то же при выходе из гор,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{B3}$  - суммарный забор воды из водотоков в бассейне р. Шилик,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Формула (3) получена на основе обобщения всех имевшихся данных о стоке в устьях боковых притоков Капшагайского водохранилища и заборах воды на хозяйственные нужды в 1942...1997 гг. Связь, которую эта формула выражает, достаточно тесная ( $r = 0,89$ ). Поскольку расстояние от устьевых постов до водохранилища, как правило, было небольшим, можно полагать, что формула (3) учитывает, по крайней мере, большую часть выклинивавшихся подземных вод.

Поступление воды на поверхность водохранилища с атмосферными осадками К.Б. Шергина определяла по данным наблюдений на М Капчагай, Шилик и Жаркент (Панфилов). В измеренные на этих станциях осадки по методике ГГО-КазНИИ вводились поправки на смачивание, испарение и ветровой недоучет [2]. Казгидромет использовал данные по М Капчагай, Карачок и Шилик. Объем воды, поступившей с атмосферными осадками за рассматривавшиеся годы, был в пределах  $0,23...0,53 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Сброс воды в нижний бьеф водохранилища и К.Б. Шергиной, и Казгидрометом принимался по данным учета стока через створ Капшагайского гидроузла, а испарение с водной поверхности определялось по формуле А.П. Браславского и С.Н. Нургалиева, имеющей вид:

$$E = 0,14n(e_0 - e_{200})[1 + 0,8 \cdot u_{200} + f(\Delta t)], \quad (4)$$

где  $E$  - слой испарившейся воды с поверхности водоема,  $\text{мм}/\text{мес}$ ;  $n$  - число суток в месяце;  $e_0$  - максимальная упругость водяного пара при температуре испаряющей поверхности,  $\text{гПа}$ ;  $e_{200}$  - упругость водяного пара, содержащегося в воздухе на высоте 2 м над водоемом,  $\text{гПа}$ ;  $u_{200}$  - скорость ветра над водоемом,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\Delta t$  - разность температур поверхности воды и воздуха на высоте 2 м,  $^{\circ}\text{C}$ .

Одним из основных недостатков этой формулы является то, что она не учитывает взаимодействие свободной и вынужденной конвекции. Объемы испарившейся воды, рассчитанные по ней за несколько лет для Капшагайского водохранилища, находились в пределах  $0,96...2,29 \text{ км}^3/\text{год}$ . Слой испарения за год с его поверхности, по расчетам С.Н. Нургалиева за 1936...1971 годы, изменялся от 1010 до 1228 мм, при среднем значении 1129 мм.

Испарение с подтопленных территорий, по оценке Е.В. Большаковой и Э.В. Пакалн, за период 1971...1979 годы изменялось в пределах



0,20...0,70 км<sup>3</sup>/год. Эта оценка производилась отдельно для теплого и холодного периода года. Для теплого периода использовался метод радиационного баланса и комплексный метод [7], для холодного - эмпирическая формула, учитывающая дефицит влажности воздуха на высоте 2 м над снежной поверхностью. При расчетах испарения учитывался гидрогеологический прогноз развития подпора и изменения залегания подземных вод, составленный С.М. Шапиро и Т.Н. Винниковой в зависимости от объема водохранилища [10].

К.Б. Шергина испарение с подтопленных территорий определяла по методике А.Р. Константинова [4]. Величина этого испарения, включающая и испарение с территории, увлажненной оросительными каналами, в 1971 году составила 0,82 км<sup>3</sup>/год. Казгидромет эту составляющую водного баланса принимал постоянной в течении всех лет - равной 0,78 км<sup>3</sup>/год.

В начальный период существования Капшагайского водохранилища часть задержанной воды в нем расходовалась на пополнение подземных вод, включавшее насыщение зоны аэрации ложа и фильтрацию в берега [9]. В водном балансе водохранилища эта составляющая ранее не учитывалась, однако отдельно, как упоминалось выше, пополнение подземных вод оценивалась Е.В. Большаковой и Э.В. Пакалн. Для его расчетов этими исследователями использовались выражения, приведенные, в частности, в работе И.А. Шикломанова [15]:

$$W_{п.в.} = W_{з.в.} + W_{б.в.}, \quad (5)$$

$$W_{з.в.} = F_з \cdot H_з \cdot \mu_з \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

$$W = 0,5 \cdot K_n \cdot \mu_б \cdot W_{общ} \cdot H_б^{0,6}, \quad (7)$$

где  $W_{п.в.}$  - пополнение подземных вод, км<sup>3</sup>/год;  $W_{з.в.}$  - насыщение зоны аэрации ложа водохранилища, км<sup>3</sup>/год;  $W_{б.в.}$  - объем воды, поступивший в берега, км<sup>3</sup>/год;  $F_з$  - площадь затопления, км<sup>2</sup>;  $H_з$  - средняя мощность зоны аэрации ложа водохранилища, м;  $\mu_з$  - недостаток насыщения грунта (коэффициент водоотдачи);  $K_n$  - коэффициент наполнения водохранилища;  $\mu_б$  - коэффициент водоотдачи грунтов на территориях, прилегающих к водохранилищу;  $W_{общ}$  - полный объем водохранилища по проекту, км<sup>3</sup>;  $H_б$  - средняя глубина залегания уровня подземных вод на территориях, прилегающих к водохранилищу, м.

По расчетам Е.В. Большаковой и Э.В. Пакали, наибольшие затраты воды на фильтрацию в ложе и берега водохранилища пришлось на 1971, 1972 и 1975 годы и составляли соответственно 0,87, 0,89 и 0,92 км<sup>3</sup>/год, в остальные годы - находились в пределах 0,26...0,29 км<sup>3</sup>/год. В этой оценке прежде всего вызывает сомнение значение, полученное для 1975 года: уровень воды в водохранилище в 1975 году находился на отметке 473,17 м, в 1974 году - на отметке 474,33 м, следовательно, и  $W_{б.в.}$  в 1975 году должно было быть меньше, чем в предыдущем. Кроме того, долина р. Или преимущественно заполнена песчано-гравийно-галечниковыми отложениями [10], для которых коэффициент водоотдачи  $\mu$  находится в пределах 0,25...0,35 [3, 9]. В работе же Е.В. Большаковой и Э.В. Пакали принято значение  $\mu = 0,12$ , характерное для тонкозернистых песков и супесей.

При составлении водных балансов водохранилища за некоторые годы Казгидромет также учитывал заборы воды на хозяйственные нужды. Таким образом, на основе изложенного можно отметить, что необходимы уточнения ранее составленных водных балансов Капшагайского водохранилища и дополнительная их оценка за остальные годы.

#### Принятая методика расчета водного баланса

Для расчетов ежегодных водных балансов Капшагайского водохранилища принято следующее уравнение:

$$V_{нов.} + V_{подз.} + V_x - V_c - V_u - V_{у.п.} - V_{п.с.} - V_z = \Delta W, \quad (8)$$

где  $V_{нов.}$  - приток поверхностных вод, км<sup>3</sup>/год;  $V_{подз.}$  - приток подземных вод, км<sup>3</sup>/год;  $V_x$  - атмосферные осадки, выпавшие на водное зеркало водохранилища, км<sup>3</sup>/год;  $V_c$  - сброс воды в нижний бьеф, км<sup>3</sup>/год;  $V_u$  - испарение с водной поверхности, км<sup>3</sup>/год;  $V_{у.п.}$  - испарение с подтопленных территорий, км<sup>3</sup>/год;  $V_{п.с.}$  - пополнение подземных вод, км<sup>3</sup>/год;  $V_z$  - забор воды на хозяйственные нужды за вычетом сброса в водохранилище использованных вод, км<sup>3</sup>/год;  $\Delta W$  - изменение объема воды в озере за год, км<sup>3</sup>/год;

Приток поверхностных вод определен как сумма объемов годового стока р. Или в 164 (171, 170) км выше Капшагайской ГЭС, боковой приточности из левобережных рек, впадающих в водохранилище, и руч. Шенгельды у с. Шенгельды. При этом в связи с неполными данными за сток Или в 164 км выше ГЭС в 1996 году для его восстановления использовано эмпирическое выражение

$$Q_{164} = 0,80Q_{3-12} + 39, \quad (9)$$

где  $Q_{164}$  - средний годовой расход воды р. Или в 164 км выше ГЭС,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $Q_{3-12}$  - средний расход воды за март - декабрь в том же створе,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Боковая приточность из левобережных рек рассчитана по формуле (3). При этом суммарный средний годовой расход воды рек у выхода из гор ( $\Sigma Q$ ) на предгорную равнину, примыкающую к северному склону Заилийского Алатау, получен по наблюдениям на гидрологических постах р. Шилик - с. Малыбай, р. Асы - с. Асысага, Турген - с. Таутурген, р. Есик - г. Есик, р. Талгар - г. Талгар, р. Мал. Алматинка - г. Алматы, р. Бол. Алматинка - в 2 км выше устья р. Проходной, р. Проходная - устье, руч. Тересбутак - устье, р. Аксай - с. Аксай, р. Каскелен - г. Каскелен, р. Шемолган - с. Шемолган.

За те годы, когда наблюдения за стоком на каком-либо из перечисленных постов не производились или были не полными,  $\Sigma Q$  определена путем приведения суммарного расхода воды по остальным постам с помощью установленных корреляционных связей. Особенно сложная в этом отношении ситуация сложилась в 1998...2000 гг.: данные по годовому стоку отсутствовали по большинству постов у выхода из гор. Поэтому приток поверхностных вод в водохранилище за 1998...2000 гг. вычислен с учетом выражения

$$Q_{нов} = 1,072 \cdot Q_{164} + Q_{ш} - 6,2, \quad (10)$$

где  $Q_{нов}$  - суммарный средний годовой расход воды всех рек, достигающих водохранилища,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{164}$  - средний годовой расход воды р. Или в 164 (171, 170) км выше ГЭС,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{ш}$  - то же для руч. Шенгельды у с. Шенгельды.

Годовой сток руч. Шенгельды до 1993 года включительно принят по данным наблюдений, за более поздние годы - средним из предшествующих лет ( $0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Подземный приток воды в водохранилище рассматривался в двух вариантах. В первом варианте эта составляющая баланса была принята равной  $0,22 \text{ км}^3/\text{год}$ , во втором - не учитывалась по отмеченной ранее причине.

Поступление воды с атмосферными осадками определено как среднее арифметическое по данным наблюдений на метеорологических станциях Капчагай, Карачок и Шилик. В измеренные осадки на этих станциях по методике ГГО-КазНИИ вводились поправки на смачивание, испарение и ветровой недоучет. За те годы, когда наблюдений по станции Карачок не было, для определения осадков использовалась выражение

$$X_3 = 0,95X_2 + 4,11, \quad (11)$$

где  $X_3$  - средний слой атмосферных осадков по метеорологическим станциям Капчагай, Карачок и Чилик, мм;  $X_2$  - то же по станциям Капчагай и Чилик.

Сброс воды из водохранилища в нижний бьеф принимался в двух вариантах - по данным учета стока через Капшагайский гидроузел и по наблюдений на посту Казгидромета р. Или - уроч. Капшагай.

Расчет испарения с водной поверхности произведен методом теплового баланса с помощью модели, разработанной А.П. Браславским. В качестве исходных данных использованы наблюдения за температурой и влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, общей и нижней облачностью, измеренные на метеорологических станциях Капчагай, Карачок и Шилик. Для акватории водохранилища испарение определено как среднее арифметическое значение из полученных результатов по трем станциям, а за годы до открытия станции Карачок - по выражению

$$E_3 = 0,82E_2 + 208,5, \quad (12)$$

где  $E_3$  - средний слой испарения, рассчитанный по данным наблюдений на метеорологических станциях Капчагай, Карачок и Чилик, мм;  $E_2$  - то же по станциям Капчагай и Чилик.

Испарение с затопленных территорий до 1979 года включительно принято по работе [1], а за более поздние годы равным  $0,78 \text{ км}^3/\text{год}$ . Последнее связано с тем, что уровень воды в последующий период был близким к наблюдавшемуся в 1979 году и лишь в отдельные годы повышался на  $1 \dots 3 \text{ м}$ . При таком непродолжительном повышении уровня воды, очевидно, не могли произойти существенные структурные изменения в растительном покрове на затопленных территориях. Кроме того, как показано в работе [1], увеличение площади водохранилища, соответствующее таким колебаниям уровня воды, не должно значительно повлиять на испарение с затопленных территорий.

Для определения пополнения подземных вод использовано выражение (7), позволившее рассчитать общий объем оттока в берега за период ее возможного существования. Расчет произведен при  $K_n = 0,50$ ,  $\mu_6 = 0,30$ ,  $H_6 = 3,5 \text{ м}$ ,  $W_{\text{общ}} = 28,14 \text{ км}^3$ . При этих исходных данных объем оттока воды в берега  $W_{\text{б.в.}} = 4,48 \text{ км}^3$ . Распределение его по годам, с начала заполнения водохранилища, принято, согласно И.А. Шикломанову [15], в следующих пропорциях: 30, 20, 15, 10, 8, 6, 5, 4 %. То есть полученный объем



*W<sub>б.в.</sub>* ранжирован в убывающем порядке исходя из предположения, что через 8 лет отток воды в берега прекратится.

Что же касается насыщения водой ложа водохранилища, то оно, как считает И.А. Шикломанов, происходит в течение первых 10...20 суток после начала заполнения водохранилища. При составлении ежегодных водных балансов эта составляющая не учитывалась. Такой учет необходим только в водном балансе за 1970 год, рассчитать который невозможно из-за отсутствия прежде всего уровенных наблюдений на водохранилище.

Объемы заборов воды из водохранилища и сброса вод в последнее после хозяйственного использования в 1990...2000 годах приняты по данным Балхаш-Алакольского водохозяйственного управления. За более ранние годы такая информация сохранилась только частично. Поэтому в водных балансах водохранилища за многие годы водозаборы и сбросы использованных вод учтены приближенно на основе данных за годы, для которых соответствующая информация имелась.

Ежегодные фактические изменения объемов воды в водохранилище получены по уровням воды, осредненным по постам г. Капчагай, М Карачок и 109 км выше ГЭС. При этом уровни на начало года и на конец предыдущего года принимались одинаковыми, средними за 31.12 и 01.01 соседних лет. Определение объемов производилось путем интерполяции координат кривой зависимости объема от уровня воды, построенной Институтом энергетики АН КазССР по данным батиметрической съемки водохранилища. Аналогично, но только по координатам кривой зависимости площади от уровня и средним годовым значениям последнего, получены также площади водохранилища, использовавшиеся при расчетах объемов испарения и выпавших атмосферных осадков.

Исключение составили 1993 и 1994 годы. Объем воды соответственно на конец и начало этих лет установлен по осредненным уровням воды на упомянутых постах за период 27.12...05.01. Такое отличие в определении объема водохранилища по сравнению с другими годами связано со сгонно-нагонными явлениями, наблюдавшимися в данный промежуток времени.

Одновременно водомерные наблюдения на постах, расположенных у г. Капчагай, М Карачок и в 109 км выше ГЭС, производились только в 1974...1987 гг. Для остальных лет была осуществлена привodka уровней, измеренных на одном-двух постах, к их значениям по трем постам. Для

этого использовались уравнения, параметры которых приведены в табл. 1. Общий вид уравнений следующий:

$$H = kH^* + b, \quad (13)$$

где  $H$  - расчетный средний годовой ( $H_{cp}$ ), на начало ( $H_n$ ) или конец года ( $H_k$ ) уровень воды, приведенные к наблюдениям по трем постам, см;  $H^*$  - фактический средний годовой ( $H_{cp}$ ), на начало ( $H_n$ ) или конец года ( $H_k$ ) уровень воды при наличии наблюдений по одному-двум постам;  $k, b$  - параметры выражений.

Таблица 1

Параметры уравнения (13) для приведения уровней воды к наблюдавшимся по трем постам

Расчетный уровень, см	Параметры выражений при наличии постов					
	г. Капшагай и М Карачок		г. Капшагай		М Карачок	
	$k$	$b$	$k$	$b$	$k$	$b$
$H_{cp}$	0,999	2,34	1,004	-2,46	0,995	6,12
$H_n$	0,997	3,37	1,009	-6,26	0,992	7,28
$H_k$	0,995	4,32	1,002	-1,43	0,989	9,44

В 1994, 1995 и 1999 годах водомерные наблюдения проводились только на посту М Карачок и то в течение не всех месяцев. Для этих лет среднегодовые уровни восстановлены соответственно по следующим уравнениям:

$$H_{cp.} = 1,01H_{1-5,7-10} - 8,1, \quad (14)$$

$$H_{cp.} = 0,31 \cdot H_{н.з.} + 0,69 \cdot H_{к.з.} + 1,1, \quad (15)$$

$$H_{cp.} = 0,90 \cdot H_{4-12} - 76,8, \quad (16)$$

где  $H_{cp.}$  - средний годовой уровень воды в водохранилище, см;  $H_{1-5,7-10}$  - средний уровень воды за январь-май и июль-октябрь по посту у М Карачок, см;  $H_{н.з.}$  - восстановленный уровень воды на 01.01, см;  $H_{к.з.}$  - то же на 31.12;  $H_{4-12}$  - средний уровень воды за период апрель-декабрь по посту у М Карачок, см.

В 1998 году на водохранилище водомерных наблюдений вообще не было. В этом случае уровень воды на начало года принят равным его значению на конец предыдущего года, а среднегодовой уровень и уровень на конец года 1998 года получены по выражениям

$$H_{cp.} = 0,65 \cdot H_n + 14,6 \cdot V_{164} + 97,5, \quad (17)$$

$$H_k = 0,55 \cdot H_n + 29,1 \cdot V_{164} - 13,4, \quad (18)$$

где  $H_{cp}$  - средний годовой уровень воды в водохранилище, см;  $H_n$  - уровень воды на 01,01, принятый равным его значению на 31.12 по посту у мет. ст. Карачок, см;  $V_{164}$  - объем годового стока р. Или в 164 км выше ГЭС, км<sup>3</sup>/год. Уровни воды за все годы приведены к единой отметке "нуля графика" 467,50 м в Балтийской системе.

Таким образом, при расчетах ежегодных водных балансов Капшагайского водохранилища, с одной стороны, использованы наиболее современные методические разработки. С другой стороны, возникали различные трудности, связанные с частичным или полным отсутствием такой исходной информации, как сток рек, уровни воды в водохранилище, подземный приток воды, водозаборы и сбросы воды. Несмотря на эти трудности, использованные вспомогательные связи для восстановления недостающих данных позволили в значительной мере решить возникавшие проблемы.

### Результаты расчета водного баланса и их анализ

Водные балансы Капшагайского водохранилища рассчитаны за 1971...2000 гг. в четырех вариантах. В качестве примера в табл. 2 представлены результаты расчетов по 4 варианту.

За рассматривавшийся период приток поверхностных вод изменялся в пределах 10,35...22,68 км<sup>3</sup>/год, объем выпавших осадков от 0,18 до 0,57 км<sup>3</sup>/год. Средние их значения за 1971...2000 годы соответственно составляли 14,43 и 0,21 км<sup>3</sup>/год. Элементы расходной части балансов находились в следующих пределах: 10,44...17,20 км<sup>3</sup>/год - сброс воды в нижний бьеф через Капшагайский гидроузел; 10,15...18,95 км<sup>3</sup>/год - годовой объем стока р. Или в уроч. Капшагай; 0,76...1,34 км<sup>3</sup>/год - объем испарившейся воды, 0,18...0,90 км<sup>3</sup>/год; 0,04...0,19 км<sup>3</sup>/год - забор воды на хозяйственные нужды за вычетом обратного ее сброса в водохранилище. В среднем за весь период сброс воды в нижний бьеф через Капшагайский гидроузел составлял 12,63, годовой объем стока р. Или в уроч. Капшагай был равен 12,47, объем испарившейся воды - 1,16 км<sup>3</sup>/год. Наибольшие водозаборы из водохранилища производились в конце 80-х годов. В 90-е годы изъятия воды на хозяйственные нужды постепенно уменьшались и достигли минимума в 1998...1999 годах. Сбросы использованных вод обратно в водохранилище по сравнению с водозаборами были незначительными.

В первом варианте расчетов водного баланса водохранилища сброс воды в нижний бьеф принят по данным учета стока через Капшагайский гидроузел, подземный приток воды - равным 0,22 км<sup>3</sup>/год.

Таблица 2

## Водный баланс Капшагайского водохранилища

Год	Приход			Расход						$\Delta W_{\phi}$	$\Delta W_p$	$\delta$
	$V_{\text{пос}}$	$V_x$	Всего	$V_c$	$V_a$	$V_{\text{ил}}$	$W_{\text{на}}$	$V_s$	Всего			
1971	17,12	0,20	17,32	12,36	0,76	0,20	0,90		14,22	3,70	3,10	0,60
1972	14,51	0,37	14,88	10,72	0,92	0,36	0,67		12,67	1,90	2,21	-0,31
1973	17,53	0,39	17,92	13,66	1,14	0,46	0,45		15,71	2,98	2,21	0,77
1974	12,07	0,28	12,35	11,89	1,15	0,55	0,36		13,95	-1,28	-1,59	0,31
1975	11,3	0,20	11,50	11,73	1,16	0,45	0,27		13,61	-0,21	-2,10	1,89
1976	12,3	0,43	12,73	11,35	1,14	0,54	0,22		13,25	1,10	-0,51	1,61
1977	13,33	0,34	13,67	10,91	1,23	0,55	0,18		12,87	-0,32	0,81	-1,13
1978	13,36	0,36	13,72	10,47	1,25	0,60		0,12	12,44	1,12	1,28	-0,16
1979	14,75	0,43	15,18	11,45	1,15	0,70		0,12	13,42	1,60	1,76	-0,16
1980	16,51	0,32	16,83	13,31	1,34	0,78		0,12	15,55	0,89	1,29	-0,40
1981	16,2	0,42	16,62	13,78	1,21	0,78		0,12	15,89	-0,34	0,73	-1,07
1982	13,14	0,27	13,41	12,43	1,30	0,78		0,12	14,63	-1,35	-1,22	-0,13
1983	12,92	0,27	13,19	10,15	1,30	0,78		0,12	12,35	-0,05	0,84	-0,89
1984	12,32	0,32	12,64	10,66	1,24	0,78		0,12	12,80	-0,53	-0,16	-0,37
1985	14,81	0,45	15,26	10,85	1,20	0,78		0,19	13,02	0,95	2,23	-1,28
1986	13,38	0,28	13,66	10,5	1,25	0,78		0,19	12,72	-0,45	0,94	-1,39
1987	17,63	0,57	18,20	14,95	1,20	0,78		0,19	17,12	0,64	1,08	-0,44



Год	Приход			Расход						$\Delta W_{\phi}$	$\Delta W_p$	$\delta$
	$V_{\text{люв}}$	$V_z$	Всего	$V_c$	$V_u$	$V_{\text{ил}}$	$W_{\text{н.э}}$	$V_2$	Всего			
1988	22,69	0,54	23,23	17,58	1,25	0,78		0,19	19,80	2,07	3,43	-1,36
1989	13,84	0,28	14,12	15,14	1,25	0,78		0,19	17,36	-2,96	-3,25	0,29
1990	14,17	0,36	14,53	13,5	1,17	0,78		0,19	15,64	-1,39	-1,11	-0,28
1991	14,48	0,18	14,66	10,34	1,20	0,78		0,11	12,43	1,14	2,23	-1,09
1992	11,9	0,39	12,29	10,34	1,09	0,78		0,11	12,32	-0,03	-0,04	0,01
1993	16,75	0,49	17,24	13,43	1,14	0,78		0,11	15,46	2,15	1,78	0,37
1994	15,33	0,46	15,79	16,34	1,23	0,78		0,10	18,45	0,18	-2,66	2,84
1995	10,63	0,26	10,89	12,14	1,22	0,78		0,10	14,24	-1,68	-3,35	1,67
1996	15,43	0,41	15,84	12,14	1,14	0,78		0,08	14,14	1,21	1,69	-0,48
1997	13,17	0,27	13,44	12,61	1,26	0,78		0,07	14,72	-0,16	-1,28	1,12
1998	18,61	0,53	19,14	16,43	1,17	0,78		0,04	18,42	0,94	0,72	0,22
1999	21,45	0,43	21,88	18,95	1,23	0,78		0,04	21,00	0,53	0,89	-0,36
2000	17,54	0,43	17,97	16,29	1,30	0,78		0,07	18,44	-0,86	-0,48	-0,38
Сред.	14,40	0,36	14,76	12,47	1,16	0,69	0,07	0,09	14,48	0,26	0,28	-0,02

Преобладающее большинство невязок балансов ( $\delta$ ) в этом варианте, для 20 лет, находится в пределах  $\pm 1,00$  км<sup>3</sup>/год, для 25 лет  $\delta < \pm 1,50$  км<sup>3</sup>/год. Максимальная невязка ( $\delta_{max}$ ) пришлась на 1994 год и составила 2,94 км<sup>3</sup>/год. В среднем за 30-летний период  $\delta = -0,01$  км<sup>3</sup>/год.

Во втором варианте сброс воды в нижний бьеф принят по данным наблюдений за стоком на посту р. Или - уроч. Капшагай, подземный приток воды - равным 0,22 км<sup>3</sup>/год. Для 19 лет  $\delta < \pm 1,00$  км<sup>3</sup>/год, для 25 лет  $\delta < \pm 1,50$  км<sup>3</sup>/год. Максимальная невязка 2,94 км<sup>3</sup>/год. Как и первом варианте,  $\delta_{max}$  пришлась на 1994 год. В среднем за 30 лет  $\delta = -0,23$  км<sup>3</sup>/год.

В третьем варианте сброс воды в нижний бьеф принят по данным учета стока через Капшагайский гидроузел, подземный приток воды не учитывался. Для 23 лет  $\delta < \pm 1$  км<sup>3</sup>/год, для 25 лет  $\delta < \pm 1,5$  км<sup>3</sup>/год. Максимальная невязка 3,16 км<sup>3</sup>/год. И в этом варианте  $\delta_{max}$  пришлась на 1994 год. В среднем за 30 лет  $\delta = 0,20$  км<sup>3</sup>/год.

В четвертом варианте сброс воды в нижний бьеф принят по данным наблюдений за стоком на посту р. Или - уроч. Капшагай, подземный приток воды не учитывался. Для 19 лет  $\delta < \pm 1$  км<sup>3</sup>/год, для 26 лет  $\delta < \pm 1,5$  км<sup>3</sup>/год. Максимальная невязка 2,84 км<sup>3</sup>/год. Также как и в трех предыдущих вариантах эта невязка пришлась на 1994 год. В среднем за 30 лет  $\delta = -0,02$  км<sup>3</sup>/год.

Одной из основных причин невязок водных балансов являются погрешности в определении притока поверхностных вод. Пониженной точностью характеризуются 1980, 1981, 1986, 1987, 1990...1994 годы, в основном из-за недостаточного количества измерений расходов воды на р. Или в 164 (171, 170) км выше Капшагайской ГЭС. В 1994 году, на который приходятся наибольшие невязки во всех рассмотренных вариантах водного баланса водохранилища, подсчитанный сток в этом створе приближенный из-за сомнительных уровней в апреле - августе, то есть в наиболее многоводный период года. Кроме того, на точность расчетов баланса в этом году могло повлиять также приближенное определение уровня и начального объема воды в водохранилище из-за наблюдавшихся сгонно-нагонных явлений. В то же время относительно небольшие невязки балансов в 1998 и 1999 годах свидетельствуют, что за эти годы уровни и объемы воды восстановлены достаточно надежно. Несколько в меньшей мере это относится, по-видимому, к 1995 году, для которого невязка баланса во всех вариантах также оказалась одной из самых больших.

В табл. 3 дана оценка применявшейся методики годовых водных балансов с использованием критерия  $S/\sigma$  и коэффициента корреляции  $r$  между фактическим ( $\Delta W_{\phi}$ ) и рассчитанным ( $\Delta W_p$ ) изменениями объемов воды в водохранилище. Эта оценка произведена по водным балансам за весь период (1971...2000 гг.) и без учета 1994 года. Во втором случае последний был исключен по указанным выше причинам.

Таблица 3

Оценка принятой методики расчета годовых водных балансов  
Капшагайского водохранилища

Вариант	1971...2000 гг.				1971...1993, 1995...2000 гг.			
	$\sigma$	$S$	$S/\sigma$	$r$	$\sigma$	$S$	$S/\sigma$	$r$
1	1,44	1,00	0,69	0,78	1,47	0,91	0,62	0,82
2	1,44	1,03	0,72	0,82	1,47	0,93	0,63	0,86
3	1,44	1,02	0,71	0,78	1,47	0,92	0,63	0,82
4	1,44	1,00	0,70	0,82	1,47	0,88	0,60	0,86

На основании данных табл. 3 можно сделать следующие выводы:

- по всем вариантам расчетов водных балансов за период 1971...2000 годы значения  $S/\sigma$  и  $r$  получились достаточно близкими;

- аналогичная картина имеет место и при исключении 1994 года, однако, что естественно,  $S/\sigma$  и  $r$  существенно изменились в лучшую сторону - значения  $S/\sigma$  уменьшилось, а  $r$  увеличилось по сравнению с их оценками за весь рассматривавшийся период;

- несколько лучше оценки по четвертому варианту, который на основании этого следует считать основным;

- в целом принятая методика расчетов удовлетворительная, а значительные невязки водных балансов в отдельные годы связаны в основном с погрешностями исходных данных.

В результате проведенного исследования рассчитаны годовые водные балансы Капшагайского водохранилища за 1971...2000 годы. Анализ их показал, что использованные при этом методики достаточно надежные и эффективные. Особенно большие трудности при расчетах водных балансов были связаны с отсутствием в некоторые годы водомерных наблюдений и недостатком информации о стоке впадающих в них рек.

Для повышения точности составления водных балансов Капшагайского водохранилища необходимо:

- больше внимания уделять улучшению качества наблюдений на посту Казгидромета р. Или - в 164 км выше ГЭС, учитывающему основную долю притока воды в Капшагайское водохранилище;

- желательно хотя бы в течение нескольких лет возобновить также измерения стока на устьевых участках других рек, достигающих Капшагайского водохранилища, для уточнения методики расчета бокового притока;

- обеспечить непрерывные круглогодичные водомерные наблюдения, причем в верхней части водохранилища целесообразно открытие поста на месте бывшего в 109 км выше ГЭС;

- произвести современную оценку подземного притока воды в водохранилище.

Результаты оценки годовых водных балансов Капшагайского водохранилища рекомендуется учитывать при разработке концепции улучшения экологической обстановки в Прибалхашья и осуществлении конкретных мероприятий в этом направлении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большакова Е.В., Пакалн Э.В. Влияние Капшагайского водохранилища на режим и величину стока р. Или // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1983. - Вып. 80. - С. 97-105.
2. Браславский А.П., Чистяева С.П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО-КазНИИ // Тр. КазНИГМИ. - 1979. - Вып. 65. - С. 3-94.
3. Достоев Ж. Трансформация стока рек северного склона Заилийского Алатау // Дисс. канд. геогр. наук. - 1990. - 189 с.
4. Константинов А.Р. Испарение в природе. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 532 с.
5. Нурғалиев С.Н. К оценке нормы испарения с водной поверхности Капшагайского водохранилища // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1974. - Вып. 11. - С. 120-126.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. - Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. - Вып. 2. Бассейн озера Балхаш. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 645 с.
7. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 95 с.



8. Скоцеляс И.И. и др. Боковой приток речных вод в Капшагайское водохранилище // Гидрометеорология и экология. - 2001. - № 3-4. - С. 69-79.
9. Справочное руководство гидрогеолога.- Л.: Недра, 1967.- Т. 1.-592 с.
10. Шапиро С.М., Винникова Т.Н. Гидрогеологические прогнозы в зоне Капшагайского водохранилища. - Алма-Ата: Наука, 1980. - 106 с.
11. Шергина К.Б. Водный баланс Капчагайского водохранилища (для условий начального наполнения) // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1974. - Вып. 11. - С. 112-119.
12. Шергина К.Б. Исследование водного баланса Капчагайского водохранилища // Тр. ГГИ. - 1974. - Вып. 220. - С. 33-38.
13. Шергина К. Б. Испарение воды с поверхности Капчагайского водохранилища // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1976. - Вып. 13. - С. 155-162.
14. Шергина К.Б. Оценка притока воды в водохранилище Капчагайской ГЭС // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. - 1976. - Вып. 13. - С. 163-169.
15. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 334 с.

Казахский научно-исследовательский институт  
Мониторинга окружающей среды и климата

### ҚАПШАҒАЙ СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ СУ БАЛАНСЫ

Геогр. ғылымд. канд.

И.И. Скоцеляс

Техн. ғылымд. канд.

В.И. Ли

Геогр. ғылымд. канд.

В.П. Попова

*Бұрын жасалған зерттеулердің қысқаша шолуы берілген.  
Қапшағай су қоймасының жылдық су балансын есептеу әдістемесі  
суреттелген. 1971...2000 жж. Есептеулердің нәтижелері мен олар-  
дың талдауы келтірілген.*