

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.552

Е.В.Обухов¹, Е.П. Корецкий²**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДНОСТИ ГОДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВНЕШНЕГО ВОДООБМЕНА ДНЕПРОВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ**¹ *Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, г. Одесса, Украина*² *Каховская гидрометеорологическая обсерватория, с. Веселе, Украина*

На основе составляющих водных балансов и постепенного их учета проведено исследование внешнего водообмена на пяти днепровских водохранилищах за период их эксплуатации до 2013 г. с учетом водности года. Определены коэффициенты интенсивности и показатели внешнего водообмена по каждому месяцу года, месяцы с максимальной и минимальной интенсивностью внешнего водообмена во временных единицах и основной фактор влияния на него – боковая приточность в водохранилище, осадки и испарение, хозяйственное их использование. Проведено сравнение интенсивности внешнего водообмена по водохранилищам Днепровского каскада и по годам водности. Результаты исследований могут быть полезными при формировании гидрохимического и разработке эксплуатационного режимов водохранилища в условиях изменения климата.

Ключевые слова: водохранилище, водный баланс, водообмен, интенсивность, показатель, коэффициент.

E.V.Obukhov¹, E.P. Koretsky²**STUDY OF WATER CONTENT EFFECTS ON THE INTENSITY OF THE EXTERNAL WATER EXCHANGE IN THE DNIEPER RESERVOIRS**¹ *International Academy of ecology, man and life protection sciences, Odessa, Ukraine*² *Kakhovka Hydrometeorological Observatory, Vesele, Ukraine*

The paper presents the results of the study of the external water exchange in 5 of the Dnieper reservoirs during their exploitation up to 2013 taking into account the dryness of the year. The study is based on water balance components and their gradual accounting. In the course of research, we determined intensity coefficients and external water exchange rates for each month of the year, the months with maximum and minimum intensity of external water exchange in time units and the main factor influencing it, which is the lateral inflow in the reservoir, precipitation and evaporation and economic use of the reservoirs. We compared the external water exchange intensity of the Dnieper cascade reservoirs based on the water content. The research results can be useful in the formation of hydrochemical and development of operational regimes of the water reservoir under conditions of climate change.

Keywords: water reservoir; water balance; water exchange; intensity; rate; coefficient.

doi 10.17072/2079-7877-2016-3-62-71

Рациональное использование и охрана водных ресурсов в современных условиях развития общества является одной из его важнейших проблем [2]. Комплексное использование речных водохранилищ и их каскадов различными водопотребителями и водопользователями усложняется рядом противоречий в разработке режимов их эксплуатации, что требует их мониторинга, обобщения и анализа результатов наблюдений и постоянного совершенствования режимов, особенно в условиях изменения климата.

Одной из важнейших характеристик современного состояния водохранилищ являются внутренний и внешний водообмен в них и качество воды. Этим вопросам в прошлом веке уделяли внимание многие ученые и исследовательские организации [1–8,18–20], однако возникает необходимость внести соответствующие поправки в результаты прошлых исследований.

На Днепровском каскаде водохранилищ в результате многоэтапных согласований многоотраслевых и внутриотраслевых противоречий сложился современный эксплуатационный режим, который в свете начавшейся реконструкции каскада также нуждается в дальнейшем усовершенствовании.

Целью данной работы является исследование интенсивности внешнего водообмена на работающих в каскаде пяти днепровских водохранилищах с учетом водности года эксплуатации, горизонтальной и вертикальной составляющих водообмена и их хозяйственного использования до 2013 г.

Материалы и методика исследования

Основными материалами исследования являются реальные водобалансовые показатели по пяти днепровским водохранилищам за многоводный 1970 ($p=1,89\%$ – за 52 года эксплуатации Кременчугского водохранилища) и маловодный 1972 ($p=92,45\%$, аналогично) годы их эксплуатации. Каневский гидроузел был введен в эксплуатацию в 1976 г.

Днепр – третья из больших рек Европы. Ее длина составляет 285 км, в границах Украины – 1121 км. Общая водосборная площадь бассейна Днепра – 503,6 тыс. км², в границах Украины – 293 тыс км² (55%). Исток Днепра находится на Валдайской возвышенности в Смоленской области РФ на высоте 220 м над уровнем моря, общий уклон реки – 0,11%. Впадает Днепр в Черное море. Всего в бассейне Днепра 32 тыс. водотоков, среди которых 89 длиной 100 км и более. Густота речной сети меняется от 0,39 км/км² в зоне лесов до 0,20 км/км² и менее на юге.

Средний многолетний сток Днепра в устье составляет 53,5 млрд м³, из которых 85% стока формируется в верхней его части, до Киева. Сток реки очень неравномерный. Например, расход реки в районе г. Киев колеблется от 200 до 25 тыс м³/с, т.е. максимальный расход воды превышает минимальный в 125 раз. Водный режим Днепра имеет четко выраженную сезонность: резко выраженное весеннее половодье, летнюю межень, осеннее увеличение водности реки и зимнюю межень с паводками в период оттепелей. Ледостав начинается в декабре. Основное (65%) питание Днепра и рек его бассейна – снеговое, 33% от объема стока составляет подземное питание. Наиболее полноводные месяцы – апрель и май, а сентябрь – наименее полноводный. Годовая сумма осадков уменьшается с 620 мм (возле Киева) до 323 мм (возле Херсона), а суммарное испарение, соответственно, увеличивается от 642 до 921 мм.

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы Днепра оцениваются в 14,6 млрд кВт·ч электроэнергии в средний по водности год. Схема комплексного использования водных ресурсов Днепра позволила получить около 10 млрд кВт·ч гидроэнергии, создать глубоководный транспортный путь длиной более 1000 км, обеспечить водой многоотраслевой хозяйственный комплекс и коммунально-бытовые потребности населения.

Шесть гидроэлектростанций на Днепре ниже Киева осуществляют перераспределение неравномерного стока реки во времени, изменяя тем самым ее гидрологический режим. Днепровский каскад гидроузлов строился почти половину столетия (1927–1976). Первой была построена Днепровская гидроэлектростанция, которая после войны была восстановлена, а потом расширена до общей мощности 1538 МВт. Начиная с 1956 г., приблизительно через каждые четыре года последовательно вводились в эксплуатацию Каховская, Кременчугская, Днепродзержинская, Киевская и Каневская ГЭС.

Установленная мощность Киевской, Каневской, Кременчугской, Днепродзержинской, Днепровской и Каховской ГЭС вместе с Киевской ГАЭС составляет 3905 МВт, а средний годовой выработок электроэнергии шести ГЭС равен 9274 млн кВт·ч при установленной мощности 3680 МВт. Пропускная способность ГЭС при НПУ (м³/с): Киевской – 5600, Каневской – 7300, Кременчугской – 5400, Днепродзержинской – 4200, Днепровской – 4950, Каховской – 2600. Сток через турбины в % от среднемноголетнего бытового стока реки: Киевской ГЭС – 96, Каневской – 96, Кременчугской – 95, Днепродзержинской – 91, Днепровской – 94, Каховской – 87. Полный объем водохранилищ каскада равен 43,58 км³, а полезный – 18,3 км³.

Площадь шести водохранилищ при нормальном подпертом уровне (∇ НПУ) составляет 6885 км², а при уровне мертвого объема (∇ УМО) – 4797 км². Общая длина водохранилищ равна 890 км, а береговой линии – 3079 км. Суммарная площадь мелководий до 2 м – 1341 км², а до 1 м – 635 км². В границах каскада защищено от затопления 198 тыс. га территории, с которой ежегодно откачивается около 3 км³ воды.

Результаты и их обсуждение

Показатели интенсивности внешнего водообмена водохранилищ включают составляющие: горизонтальную (приток воды по основной реке и боковой, а также сток из водохранилища через гидроузел) [1; 2; 8] и вертикальную (атмосферные осадки на водную поверхность и испарение с нее) [19]. Отметим также учет в расчетах сбросов в водохранилище сточных и бытовых вод, забор воды на хозяйственные нужды и др.

Коэффициенты интенсивности внешнего водообмена K_v по притоку определялись по формуле С.В. Григорьева [7; 8; 18; 19], по стоку – по формуле Л.И. Дубровина [7; 19], средний – по формуле В.Н. Штефана [1; 2; 4; 7; 19]: коэффициент интенсивности водообмена K_v с учетом всех составляющих водного баланса водоема – по формуле А.С. Литвинова [7]: показатель внешнего водообмена во временных единицах T_u – по формуле Г.П. Калинина и А.В. Караушева [5; 6].

Используя вышеизложенную методику, были рассчитаны показатели внешнего водообмена для пяти *днепровских* водохранилищ в характерные по водности годы (1970 и 1972) за период их эксплуатации до 2013 г. (рис. 1, 2).

Сравнительные показатели T_u и коэффициенты интенсивности внешнего водообмена K_v рассчитывались с постепенным учетом всех составляющих водного баланса водохранилищ: K_{v1} учитывает только основной приток и сток через гидроузел; K_{v2} – еще и боковую приточность; K_{v3} – еще осадки и испарение с водохранилища; K_{v4} – сумму приходных и расходных составляющих водного баланса.

Киевское водохранилище – первая ступень в составе Днепроовского каскада, на которой осуществляется ограниченное сезонное регулирование стока (площадь водосбора 239000 км², среднемноголетний сток 33,1 км³). Полная и полезная емкости водохранилища, соответственно, 3,73 и 1,17 км³. Объем притока воды в водохранилище в многоводном 1970 г. равен 58,94 км³, а расхода из водохранилища – 54,88 км³. В маловодном 1972 г. приток составлял 25,28 км³, расход – 24,86 км³.

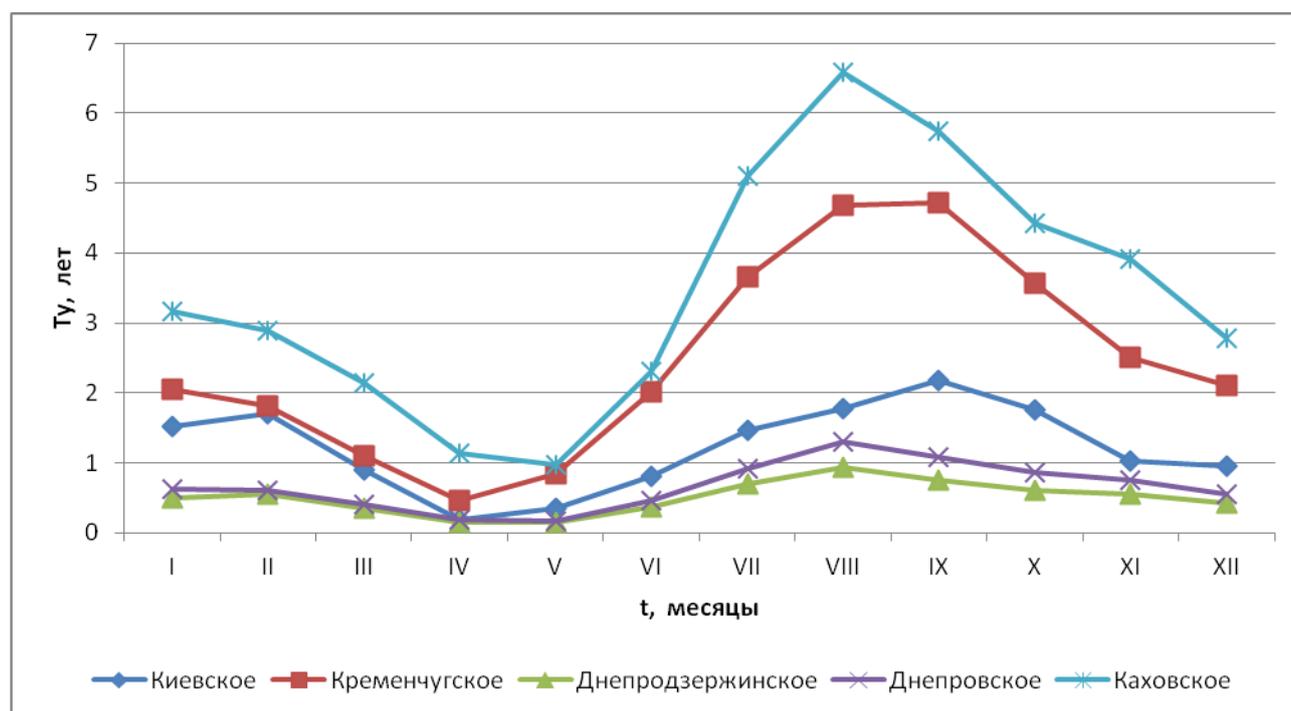


Рис. 1. График показателей внешнего водообмена $T_u(t)$ на каскаде днепровских водохранилищ для многоводного 1970 г.

Для *Киевского* водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* году (1970) наблюдаются в апреле: $K_{v1} = 4,911$, $K_{v2} = 5,219$, $K_{v3} = 5,229$, $K_{v4} = 5,243$; минимальные – в сентябре: $K_{v1} = 0,431$, $K_{v2} = 0,448$, $K_{v3} = K_{v4} = 0,461$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в апреле равны $T_u = 0,20$; 0,19; 0,19; 0,19 лет, а в сентябре – $T_u = 2,32$; 2,23; 2,17; 2,17 лет. Влияние бокового притока в 1970 г. наибольшее (20,51%) отмечается в марте, а наименьшее (2,78%) – в январе. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (более

12%) на интенсивность внешнего водообмена в июне, минимальное (около 1%) – в январе. Влияние суммарных составляющих водного баланса $K_{в4}$ на внешний водообмен (за исключением января и февраля) мало отличается от влияния $K_{в3}$.

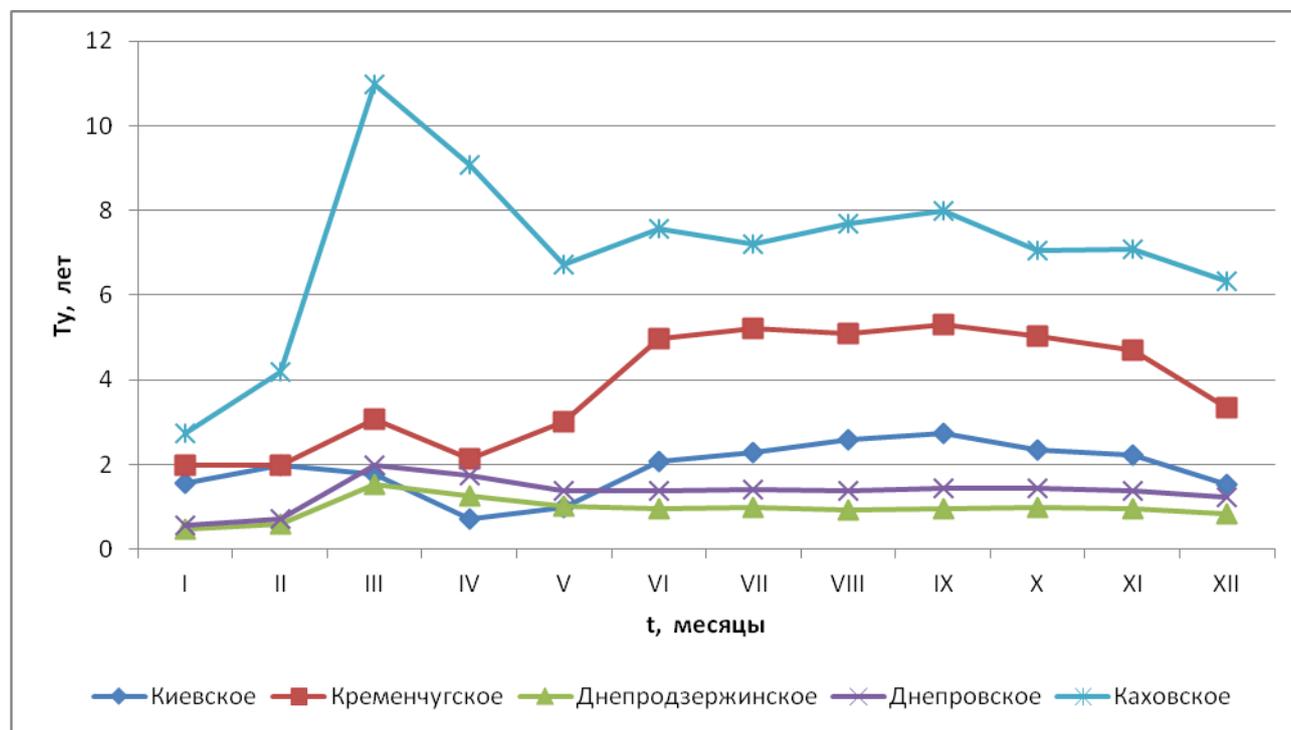


Рис. 2. График показателей внешнего водообмена $T_y=(t)$ на каскаде днепровских водохранилищ для маловодного 1972 г.

Для *маловодного* года (1972) эксплуатации Киевского водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена наблюдаются также в апреле: $K_{в1}= 1,356$; $K_{в2}= 1,394$; $K_{в3}= 1,403$; $K_{в4}= 1,410$; минимальные также в сентябре: $K_{в1}= 0,335$; $K_{в2}=0,344$; $K_{в3}=K_{в4}=0,364$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в апреле равны $T_y= 0,74$; $0,72$; $0,71$; $0,71$ лет, а в сентябре – $T_y= 2,98$; $2,91$; $2,75$; $2,75$ лет. Влияние бокового притока в 1972 г. наибольшее (9,82%) отмечается в марте, а наименьшее ((1,94%) – в мае. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (около 8%) на интенсивность внешнего водообмена в августе, минимальное (нулевое) – в декабре и январе. Влияние суммарных составляющих водного баланса $K_{в4}$ на внешний водообмен (за исключением января–марта) практически не отличается от $K_{в3}$

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена на Киевском водохранилище в многоводном и маловодном годах его эксплуатации, отметим идентичный характер кривых $T_y=f(t)$ с некоторым превышением временных значений в 1972 г. (рис. 1, 2). Показатель внешнего водообмена в годовом аспекте для водохранилища в многоводном году равен 0,062 лет (23 дня), а в маловодном – 0,136 лет (50 дней).

Кременчугское водохранилище – сегодня третья ступень в составе Днепровского каскада является основным его регулятором и осуществляет годовое регулирование стока с переходом к многолетнему. Площадь водосбора 382000 км²; среднемноголетний сток 47,8 км³; полная и полезная емкости водохранилища, соответственно, 13,52 и 9,07 км³. Объем притока в водохранилище за *многоводный* 1970 г. составлял 84,4 км³, расход из водохранилища – 75,55 км³. В *маловодном* 1972 г. приток был равен 35,44 км³, а расход – 32,67 км³.

Для Кременчугского водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* году (1970): $K_{в1}= 2,06$ (апрель), $K_{в2}= 2,11$ (апрель), $K_{в3}=K_{в4}= 2,12$ (апрель); минимальные: $K_{в1}= 0,186$ (август), $K_{в2}= 0,192$ (август), $K_{в3}=K_{в4}= 0,212$ (сентябрь). Влияние бокового притока наибольшее (10,09%) в марте. Кроме того, значительный рост (5,22–12,68%) наблюдается под влиянием суммарных составляющих в период июнь–октябрь. Осадки и испарение

среди всех составляющих имеют максимальные значения влияния 9,86% (август) и минимальные – 0,28% (апрель); высокий процент отмечается в июле–сентябре.

Для *маловодного* года (1972) эксплуатации Кременчугского водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты имеют величину: (январь) $K_{в1} = 0,491$, $K_{в2} = 0,502$, $K_{в3} = K_{в4} = 0,508$, а минимальные – $K_{в1} = 0,17$ (июль, сентябрь), $K_{в2} = 0,174$ (сентябрь), $K_{в3} = K_{в4} = 0,189$ (сентябрь). Максимальное влияние только бокового притока в марте – 4,29%, минимальное – 2,98% в феврале. Влияние суммарных составляющих водного баланса максимальное – 11,46% в июле, минимальное – 2,98% в феврале. Осадки и испарение среди всех составляющих водного баланса имеют максимальное значение – 9,18% в августе и минимальное – 0,33% в декабре, высокий процент в период июнь–сентябрь.

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена по Кременчугскому водохранилищу в многоводном и маловодном годах его эксплуатации, отметим значительное влияние на интенсивность бокового притока в марте многоводного года – 10,09% и 4,29% – в маловодном году, а также смещение максимального влияния суммарных составляющих водного баланса водохранилища – 12,68% с августа в многоводном году на июль – 11,46% в маловодном. Максимальные показатели внешнего водообмена (в течение какого времени при данных водобалансовых параметрах водохранилища за месяц произойдет смена массы воды в водоеме) составляют 4,72 лет по данным сентября многоводного года и 5,29 лет по данным сентября маловодного года, а минимальные показатели внешнего водообмена – 0,47 лет по данным апреля многоводного года и 1,97 лет по данным января маловодного года.

Влияние забора воды на хозяйственные нужды и сброс промышленных и бытовых стоков на показатели интенсивности внешнего водообмена на Кременчугском водохранилище совсем незначительное. Показатель внешнего водообмена в единицах времени в годовом аспекте для Кременчугского водохранилища в *многоводном* году равен 0,13 лет (47 дней), а в *маловодном* – 0,297 лет (108 дней).

Днепродзержинское водохранилище – четвертая ступень в составе Днепровского каскада, на которой осуществляется суточное и недельное регулирование стока (площадь водосбора 434000 км²; среднесноголетний сток 52 км³; полная и полезная емкости водохранилища, соответственно, 2,46 и 0,3 км³). Объем притока воды в водохранилище в *многоводном* 1970 г. составлял 81,24 км³, а расход из водохранилища – 79,82 км³. В *маловодном* 1972 г. объем притока был равен 34,2 км³, расход из водохранилища – 33,0 км³.

Для Днепродзержинского водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* году (1970) наблюдаются в мае: $K_{в1} = 6,677$, $K_{в2} = 6,766$, $K_{в3} = 6,785$, $K_{в4} = 6,787$; минимальные в августе: $K_{в1} = 1,034$, $K_{в2} = 1,051$, $K_{в3} = 1,078$, $K_{в4} = 1,080$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в мае для всех факторов равны $T_u = 0,15$ лет, а в августе – $T_u = 0,97$; 0,95; 0,93; 0,93 лет. Влияние бокового притока в 1970 г. наибольшее (7,44%) в марте, а наименьшее (1,12%) – в июне. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (более 2,4%) на интенсивность внешнего водообмена в августе, минимальное (0,06%) – в апреле. Влияние суммарных составляющих водного баланса $K_{в4}$ на внешний водообмен мало отличается от влияния $K_{в3}$.

Для *маловодного* (1972) года эксплуатации Днепродзержинского водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена наблюдаются в январе и равны: $K_{в1} = 2,164$; $K_{в2} = 2,183$; $K_{в3} = 2,185$; $K_{в4} = 2,187$; минимальные в марте: $K_{в1} = 0,628$; $K_{в2} = 0,645$; $K_{в3} = 0,651$; $K_{в4} = 0,653$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в январе для всех факторов равны: $T_u = 0,46$ лет, а в марте $T_u = 1,59$; 1,55; 1,53; 1,53 лет. Влияние бокового притока в 1972 г. наибольшее (7,65%) в апреле, а наименьшее (0,52%) – в феврале. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (около 2,15%) на интенсивность внешнего водообмена в августе, минимальное (нулевое) – в феврале. Влияние суммарных составляющих водного баланса $K_{в4}$ на внешний водообмен отличается от $K_{в3}$ на 0,2 %.

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена на Днепродзержинском водохранилище в многоводном и маловодном годах его эксплуатации, отметим заметное расхождение кривых $T_u = f(t)$ с марта по июль и с сентября по декабрь (рис. 1, 2). Показатель внешнего водообмена в единицах времени в годовом аспекте для водохранилища в *многоводном* году равен 0,031 лет (11 дней), а в *маловодном* – 0,072 лет (26 дней).

Днепровское водохранилище – пятая ступень в составе Днепровского каскада, на которой осуществляется суточное и недельное регулирования стока (площадь водосбора 464000 км²; среднесноголетний сток 52,3 км³; полная и полезная емкости водохранилища, соответственно, 3,33 и

0,83 км³). Объем притока воды в водохранилище за *многоводный* 1970 г. составлял 82,39 км³, а расход из водохранилища – 84,66 км³. В *маловодном* 1972 г. объем притока был равен 32,81 км³, расход из водохранилища – 33,08 км³.

Для Днепровского водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* году (1970) наблюдаются в мае: $K_{в1}= 5,779$, $K_{в2}= 5,787$, $K_{в3}= 5,796$, $K_{в4}= 5,804$; минимальные – в августе: $K_{в1}= 0,743$, $K_{в2}= 0,743$, $K_{в3}= 0,752$, $K_{в4}= 0,761$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в мае для всех факторов равны $T_y= 0,17$ лет, а в августе: $T_y= 1,35$; 1,35; 1,33; 1,31 лет. Влияние бокового притока в 1970 г. наибольшее (8,53%) в марте, а наименьшее (0,0%) – в августе и сентябре. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (1,3%) на интенсивность внешнего водообмена в июле, минимальное (0,04%) – в марте и апреле. Максимальное влияние (1,16%) суммарных составляющих водного баланса $K_{в4}$ на внешний водообмен наблюдается в августе в сравнении с $K_{в3}$ (рис. 2).

Для *маловодного* года (1972) эксплуатации Днепровского водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена наблюдаются в январе и равны: $K_{в1}= 1,798$; $K_{в2}= 1,801$; $K_{в3}= 1,801$; $K_{в4}= 1,808$; минимальные в марте: $K_{в1}= 0,492$; $K_{в2}= 0,495$; $K_{в3}= 0,498$; $K_{в4}= 0,505$. Соответствующие показатели внешнего водообмена в январе для всех факторов равны: $T_y= 0,56$ лет, а в марте $T_y= 2,03$; 2,02; 2,01; 1,98 лет. Влияние бокового притока в 1972 г. наибольшее (1,24%) в апреле, а наименьшее (0,0%) – в сентябре. Осадки и испарение оказывали максимальное влияние (около 2,46%) на интенсивность внешнего водообмена в сентябре, минимальное (нулевое) – в январе и феврале. Влияние суммарных составляющих водного баланса $K_{в4}$ на внешний водообмен максимальное (1,36%) по отношению $K_{в3}$ в июле.

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена на Днепровском водохранилище в *многоводном* и *маловодном* годах его эксплуатации, отметим заметное расхождение кривых $T_y=f(t)$ с марта по июль и с сентября по декабрь (рис.1, 2). Показатель внешнего водообмена в единицах времени в годовом аспекте для водохранилища в *многоводном* году равен 0,039 лет (14 дней), а в *маловодном* – 0,099 лет (36 дней).

Каховское водохранилище – шестая ступень Днепровского каскада осуществляет сезонное и частично многолетнее регулирование стока (полная и полезная емкости водохранилища 18,2 и 6,8 км³ соответственно, площадь водосбора 482000 км²; среднегогодежный сток 52,2 км³). Объем притока воды в водохранилище в *многоводном* 1970 г. составил 86,08 км³, а расход из водохранилища – 81,92 км³. В *маловодном* 1972 г. объем притока был равен 32,09 км³, расход из водохранилища – 26,65 км³.

Для Каховского водохранилища максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* году (1970) составили (май) $K_{в1}= 0,70$, $K_{в2}= 0,998$, $K_{в3}= 1,01$, $K_{в4}= 1,02$; минимальные – (август) $K_{в1}= 0,120$, $K_{в2}= 0,122$, $K_{в3}= 0,134$, $K_{в4}= 0,152$. Влияние бокового притока наибольшее (22,76%) в мае и в апреле (25,03%), а с учетом испарения и осадков – 30,4% в мае и 25,2% – в апреле.

В *маловодном* году (1972) эксплуатации водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена следующие: (январь) $K_{в1}= 0,358$, $K_{в2}= 0,359$, $K_{в3}= 0,360$, $K_{в4}= 0,364$; минимальные – (март) $K_{в1}= 0,080$, $K_{в2}= 0,081$, $K_{в3}= 0,084$, $K_{в4}= 0,091$. Максимальное влияние бокового притока на внешний водообмен составляет 17,7% в августе, 17,5% в июле, 17,4% в июне, а с учетом осадков и испарения в те же месяцы – 25,6; 25,6; 25,2%, даже в сентябре – 17,6%. Высокий процент в течение шести месяцев (апрель–сентябрь) от 20,1 до 28,6% влияет на интенсивность внешнего водообмена суммарных составляющих водного баланса водохранилища.

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена по Каховскому водохранилищу в *многоводном* и *маловодном* годах его эксплуатации, отметим значительное влияние бокового притока в весенние (апрель–май) месяцы в *многоводном* году и в летние (июнь–август) – в *маловодном*. В аналогичные месяцы высокие проценты влияния суммарных составляющих водного баланса достигают значений от 28,6 до 31,41%.

Влияние забора воды на хозяйственные нужды и сброс промышленных и бытовых стоков на показатели интенсивности внешнего водообмена на Каховском водохранилище составляют до 11% в летние месяцы *многоводного* года и до 18% в те же месяцы *маловодного* года. Максимальные показатели внешнего водообмена составляют 6,58 лет за август *многоводного* и 10,99 лет за март *маловодного* годов, а минимальные – 0,98 лет за май *многоводного* и 2,75 лет – за январь *маловодного* годов. Показатели внешнего водообмена в единицах времени в годовом аспекте составляют в *многоводном* году 0,21 лет (77 дней), в *маловодном* – 0,59 лет (215 дней).

Анализируя график показателей внешнего водообмена для пяти водохранилищ каскада в *многоводном* году (рис. 1), отметим самую высокую интенсивность внешнего водообмена (в пределах года) на Днепродзержинском водохранилище, а затем снижение интенсивности (особенно в летние и осенние месяцы) в такой последовательности: Днепровское, Киевское, Кременчугское и Каховское водохранилища. На снижение интенсивности внешнего водообмена на Кременчугском и Каховском водохранилищах значительно влияет их объем.

В *маловодном* году (рис. 2) последовательность расположения кривых аналогична, но кривые более распластаны в течение года. Следует отметить резкое снижение интенсивности внешнего водообмена T_u (до 11 лет) весной на Каховском водохранилище.

При сопоставлении показателей внешнего водообмена по Кременчугскому и Каховскому водохранилищам наблюдаются более высокие (почти в 3 раза) проценты влияния на них всех составляющих водных балансов и более продолжительное их влияние на Каховском водохранилище.

Выводы

1. Проведенные исследования показали самую высокую интенсивность внешнего водообмена в пределах многоводного и маловодного годов из пяти водохранилищ каскада на Днепродзержинском водохранилище, а самую низкую – на Каховском.

2. Отмечается очевидное влияние на интенсивность внешнего водообмена объема водохранилища, что характерно снижает его интенсивность на Кременчугском и Каховском водохранилищах.

3. Наибольшее влияние всех неосновных составляющих водного баланса в многоводном году для Киевского водохранилища наблюдается в марте (23,2%) и в марте маловодного года (11,1%), на Кременчугском водохранилище – в марте многоводного года (12,76%) и в марте маловодного года (10,77%), на Днепродзержинском водохранилище – в марте многоводного года (7,7%) и в марте маловодного года (3,83%) (максимальное в апреле – 8,59%), на Днепровском водохранилище – в марте многоводного года (8,79%) и в марте маловодного года (2,57%) (максимальное в июне – 3,63%), на Каховском водохранилище – в мае многоводного года (31,41%) и в мае маловодного года (20,50%) (максимальное в июле–августе – 28,6%).

4. Разница влияния водности года эксплуатации водохранилищ каскада на интенсивность внешнего водообмена в пользу многоводного года составляет до 50% для Днепродзержинского, Днепровского и Киевского водохранилищ и до 500% для марта на Каховском водохранилище. На разницу интенсивности внешнего водообмена в течение года по водохранилищам каскада значительно влияет фаза их эксплуатации.

5. Проведенные исследования и полученные результаты [9–17], показавшие показали значимость учета всех составляющих водного баланса при определении показателей интенсивности внешнего водообмена в водохранилищах в разные периоды их эксплуатации, должны помочь при разработке режимов их эксплуатации в условиях изменения климата.

Библиографический список

1. Богословский Б.Б., Филь С.А. Классификация водоемов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. Л., 1984. С. 54–60.
2. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
3. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озераведении // Труды Карельского филиала АН СССР: матер. по гидрологии (лимнология). Карелия, 1959. Вып. 18. С. 29–45.
4. Знаменский В.А. Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 247 с.
5. Калинин Г.П. Роль водохранилищ в изменении скорости водообмена речных вод // Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. М., 1972. С. 99–104.
6. Караушев А.В. Внешний водообмен и формирование качества воды в озерах и водохранилищах // Труды ГГИ. 1978. Вып. 249. С. 48–63.
7. Китаев А.Б. Особенности оценки внешнего водообмена в водохранилищах // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т.1. Пермь, 2013. С. 203–209.
8. Литвинов А.С. Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000. 83 с.

9. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен водохранилищ Днепровского каскада // Мат. 6-го Межд. эколог. форума «Чистый ГОРОД. Чистая РЕКА. Чистая ПЛАНЕТА». Херсон: ХТПП, 2015. С. 140–146.
10. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен Днестровского водохранилища // Мат. Міжн. нау.-практ. конф. «Досягнення науки в 2015 році». Ч. 2. Київ:ЦНП, 2015. С. 31–38.
11. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен на украинских водохранилищах // Мат. ІХ Межд. заоч. науч.-практ. конф. «Развитие науки в XXI веке». Ч. 2. Харьков: НИЦ, 2015. С. 32–37.
12. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен украинских водохранилищ // Научно – технический бюллетень серии «Экология, экономика, безопасность». Одесса: УО МАНЭБ–Пассаж, 2016. Вып.1(37). 48 с.
13. *Обухов Е.В.* Оценка интенсивности внешнего водообмена в Кременчугском и Каховском водохранилищах // Український гідрометеорологічний журнал. 2014. №15. С. 134–140.
14. *Обухов Є.В.* Оцінка впливу вертикальної складової на інтенсивність зовнішнього водообміну на Кременчуцькому водосховищі // Мат. ІІ Міжн. науч.-практ. інтернет-конф. «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва». Тернопіль, 2015. С. 324–326.
15. *Обухов Є.В.* Оцінка інтенсивності зовнішнього водообміну на Каховському водосховищі в умовах зміни клімату // Мат. Міжн. науч.-практ. інтернет-конф. «Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції». Кам'янець-Подільський, 2015. С. 280–282.
16. *Обухов Е.В.* Сравнительные показатели внешнего водообмена на водохранилищах Днепровского каскада // Географический вестник. 2016. №2(37). С. 61–69.
17. *Обухов Е.В., Корецкий Е.П.* Внешний водообмен на Днепродзержинском водохранилище // Мат. X Межд. заочнойн.-пр. конф. «Развитие науки в XXI веке». Харьков: НИЦ «Знание», 2016. С. 99–104.
18. *Штефан В.Н.* К расчету водообмена долинного водохранилища // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1975. №5. С. 71–75.
19. *Штефан В.Н., Эдельштейн К.К.* Показатели водообмена водохранилищ // Мат. 5-го Всес. науч. симп. по соврем. пробл. самоочищения и регулирования качества воды. Ч. 2. Таллинн, 1975. С. 262–267.
20. *Эдельштейн К.К.* Водообмен и течения // Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во. МГУ, 1979. Вып. 3. С. 109–114.

References

1. Bogoslovsky, B.B., Fil', S.A. (1984), "Klassifikatsiya vodoemov po vneshnemu vodoobmenu" [Classification of water bodies according to their external water exchange]. *Geografo-gidrologicheski metod issledovaniia vod sushu*. [Geographic-hydrological method of studying land water], Leningrad, Russia.
2. Vuglinsky, V.S. (1991), *Vodnye resursy i vodnyi balans krupnykh vodokhranilishch SSSR* [Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR], Leningrad, Russia.
3. Grigoriev, S.V. (1959), "O nekotorykh opredeleniiakh i pokazatelyakh v ozerovedenii" [On some definitions and indicators in limnology], *Trudy Karelskogo filiala AN SSSR. Materialy po gidrologii* [Proceedings of the Karelian branch of the USSR Academy of Sciences. Materials on hydrology (Limnology)], Karelia, Russia.
4. Znamensky, V.A. (1981), *Gidrologicheskie protsessy i ikh rol' v formirovanii kachestva vody* [Hydrological processes and their influence on water quality], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
5. Kalinin, G. P. (1972), "Rol' vodokhranilishch v izmenenii skorosti vodoobmena rechnykh vod" [The Role of reservoirs in changing speed of water exchange of river water], *Inzhenerno-geograficheskie problemy proektirovaniya i ekspluatatsii krupnykh ravninnykh vodokhranilishch*. [Engineering and Geographical issues of design and use of large low-land reservoirs], Moscow, Russia.
6. Karashev, A.V. (1978), *Vneshniy vodoobmen i formirovanie kachestva vody v ozerakh i vodokhranilishchakh* [External water exchange and formation of water quality in lakes and reservoirs]. *Trudy Gosudarstvennogo Gidrologicheskogo Instituta* [Proceedings of the State hydrological Institute], iss. 249, pp. 48-63,
7. Kitaev, A.B. (2013), *Osobennosti otsenki vneshnego vodoobmena v vodokhranilishchakh* [Features of estimating external water exchange in reservoirs], *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy*

konferentsii (28 maia 2013 goda) [Proceedings of International Scientific and Practical Conference], 28 May 2013, vol.1, pp. 203-209. Perm, Russia.

8. Litvinov, A.S. (2000), *Energo- i massoobmen v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada* [Energy and mass exchange in reservoirs of the Volga cascade], Yaroslavl, Russia.

9. Obukhov, E.V. (2015), "Vneshniy vodoobmen vodokhranilishch Dneprovskogo kaskada" [External water exchange of the Dnieper cascade reservoirs], *Proceedings of the 6th international Ecology Forum "A clean city. Clean river. Clean Planet" (19 November 2015)*, Kherson Chamber of Commerce and Industry, Kherson, Ukraine, pp. 140-146.

10. Obukhov, E.V. (2015), "Vneshniy vodoobmen Dnestrovskogo vodokhranilishcha" [External water exchange of the Dniester reservoir], *Materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii "Dosyagnennia nauki v 2015 rotsi"*, [Proceedings of international Scientific and Practical Conference "The Achievements of science in 2015". Pt. 2], TsNP, Kiev, Ukraine, pp.31-38.

11. Obukhov, E.V. (2015), "Vneshniy vodoobmen na ukrainskikh vodokhranilishchakh" [External water exchange in Ukrainian reservoirs], *Proceedings of the 9th international scientific and practical conference "The development of science in the 21st century"* (30 December 2015), NIC "Knowledge", Kharkov, Ukraine, pp.32-37.

12. Obukhov, V.E. (2016), "Vneshniyi vodoobmen ukrainskikh vodokhranilishch [External water exchange of Ukrainian reservoirs]. *Nauchno-tekhnicheskiiy byulleten' ser. "Ekologiya, ekonomika, bezopasnost'"* [The Bulletin of Science and technology. Series: Ecology, economics, safety], iss. 1(37), Ukrainian Division of the International Academy of Ecology and Life Protection Sciences-Passage, Odessa, Ukraine.

13. Obukhov, E.V. (2014), "Otsenka intensivnosti vneshnego vodoobmena v Kremenchugskom i Kakhovskom vodokhranilishchakh" [Estimation of external water exchange in the Kremenchug and Kakhovka reservoirs], *Ukrainskiy gidrometeorologicheskiiy zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], pp. 134-140.

14. Obukhov, E.V. (2015), "Otsinka vplyvu vertykalnoi skladovoi na intensyvniit zovnishnogo vodoobminu na Kremenchutckomu vodoshkovyshchi" [Evaluation of the effects of the vertical component on the intensity of the external water exchange in the Kremenchug reservoir]. *Proceedings of the 2 international scientific and practical Internet conference "Innovative technologies and intensification of national production development"*, Ternopil, Ukraine, pp. 324-326.

15. Obukhov, E.V. (2015), "Otsinka intensyvnosti zovnishnogo vodoobminuna Kakhovskomu vodoshkovishchi v umovakhzminy klimatu" [Evaluation of the external water exchange intensity of the Kakhovka reservoir under conditions of climate change], *Collection of scientific papers of international scientific and practical internet – conference "National production and economy in conditions of reformation: state and prospects of innovative development and interregional integration"*, 30 October 2015, Kamyans-Podilskiy, Ukraine, pp.280-282.

16. Obukhov, E.V. (2016), "Sravnitelnye pokazateli vneshnego vodoobmena na vodokhranilishchakh Dneprovskogo kaskada" [Comparative indicators of external water exchange in reservoirs of the Dnieper cascade], *Geograficheskiiy vestnik* [Geophysical Bulletin], №2(37), pp. 61-69.

17. Obukhov, E.V., Koretsky, E.P. (2016), "Vneshniy vodoobmen na Dneprodzerzhinskoy vodokhranilishche" [External water exchange on Dneprodzerzhinsk reservoir]. *Sbornik nauchnykh statei X mezhdunarodnoi zaochnoy nauchno-prakticheskoi konferentsii "Razvitie nauki v 21 veke"* [Proceedings of the X international scientific and practical conference "The development of science in the XXI century" (15.02.2016)], NIC "Knowledge", Kharkov, Ukraine, pp. 99-105.

18. Stefan, V.N. (1975), "K raschetu vodoobmena dolinnogo vodokhranilishcha" [To the calculation of water exchange of a valley reservoir], *Moscow University Vestnik. Series 5. Geography*, pp. 71-75.

19. Shtefan, V.N., Edelshtein, K.K. (1975), "Pokazateli vodoobmena vodokhranilishch" [Indicators of reservoirs' water exchange], *Proceedings of the 5th international Symposium: The purification and regulation of water quality. Section IV, part 2*, Tallinn, Estonia, pp. 262-267.

20. Edelshtein, K.K. (1979), "Vodoobmen i techeniia" [Water exchange and flows], *Complex investigations of reservoirs*, iss. 3, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, Pp. 109-114.

Поступила в редакцию: 05.02.2016

Сведения об авторах**Обухов Евгений Васильевич**

доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, действительный член Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы; УО, Украина, г. Одесса; e-mail: e.obukhov@mail.ru

Корецкий Евгений Павлович

заведующий гидрологическим отделом Каховской гидрометеорологической обсерватории; Украина, 74344, Херсонская область, Бериславский район, с. Веселе; e-mail: gidrotuz@mail.ru

About the authors**Yevgeny V. Obukhov**

Doctor of Economic Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor, Academician of the Ukrainian Division of International Academy of Ecology and Life Protection Sciences, Odessa, Ukraine; e-mail: e.obukhov@mail.ru

Evgen P. Koretsky

Head of the Hydrological Department, Hydrometeorological Observatory Kakhovka; Vesele, Berislavsky district, Kherson region, 74344, Ukraine; e-mail: gidrotuz@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Обухов Е.В., Корецкий Е.П. Исследование влияния водности года на интенсивность внешнего водообмена днепровских водохранилищ // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. № 3(38). С. 62–71. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-62-71

Please cite this article in English as:

Obukhov E.V., Koretsky E.P. Study of water content effects on the intensity of the external water exchange in the Dnieper reservoirs // Geographical bulletin. 2016. № 3(38). P. 62–71. doi 10.17072/2079-7877-2016-3-62-71

УДК 556.552

О.А. Перевощикова, В.Г. Калинин**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА КАМСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ В ВЕСЕННИЙ И ОСЕННИЙ ПЕРИОДЫ***Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь*

Показано влияние морфометрических особенностей камских водохранилищ на характер пространственной неоднородности температуры воды. В качестве критериев оценки использованы интегральные безразмерные морфометрические коэффициенты $K_{\text{мт}}$ и $K_{\text{м}}$, отражающие соотношение площадей и глубин таксономических единиц гидроморфологического районирования водохранилищ. Исследование выполнено по материалам многолетних наблюдений за температурой воды на Камском и Воткинском водохранилищах. Получены статистически значимые зависимости температуры воды в осенне-весенний периоды от морфометрических коэффициентов $K_{\text{мт}}$ и $K_{\text{м}}$.

Ключевые слова: водохранилище, особенности морфометрии, пространственная неоднородность температуры воды, районирование.

О.А. Perevoshchikova, V.G. Kalinin**PATTERNS OF WATER TEMPERATURE SPATIAL DISTRIBUTION IN THE KAMA RESERVOIRS IN THE SPRING AND AUTUMN PERIODS***Perm State University, Perm*

The influence of the Kama reservoirs morphometric characteristics on the nature of spatial inhomogeneity of the water temperature is shown. Integral morphometric coefficients, showing the ratio of the areas and