

Е.В.Обухов, д.эконом.н.

Одесский государственный экологический университет

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ВНЕШНЕГО ВОДООБМЕНА В КРЕМЕНЧУГСКОМ И КАХОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

На основе водобалансовых составляющих проведено исследование внешнего водообмена на крупнейших днепровских водохранилищах с учетом водности года..

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

Введение и постановка проблемы. Современной проблемой водохранилищ является их функционирование в условиях меняющегося климата. В этих условиях управление водными ресурсами водных объектов, оценка их состояния и происходящих в них процессов требуют постоянного мониторинга и анализа [1-4].

Процессы интенсивности водообмена в водохранилищах являются одной из важнейших характеристик их состояния [5-8]. Взаимодействие гидрологических и гидродинамических процессов влияет на внешний и внутренний водообмен, на содержание растворенных веществ в водоемах, на качество воды, на интенсивность цветения воды в водохранилищах степной зоны при накоплении в них химических или биологических веществ.

Исследованиями процессов водообмена в озерах и искусственных водоемах занимались Форель Ф., Богословский Б.Б. [9], Муравейский С.Д., Бакулин К.А., Браславский А.П., Буторин Н.В. [7.10]. Вуглинский В.С. [2]. Григорьев С.В. [6]. Девяткова Т.П., Дубровин Л.И., Знаменский В.А., [11.12]. Калинин Г.П. [13]. Караушев А.В.[14]. Китаев А.Б.[15]. Литвинов А.С. [16]. Матарзин Ю.М., Тарасов М.Н., Филь С.А. [9]. Фортуннов М.А., Штефан В.Н. [17-19]. Эдельштейн К.К. [4.8.18.20] и др. В результате проведенных исследований были получены характеристики водообмена многих водохранилищ.

Целью данной работы является исследование интенсивности внешнего водообмена на двух крупнейших днепровских водохранилищах - Кременчугском и Каховском, - работающих в каскаде, с учетом водности года эксплуатации, горизонтальной и вертикальной составляющих водообмена, а также интенсификации их хозяйственного использования.

Основными материалами исследования являются реальные водобалансовые показатели по Кременчугскому и Каховскому водохранилищам за весь период их эксплуатации, рассчитанные на Светловодской и Каховской гидрометеорологических обсерваториях.

Кременчугское водохранилище – третья ступень в составе Днепровского каскада – является основным его регулятором и осуществляет годовое регулирование стока с переходом к многолетнему. Полная и полезная емкость его, соответственно, -13,52 и 9,07 км³. Площадь водохранилища при отметке нормального подпертого уровня – 2252км², при уровне мертвого объема – 920 км². Длина водохранилища 149 км, максимальная ширина – 28 км, средняя ширина – 15,1 км. Максимальная глубина –20м, средняя – 6 м. Площадь мелководий водохранилища: до 1 м – 180 км², до 2 м- 410 км². Расчетный расход ГЭС – 5710 м³/с, водосбросной плотины – 20350 м³/с. Расчетный максимальный сбросной расход через сооружения (p=0,1 %) – 23300 м³/с.

Каховское водохранилище – шестая ступень Днепровского каскада – осуществляет сезонное и частично многолетнее регулирование стока. Полная и

полезная емкость водохранилища – 18,2 и 6,8 км³. Площадь зеркала водохранилища при отметке нормального подпертого уровня – 2155 км², при отметке уровня мертвого объема – 1930 км². Длина водохранилища – 230 км, максимальная и средняя ширина – 25 и 9,3 км, максимальная и средняя глубина – 36 и 8,4 м. Площадь мелководий водохранилища до 1 м - 44 км², до 2 м – 110 км². Расчетный расход ГЭС - 4962 м³/с, водосбросной плотины - 15438 м³/с. Расчетный максимальный сбросной расход через сооружения ($p=0,1\%$) – 20468 м³/с.

Результаты исследований и их анализ. Показатели интенсивности внешнего водообмена включают как горизонтальную [1-3.9.16.19], так и вертикальную [10.12.18.20] его составляющие. К горизонтальным составляющим внешнего водообмена относят приток воды в водохранилище (по основной реке и боковой), а также сток из водохранилища через гидроузел.

Коэффициент водообмена по притоку определяют по формуле Григорьева С.В. [3.15-18]

$$K_{np} = W_{np} / V, \quad (1)$$

коэффициент водообмена по стоку – по формуле Дубровина Л.И. [15,18]

$$K_{cm} = W_{cm} \varrho / y / V, \quad (2)$$

а средний коэффициент водообмена – по формуле Штефана В.Н. [1,9,11,15,18,19]

$$K_{\bar{v}} = (W_{np} + W_{cm} \varrho / y) / 2 V. \quad (3)$$

где: V – средний объем воды в водохранилище за расчетный интервал времени [9];

W_{np} – объем притока в водохранилище;

$W_{cm} \varrho / y$ – объем стока из водохранилища.

Одна из вертикальных составляющих внешнего водообмена учитывает выпадение атмосферных осадков на водную поверхность водохранилища, а также испарение с его поверхности. Эта составляющая существенно влияет на показатели внешнего водообмена во внутригодовом аспекте [12.15.18]. В этих работах при оценке внешнего водообмена предлагается также во внутригодовом аспекте учитывать и другие составляющие водного баланса водоема – сброс в водохранилище сточных и бытовых вод, забор воды на хозяйственные нужды и др.

Тогда, коэффициент интенсивности водообмена, с учетом всех составляющих водного баланса водоема, будет определяться по формуле Литвинова А.С. [12.15]

$$K_{\bar{v}} = (\Sigma W_{np} + \Sigma W_p) / 2 V, \quad (4)$$

где: $\Sigma W_{np} + \Sigma W_p$ – сумма приходных и расходных составляющих водного баланса.

Используя вышеизложенную методику были рассчитаны показатели внешнего водообмена двух крупных водохранилищ Днепровского каскада – Кременчугского и Каховского – в характерные по водности годы по формулам Штефана В.Н. и Литвинова А.С.

В табл. 1 и 2 приведены сравнительные характеристики коэффициентов интенсивности внешнего водообмена с постепенным учетом всех составляющих водного баланса водохранилищ: $K_{\bar{v}1}$ – учитывает только основной приток и сток через гидроузел; $K_{\bar{v}2}$ – учитывает еще и боковую приточность; $K_{\bar{v}3}$ – учитывает еще осадки и испарение с водохранилища; $K_{\bar{v}4}$ – учитывает сумму приходных и расходных составляющих водного баланса.

Таблица 1 – Коэффициенты внешнего водообмена Кременчугского водохранилища

Месяц	$K_{в1}$	$K_{в2}$	$K_{в2}/K_{в1}$ %	$K_{в3} \sim K_{в4}$	$K_{в4}/K_{в3}$ %	$K_{в4}/K_{в1}$ %	T_y , лет
Многоводный 1970 год							
I	0.468	0.477	1.89	0.488	2.25	4.10	2.05
II	0.529	0.540	2.04	0.552	2.17	4.17	1.81
III	0.793	0.882	10.09	0.909	2.97	12.76	1.10
IV	2.062	2.112	2.37	2.118	0.28	2.60	0.47
V	1.145	1.158	1.12	1.171	1.11	2.22	0.85
VI	0.472	0.479	1.46	0.498	3.81	5.22	2.01
VII	0.248	0.253	1.98	0.273	7.33	9.16	3.66
VIII	0.186	0.192	3.12	0.213	9.86	12.68	4.69
IX	0.194	0.201	3.48	0.212	5.19	8.49	4.72
X	0.260	0.268	2.98	0.281	4.63	7.47	3.56
XI	0.386	0.396	2.52	0.400	1.00	3.50	2.50
XII	0.458	0.466	1.72	0.474	1.69	3.38	2.11
Маловодный 1972 год							
I	0.491	0.502	2.19	0.508	1.18	3.35	1.97
II	0.489	0.494	1.01	0.504	1.98	2.98	1.98
III	0.290	0.303	4.29	0.325	6.77	10.77	3.08
IV	0.448	0.461	2.82	0.469	1.71	4.48	2.13
V	0.314	0.321	2.18	0.331	3.02	5.14	3.02
VI	0.181	0.184	1.63	0.201	8.46	9.95	4.97
VII	0.170	0.175	2.86	0.192	8.85	11.46	5.21
VIII	0.175	0.178	1.68	0.196	9.18	10.71	5.10
IX	0.170	0.174	2.30	0.189	7.94	10.05	5.29
X	0.184	0.191	3.66	0.199	4.02	7.54	5.03
XI	0.199	0.206	3.40	0.213	3.29	6.57	4.69
XII	0.291	0.299	2.67	0.300	0.33	3.00	3.33

Таблица 2 – Коэффициенты внешнего водообмена Каховского водохранилища

Месяц	$K_{в1}$	$K_{в2}$	$K_{в2}/K_{в1}$ %	$K_{в3}$	$K_{в3}/K_{в1}$ %	$K_{в4}$	$K_{в4}/K_{в1}$ %	$T_{у}$, лет
Многоводный 1970 год								
I	0.304	0.306	0.65	0.310	1.93	0.315	3.49	3.17
II	0.334	0.339	1.47	0.342	2.30	0.346	3.47	2.89
III	0.454	0.460	1.30	0.462	1.73	0.467	2.78	2.14
IV	0.647	0.863	25.03	0.865	25.20	0.874	25.97	1.14
V	0.701	0.998	29.76	1.007	30.39	1.022	31.41	0.98
VI	0.379	0.406	6.65	0.416	8.89	0.432	12.27	2.31
VII	0.162	0.165	1.82	0.176	7.95	0.196	17.35	5.10
VIII	0.120	0.122	1.64	0.134	10.45	0.152	21.05	6.58
IX	0.154	0.156	1.28	0.164	6.10	0.174	11.49	5.75
X	0.210	0.212	0.94	0.220	4.54	0.226	7.08	4.42
XI	0.246	0.248	0.81	0.251	2.00	0.255	3.53	3.92
XII	0.350	0.351	0.28	0.356	1.68	0.360	2.78	2.78
Маловодный 1972 год								
I	0.358	0.359	0.28	0.360	0.55	0.364	1.60	2.75
II	0.232	0.233	0.43	0.234	0.85	0.238	2.50	4.20
III	0.080	0.081	1.23	0.084	4.80	0.091	12.10	10.99
IV	0.088	0.091	3.30	0.093	5.40	0.110	20.10	9.09
V	0.118	0.137	7.10	0.143	10.50	0.149	20.50	6.71
VI	0.095	0.115	17.40	0.127	25.20	0.132	28.10	7.58
VII	0.099	0.120	17.50	0.133	25.60	0.139	28.60	7.19
VIII	0.093	0.113	17.70	0.125	25.60	0.130	28.60	7.69
IX	0.098	0.107	7.20	0.119	17.60	0.125	22.00	8.00
X	0.126	0.131	3.80	0.138	8.70	0.142	11.30	7.04
XI	0.130	0.133	2.25	0.136	4.40	0.141	7.80	7.09
XII	0.150	0.152	1.30	0.153	1.96	0.158	5.10	6.33

Отметим, что коэффициент интенсивности внешнего водообмена с увеличением в расчетах числа составляющих водного баланса возрос для всех месяцев характерных по водности лет эксплуатации рассматриваемых водохранилищ.

Для *Кременчугского* водохранилища – основного регулятора Днепровского каскада – максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* (1970) году: $K_{в1} = 2,06$ (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 месяце. Кроме марта месяца значительный рост (5,22 -:-12,68)% наблюдается под влиянием суммарных составляющих в период июнь-октябрь (табл. 1). Осадки и испарение среди всех составляющих имеют максимальные значения влияния - 9,86% (август) и минимальные – 0,28% (апрель). Высокий процент также в период июль-сентябрь.

Для *маловодного* (1972) года эксплуатации *Кременчугского* водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты имеют величину: $K_{в1} = 0,491$ (январь), $K_{в2} = 0,502$ (январь), $K_{в3} = K_{в4} = 0,508$ (январь). 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 также в период июль-сентябрь (табл.1).

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.

Для *Каховского* водохранилища – шестой ступени Днепровского каскада – максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* (1970) году: $K_{в1} = 0,70$ (май), $K_{в2} = 0,998$ (май), $K_{в3} = 1,01$ (май), $K_{в4} = 1,02$ (май); минимальные – $K_{в1} = 0,120$ (август), $K_{в2} = 0,122$ (август), $K_{в3} = 0,134$ (август), $K_{в4} = 0,152$ (август). 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* (1972) году эксплуатации *Каховского* водохранилища соответствующие максимальные коэффициенты интенсивности внешнего водообмена следующие (табл.2): $K_{в1} = 0,358$ (январь), $K_{в2} = 0,359$ (январь), $K_{в3} = 0,360$ (январь), $K_{в4} = 0,364$ (январь); минимальные - $K_{в1} = 0,080$ (март), $K_{в2} = 0,081$ (март), $K_{в3} = 0,084$ (март), $K_{в4} = 0,091$ (март). Максимальное влияние бокового притока на внешний водообмен составляет 17,7% (август), 17,5% (июль), 17,4% (июнь), 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% имеет влияние на интенсивность внешнего водообмена суммарных составляющих водного баланса водохранилища (табл. 2).

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% (табл. 2).

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

Влияние забора воды на хозяйственные нужды и сброс промышленных и бытовых стоков на показатели интенсивности внешнего водообмена на Кременчугском водохранилище совсем незначительное, а на Каховском - составляют до 11% в летние месяцы многоводного года и до 18% в те же месяцы маловодного года.

Калинин Г.П. [13] и Караушев А.В. [14] предложили определять показатель внешнего водообмена во временных единицах, как величину

$$T_y = 1 / K_v \quad (5)$$

В табл. 1 и 2 приведены значения этого показателя (лет) во внутригодовом аспекте для суммарных составляющих водных балансов рассматриваемых водохранилищ.

Для *Кременчугского* водохранилища максимальные показатели внешнего водообмена, т.е. в течение какого времени, при данных водобалансовых параметрах водохранилища за месяц, произойдет смена массы воды в водоеме, составляют 4,72 лет за данными сентября многоводного года и 5,29 лет за данными сентября маловодного года, а минимальные показатели внешнего водообмена - 0,47 лет за данными апреля многоводного года и 1,97 лет за данными января маловодного года.

Для *Каховского* водохранилища 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.

Отметим, что характерные показатели внешнего водообмена во временных единицах для Каховского водохранилища выше, чем для Кременчугского и несколько смещены во времени.

Показатели внешнего водообмена в единицах времени в годовом аспекте для Кременчугского водохранилища в многоводном году равен 0,13 лет, в маловодном - 0,29 лет, а для Каховского водохранилища в многоводном году - 0,21 лет, в маловодном - 0,59 лет.

Выводы.

1. Проведенные исследования и полученные результаты показали значимость учета всех составляющих водного баланса при определении показателей интенсивности внешнего водообмена в водохранилище в разные периоды его эксплуатации.
2. Проведенные исследования должны помочь при разработке режимов эксплуатации водохранилищ в условиях изменения климата.

Список литературы

1. *Васильев Ю.С.* Влияние плотин и водохранилищ на окружающую среду. Серия: Проектирование и строительство больших плотин.-М.:Энергоиздат, 1982.- Вып.7.-140с.
2. *Вуглинский В.С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР.- Л.: Гидрометеиздат, 1991.-223 с.
3. *Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод.-* Л.: Гидрометеиздат, 1987.-286 с.
4. *Эдельштейн К.К.* Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения.- М.: ГЕОС, 1998.- 277 с.

5. *Россолимо Л.Л.* Очерки по географии внутренних вод СССР. Реки и озера.- М.: Учпедгиз, 1952.- 304 с.
6. *Григорьев С.В.* О некоторых определениях и показателях в озероведении// Труды Карельского филиала АН СССР. Материалы по гидрологии (лимнология).- Карелия, 1959.- Вып. 18.- С. 29-45.
7. *Буторин Н.В.* О водных массах континентальных водоемов //Труды ИБВВ АН СССР, 1965.- Вып. 7 (10).- С. 3-9.
8. *Эдельштейн К.К.* Водообмен и течения // Комплексные исследования водохранилищ.- М.: Изд. МГУ, 1979.- Вып. 3.- С. 109-114.
9. *Богословский Б.Б. Филь С.А.* Классификация водоемов по внешнему водообмену / В кн.: Географо-гидрологический метод исследования вод суши.-Л., 1984.- С. 54-60.
10. *Буторин Н.В.* Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада.- Л.: Наука, 1969.- 322 с.
11. *Знаменский В.А.* Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды.- Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 247 с.
12. *Знаменский В.А.* Влияние гидролого-динамических факторов на изменение содержания химических веществ в водохранилище// Труды ГГИ.- Л.: Гидрометеиздат, 1977.-Вып. 246.- С. 58-77.
13. *Калинин Г.П.* Роль водохранилищ в изменении скорости водообмена речных вод/ В кн.: Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ.- М., 1972.- С. 99-104.
14. *Караушев А.В.* Внешний водообмен и формирование качества воды в озерах и водохранилищах // Труды ГГИ.- 1978.- Вып. 249.-С. 48-63.
15. *Китаев А.Б.* Особенности оценки внешнего водообмена в водохранилищах //Труды межд. н.-пр. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов», Т.1.- Пермь, 2013.- С.203-209.
16. *Литвинов А.С.* Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада.- Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000.- 83 с.
17. *Штефан В.Н.* К расчету водообмена долинного водохранилища // Вестник Моск. ун-та. Сер. Геогр.- 1975.- №5.- С. 71-75.
18. *Штефан В.Н., Эдельштейн К.К.* Показатели водообмена водохранилищ / В кн.: Материалы 5 Всесоюзного науч. симпозиума по соврем. пробл. Самоочищения и регулирования качества воды. Секция 1У, ч.2.- Таллинн.- 1975.- С. 262-267.
19. *Штефан В.Н.* Водообмен водохранилищ Волжско-Камского каскада / В кн.: Комплексные исследования водохранилищ. Вып. 5.- М., 1980.- С. 46-55.
20. *Эдельштейн К.К.* О соотношении показателей внутреннего водообмена проточных водоемов // Водные ресурсы.- 1981.-№ 6.-С. 70-74.

Оцінка інтенсивності зовнішнього водообміну в Кременчуцькому та Каховському водосховищах.

Обухов Є.В.

На основі водобалансових складових проведено дослідження зовнішнього водообміну на найбільших дніпровських водосховищах з врахуванням водності року.

Ключові слова: водосховище, водний баланс, водообмін, інтенсивність, показник, коефіцієнт

Estimate external water exchange in Kremenchug and Kakhovka reservoirs.

Obukhov E.V.

Based on the water balance components of a study of the external water exchange in the largest of the Dnieper reservoirs with the water year.

Key words: water reservoir, water balance, water exchange. intensity index. coefficient.