

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.552

Е.В. Обухов**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕШНЕГО ВОДООБМЕНА НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

На основе учета всех составляющих водного баланса и известной методики проведено исследование внешнего водообмена на крупнейших днепровских водохранилищах (Кременчугском и Каховском) с учетом водности года за весь период их эксплуатации до 2013 г. Исследована интенсивность внешнего водообмена на данных водохранилищах в годы с максимальным годовым испарением с их водной поверхности. Оценка интенсивности внешнего водообмена во внутригодовом аспекте осуществлялась путем сравнения коэффициентов интенсивности и показателей внешнего водообмена во временных единицах за характерные годы. Результаты исследований могут быть использованы при формировании гидрохимического и разработке эксплуатационного режимов водохранилищ в условиях изменения климата.

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

E.V. Obukhov**COMPARATIVE INDICES OF EXTERNAL WATER EXCHANGE IN THE DNIEPER CASCADE RESERVOIRS UNDER CLIMATE CHANGE**

Taking into account all components of water balance and using well-known techniques, the author studies external water exchange in the largest Dnieper reservoirs – the Kremenchug and Kakhovka, the annual amount of water for the total period of their operation until 2013 being also considered. The intensity of external water exchange in these reservoirs in years with maximum annual evaporation from their water surface is also studied. To analyze the intensity of external water exchange during a year, the intensity coefficients are compared to the external water exchange indices within time units for relevant years. The research results can be used to develop hydrochemical and operational regimes of the water reservoirs under climate change.

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

doi 10.17072/2079-7877-2016-2-61-69

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 [4; 5; 13; 25].

Процессы интенсивности водообмена в водохранилищах являются одной из важнейших характеристик их состояния [3; 6; 20; 24]. Взаимодействие гидрологических и гидродинамических процессов влияет на внешний и внутренний водообмены, содержание растворенных веществ в водоемах, качество воды, интенсивность цветения воды в водохранилищах степной зоны при накоплении в них химических или биологических веществ.

Исследованиями процессов водообмена в озерах и искусственных водоемах занимались Ф. Форель, Б.Б. Богословский, С.Д. Муравейский, К.А. Бакулин, А.П. Браславский, Н.В. Буторин, В.С. Вуглинский, С.В. Григорьев, Т.П. Девяткова, Л.И. Дубровин, В.А. Знаменский, Г.П. Калинин, А.В. Караушев, А.Б. Китаев, А.С. Литвинов, Ю.М. Матарзин, М.Н. Тарасов, С.А. Филь, М.А. Фортуннов, В.Н. Штефан, К.К. Эдельштейн и др. [1; 2; 7–12; 21–26]. В результате проведенных исследований были получены характеристики водообмена многих водохранилищ.

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

Материалы и методика

Основными материалами исследования являются водобалансовые показатели по Кременчугскому и Каховскому водохранилищам за весь период их эксплуатации до 2013 г., 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 равна, соответственно, 13,52 и 9,07 км³. Площадь водохранилища при отметке нормального подпертого уровня – 2252 км², при уровне мертвого объема 920 км². Длина водохранилища – 149 км, максимальная ширина – 28 км, средняя ширина – 15,1 км; максимальная глубина – 20 м, 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.

Показатели интенсивности внешнего водообмена включают как горизонтальную, так и вертикальную его составляющие. К горизонтальным составляющим внешнего водообмена относят приток воды в водохранилище (по основной реке и боковой), а также сток из водохранилища через гидроузлы.

Коэффициент водообмена по притоку определяют по формуле С.В. Григорьева:

$$K_{пр} = W_{пр} / V; (1),$$

коэффициент водообмена по стоку – по формуле Л.И. Дубровина:

$$K_{ст} = W_{ст} \text{ г/у} / V; (2),$$

а средний коэффициент водообмена – по формуле В.Н. Штефана:

$$K_{в} = (W_{пр} + W_{ст} \text{ г/у}) / 2 V, (3),$$

где V – средний объем воды в водохранилище за расчетный интервал времени; $W_{пр}$ – объем притока в водохранилище; $W_{ст} \text{ г/у}$ – 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. В этих работах при оценке внешнего водообмена предлагается во внутригодовом аспекте учитывать и другие составляющие водного баланса водоема – сброс в водохранилище сточных и бытовых вод, забор воды на хозяйственные нужды.

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

$$K_{в} = (\Sigma W_{пр} + \Sigma W_{р}) / 2 V, (4)$$

где $\Sigma W_{пр} + \Sigma W_{р}$ – сумма приходных и расходных составляющих водного баланса.

Г.П. Калинин и А.В. Караушев предложили определять показатель внешнего водообмена во временных единицах, т.е. в течение какого времени, при данных водобалансовых параметрах водохранилища за месяц, произойдет смена массы воды в нем, как величину

$$T_{у} = 1 / K_{в}. (5)$$

Используя вышеизложенную методику по формулам В.Н. Штефана и А.С. Литвинова, были рассчитаны показатели внешнего водообмена Кременчугского и Каховского крупных водохранилищ в характерные по водности годы: многоводный (1970), маловодный (1972), с максимальным (1999) годовым испарением на Кременчугском водохранилище и (2007) – на Каховском водохранилище [14;16-19]. В исследованиях рассматривались периоды эксплуатации Кременчугского (1961–2012 гг.) и Каховского водохранилищ (1956–2012 гг.).

В табл. 1 и 2 приведены для характерных лет эксплуатации сравнительные коэффициенты интенсивности $K_{в}$ и показатели $T_{у}$ внешнего водообмена, которые учитывают суммарные составляющие соответствующих водных балансов рассматриваемых водохранилищ (рис. 1 и 2).

Результаты и их обсуждение

Для *Кременчугского* водохранилища – основного регулятора Днепровского каскада – максимальный коэффициент интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* (1970) году равен $K_v = 2,12$ (апрель), минимальный – $K_v = 0,212$ (сентябрь), а показатель внешнего водообмена T_u , соответственно, 0,47 и 4,72 лет или 172 и 1723 дня. В годовом аспекте $T_u = 0,13$ лет, или 48 дней.

Для *маловодного* (1972) года эксплуатации *Кременчугского* водохранилища максимальный коэффициент внешнего водообмена имеет величину: $K_v = 0,508$ (январь), минимальный – $K_v = 0,189$ (сентябрь), а показатель T_u , соответственно, 1,97 и 5,29 лет, или 719 и 1931 дней. В годовом аспекте $T_u = 0,29$ лет, или 106 дней.

Для года с *максимальным испарением* (1999) с водной поверхности *Кременчугского* водохранилища соответствующие показатели таковы: $K_v = 0,903$ (апрель), $K_v=0,178$ (август), T_u равно 1,12 и 5,62 лет, или 409 и 2051 дней, а в годовом аспекте $T_u= 0,156$ лет, или 57 дней.

На *Кременчугском* водохранилище для 2007 г., который соответствует максимальному испарению на Каховском водохранилище, коэффициенты и показатели следующие: $K_v = 0,594$ (март), $K_v = 0,166$ (сентябрь), T_u равны 1,68 и 6,02 лет, или 614 и 2199 дней, а в годовом аспекте $T_u = 0,27$ лет, или 99 дней.

Отметим наиболее интенсивный внешний водообмен на *Кременчугском* водохранилище в апреле многоводного года и в годовом аспекте, а наименее интенсивный внешний водообмен – в сентябре 2007 г.

Таблица 1

Показатели внешнего водообмена водохранилищ Днепровского каскада, лет

Месяц	Год							
	1970		1972		1999		2007	
	K_v	$T_u, лет$	K_v	$T_u, лет$	K_v	$T_u, лет$	K_v	$T_u, лет$
Кременчугское (1961-2012 гг.)								
I	0,488	2,05	0,508	1,97	0,590	1,69	0,423	2,36
II	0,552	1,81	0,504	1,98	0,661	1,51	0,306	3,27
III	0,909	1,10	0,325	3,08	0,872	1,15	0,594	1,68
IV	2,118	0,47	0,469	2,13	0,903	1,12	0,479	2,09
V	1,171	0,85	0,331	3,02	0,735	1,36	0,338	2,96
VI	0,498	2,01	0,201	4,97	0,373	2,68	0,219	4,57
VII	0,273	3,66	0,192	5,21	0,267	3,74	0,178	5,62
VIII	0,213	4,69	0,196	5,10	0,178	5,62	0,222	4,50
IX	0,212	4,72	0,189	5,29	0,187	5,35	0,166	6,02
X	0,281	3,56	0,199	5,03	0,298	3,35	0,211	4,74
XI	0,400	2,50	0,213	4,69	0,440	2,27	0,296	3,38
XII	0,474	2,11	0,300	3,33	0,408	2,45	0,365	2,74
Каховское (1956-2012 гг.)								
I	0,315	3,17	0,364	2,75	0,327	3,06	0,255	3,92
II	0,346	2,89	0,238	4,20	0,362	2,76	0,211	4,74
III	0,467	2,14	0,091	10,99	0,436	2,29	0,319	3,13
IV	0,874	1,14	0,110	9,09	0,493	2,03	0,213	4,69
V	1,022	0,98	0,149	6,71	0,533	1,88	0,221	4,52
VI	0,432	2,31	0,132	7,58	0,277	3,61	0,166	6,02
VII	0,196	5,10	0,139	7,19	0,222	4,50	0,127	7,87
VIII	0,152	6,58	0,130	7,69	0,124	8,06	0,136	7,35
IX	0,174	5,75	0,125	8,00	0,131	7,63	0,116	8,62
X	0,226	4,42	0,142	7,04	0,222	4,50	0,159	6,29
XI	0,255	3,92	0,141	7,09	0,274	3,65	0,218	4,59
XII	0,360	2,78	0,158	6,33	0,266	3,76	0,241	4,15

Для *Каховского* водохранилища – шестой ступени Днепровского каскада – максимальный коэффициент интенсивности внешнего водообмена в *многоводном* (1970) году $K_v=1,02$ (май), минимальный – $K_v=0,152$ (август), а показатель T_u , соответственно, 0,98 и 6,58 лет, или 358 и 2402 дней. В годовом аспекте $T_u=0,21$ лет, или 77 дней.

В маловодном (1972) году эксплуатации Каховского водохранилища максимальный коэффициент интенсивности внешнего водообмена $K_v=0,364$ (январь); минимальный – $K_v = 0,091$ (март), а T_u , соответственно, 2,75 и 10,99 лет, или 1004 и 4011 дней. В годовом аспекте $T_u=0,59$ лет, или 215 дней.

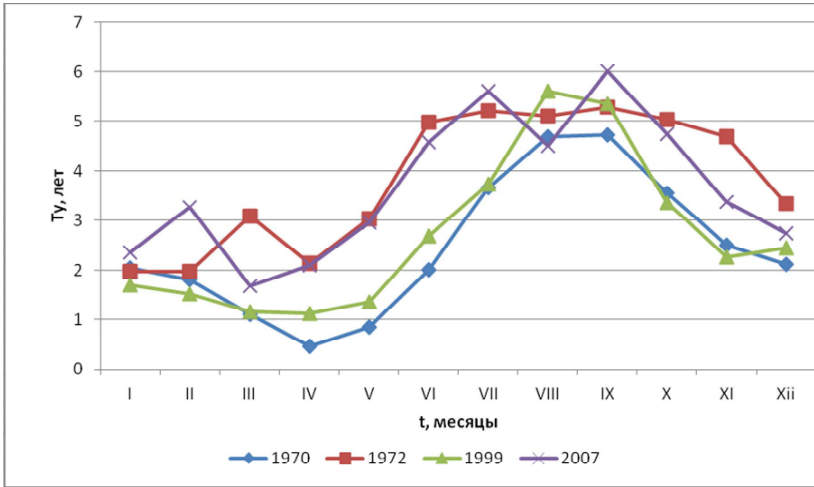


Рис. 1. График $T_u=f(t)$ показателей внешнего водообмена для характерных лет эксплуатации Кременчугского водохранилища

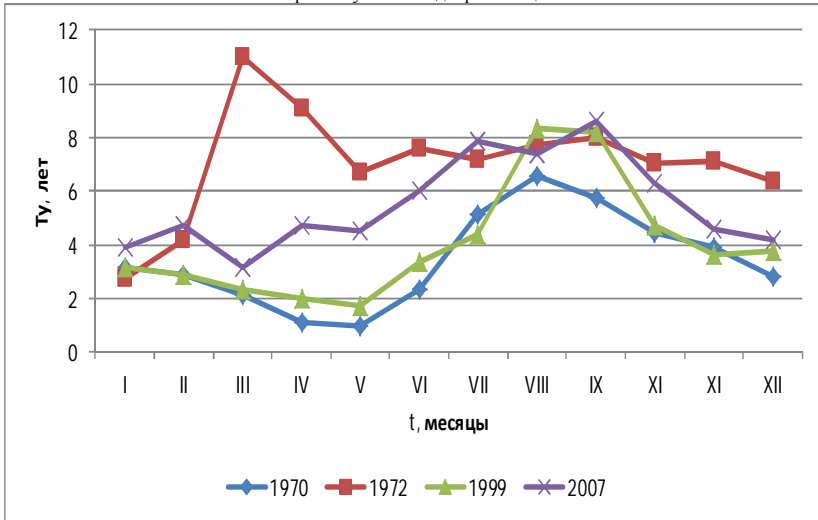


Рис. 2. График $T_u=f(t)$ показателей внешнего водообмена для характерных лет эксплуатации Каховского водохранилища

Таблица 2

Показатели внешнего водообмена водохранилищ Днепровского каскада, дней

Месяц	Год							
	1970		1972		1999		2007	
	Кв	Ту, дней	Кв	Ту, дней	Кв	Ту, дней	Кв	Ту, дней
Кременчугское (1961-2012 гг.)								
I	0,488	748	0,508	719	0,590	617	0,423	863
II	0,552	661	0,504	723	0,661	551	0,306	1193
III	0,909	401	0,325	1124	0,872	420	0,594	614
IV	2,118	172	0,469	777	0,903	409	0,479	762
V	1,171	310	0,331	1102	0,735	496	0,338	1080
VI	0,498	734	0,201	1814	0,373	978	0,219	1667
VII	0,273	1336	0,192	1902	0,267	1365	0,178	2050
VIII	0,213	1712	0,196	1862	0,178	2051	0,222	1644
IX	0,212	1723	0,189	1931	0,187	1953	0,166	2199
X	0,281	1299	0,199	1836	0,298	1223	0,211	1730
XI	0,400	912	0,213	1712	0,440	829	0,296	1233
XII	0,474	770	0,300	1215	0,408	894	0,365	1000
Каховское (1956-2012 гг.)								
I	0,315	1157	0,364	1004	0,327	1116	0,255	1431
II	0,346	1055	0,238	1533	0,362	1008	0,211	1730
III	0,467	781	0,091	4011	0,436	837	0,319	1142
IV	0,874	416	0,110	3318	0,493	740	0,213	1712
V	1,022	358	0,149	2449	0,533	685	0,221	1650
VI	0,432	843	0,132	2767	0,277	1318	0,166	2197
VII	0,196	1861	0,139	2624	0,222	1644	0,127	2873
VIII	0,152	2402	0,130	2807	0,124	2944	0,136	2683
IX	0,174	2099	0,125	2920	0,131	2786	0,116	3146
X	0,226	1613	0,142	2570	0,222	1644	0,159	2296
XI	0,255	1431	0,141	2588	0,274	1332	0,218	1675
XII	0,360	1015	0,158	2310	0,266	1372	0,241	1515

На *Каховском* водохранилище для 1999 г., который соответствует максимальному испарению на *Кременчугском* водохранилище, максимальный $K_v=0,553$ (май), минимальный $K_v=0,124$ (август), $T_u=1,88$ и $8,06$ лет, или 685 и 2944 дней, в годовом аспекте $T_u=0,271$ лет, или 98 дней.

Для 2007 г. с максимальным испарением с *Каховского* водохранилища $K_v=0,319$ (март), $K_v=0,116$ (сентябрь), $T_u=3,13$ и $8,62$ лет, или 1142 и 3146 дней, в годовом аспекте $T_u=0,422$ лет, или 154 дня.

Наиболее интенсивный внешний водообмен на *Каховском* водохранилище наблюдается в мае многоводного года и в годовом аспекте, а наименее интенсивный внешний водообмен – в марте маловодного года.

Сопоставляя показатели интенсивности внешнего водообмена по *Каховскому* и *Кременчугскому* водохранилищам в исследуемых годах их эксплуатации, отметим более интенсивный внешний водообмен в многоводном году в начале в апреле на *Кременчугском* водохранилище, а затем – в мае на *Каховском*. Интенсивнее внешний водообмен отмечается на *Кременчугском* водохранилище и в годовом аспекте.

При сопоставлении показателей внешнего водообмена по *Кременчугскому* и *Каховскому* водохранилищам отметим наименьшую (почти в 2 раза) интенсивность внешнего водообмена на *Каховском* водохранилище в марте маловодного года.

Отметим, что коэффициент интенсивности внешнего водообмена с увеличением в расчетах числа составляющих водного баланса возрастал для всех месяцев характерных по водности лет эксплуатации рассматриваемых водохранилищ, а показатели внешнего водообмена во временных единицах для *Каховского* водохранилища выше, чем для *Кременчугского*, и несколько смещены во времени [14;16-19].

Выводы

1. Показатели внешнего водообмена во внутригодовом аспекте можно разделить на две различные фазы эксплуатации водохранилищ: зимне-весеннюю с интенсивным водообменом и летне-осеннюю с

замедленным. Это хорошо наблюдается на Кременчугском водохранилище и с некоторым исключением на Каховском.

2. При сопоставлении показателей внешнего водообмена на Кременчугском и Каховском водохранилищах наблюдается, в основном, граничный характер показателей многоводного и маловодного годов.

3. Разница между показателями внешнего водообмена между многоводным и маловодным годами составляет на Кременчугском водохранилище: в январе – 3,9%, в марте – 67%, в июне – 60%, в августе – 11,3%; на Каховском: в январе – 13,2%, в марте – 80,5%, в августе – 14,4%, в декабре – 56%.

4. Показатели внешнего водообмена, характеризующие максимальное годовое испарение в летние месяцы (за исключением 2007 г. не характерного для Кременчугского водохранилища), совпадают или даже выше показателей маловодного года.

5. Отметим в показателях внешнего водообмена за летние месяцы 1999 и 2007 гг. значительную долю (до 17%) влияния забора воды на хозяйственные нужды и соответствующие сбросы ее в Каховское водохранилище, а также влияние факторов изменения климата.

Библиографический список

1. *Богословский Б.Б. Фильд С.А.* Классификация водоемов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. СПб., 1984. С. 54–60.
2. *Буторин Н.В.* Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах Волжского каскада. СПб.: Наука, 1969. 322 с.
3. *Буторин Н.В.* О водных массах континентальных водоемов // Труды ИБВВ АН СССР. 1965. Вып. 7(10). С. 3–9.
4. *Васильев Ю.С.* Влияние плотин и водохранилищ на окружающую среду. Серия: Проектирование и строительство больших плотин. М.: Энергоиздат, 1982. Вып.7. 140с.
5. *Вуглинский В.С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. СПб.: Гидрометеоздат, 1991. 223 с
6. *Григорьев С.В.* О некоторых определениях и показателях в озероведении // Труды Карельского филиала АН СССР: мат. по гидрологии (лимнология). Карелия, 1959. Вып. 18. С. 29–45.
7. *Знаменский В.А.* Влияние гидролого-динамических факторов на изменение содержания химических веществ в водохранилище // Труды ГГИ. СПб.: Гидрометеоздат, 1977. Вып. 246. С. 58–77.
8. *Знаменский В.А.* Гидрологические процессы и их роль в формировании качества воды. СПб.: Гидрометеоздат, 1981. 247 с.
9. *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.
10. *Караушев А.В.* Внешний водообмен и формирование качества воды в озерах и водохранилищах // Труды ГГИ. 1978. Вып. 249. С. 48–63.
11. *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.
12. *Литвинов А.С.* Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000. 83 с.
13. *Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод.* СПб.: Гидрометеоздат, 1987. 286 с.
14. *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.
15. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен Днестровского водохранилища // 36. Центру наукових публікацій «Велес»: за матер. Міжн. н.-пр. конф. «Досягнення науки в 2015 році». Киев: ЦНП, 2015. Ч.2. С. 31–38.
16. *Обухов Е.В.* Внешний водообмен на украинских водохранилищах // Мат. Межд. заочн. н.-пр. конф. «Развитие науки в XXI веке». Харьков: НИЦ, 2015. Ч.2. С. 32–37.
17. *Обухов Е.В.* Оценка интенсивности внешнего водообмена в Кременчугском и Каховском водохранилищах // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, 2014. №15. С.134–140.

18. *Обухов С.В.* Оцінка впливу вертикальної складової на інтенсивність зовнішнього водообміну на Кременчуцькому водосховищі // Мат. II Міжн. н.-пр. інтернет-конф. «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва». Тернопіль, 2015. С. 324–326.

19. *Обухов С.В.* Оцінка інтенсивності зовнішнього водообміну на Каховському водосховищі в умовах зміни клімату // Мат. наук. праць Міжн. н.-пр. інтернет-конф. «Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції». Кам'янець-Подільський, 2015. С. 280–282.

20. *Россолимо Л.Л.* Очерки по географии внутренних вод СССР. Реки и озера. М.: Учпедгиз, 1952. 304 с.

21. *Штефан В.Н.* Водообмен водохранилищ Волжско-Камского каскада // Комплексные исследования водохранилищ. М., 1980. Вып. 5. С. 46–55.

22. *Штефан В.Н.* К расчету водообмена долинного водохранилища // Вестник Московского университета. Сер. География. 1975. №5. С. 71–75.

23. *Штефан В.Н., Эдельштейн К.К.* Показатели водообмена водохранилищ // Мат. 5-го Всес. науч. симпозиума по соврем. пробл. «Самоочищения и регулирования качества воды». Таллинн, 1975. С. 262–267.

24. *Эдельштейн К.К.* Водообмен и течения // Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1979. Вып. 3. С. 109–114.

25. *Эдельштейн К.К.* Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

26. *Эдельштейн К.К.* О соотношении показателей внутреннего водообмена проточных водоемов // Водные ресурсы. 1981. № 6. С. 70–4.

References

1. Bogoslovskij, B.B. and Fil', S. A. (1984), "Klassifikaciya vodoemov po vneshnemu vodoobmenu" [Classification of water bodies according to external water exchange], *Geografo-gidrologicheskij metod issledovaniya vod sushy* [Geographical and hydrological method of inland waters research]. Leningrad: Leningrad Polytechnic Institute, pp. 54-60. [in Russian].

2. Butorin, N.V. (1969), *Gidrologicheskie processy i dinamika vodnykh mass v vodokhranilishhakh Volzhskogo kaskada* [Hydrological processes and dynamics of water masses in reservoirs of the Volga cascade]. Leningrad: Nauka. (in Russian).

3. Butorin, N. V. (1965), "O vodnykh massakh kontinentalnykh vodoemov" [About water masses of the continental water bodies]. *Trudy IBVV AN SSSR* [Proceedings of Institute for biology of inland waters USSR Academy of Sciences], issue 7(10), pp. 3-9. (in Russian).

4. Vasil'ev, Yu. S. (1982) *Vliyaniye plotin i vodokhranilishh na okruzhayushhuyu sredu. Seriya: Proektirovaniye i stroitel'stvo bol'shikh plotin* [Influence of dams and reservoirs on the environment. Series: Design and construction of large dams]. Moscow: Energoizdat, issue 7. (in Russian).

5. Vuglinskij, V. S. (1991). *Vodnye resursy i vodnyj balans krupnykh vodokhranilishh SSSR* [Water resources and water balance of large reservoirs of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russian).

6. Grigor'ev, S. V. (1959), "O nekotorykh opredeleniyakh i pokazatelyakh v ozerovedenii" [Some definitions and indicators in limnology]. *Trudy Karel'skogo filiala AN SSSR. Materialy po gidrologii (limnologiya)* [Proceedings of the Karelian branch of the USSR Academy of Sciences. Materials for hydrology (limnology)]. Karelia, issue 18. (in Russian).

7. Znamenskij, V. A. (1977). "Vliyaniye gidrologo-dinamicheskikh faktorov na izmeneniye soderzhaniya khimicheskikh veshhestv v vodokhranilishhe" [The Influence of hydrological and dynamic factors on changes of chemicals content in a water reservoir]. *Trudy GGI* [Proceedings of State Hydrological Institute]. Leningrad: Gidrometeoizdat, issue 246, pp. 58-77. (in Russian).

8. Znamenskij, V.A. (1981). *Gidrologicheskie processy i ikh rol' v formirovaniy kachestva vody* [Hydrological processes and their role in forming the water quality]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russian).

9. Kalinin, G. P. (1972), "Rol' vodokhranilishh v izmenenii skorosti vodoobmena rechnykh vod" [The role of reservoirs in changing speed of river water exchange] *Inzhenerno-geograficheskie problemy proektirovaniya i ekspluatatsii krupnykh ravninnykh vodokhranilishh* [Engineering and geographical problems in design and operation of large lowland reservoirs]. Moscow, pp. 99-104. (in Russian)

10. Karashev, A.V. (1978), "Vneshnij vodoobmen i formirovanie kachestva vody v ozerakh i vodokhranilishhakh" [External water exchange and formation of water quality in lakes and reservoirs]. *Trudy GGI* [Proceedings of State Hydrological Institute], issue 249, pp. 48-63. (in Russian).

11. Kitaev, A.B. (2013). "Osobennosti ocenki vneshnego vodoobmena v vodokhranilishhakh" [Specific features of external water exchange assessment in reservoirs]. *Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sovremennye problemy vodokhranilishh i ikh vodosborov" (28 maya 2013 goda)* [Proceedings of International Scientific and Practical Conference "Current problems of reservoirs and their watersheds"]. Vol.1, pp. 203-209. Perm. (in Russian).

12. Litvinov, A. S. (2000). *Energo-i massoobmen v vodokhranilishhakh Volzhskogo kaskada* [Energy and mass exchange in reservoirs of the Volga cascade]. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University Publ. (in Russian).

13. *Metodicheskie osnovy ocenki i reglamentirovaniya antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod* [Methodical foundations for assessment and regulation of anthropogenic impact on surface water quality]. (1987). Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russian).

14. Obukhov, E.V. (2015). "Vneshnij vodoobmen vodokhranilishh Dneprovskogo kaskada" [External water exchange of reservoirs of the Dnieper cascade]. *Proceedings of the 6th International Ecological Forum "Clean city. Clean river. Clean Planet" (19 November 2015)*. pp. 140-146. Kherson: Kherson Chamber of Commerce and Industry. (in Russian).

15. Obukhov, E.V. (2015). "Vneshnij vodoobmen Dnestrovskogo vodokhranilishha" [External water exchange of the Dniester reservoir]. *Zbirnyk Centru naukovykh publikacij VELES: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii "Dosiagnennia nauky v 2015 roci"* [The collection of the scientific publications centre "Veles": Proceedings of Int. Sci. and Pract. Conf. "Science achievements in 2015"]. Part 2. Kiev: Scientific Publications Centre, pp. 31-38. (in Russian).

16. Obukhov, E.V. (2015), "Vneshnij vodoobmen na ukrainskikh vodokhranilishhakh" [External water exchange in Ukrainian reservoirs]. *Proceedings of the 9th International Sci. and Pract. Conf. "Development of science in the 21st century"* (30 December 2015) pp. 32-37. Kharkov: Science Data Centre. (in Russian).

17. Obukhov, E.V. (2014), "Ocenka intensivnosti vneshnego vodoobmena v Kremenchugskom i Kakhovskom vodokhranilishhakh" [Estimating external water exchange intensity in Kremenchug and Kakhovka reservoirs]. *Ukrainskyi gidrometeorologichnyj zhurnal* [Ukrainian Hydrometeorological Journal], no. 15, pp. 134-140. (in Russian).

18. Obukhov, E.V. (2015). "Ocinka vplyvu vertykalnoi skladovoi na intensyvni zovnishnogo vodoobminu na Kremenchuckomu vodokhovyskhi" [Evaluating the vertical component effect on the intensity of external water exchange at the Kremenchug reservoir]. *Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Internet-Conference "Innovative technology and intensification development of national production"*. Ternopil, pp. 324-326. (in Ukrainian).

19. Obukhov E.V. (2015). "Ocinka intensivnosti zovnishnogo vodoobminu na Kakhovskom vodokhovyskhi v umovakh zminy klimatu" [Evaluation of external water exchange intensity at the Kakhovka reservoir under climate change]. *Collection of scientific papers of International scientific and practical Internet – conference "National production and economics in conditions of reformation: state and prospects innovative development and interregional integration" 30 October 2015*. pp. 280-282. Kamyanets-Podilskyi. (in Ukrainian).

20. Rossolimo, L. L. (1952), *Ocherki po geografii vnutrennikh vod SSSR. Reki i ozera*. [Essays on geography of inland waters of the USSR. Rivers and lakes]. Moscow: Uchpedgiz. (in Russian).

21. Shtefan, V. N. (1980), "Vodoobmen vodokhranilishh Volzhsko-Kamskogo kaskada [Water exchange of the Volga and Kama cascade reservoirs]. *Kompleksnye issledovaniya vodokhranilishh* [Complex investigations of water reservoirs]. Moscow, issue 5, pp. 46-55. (in Russian).

22. Shtefan, V. N. (1975), "K raschetu vodoobmena dolinnogo vodokhranilishha" [On the calculation of water exchange in valley reservoirs]. *Vestnik Moskovskogo universiteta* [MSU Vestnik. Ser. 5. Geography] issue 5, pp. 71-75. (in Russian).

23. Shtefan, V.N. and Edel'shtejn, K.K. (1975), "Pokazateli vodoobmena vodokhranilishh" [Indicators of water exchange in reservoirs]. *Proceedings of the 5th All-Union symposium "Modern problems of self-purification and regulation of water quality"*. Section IV, part 2, pp. 262-267. Tallinn. (in Russian).

24. Edel'shtejn, K. K. (1979), "Vodoobmen i techeniya" [Water exchange and currents]. *Complex investigations of water reservoirs*. Moscow: Moscow State University Publ., issue 3, pp. 109-114. (in Russian).

25. Edel'shtejn, K.K. (1998). *Vodokhranilishha Rossii: ekologicheskie problemy, puti ikh resheniya* [Reservoirs of Russia: ecological problems and ways of their solution]. Moscow: GEOS. (in Russian).

26. Edel'shtejn, K. K. (1981), "O sootnoshenii pokazatelej vnutrennego vodoobmena protochnykh vodoemov" [About ratio of the internal water exchange parameters in flowing water reservoirs]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. issue 6. pp. 70-74. (in Russian).

Поступила в редакцию: 01.12.2015

Сведения об авторе

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

About the author

Yevgeniy V. Obukhov

Doctor of Economic Sciences, Ph.D.C.Sc., Professor, Actual member of International Academy of ecology, man and life protection sciences, Ukraine department; Odessa, Ukraine;
e-mail: e.obukhov@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Обухов Е.В. Сравнительные показатели внешнего водообмена на водохранилищах Днепровского каскада в условиях изменения климата // Географический вестник. 2016. № 2(37). С. 61–69. doi 10.17072/2079-7877-2016-2-61-69

Please cite this article in English as:

Obukhov E.V. Comparative indices of external water exchange in the Dnieper cascade reservoirs under climate change // *Geographicheskij Vestnik*. 2016. № 2(37). P. 61–69. doi 10.17072/2079-7877-2016-2-61-69

УДК 556.552

С.А. Двинских, А.Б. Китаев, В.М. Носков

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА КАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В РАЙОНЕ Г. ДОБРЯНКИ

Излагаются анализ и обобщение материалов гидродинамической и экологической обстановок в нижней части Камского водохранилища (Добрянка – Камская ГЭС), основанные на материалах ранних исследований и полевых опробований (2006–2007 гг.) химического состава вод, теплового загрязнения от Пермской ГРЭС. Показаны гидрографические и морфологические особенности района исследований. Дана оценка самоочищающей способности водоема по результатам анализа скоростного режима водоема, водообмена и проточности. Рассмотрен гидрохимический режим исследуемого участка по материалам режимных наблюдений (материалы Пермского центра по гидрометеорологии и охране окружающей среды) и полевого обследования, установлены проблемные с точки зрения качества воды компоненты химического состава воды. Показаны зона теплового загрязнения приплотинной части водоема и зона теплового воздействия. Определена роль теплового загрязнения в снижении содержания растворенного в воде кислорода. Представлен класс качества воды по содержанию в ней растворенного кислорода и биологическому потреблению кислорода. На основе фондовых материалов дан анализ влияния теплового загрязнения на гидробиологию водохранилища.

Ключевые слова: водохранилище, гидрография, морфометрия, гидрохимия, термический режим, загрязнение, гидробиология.

A.B. Kitaev, S.A. Dvinskikh, V.M. Noskov

HYDROECOLOGICAL SITUATION IN THE KAMA RESERVOIR IN THE AREA OF DOBRYANKA TOWN

The analysis and generalization of data on hydrodynamic and ecological situation in the lower part of the Kama Reservoir (Dobryanka-Kama Hydroelectric Power Station) are provided based on materials of