

Е.В. Обухов, д.эконом. н., **Д.С. Куклева**

Одесский государственный экологический университет

О.М. Максютя, директор

Светловодская гидрометеорологическая обсерватория

ОБОБЩЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМЕНЧУГСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

На основе реальных гидрометеорологических данных проведено обобщение и анализ показателей испарения с водной поверхности Кременчугского водохранилища за время его эксплуатации.

Ключевые слова: испарение, водная поверхность, водохранилище, показатели, потери, водный баланс.

Введение и постановка проблемы. Испарение - одна из важных составляющих расходной части водных балансов [1-3]. В весенний период оно резко возрастает и достигает максимальных значений в летний период.

Среднемноголетние потери на испарение из водохранилищ Днепровского каскада составляют более 5 км^3 , а из Кременчугского водохранилища – $1,51 \text{ км}^3$ (3,2% от среднемноголетнего объема расходной части водного баланса) с максимумом в августе – $0,30 \text{ км}^3$ (20% от годового объема испарения). Только при слое испарения в 1 мм с водной поверхности Кременчугского водохранилища при нормальном подпертом уровне (НПУ) потери воды на испарение составляют $2,25 \text{ млн м}^3$.

Поэтому в настоящее время в условиях изменения климата эта расходная составляющая водного баланса вызывает постоянный практический и научный интерес.

Цель данной работы – обобщение показателей испарения с водной поверхности Кременчугского водохранилища за время его эксплуатации и их анализ.

Основными материалами исследования приняты реальные показатели испарения как составляющие водных балансов Кременчугского водохранилища за 52 года его эксплуатации, характеристики водохранилища и гидроузла [4-9], результаты исследований за прошлые годы [10-14], справочные данные [15-17].

Кременчугское водохранилище занимает часть территории Черкасской, Полтавской и Кировоградской областей. Оно является основным регулятором Днепровского каскада и осуществляет годичное регулирование стока с переходом к многолетнему.

Комплекс вопросов, разрешаемых сооружением Кременчугского гидроузла: энергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, железнодорожные и автодорожные переходы через Днепр, водоснабжение промышленных районов, орошение.

Начало строительства – 1954 г, ввод во временную эксплуатацию – 1959 г, ввод в промышленную эксплуатацию – 1963 г.

Площадь водосбора – 382000 км^2 , среднемноголетний годовой сток – $47,8 \text{ км}^3$, средний многолетний расход реки в створе – $1530 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный наблюдаемый расход – $23900 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный бытовой с обеспеченностью 0,1 % – $27200 \text{ м}^3/\text{с}$, минимальный наблюдаемый – $160 \text{ м}^3/\text{с}$ [6,9].

В состав гидроузла входят: здание ГЭС длиной 305 м, бетонная водосливная плотина длиной 191 м, правобережные и левобережные земляные плотины общей длиной 14,2 км, судоходный однокамерный шлюз [6-9]. Установленная мощность 12 гидроагрегатов ГЭС – 686 МВт, гарантированная мощность – 96 МВт,

среднемноголетняя выработка энергии – 1506 млн кВт*ч, энергоемкость рабочей части водохранилища в створе ГЭС – 293 млн кВт*ч.

Напоры ГЭС: максимальный статический – 17 м, минимальный рабочий – 8,75 м, расчетный (нетто) – 13,6 м.

Расчетный расход ГЭС – 5710 м³/с, водосбросной плотины – 20350 м³/с. Расчетный максимальный сбросной расход через сооружения (р= 0,1%) – 23300 м³/с.

Водохранилище ГЭС имеет площадь (при отметке нормального подпертого уровня равной 81 м) – 2252 км², при уровне мертвого объема (УМО) - 920 км², годовая и полезная емкость, соответственно, - 13,52 и 9,07 км³.

Длина водохранилища – 149 км, максимальная ширина – 28 км, средняя ширина – 15,1 км. Максимальная глубина – 20 м, а средняя – 6 м. Длина береговой линии – 800 км.

Площадь мелководий водохранилища [4,5]: до 1 м – 180 км², до 2 м – 410 км².

Проектные площади затоплений [9]: пахотные и огородные угодья – 19,4 тыс. га, сады и виноградники – 0,65, сенокосы – 49,8, усадебные земли индивидуального пользования – 15,3, выгоны и пастбища – 20,7, лесные площади – 45,2 тыс.га.

Среднемноголетнее дополнительное испарение [16,17] в районе акватории Кременчугского водохранилища составляет 150-250 мм, расчетное дополнительное испарение 75% -ной обеспеченности - 200-300 мм, а 95%-ной - 300-400 мм. Среднее годовое испарение с водной поверхности водохранилища составляет 600-700 мм.

Среднемноголетнее годовое количество осадков в районе водохранилища составляет 512-559 мм.

Результаты исследований и их анализ.

За рассчитанными на Светловодской ГМО водными балансами Кременчугского водохранилища рассмотрены данные за 50 и 52 года его эксплуатации (1961-2010 г.г.) и (1961-2012 г.г.), а также за многоводный, 1970 и маловодный, 1972 годы (табл.1).

Таблица 1 - Характерные среднемноголетние составляющие водных балансов Кременчугского водохранилища (1961-2012 г.г.)

Составляющие водных балансов, млн м ³	Максимальные	Год	Минимальные	Год	Средне многолетние	%
ПРИХОДНАЯ ЧАСТЬ						
по учету на Каневском гидроузле	78780	1970	31440	1964	43176	92,2
измеренный на боковых притоках	4100	1970	245	1977	1921	4,1
Перекачки	849	1976	95	1993	364	0,78
Рассчитанный	662	2006	30	1975	321	0,69
Осадки	1520	1997	590	1975	1028	2,2
Итого:	84400	1970	33300	1964	46810	100
РАСХОДНАЯ ЧАСТЬ						
сток через турбины ГЭС	75550	1970	27110	1964	44358	95,7
расходы на шлюзование	420	1975	27	2011	190	0,41
потери на фильтрацию	350	1975	315	1978,79	318	0,69
Испарение	1900	1999	966	1987	1504	3,24
Итого:	77580	1970	28730	1964	46370	100

Максимальный учтенный на Каневском гидроузле объем притока в Кременчугское водохранилище в 1970 г. на 35604 млн м³ (82%) больше, а минимальный в 1964 г. - на 11736 млн м³ (27%) меньше среднемноголетнего.

Максимальная расходная составляющая через турбины Кременчугской ГЭС в 1970 г на 31192 млн м³ (70%) больше среднемноголетней, а минимальная в 1964 г. - меньше ее на 17248 млн м³ (39%).

Максимальные осадки (в 1997 г.) больше среднемноголетних на 492 млн м³ (48%), а минимальные (в 1975 г.) меньше их на 438 млн м³ (43%).

Максимальные потери воды на испарение с водной поверхности водохранилища (в 1999 г.) больше среднемноголетних на 396 млн м³ (26%), а минимальные (в 1987 г.) меньше их на 538 млн м³ (36%).

Сопоставление осредненных суммарных воднобалансовых составляющих за 50 и 52 г.г. эксплуатации свидетельствует о небольшом снижении показателей за больший период эксплуатации: приходная часть – на 1090 млн м³ (2,3%), расходная – на 630 млн м³ (1,3%), испарение и осадки за эти периоды практически одинаковые: 1510/1504 и 1030/1028 млн м³.

Внутригодовое распределение объемов испарения за 1961-2012 гг., за многоводный 1970 г. и маловодный 1972 г. (рис. 1) показывает, что максимум потерь воды на испарение (412 млн м³) наблюдается в июле многоводного года. Среднемноголетнее (за 52 года) испарение с водохранилища ниже значений в характерные годы и за 2012 год.

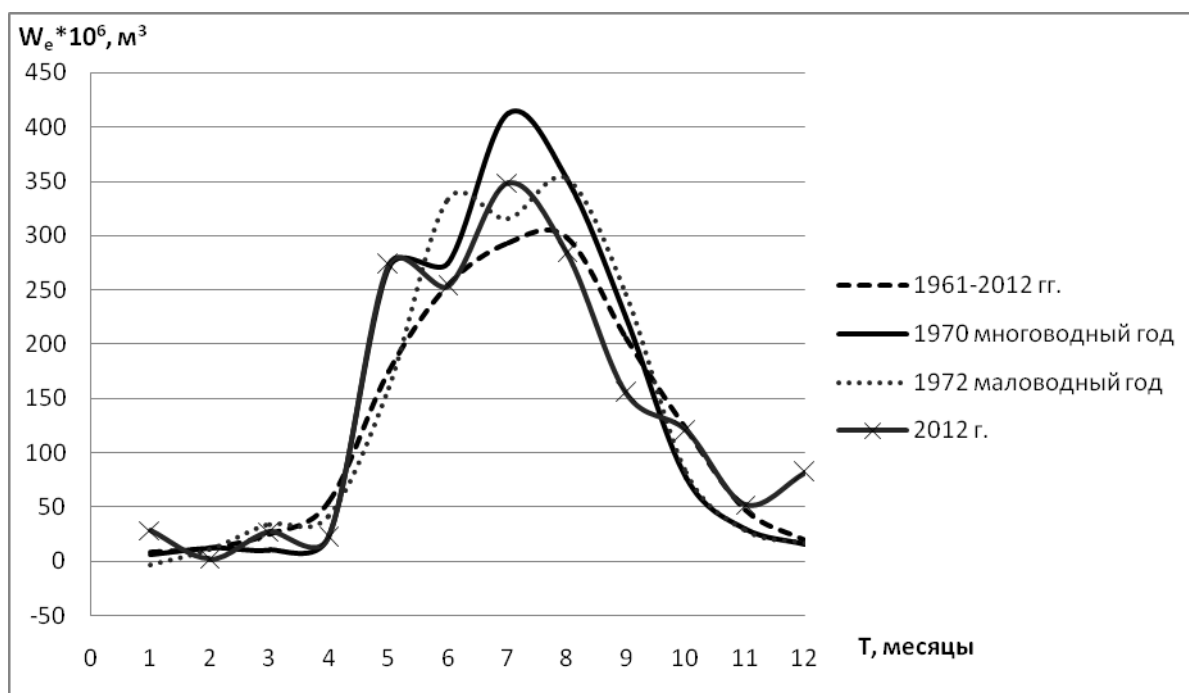


Рис. 1 - Внутригодовое распределение объемов испарения W_e с водной поверхности Кременчугского водохранилища

Если сравнить среднемноголетние потери воды на испарение с водной поверхности водохранилища по десятилетиям (рис. 2), то можно отметить максимальные потери в четвертом десятилетии (1991-2000 гг.) эксплуатации водохранилища – 1626 млн м³, близкие к ним - в первом (1961-1970 гг.) и пятом (2001-2010 гг.) десятилетиях.

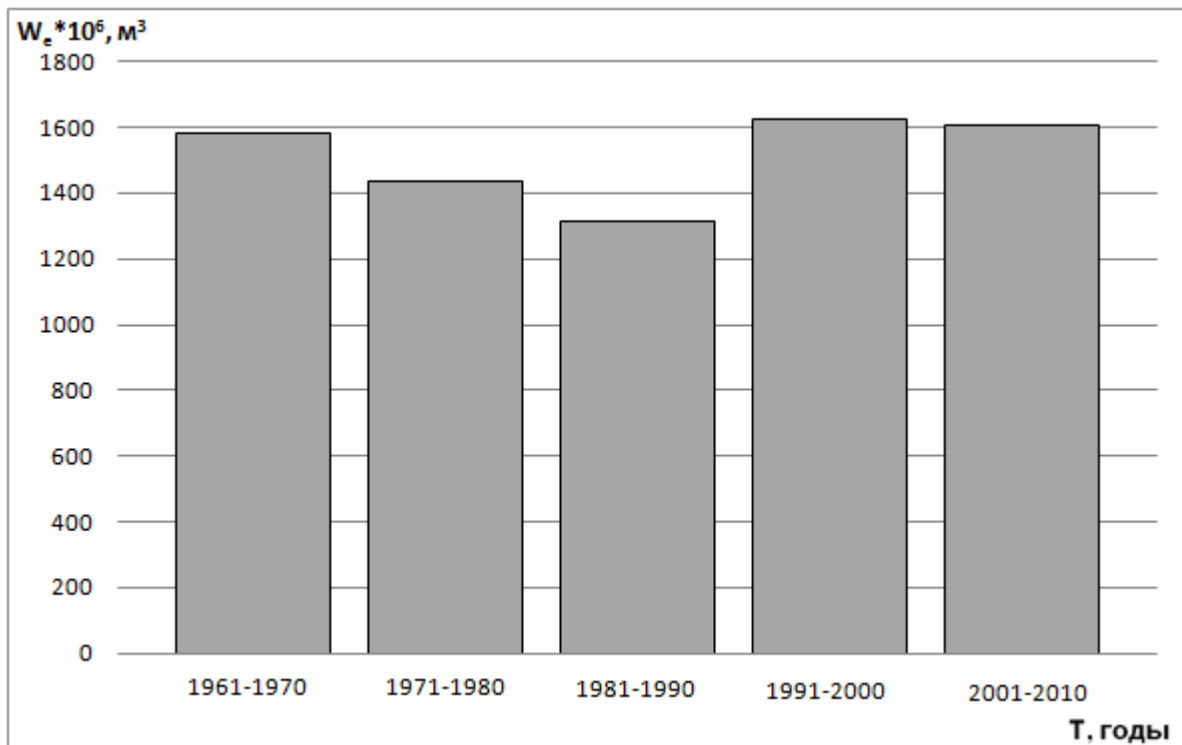


Рис. 2 - Распределение среднееголетних потерь воды на испарение с водной поверхности водохранилища за десятилетия

Наименьшие потери воды на испарение были в третьем десятилетии (1981-1990 гг.) эксплуатации гидроузла.

Отметим общее снижение потерь на испарение за первые три десятилетия эксплуатации водохранилища (1961- 1990 гг.) и общий рост испарения за последние два десятилетия (1991-2010) (рис. 3), что может быть связано с изменением климата.



Рис. 3 - Изменения годового испарения (по десятилетиям) за периоды эксплуатации Кременчугского водохранилища

На рис.4 показано распределение среднегодовых потерь воды на испарение за весь период эксплуатации водохранилища.

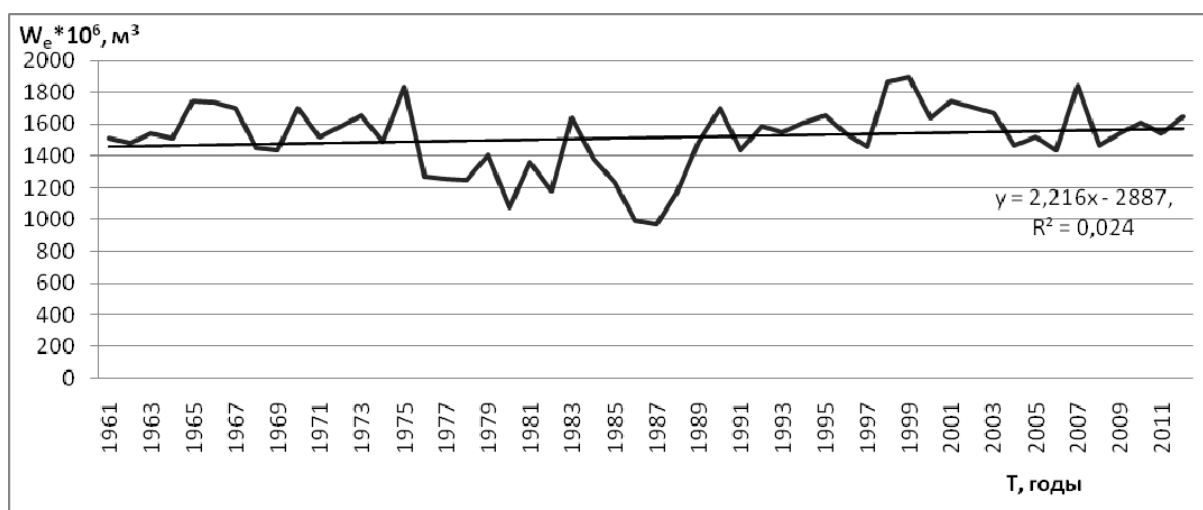


Рис. 4 - Хронологический график годовых потерь воды на испарение с поверхности Кременчугского водохранилища: _____ - линия тренда.

Общий характер изменения испарения за период эксплуатации водохранилища имеет тенденцию некоторого роста. Коэффициент корреляции $R = 0,158$.

Характер изменения суммарного испарения и осадков за характерные периоды эксплуатации водохранилища показан на рис. 5.

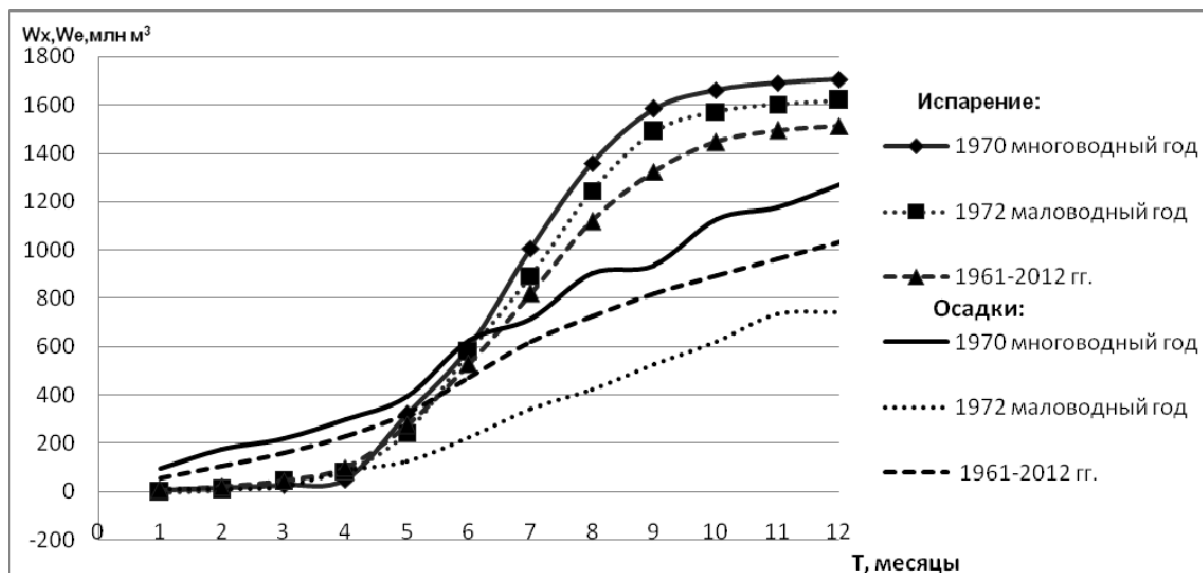


Рис. 5 - Интегральные кривые среднемесячных осадков и испарения с поверхности Кременчугского водохранилища

Очевидно, что в зимне-осенние месяцы осадки преобладают над испарением, а после июня уже испарение больше осадков за прошедший период года.

Соотношение испарения и осадков за характерные периоды (по месяцам и по годам) эксплуатации водохранилища приведено на рис. 6-9. Помесячное изменение

разности испарения и осадков (рис. 6) свидетельствует о характерном превышении испарения над осадками в маловодный 1972 год и самую низкую разность в многоводный 1970 год.

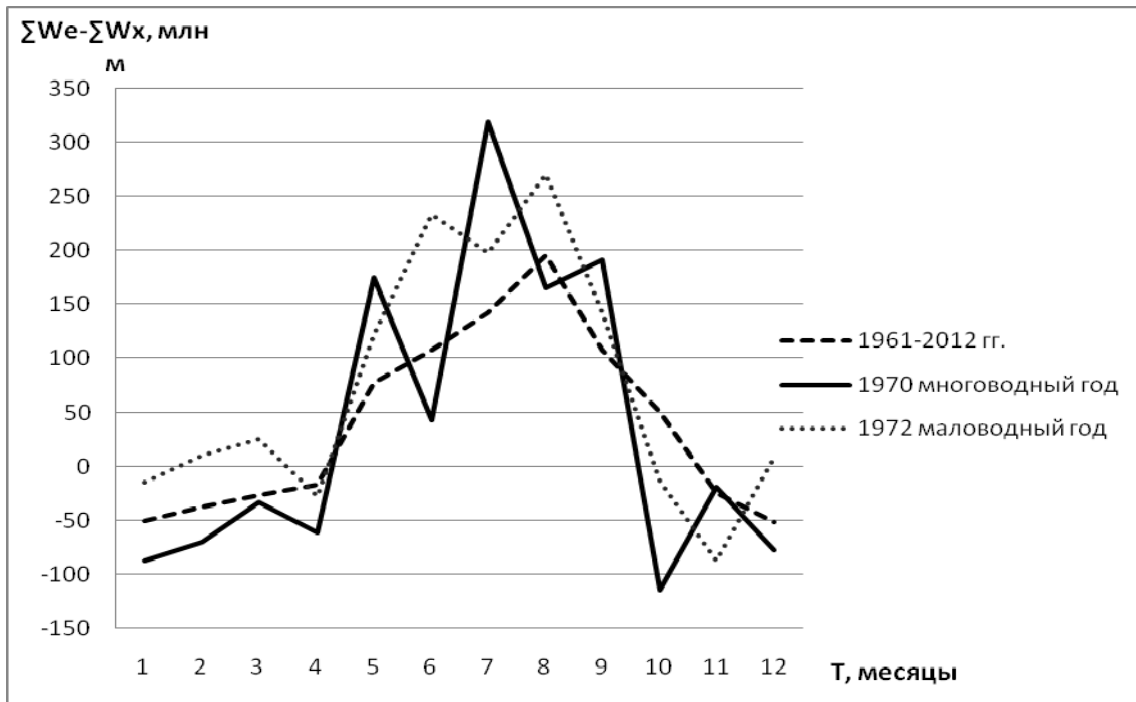


Рис. 6 - Помесячное изменение разности объемов осадков и испарения с водной поверхности Кременчугского водохранилища

На рис. 7 приведен хронологический график изменения разности объемов испарения и осадков.

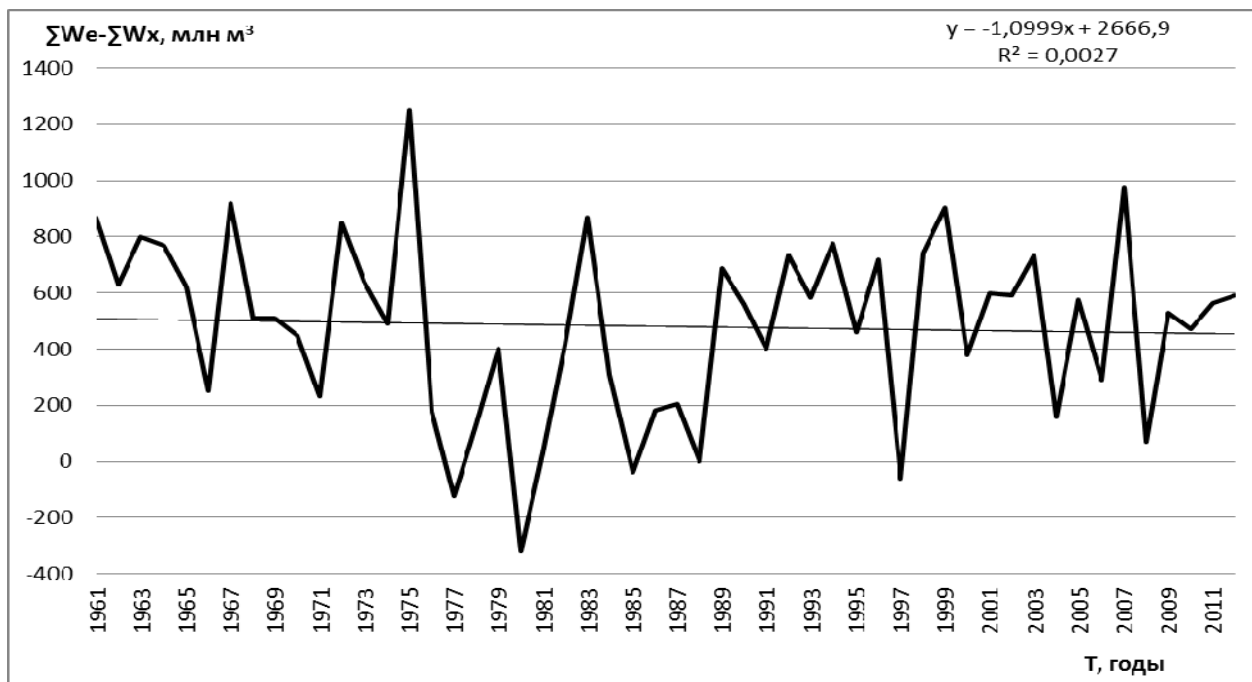


Рис. 7 - Хронологический график изменения разности объемов осадков и испарения с поверхности Кременчугского водохранилища: _____ - линия тренда.

а также тенденцию к снижению показателей разности за период эксплуатации водохранилища. Правда, коэффициент корреляции $R = 0,052$, т.е. является незначимым. Коэффициент корреляции $R = 0,173$.

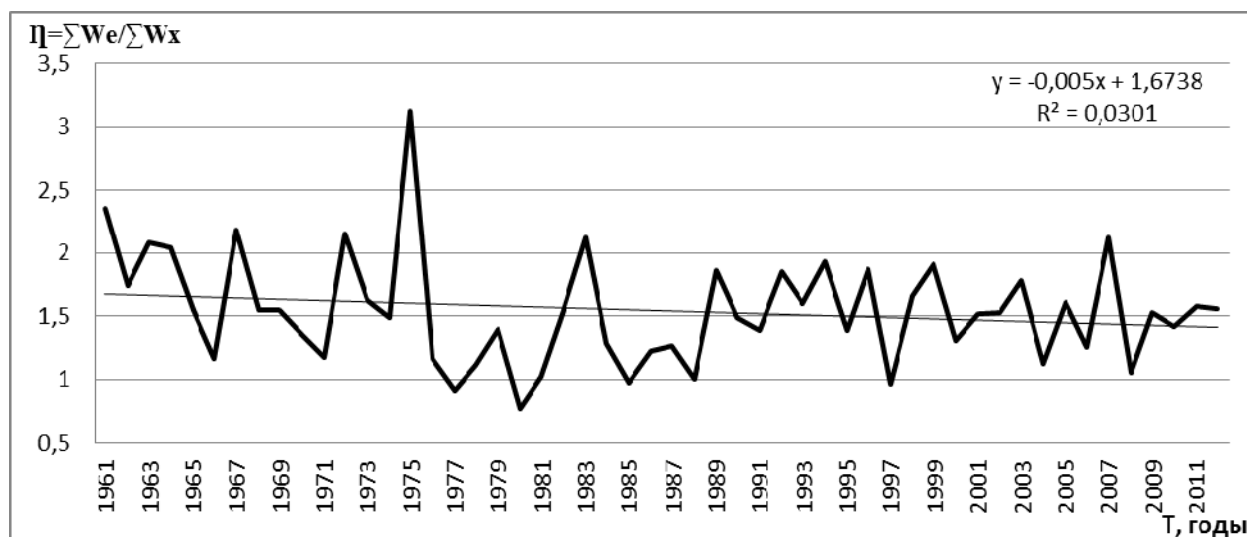


Рис. 8 - Изменение коэффициента испарения с водной поверхности водохранилища за период его эксплуатации: _____ - линия тренда.

Характер изменения коэффициента испарения по месяцам расчетных периодов (рис. 9) аналогичный рис. 6.

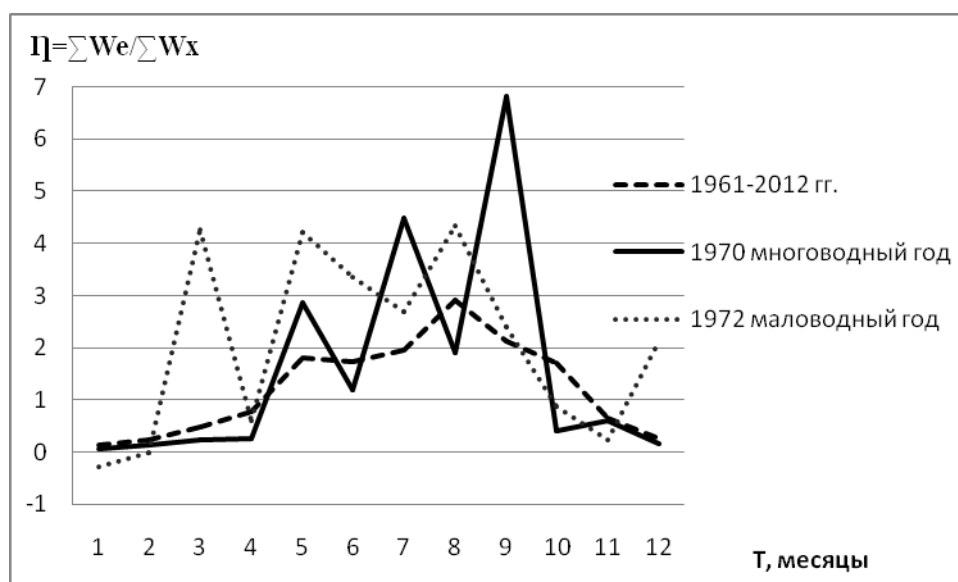


Рис. 9 - Помесячное изменение коэффициента испарения с поверхности Кременчугского водохранилища

Внутригодовое распределение потерь воды на испарение с водной поверхности водохранилища (в %) для характерных периодов его эксплуатации приведены в табл. 2 и на рис. 10.

Таблица 2 - Внутригодовое распределение потерь на испарение с поверхности Кременчугского водохранилища (%)

Месяцы \ Годы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961-2012 гг.	0,53	0,79	1,65	3,57	11,5	16,7	19,3	19,7	13,5	8,06	3,11	1,26
1970 год - многоводный	0,35	0,71	0,59	1,29	15,9	16,1	24,2	20,7	13,2	4,53	1,76	0,88
1972 год - маловодный	-	0,68	2,1	2,59	9,88	20,5	19,4	21,7	15,1	5,06	1,73	1,05

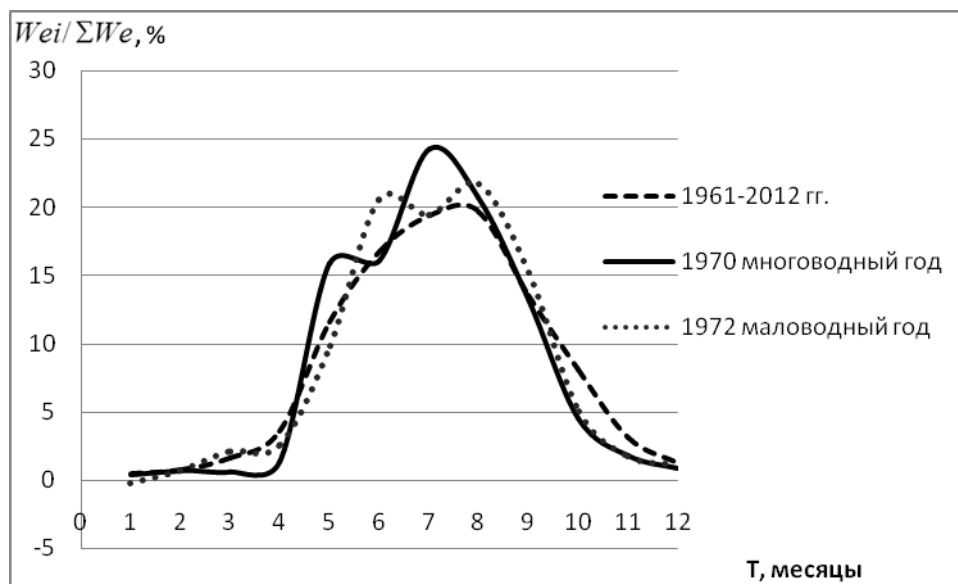


Рис. 10 - Внутригодовое распределение потерь на испарение с поверхности Кременчугского водохранилища (%)

Отметим, что максимум испарения в многоводном году наблюдается в июле, а в маловодном и для среднемноголетнего периода – в августе.

Для определения помесечных объемов потерь воды на испарение с водной поверхности водохранилища при различных слоях испарения и для различных отметок заполнения чаши водохранилища Z_i в табл. 3 и на рис.11 приведены рассчитанные объемы потерь, характерные только для Кременчугского водохранилища. С помощью табл. 3 и соответствующего графика (рис.11) при известных месячных слоях испарения с водной поверхности можно последовательно определять суммарный объем потерь воды на испарение за любой временной период эксплуатации водохранилища, что имеет практическое значение при разработке и сопоставлении режимов эксплуатации водохранилища в различные по водности годы

Таблица 3 - Распределение потерь воды на испарение с водной поверхности Кременчугского водохранилища

$\frac{MM}{Z_i, m}$	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
75	10,27	20,54	41,08	61,62	82,16	102,7	123,24	143,78	164,32	184,86	205,4	225,94	246,48	267,02	287,56	308,1
76	12,19	24,38	48,76	73,14	97,52	121,9	146,28	170,66	195,04	219,42	243,8	268,18	292,56	316,94	341,32	365,7
77	14,25	28,5	57	85,5	114	142,5	171	199,5	228	256,5	285	313,5	342	370,5	399	427,5
78	16,37	32,74	65,48	98,22	130,96	163,7	196,44	229,18	261,92	294,66	327,4	360,14	392,88	425,62	458,36	491,1
79	18,37	36,74	73,48	110,22	146,96	183,7	220,44	257,18	293,92	330,66	367,4	404,14	440,88	477,62	514,36	551,1
80	20,31	40,62	81,24	121,86	162,48	203,1	243,72	284,34	324,96	365,58	406,2	446,82	487,44	528,06	568,68	609,3
81	22,52	45,04	90,08	135,12	180,16	225,2	270,24	315,28	360,32	405,36	450,4	495,44	540,48	585,52	630,56	675,6
82	24,64	49,28	98,56	147,84	197,12	246,4	295,68	344,96	394,24	443,52	492,8	542,08	591,36	640,64	689,92	739,2

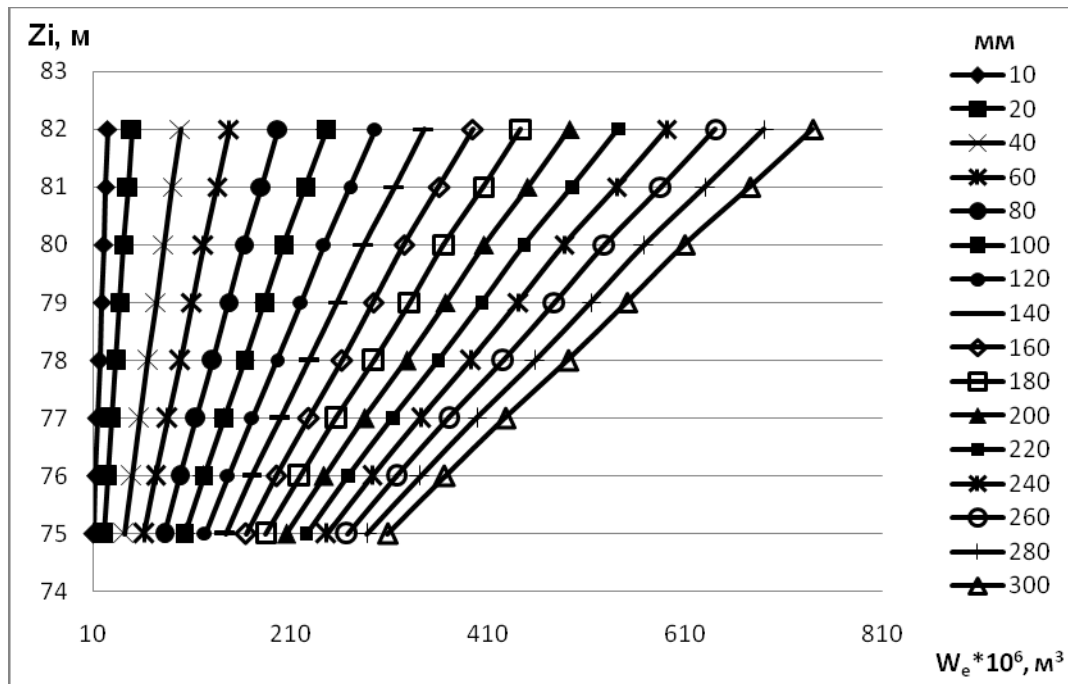


Рис. 11 – Зависимость потерь воды на испарение с поверхности Кременчугского водохранилища.

Выводы.

1. Испарение с водной поверхности Кременчугского водохранилища является важной составляющей расходной части его водных балансов.
2. Проведенные исследования по Кременчугскому водохранилищу выявили тенденции изменения объемов осадков и испарения с водохранилища за период его эксплуатации.
3. Предложенная зависимость потерь воды на испарение с водной поверхности Кременчугского водохранилища позволит проводить сравнительные расчеты при разработке и сопоставлении режимов его эксплуатации

Список литературы

1. Леви И.И. Инженерная гидрология. – М.: Высшая школа, 1968. – 240 с.
2. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
3. Вишневецький В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України.-К.: Ніка – Центр, 2003.-324 с.
4. Рекомендації щодо поліпшення екологічного стану прибережних територій дніпровських водосховищ / За ред. В.Я.Шевчука.- К.: «КСП», 1999.- 182 с.
5. Обухов Є.В. Економіко-екологічні оцінки проектів великих українських водосховищ: Монографія.- Одеса: ТОВ «ІНВАЦ», 2008.- 100 с.
6. Обухов Є.В. Водне господарство України: Підручник.-Одеса: «Поліграф», 2012.-203с.
7. Дніпровське басейнове управління водних ресурсів.-К.:Держкомітет України по водному господарству, 2004.-10 с.

8. *Леви И.И.* Инженерная гидрология. – М.: Высшая школа, 1968. – 240 с.
9. *Вуглинский В.С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
10. *Вишневський В.І., Косоветь О.О.* Гідрологічні характеристики річок України.-К.: Ніка – Центр, 2003.-324 с.
11. *Рекомендації* щодо поліпшення екологічного стану прибережних територій дніпровських водосховищ / За ред. В.Я.Шевчука.- К.: «КСП», 1999.- 182 с.
12. *Обухов Є.В.* Економіко-екологічні оцінки проектів великих українських водосховищ: Монографія.- Одеса: ТОВ «ІНВАЦ», 2008.- 100 с.
13. *Обухов Є.В.* Водне господарство України: Підручник.-Одеса: “Поліграф”, 2012.-203с.
14. *Дніпровське басейнове управління водних ресурсів.-К.:Держкомітет України по водному господарству, 2004.-10 с.*
15. *Атлас* Днепровского бассейна. Кременчугское водохранилище.-Киевская военно-картографическая фабрика, 2003.-50 с.
9. *Справочник* основных данных по каскаду гидроэлектростанций на р.Днпре-Харьков: УО «Гидропроект», 1967.-28 с.
10. *Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П.* Узагальнені оцінки випаровування з Каховського водосховища: Монографія.- Одеса: Поліграф, 2012.- 130 с.
11. *Каганер М.С., Дюкель Н.Г.* Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии // Тр. УкрНИИГМИ. – 1966. – №64. – С. 155-180.
12. *Каганер М.С.* Испарение с водной поверхности днепровских водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 223 с.
13. *Викулина З.А., Натрус А.А.* Оценка испарения с поверхности водохранилищ по наблюдаемым гидрометеорологическим данным//Труды ГГИ.–1976.–№231.–С.3-17.
14. *Руденко С.И.* Испарение с водной поверхности и потери на испарение с больших водохранилищ // Тр. ГГИ. – 1948. – Вып. 3(57). – С. 27-34.
15. *Указания* по расчету испарения с поверхности водоемов.-Л.:Гидрометеиздат, 1969.– 83с.
16. *Справочник* по водным ресурсам / Под ред. Б.И.Стрельца.- К.: Урожай, 1987.- 304 с.
17. *Клімат* України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко.- К.: Вид-во Раєвського, 2003.-343 с.

Узагальнені оцінки випаровування з водної поверхні Кременчуцького водосховища. Обухов Є.В., Куклева Д.С., Максютя О.М.

На основі реальних гідрометеорологічних даних проведено узагальнення та аналіз показників випаровування з водної поверхні Кременчуцького водосховища за час його експлуатації.

Ключові слова: випаровування, водна поверхня, водосховище, показники, втрати, водний баланс.

Aggregate estimates of evaporation from the water surface of the Kremenchug reservoir. Obukhov E.V., Kukleva D.S., Maksyuta O.M.

On the basis of real meteorological data generalization and analysis of indicators of evaporation from the water surface of Kremenchug reservoir during its operation were held.

Key words: evaporation, the water surface of the reservoir, indicators, loss, water balance.