

Є.В. Обухов, д. економ. н., **О.С. Корягіна**, бакалавр
Одеський державний екологічний університет
Є.П. Корецький, зав. гідролог. відділу.
Каховська гідрометеорологічна обсерваторія

ПОРІВНЯЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ВИПАРОВУВАННЯ З ВОДНОЇ ПОВЕРХНІ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА В СУЧАСНИХ УМОВАХ

На основі реальних вихідних даних за 2000 та 2010 роки проведені порівняльні розрахунки середньомісячних та середньорічних показників випаровування за різними емпіричними формулами, співставлення одержаних результатів та рекомендації щодо уточнення прийнятого розподілу випаровування за безльодоставний період року для VI зони.

Ключеві слова: випаровування, водна поверхня, водосховище, показники, розподіл, втрати, об'єм, водний баланс.

Вступ та постановка проблеми. Однією із важливих складових витратної частини водних балансів великих водосховищ є значні втрати води на випаровування. Так у відповідності з водними балансами водосховищ Дніпровського каскаду середньорічні втрати на випаровування склали понад 5 км³, а тільки по Каховському водосховищу за 55 років експлуатації максимальні втрати – 2,36 км³ (2007 р.), мінімальні – 1,38 км³ (1980 р.) та середні – 1,81 км³ (рис. 1) або 3,79 % від середньорічного об'єму витратної складової водного балансу водосховища [1-4]. Це пояснює постійний практичний та науковий інтерес до цього питання з боку експлуатаційників, проектувальників та науковців.

Метою даної роботи є визначення середньомісячних та середньорічних втрат на випаровування за різними розрахунковими формулами для сучасних умов (2000 та 2010 роки), їх співставлення, аналіз та пропозиції.

Основними матеріалами дослідження є сучасні реальні вихідні дані за 2000 та 2010 роки, розраховані показники випаровування за методом теплового балансу, який застосовується на Каховській ГМС, складові водних балансів по Каховському водосховищу за 55 років його експлуатації [5], дані спостережень та розрахунків за 1925-1958 рр. [6], 1960-1970 рр. [7,8], результати досліджень та їх аналіз за минулі роки за різними методиками [8-10], розрахункові емпіричні формули, за якими рекомендується розраховувати втрати води на випаровування з водосховищ [8-10], та формули інших авторів [11, 12, 13].

Розрахунки випаровування проводились за визначеними формулами на основі реальних вихідних даних по Каховському водосховищу в минулі роки. Узагальнена розрахункова формула має вигляд

$$E = A \alpha (e_0 - e_{200}) (1 + \alpha \omega_{200}), \quad (1)$$

де:

E – випаровування з водної поверхні за місяць, мм;

A – числовий коефіцієнт, який сумарно враховує вплив на процес випаровування деяких його факторів і дорівнює:

0,18 – за методом теплового балансу (застосовується при розрахунках на Каховському водосховищі);

0,20 – за формулою Б.Д. Зайкова та М.С. Каганера;

0,13 – за формулою А.П. Браславського та З.І. Вікуліної;

α - числовий коефіцієнт, який дорівнює:

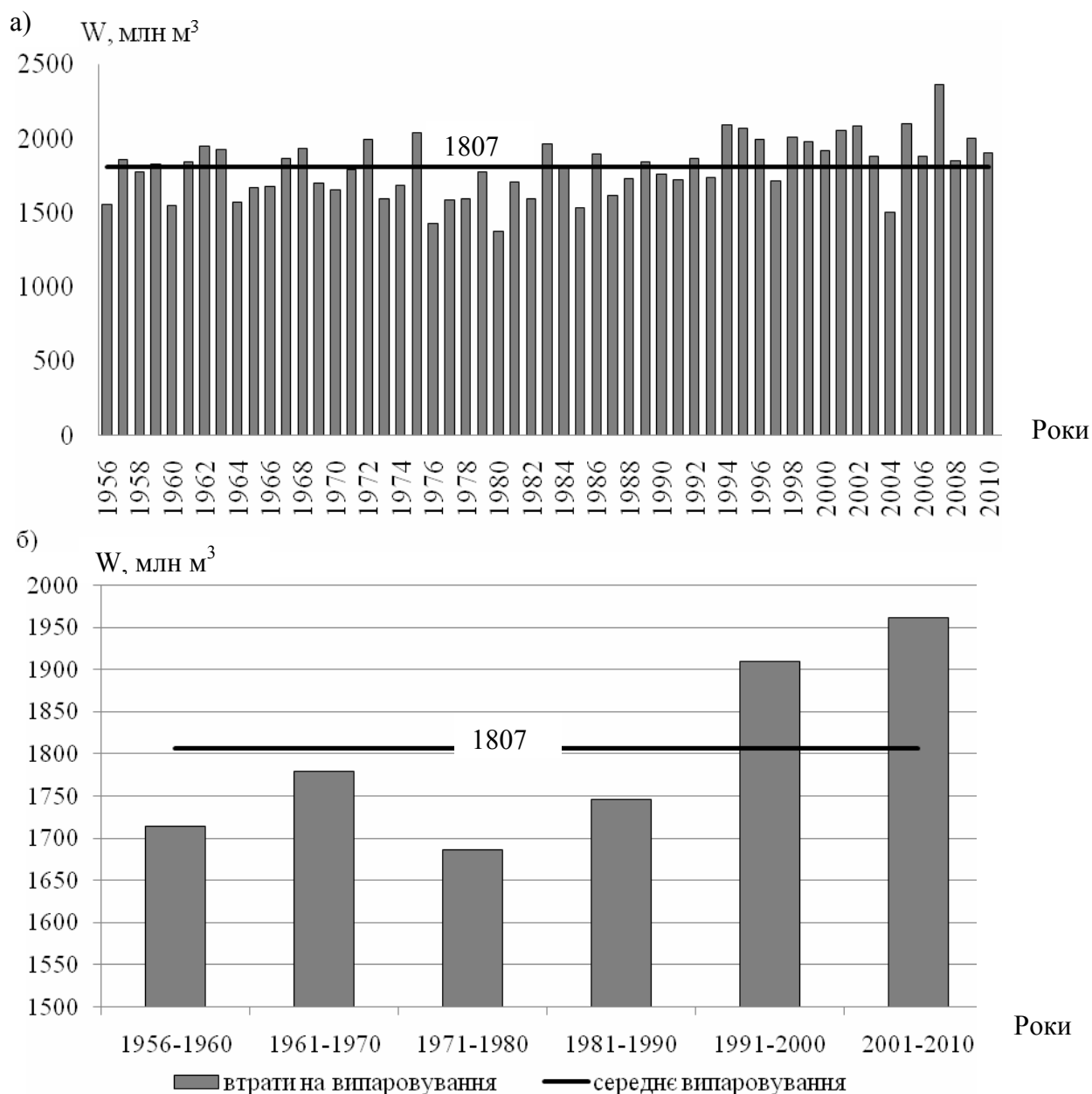


Рис. 1 – Розподіл втрат води на випаровування з поверхні Каховського водосховища а) за 55 років; б) за десятиріччя

0,14 – за формулою ДГІ, запропонованою в 1960 р. В.І. Кузнецовим, В.С. Голубовим, Т.Г. Федоровою;

0,104 – за формулою В.А. Римши та Р.В. Донченко;

n – кількість днів у місяці;

e_{20} – пружність насиченої водяної пари, яка розрахована по температурі води (в мм в формулах Б.Д. Зайкова та М.С. Каганера та в мб в формулах А.П. Браславського та З.І. Вікуліної, ДГІ та теплового балансу).

e_{200} – пружність водяної пари в повітрі на висоті 2 м над водною поверхнею (в мм або мб аналогічно e_{20});

0,44 – за методом теплового балансу (застосовується при розрахунках на Каховському водосховищі); 0,72 – за формулами Б.Д. Зайкова, А.П. Браславського та З.І. Вікуліної, ДГІ;

0,56 – за формулою М.С. Каганера;

\bar{v}_{2000} - середньомісячне значення швидкості вітру на висоті 2 м, м/с.

Аналогічні дослідження та розрахункові формули запропоновані також В.К. Давидовим, А.П. Браславським та С.Н. Нургалієвим, В.П. Кожевниковим, Р.І. Гета, В.С. Голубовим, а також формули Хартона, Міллера, Пенмана, Торітвейта та інших [8].

Зрозуміло, що надійність одержаних за наведеними формулами результатів дуже залежить від надійності визначення вихідних даних.

В [9] наводиться, що формули ДГІ, А.П. Браславського та З.І. Вікуліної, М.С. Каганера дають рівноцінні результати з достатньою для практики точністю, а формула Зайкова – дещо неточні.

За формулою М.С. Каганера в [9] було розраховано випаровування за 35-річний період (1946-1980 рр.) та побудована карта ізоліній випаровування, за якою можливо визначити величину випаровування за відсутності спостережень.

Формули В.А. Римши та Р.В. Донченко, А.П. Браславського та С.Н. Нургалієва, В.П. Кожевнікова, Р.І. Гета, В.С. Голубова застосовуються при різниці значень температури води і повітря, що відрізняються від 2-4⁰С.

Результати досліджень та їх аналіз. Розраховані за наведеними емпіричними формулами і за реальними вихідними даними для Каховського водосховища за 2000 і 2010 роки показники середньомісячного та середньорічного випаровування наведені в табл.1,2.

В табл. 1 наведені розрахункові показники середньомісячного випаровування в мм за 2000 і 2010 роки та їх внутрішньорічний розподіл в % визначений за різними емпіричними формулами, а також за картою районування території за типом внутрішньорічного ходу випаровування [10,11,14]. Внутрішньорічний розподіл випаровування наведено також на рис. 2. Співставлення відсотків на рис. 2 показує, що максимум випаровування за картою (липень) і формулами (серпень) не співпадає в 2000 р., а в 2010 р. співпадає в липні, але не по величині (у 2000 р. – визначені величини випаровування за картою вищі весною та нижчі восени, а в 2010 р. навпаки).

В табл. 2 наведені також розраховані показники середньомісячного випаровування в мм за 2000 і 2010 роки та їх співвідношення в % до результатів випаровування за методом теплового балансу (100%). Результати розрахунків табл. 2 наведені також на рис. 3. Аналізуючи одержані результати (рис. 3), слід відзначити достатньо рівноцінні результати за усіма запропонованими формулами.

На рис. 4 показана динаміка співвідношення середньомісячного випаровування з поверхні Каховського водосховища, розрахованого за методиками теплового балансу та ДГІ. Слід відзначити співпадання характеру розподілу випаровування за обома методиками у 2000 р. та деяке розходження розподілу в V і XI місяцях 2010 р., що можна пояснити впливом різниці температури води та повітря [15].

Розраховані показники середньомісячного випаровування можна порівняти з нормою випаровування 860 мм (за розрахунками В.І. Мокляка та Н.М. Родзіневської), 870 мм (за З.А. Вікуліною) та 896 мм (за М.С. Каганером) [6]. Отримані за 2000 та 2010 роки показники найближчі до норми 860 мм за розрахунками М.С. Каганера (842, 839 мм) та за методом теплового балансу (817 мм), до норми 870 мм за розрахунками А.П. Браславського і З.І. Вікуліної (888, 875 мм) та за методом теплового балансу (873 мм), а норму 896 мм перевищують показники випаровування, розраховані за формулами Б.Д. Зайкова (1012, 1000 мм) та ДГІ (956, 942 мм). Розраховані середньорічні значення випаровування в 2000 р. перевищують на 2-7 % показники 2010 року.

Таблиця 1 – Випаровування з водної поверхні Каховського водосховища, розраховане за різними емпіричними формулами, відсоткове співвідношення в залежності від сумарного випаровування

Автори формули	Формула	Рік	Розмірність	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сума
за методом теплового балансу	$E=0,18n(e_0-e_{200})$ ($1+0,44\omega_{200}$)	2000	мм	8,7	10,2	93,0	127	144	227	129	83,9	36,3	2,6	873
		2000	%	1,1	1,2	10,8	14,6	16,6	26,1	15,0	10,0	4,3	0,3	100
		2010	мм	0	39,6	64,5	136	149	218	137	89,1	11,5	19,2	817
		2010	%	0	4,5	7,4	15,7	17,2	25,1	15,9	10,3	1,3	2,2	100
Зайков Б.Д.	$E=0,2n(e_0-e_{200})$ ($1+0,72\omega_{200}$)	2000	мм	10,1	11,7	107	146	168	269	153	101	43,7	3,0	1012
		2000	%	1,0	1,2	10,6	14,5	16,6	26,6	15,1	10,0	4,3	0,3	100
		2010	мм	0	45,4	71,9	157,0	167,8	251,6	163,7	107,0	13,3	22,7	1000
		2010	%	0	4,5	7,2	15,7	16,8	25,2	16,4	10,7	1,3	2,3	100
Браславський А.П., Вікуліна З.І.	$E=0,13n(e_0-e_{200})$ ($1+0,72\omega_{200}$)	2000	мм	8,7	10,1	92,9	126,9	145,3	232,9	132,4	87,5	37,8	2,1	888
		2000	%	0,98	1,1	10,5	14,3	16,3	26,2	14,9	9,8	4,3	0,2	100
		2010	мм	0	39,3	62,3	136,0	145,4	218,0	141,8	97,7	11,5	19,7	875
		2010	%	0	4,5	7,1	15,5	16,6	24,9	16,2	11,2	1,3	2,3	100
Каганер М.С.	$E=0,2n(e_0-e_{200})$ ($1+0,56\omega_{200}$)	2000	мм	7,8	9,8	90,1	122,9	140,3	222,9	126,7	83,0	35,9	2,6	842
		2000	%	0,9	1,2	10,7	14,6	16,7	26,5	15,0	9,9	4,3	0,3	100
		2010	мм	0	38,2	61,4	131,9	142,7	211,1	135,3	88,1	11,2	18,8	838
		2010	%	0	4,6	7,3	15,7	17,0	25,2	16,1	10,5	1,3	2,2	100
Формула ДГІ	$E=0,14n(e_0-e_{200})$ ($1+0,72\omega_{200}$)	2000	мм	9,4	10,9	100	137	156	251	143	94,2	40,8	2,8	956
		2000	%	0,98	1,1	10,5	14,3	16,4	26,2	14,9	9,8	4,2	0,3	100
		2010	мм	0	42,4	67,1	146,5	156,6	234,8	152,7	99,9	12,4	21,2	942
		2010	%	0	4,5	7,1	15,5	16,6	24,9	16,2	10,6	1,3	2,3	100
Значення випаровування за картою районування	1946-1980	%	3	6	13	17	20	19	13	7	2	-	100	

Таблиця 2 – Випаровування з водної поверхні Каховського водосховища, розраховане за різними емпіричними формулами, відсоткове співвідношення в залежності від прийнятої методики

Автори формули	Формула	Рік	Розмірність	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сума	
за методом теплового балансу	$E=0,18n(e_0-e_{200})$ $(1+0,44\omega_{200})$	2000	мм	8,7	10,2	93	126,7	144,2	227,3	129,2	83,9	36,3	2,6	873	
		2010	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		2000	мм	0	39,6	64,5	136,3	149,1	217,7	137,4	89,1	11,5	19,2	817	
		2010	%	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Зайков Б.Д.	$E=0,2n(e_0-e_{200})$ $(1+0,72\omega_{200})$	2000	мм	10,1	11,7	107,2	146,4	167,7	268,7	152,8	101,0	43,7	3,0	1012	
		2010	%	116	115	115	116	116	118	118	120	120	115	116	
		2000	мм	0	45,4	71,9	157,0	167,8	251,6	163,7	107,0	13,3	22,7	1000	
		2010	%	0	115	111	115	113	116	119	120	115	118	122	
Браславський А.П., Вікуліна З.І.	$E=0,13n(e_0-e_{200})$ $(1+0,72\omega_{200})$	2000	мм	8,7	10,1	92,9	126,9	145,3	232,9	132,4	87,5	37,8	2,1	888	
		2010	%	100	99	100	100	101	102	102	104	104	81	100	
		2000	мм	0	39,3	62,3	136	145,4	218	141,8	97,7	11,5	19,7	875	
		2010	%	0	99	97	100	98	100	103	110	100	103	100	
Каганер М.С.	$E=0,2n(e_0-e_{200})$ $(1+0,56\omega_{200})$	2000	мм	7,8	9,8	90,1	122,9	140,3	222,9	126,7	83,0	35,9	2,6	842	
		2010	%	90	96	97	97	97	98	98	99	99	99	98	96
		2000	мм	0	38,2	61,4	131,9	142,7	211,1	135,3	88,1	11,2	18,8	838	
		2010	%	0	96	95	97	96	97	98	99	97	98	103	
Формула ДГІ	$E=0,14n(e_0-e_{200})$ $(1+0,72\omega_{200})$	2000	мм	9,4	10,9	100	136,7	156,5	250,8	142,6	94,2	40,8	2,8	956	
		2010	%	108	107	108	108	109	110	110	112	112	108	100	
		2000	мм	0	42,4	67,1	146,5	156,6	234,8	152,7	99,9	12,4	21,2	942	
		2010	%	0	107	104	107	105	108	111	112	108	110	100	

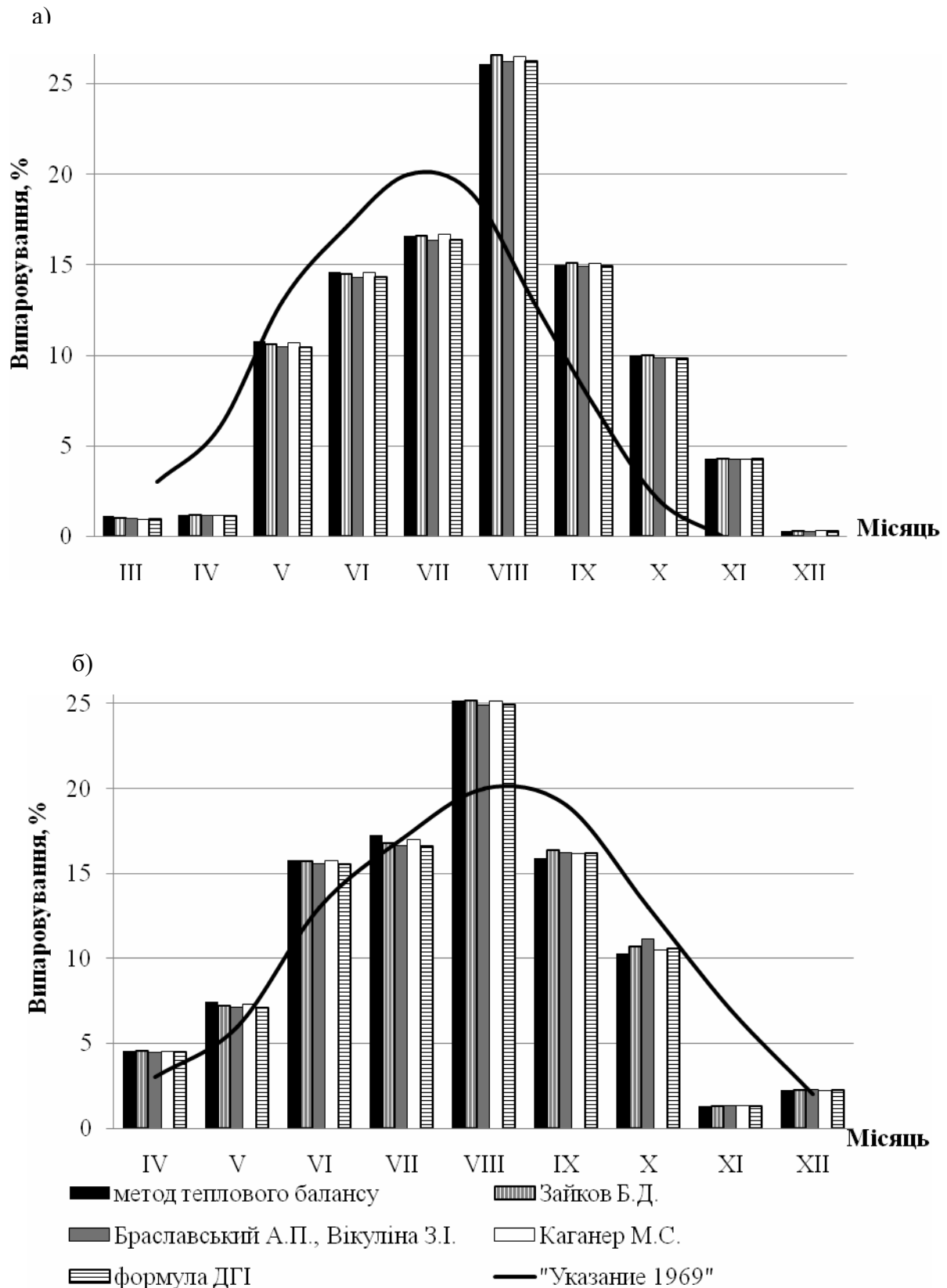


Рис. 2 – Динаміка середньомісячного випаровування з поверхні Каховського водосховища, розрахованого за різними формулами а) 2000 р.; б) 2010р.

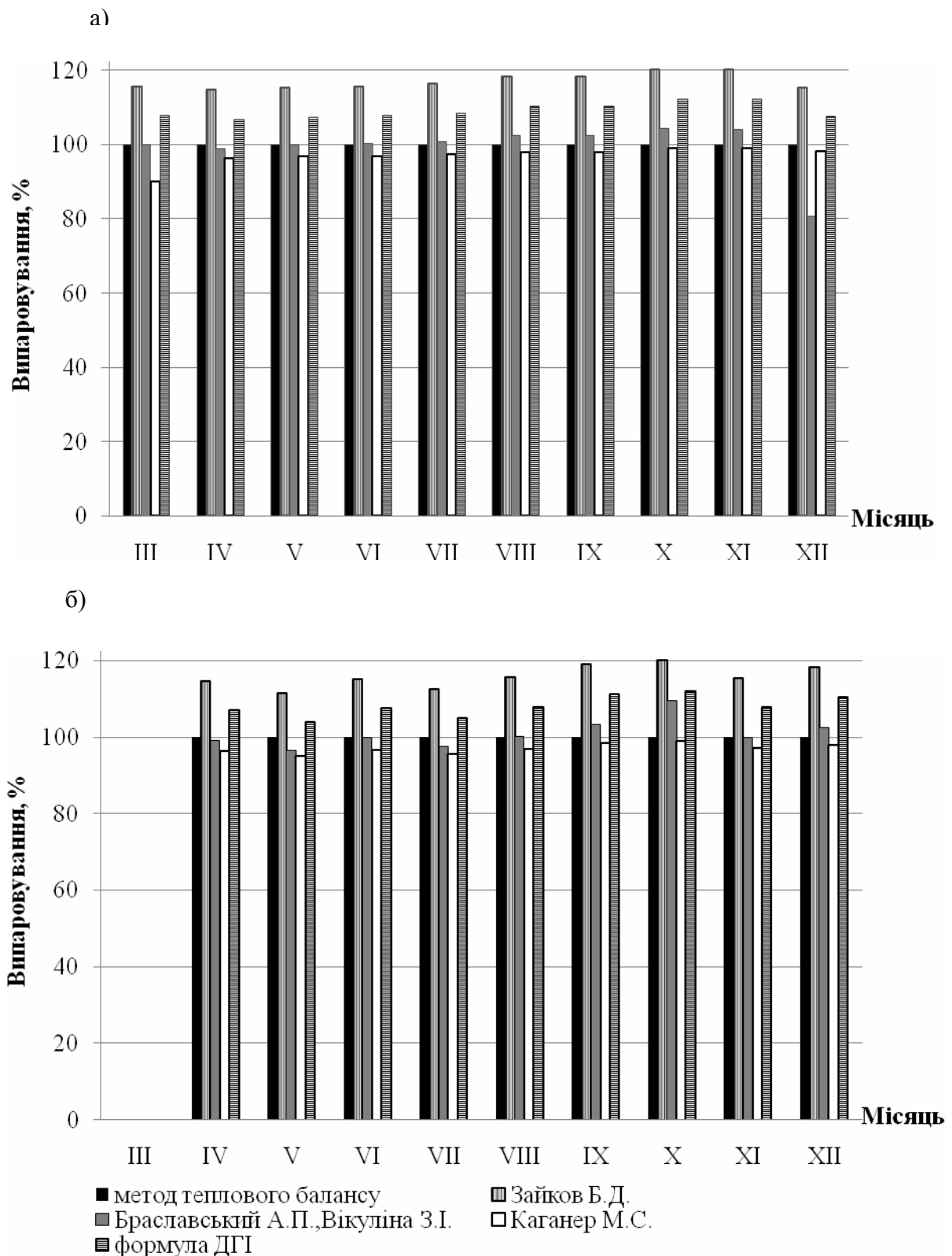


Рис. 3 – Співвідношення (в %) середньомісячного випаровування з поверхні Каховського водосховища, розрахованого за різними формулами в а) 2000 р.; б) 2010р.

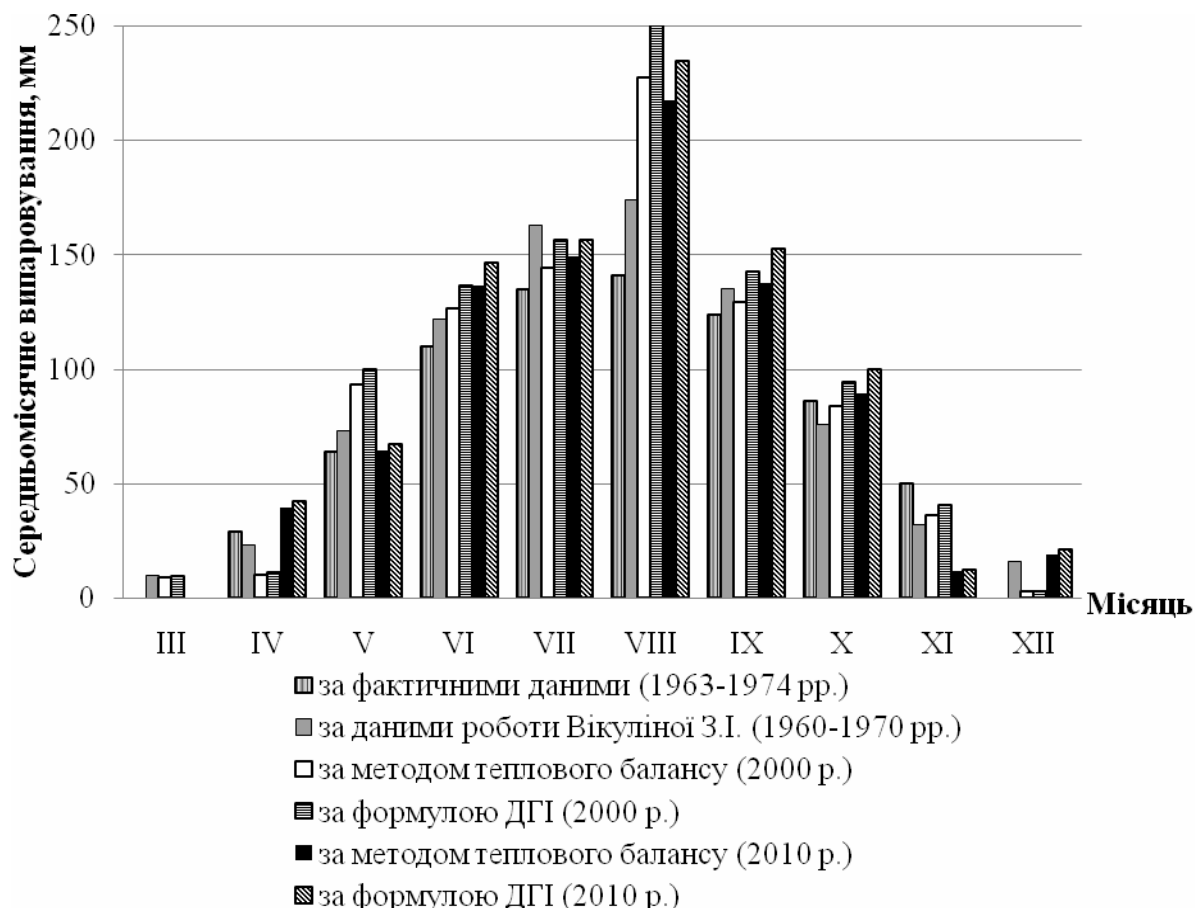


Рис. 4 – Динаміка середньомісячного випаровування з поверхні Каховського водосховища, розрахованого за методиками теплового балансу та ДГІ.

Висновки та рекомендації. Порівняльні розрахунки середньомісячних та середньорічних втрат води на випаровування з водної поверхні водосховища показали:

1. Дослідження важливої складової витратної частини водних балансів водосховища актуальні і потребують подальших удосконалень;
2. Розрахунки середньомісячних втрат води на випаровування на основі однакових реальних вихідних метеорологічних даних за методом теплового балансу (Каховське водосховище), формулами А.П. Браславського і З.І. Вікуліної, М.С. Каганера дають майже рівноцінні результати, а за формулами ДГІ та Б.Д. Зайкова – значно вищі (до 10%);
3. Розрахунки відсотків внутрішньорічного розподілу випаровування потребують подальшого уточнення як за характером, так і за величиною на основі реальних метеорологічних даних;
4. Зростання середньорічних втрат води на випаровування за останні десятиріччя вказує на значний вплив глобального потепління, що в свою чергу потребує детального подальшого його дослідження.

Список літератури

1. *Обухов Є.В.* Економіко-екологічні оцінки проектів великих українських водосховищ: Монографія. – Одеса: ТОВ „ІНВАЦ“, 2008. – 100 с.

2. *Обухов Є.В.* Випаровування з водосховищ українських гідровузлів та його питомі показники // Причорноморський Екологічний бюлетень. – 2007. – №4(26). – С. 167-173.
3. *Обухов Є.В., Загородняк Ю.О., Загороднюк Г.М.* Середньобагаторічні співвідношення складових водного балансу Дністровського водосховища // Причорноморський Екологічний бюлетень. – 2007. – №2(24). – С. 201-208.
4. *Обухов Є.В.* Питомі показники випаровування з водосховищ українських гідровузлів // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50, ч.ІІ. – С.128-136.
5. *Вишневецький В.І., Косовець О.О.* Гідрологічні характеристики річок України. – К.: Ніка – Центр, 2003. – 324 с.
6. *Каганер М.С.* Испарение с водной поверхности днепровских водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 223 с.
7. *Викулина З.А., Натрус А.А.* Оценка испарения с поверхности водохранилищ по наблюдаемым гидрометеорологическим данным // Труды ГГИ. – 1976. – № 231. – С. 3-17.
8. *Вуглинский В.С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
9. *Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца.* – К.: Урожай, 1987. – 304 с.
10. *Иванов А.Н., Неговская Т.А.* Гидрология и регулирование стока. – М.: Колос, 1979. – 384 с.
11. *Указания по расчету испарения с поверхности водоемов.* – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 83 с.
12. *Леви И.И.* Инженерная гидрология. – М.: Высшая школа, 1968. – 240 с.
13. *Мокляк В.И., Радзневская Н.Н.* Потери на испарение с водной поверхности в орошаемых районах юга УССР. – 1953. – Том 10 (XVII). – С. 117-126.
14. *Каганер М.С., Дюкель Н.Г.* Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии // Тр. УкрНИИГМИ. – 1966. – №64. – С. 155-180.
15. *Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А Дячука, В.М. Бабіченко.* - К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.

Сравнительные расчеты испарения с водной поверхности Каховского водохранилища в современных условиях. Обухов Е.В., Корягина Е.С., Корецкий Е.П.

На основе реальных исходных данных за 2000 и 2010 годы проведены сравнительные расчеты среднемесячных и среднегодовых показателей испарения по различным эмпирическим формулам, сопоставление полученных результатов и рекомендации по уточнению принятого распределения испарения за безледоставный период года для VI зоны.

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

Comparative calculations of evaporation from the water surface Kakhovka Reservoir today. Obukhov E.V., Koryagina E.S., Koretsky E.P.

Based on real input data for 2000 and 2010 it was carried out comparative calculations of average monthly and average annual evaporation on various empirical formulas, a comparison of the results and recommendations adopted to clarify the distribution of evaporation over season without ice for the VI zone.

Keywords: evaporation, water surface, reservoir, exponents, distribution, wastes, cubic capacity, water balance.