УДК 556.55

РОЗРАХУНОК СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ ОЗЕРА КИТАЙ (за період 2008-2014 рр.)

Ж.Р. Шакірзанова[1], д.геогр.н., проф.,
Ю.С. Медведєва[2], к.геогр.н., доц.,
М.Д. Янєва[1], магістр

[1] *Одеський державний екологічний університет,*
вул. Львівська, 15, 65016 Одеса, Україна, masha281192@rambler.ru
[2] *Одеська національна морська академія,*
вул. Дідріхсона, 8, 65029 Одеса, Україна

Основним методом дослідження гідрометеорологічного режиму озер є розв'язання рівняння водного балансу, яке характеризує процеси надходження та витрат води. Для розрахунку водних балансів в якості вихідних матеріалів використані об'єми води в озері Китай на початок і кінець кожного місяця, атмосферні опади і випаровування з водної поверхні. За різними методиками обчислений поверхневий та ґрунтовий стік, фільтрація, транспірація.

У статті проаналізовані фізико – географічні, морфометричні, гідрологічні, гідротехнічні характеристики озера Китай, а також річок, які його живлять; виконаний розрахунок складових водного балансу оз. Китай (за 2008-2014 рр.) та визначені нев'язки водних балансів.

Ключові слова: водний баланс, водообмін, фільтрація, транспірація, поверхневий стік, ґрунтовий стік, нев'язки.

1. ВСТУП

Озеро Китай є одним з найбільших Придунайських заплавних озер, яке знаходиться в Одеській області. Воно, як й інші Придунайські озера, витягнуто у меридіональному напрямі. Головним джерелом водообміну та водооновлення озера є р. Дунай.

У 90-х роках минулого століття почалось зменшення площ зрошування, відповідно, і заборів води з оз. Китай, а головне – підкачок води до нього. Це призвело до збільшення мінералізації води у водоймі, яка коливається від 2,2 до 3,6 г/дм^3 і, навіть до 9,5 г/дм^3 - у маловодному 2011 р., що перевищує у рази встановлені вимоги до якості питної та зрошувальної води (до 1 г/дм^3). У зв'язку з цим актуальним є дослідження водного режиму озера.

2. КОРОТКА ФІЗИКО - ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ ОЗЕРА КИТАЙ

Озеро Китай є самою східною водоймою з групи прісноводних Придунайських озер Одеської області і розташоване в 8 км на північний захід від м.Кілія (рис.1). Озеро поділяється на два плеси - північний і південний, які сполучені вузьким гирлом. У цій вузькій частині упоперек озера насипана дамба і споруджений міст; по греблі проходить ґрунтова дорога на с. Червоний Яр. Дамба в значній мірі ізолює північний плес озера від південного. Береги озера круто обриваються до його долини і складаються в основному з лесоподібних суглинків. Біля північного берега місцями зустрічаються вапняки. Обрив корінного берега досягає висоти близько 10 м. Схили його часто не задерновані, рясніють оголеннями стародавніх морських відкладів. Особливо вони поширені по східному берегу на північ від с. Червоний Яр. З півдня водоймище відокремлене від дунайських заплав широкою низькою перемичкою, через яку проходить штучний канал, що сполучає озеро з Кілійським рукавом дельти Дунаю [1].

Дно центральної частини водоймища (як північного, так і південного плеса) на 86,8 % вкрите сірим тонким мулом, який недалеко від берега переходить в злегка замулений піщаний ґрунт (12,6%). Крім того, зустрічається третій тип відкладів - мул з домішкою черепашнику, що вкриває всього лише 0,6% поверхні дна водоймища.

Велике вітрове хвилювання й масовий розвиток синьо-зелених водоростей, аж до «цвітіння» води в літньо-осінній період, є причиною надзвичайно малої прозорості води в озері, яка в цей період зменшується до 0,1 – 0,2 м і менше.

В озеро Китай впадають річки Киргиж - Китай і Аліяга, довжиною 64,0 км і 67,5 км, відповідно**.**

Режим роботи водосховищ такий. У період весняного водопілля, коли рівні води в р. Дунай значно вищі за рівні води в озерах, до водойми надходить дунайська вода (до нормального підпертого рівня - НПР). На період літньої межені шлюзи закриваються. Восени, коли рівні в р. Дунай низькі, шлюзи відкриваються і відбуваються скиди води з водосховищ (до рівня «мертвого» об'єму - РМО). Раніше значні об'єми акумульованої води в літній період використовувались на зрошування земель [2].

Для підтримки запроектованих в озерах рівнів і мінералізації в цей період відбувається підкачка слабомінералізованої води з р. Дунай. Але у 90-х роках минулого століття, у зв'язку зі значним зменшенням площ зрошуваних земель, відпала потреба у водовідведенні, а отже – і підкачці. Це призвело до підвищення мінералізації води.

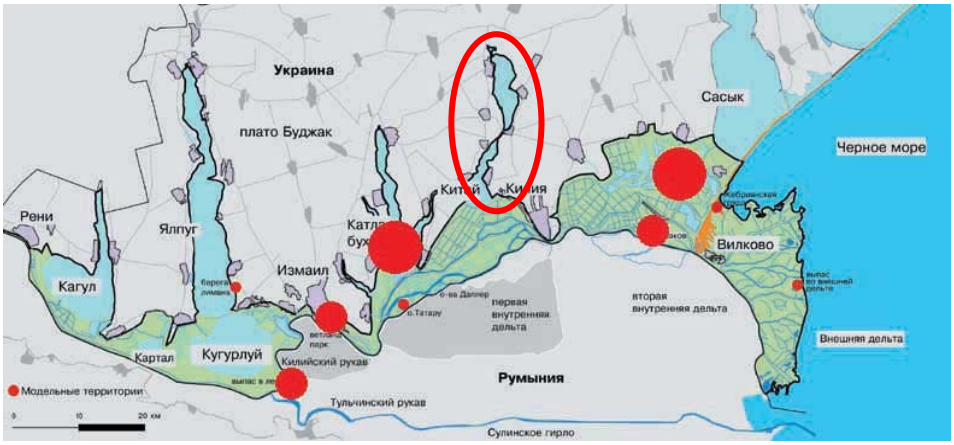

Рис.1 – Схема розташування озера Китай.

Крім того, кількість солей збільшується із надходженням високомінералізованих вод малих річок, бічним припливом та через значне випаровування з поверхні озера.

3. ВОДНИЙ БАЛАНС ОЗЕРА КИТАЙ

Головною характеристико гідрометеорологічного режиму озера є водний баланс внутрішніх водойм, який визначається процесами надходження та витрат води. На основі водного балансу визначаються водообмін, фізичні та хімічні процеси, що відбуваються у водоймах, а також оцінюється ефект заходів, спрямованих на можливе господарське використання водних ресурсів.

Рівняння водного балансу озера має вигляд (млн.м^3)

$$\sum_{П} V_i - \sum_{B} V_i = V_{Pi} + V_{ri} + V_{bi} + V_{gi} + V_{dri} + V_{Di} - (V_{Ei} + V_{tri} + V_{fi} + V_{zi} + V_{Di}'), \quad (1)$$

де $\sum_{B} V_i$ –витратна частина водного балансу; $\sum_{П} V_i$ – приходна частина водного баланс; V_{Pi} – об'єм атмосферних опадів; V_{ri} – стік річок, що живлять озеро; V_{bi} – об'єм бічного припливу; V_{gi} – об'єм припливу ґрунтових вод; V_{dri} – об'єм надходження дренажних і комунально-побутових вод; V_{Di} – стік р.Дунай; V_{Ei} – об'єм випаровування; V_{tri} – об'єм транспірації водною рослинністю; V_{fi} – об'єм фільтрації у береги; V_{zi} – сумарний забір води з озера; $V_{D'i}$ – скиди води у р. Дунай; i – розрахунковий місяць.

Для розрахунку складових водного балансу були використані такі вихідні гідрометеорологічні дані:

- рівні води в озері Китай;
- дані по опадах та випаровуванню, які вимірювались на метеостанції Ізмаїл та Болград;
- об'єми та площі водойми;
- загальні площі водозборів річок, які впадають в озеро;
- надходження ґрунтових вод (визначалось за результатами вимірювань при виконанні інтегрованого моніторингу в рамках проекту Tacis - 2001 р.) ;
- забори води з озера на комунально-побутове та інші види користування.

Визначення характеристик, за якими не ведуться спостереження або їх недостатньо визначалися за розробленими методами [3].

Розрахунок приходної частини рівняння водного балансу.

Об'єми надходження *атмосферних опадів* розраховувалися шляхом перемноження площі водного дзеркала на кількість опадів, які надходять на поверхню озера (для розрахункового місяця)

$$V_p = P \cdot F / 1000, \quad (2)$$

де P - кількість опадів по м/ст Ізмаїл, мм; F – площа водної поверхні озера (км^2), яка відповідає середньомісячному рівню води в ньому H_{cep} (мБС).

Річний стік, що надходить в озеро, визначався як витрати води у межах розглядуваної території, тобто

$$\overline{Q} = \frac{\overline{q} \cdot F}{10^3}, \quad (3)$$

де $\overline{Q}$ – середньобагаторічна річна витрата води, м^3/с; $\overline{q}$ – середньобагаторічний модуль річного стоку, дм^3/(с·км^2); F – площа водозбору річки, що впадає в озеро, км^2.

Норма стоку визначається за методикою Н.С.Лободи, яка заснована на визначенні кліматичного стоку річок, розрахованого за метеорологічними даними та з урахуванням

антропогенної діяльності і впливу на стік місцевих азональних факторів [4].

Річний стік з площі водозборів малих річок визначався з урахуванням забезпеченості року за формулою

$$Q_r = k_p \cdot \overline{Q} \ , \qquad (4)$$

де k_p - модульний коефіцієнт, що враховує забезпеченість року ймовірністю P %.

Вважалося, що забезпеченість річного стоку відповідає забезпеченості річних опадів.

Об'єм річного стоку невеликих річок в басейні озера (млн.м^3) розраховувався за виразом

$$V_r = Q_r \cdot 86400 \cdot 366 / 10^5 . \qquad (5)$$

Бічний приплив поверхневих вод з прилеглої до озера території визначався за співвідношенням між об'ємами річкового стоку V_r та бічного припливу V_b, яке було встановлене під час виконання проекту Tacis-2001

$$V_b = 0{,}23 \cdot V_r \ . \qquad (6)$$

Оскільки річковий та бічний приплив протягом року розподіляються нерівномірно, то при розрахунках водних балансів по місяцях необхідно мати уявлення про внутрішньорічний розподіл стоку. Типова схема припливу ґрунтових вод по місяцях взята за методикою запропонованою Н.С.Лободою [5] при узагальненні даних розчленування гідрографів невеликих річок Причорноморської низовини (у % від річної суми).

Приплив дренажних та комунально-побутових зворотних вод прийнято за даними Одеського обласного управління водних ресурсів

$$V_{dr} = 0{,}2 \cdot V_z \ , \qquad (7)$$

де V_z – забір води на зрошування (разом з іншими видами водокористування).

Розрахунок витратної частини рівняння водного балансу.

Об'єм випаровування з водної поверхні (млн.м^3) розраховувався за формулою

$$V_E = E \cdot F / 10^3 \ , \qquad (8)$$

де E – шар випаровування по м/ст Болград, мм; F – площа водної поверхні (км^2), яка відповідає середньомісячному рівню води в озері $H_{сер}$ (мБС).

У зв'язку з поломкою приладу для вимірювання випаровування з водної поверхні на м/ст. Болград, його величину у період з 2011 р. пропонується визначати за методом А.М.Бефані, оскільки з'ясовано, що середньомісячні величини випаровування найбільш точно визначаються дефіцитом вологості повітря.

Транспірацію водною рослинністю прийнято розраховувати за допомогою перехідних коефіцієнтів в залежності від заростання водойми [6]. Наведена в [6] оцінка поправкового коефіцієнта, взятого для площі заростей водною рослинністю 30% дорівнює 1,14.

Фільтрація води в береги. При відомих рівнях води H_1 і H_2 та середньомісячній величині фільтрації (0,48 млн.м^3/за місяць) нескладно розподілити її пропорційно величинам середньомісячних рівнів води в озері $H_{сер}$. Тоді одержимо для *i*-го місяця

$$(V_f)_i = 0{,}48 \cdot (k_f)_i \ , \qquad (9)$$

де $(k_f)_i$ – перехідний коефіцієнт для розрахунку фільтрації, який визначається як

$$(k_f)_i = H_{сер_i} / H^* \ , \qquad (10)$$

H^* – середній річний рівень води в озері.

Визначення водообміну з р. Дунай. Безпосередніх даних про об'єми води, що надходять з р. Дунай, немає. Для місяців, коли відкривались шлюзи для наповнення водойми самопливним шляхом або відбувались підкачки за допомогою насосних станцій, об'єми надходження дунайської води були обчислені зворотним шляхом з рівняння водного балансу.

Нев'язки водних балансів. При розрахунках водних балансів на величину кожного елемента буде накладатися деяка похибка. Накопичені похибки у сукупності зумовлюють нев'язку водного балансу. Визначити її можна, виходячи з рівняння водного балансу (1), таким чином

$$\Delta V_{Hi} = \sum_{B} V_i - \sum_{П} V_i \pm \Delta W_i \ , \qquad (11)$$

де ΔV_{Hi} – нев'язка водного балансу; ΔW_i – зміни об'ємів води в озері за розрахункові періоди.

4. РЕЗУЛЬТАТИ

Для розрахунку водних балансів в якості вихідних матеріалів використані об'єми води в озері на початок і кінець кожного місяця, атмосферні опади і випаровування з водної поверхні. За різними методиками обчислювався приплив поверхневого стоку, ґрунтовий стік, фільтрація, транспірація.

Таблиця 1 – Складові приходної і витратної частин водного балансу озера Китай

Рік		Приходна частина						Витратна частина				
		VP	Vr	Vb	Vg	Vdr	VD	VE	Vtr	Vf	Vz	$V_{D,}$
2008	10^6 м^3	21,6	5,6	1,1	1,5	0,3	15,4	41,5	1,7	5,8	1,5	0,0
	%	47,5	12,3	2,4	3,4	0,7	33,8	82,1	3,4	11,4	3,0	0,0
2009	10^6 м^3	17,1	3,5	0,7	1,5	0,5	29,4	55,0	2,0	5,8	2,5	0,0
	%	32,5	6,6	1,3	2,9	0,9	55,9	84,3	3,1	8,8	3,8	0,0
2010	10^6 м^3	33,8	1,3	0,2	1,5	0,3	57,1	47,3	1,8	5,8	1,6	20,4
	%	35,8	1,3	0,3	1,6	0,3	60,6	61,6	2,3	7,5	2,1	26,6
2011	10^6 м^3	16,0	1,1	0,2	1,5	0,2	1,6	40,0	1,5	5,8	1,1	0,0
	%	77,5	5,2	1,0	7,4	1,1	7,7	82,7	3,0	12,0	2,3	0,0
2012	10^6 м^3	26,0	8,1	1,5	1,5	0,2	15,2	47,7	1,7	5,8	1,2	0,0
	%	49,5	15,3	2,9	2,9	0,4	28,9	84,6	3,1	10,3	2,0	0,0
2013	10^6 м^3	24,5	7,0	1,3	1,5	0,2	55,3	41,9	1,5	5,7	1,2	12,3
	%	27,3	7,8	1,4	1,7	0,3	61,5	66,8	2,4	9,2	1,9	19,6
2014	10^6 м^3	17,7	2,0	0,4	1,5	8,0	40,5	40,0	1,5	5,8	1,2	0,0
	%	25,2	2,8	0,5	2,2	11,4	57,8	82,6	3,0	11,9	2,5	0,0

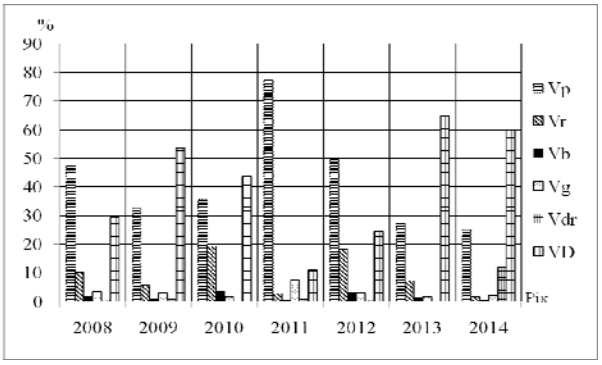

Рис. 2 – Багаторічна мінливість головних складових приходної частини водного балансу озера Китай (за 2008-

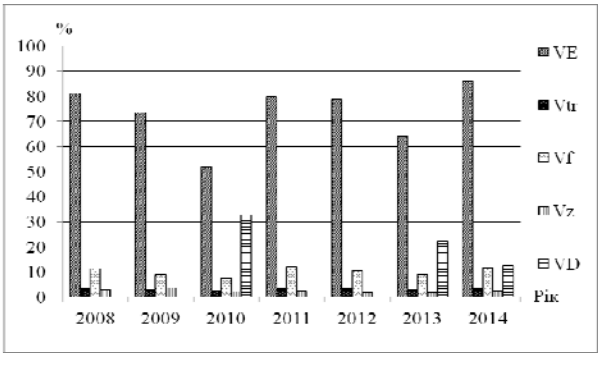

Рис. 3 – Багаторічна мінливість головних складових витратної частини водного балансу оз. Китай (за 2008-2014 рр.).

2014 рр.)

За викладеною схемою розраховані водні баланси (за період 2008-2014 рр.), які наведені у табл. 1. Багаторічна мінливість складових приходної і витратної частин водних балансів 2008-2014 рр. у відсотках представлена на рис.2 і рис.3 відповідно.

Згідно з отриманими результатами, найбільший відсоток у приходній частині за період з 2008-2014 рр. становлять опади на водну поверхню озера (від 16 і до 77 %), надходження води з р. Дунай самопливним шляхом (від 1 до 62 %). В окремі роки значний відсоток становить річковий стік (до 16 %) та дренажні води (до 11%).

У витратній частині у більшості водних балансів в період 2008-2014 рр. найбільший відсоток припадає на випаровування (від 1 до 85 %), менше на скиди води до р. Дунай (від 7 до 46 %, за винятком 2008, 2009, 2012 і 2014 рр., коли зовсім не було скидів до р. Дунай). Об'єми води на фільтрацію в береги та забір води на зрошування становлять до 12 % і до 3,0 %, відповідно.

Розраховані за викладеною схемою абсолютні нев'язки (у млн.м^3) наводяться в табл.2 та на рис.4. Як видно, вони від року до року і від місяця до місяця коливаються від 2,5 млн.м^3 (червень 2012 р.) до 4,5 млн.м^3 (серпень 2012 р.). З таблиці видно, що визначені величини нев'язок знаходяться в межах допустимих, тобто 20 %, за винятком 2011р., коли шлюзи весь рік були закриті.

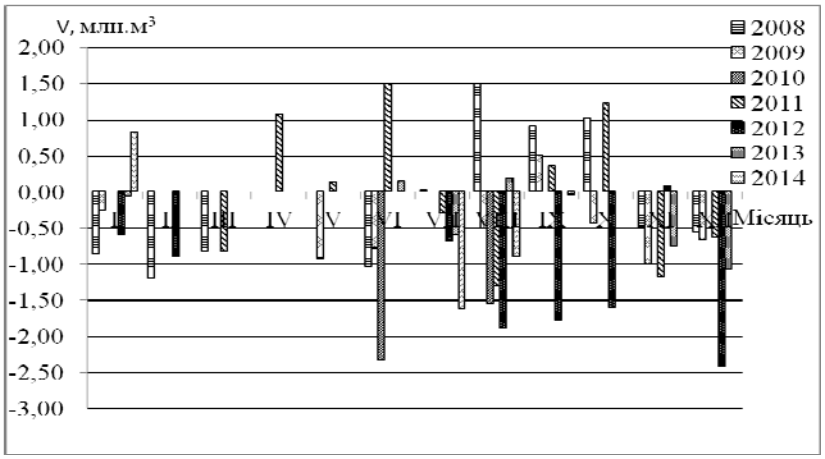

Рис. 4 – Невязки водного балансу оз.Китай (за 2008-2014 рр.)

Таблиця 2 – Нев'язки водного балансу оз. Китай за 2008-2014 рр.

Рік		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
2008	10^6 м^3	1,42	1,76	1,61	-	-	1,58	0,02	1,50	0,91	1,02	0,49	0,55	
	%	2,84	3,52	3,22	-	-	3,17	0,04	3,00	1,81	2,05	0,98	1,11	17,9
2009	10^6 м^3	0,25	-	-	-	0,92	1,89	-	0,50	0,51	1,00	1,56	1,23	
	%	0,44	-	-	-	1,58	3,26	-	0,86	0,88	1,72	2,68	2,12	13,5
2010	10^6 м^3	-	-	-	-	-	2,33	-	1,55	-	-	-	-	
	%	-	-	-	-	-	3,14	-	2,08	-	-	-	-	5,22
2011	10^6 м^3	-	-	1,38	1,63	0,42	1,49	0,30	1,29	0,19	1,78	1,73	0,64	
	%			2,92	3,45	0,89	3,16	0,63	2,74	0,41	3,77	3,66	1,34	22,9
2012	10^6 м^3	0,59	0,90					0,68	1,89	1,78	1,60	0,09	2,42	
	%	1,11	1,69	-	-	-	-	1,28	3,55	3,35	3,01	0,17	4,55	18,7
2013	10^6 м^3	0,11	-	-	-	-	0,96	1,16	0,18	-	-	1,86	1,07	
	%	0,18	-	-	-	-	1,54	1,86	0,29	-	-	2,99	1,72	8,57
2014	10^6 м^3	0,83	-	-	-	-	-	1,62	0,91	0,03	-	-	-	
	%	1,47	-	-	-	-	-	2,87	1,61	0,05	-	-	-	6,01

5. ВИСНОВКИ

Згідно з одержаними результатами найбільший відсоток у приходній частині водного балансу озера Китай займає величина опадів на водну поверхню (до 77 %) та надходження води до нього з р. Дунай (до 62 %). Найвагоміше значення у витратній частині має випаровування (38-86 %). Інші величини не перевищують 30 %.

Найбільші величини нев'язок одержані у літні місяці, але їх величини находяться в межах допустимих.

Достовірність визначення складових водних балансів оз. Китай далі буде перевірена точністю визначених величин мінералізації води в водоймі в результаті розрахунків сольових балансів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР [под ред. М. С.Каганера]. - Л. : Гидрометеоиздат, 1969 – Т. 6, вип.1: Западная Украина и Молдавия.-1969. – 84 с.
2. Тимченко В.М. Экологическая гидрология водоемов Украины /В.М. Тимченко. – К.: Наукова думка, 2006. – 375 с.
3. Гопченко Е.Д. Применение методов статистического моделирования при оценке изменений годового стока рек под влиянием орошения / Е.Д. Гопченко, Н.С. Лобода // Метеорология и гидрология.- 1986.- № 9.- С. 79-84.
4. Гопченко Е.Д. Водные ресурсы Северо-Западного Причерноморья (в естественных и нарушенных антропогенной деятельностью условиях): [моногр.] / Е.Д. Гопченко, Н. С. Лобода. – К. : КНТ, 2005. – 192 с.
5. Медведєва Ю.С. Водний та сольовий режими озера Китай: дис. кандидата геогр.наук: 11.00.07/ Ю.С. Медведєва- Одеса, 2010.- 223 с.
6. Клибашев К. П. Гидрологические расчеты/ К. П. Клибашев, И. Ф. Горошков : под ред. А. И. Чеботарева. – Л. : Гидрометеоизд, 1970.– 458 с.

REFERENCES

1. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR.* Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969, vol 6, iss. 1: Zapadnaya Ukraina i Moldaviya.1969. 84 p. (Ed.: M.S. Kaganera). (In Russian).
2. Timchenko V.M. *Ekologicheskaya gidrologiya vodoemov Ukrainy* [Environmental Hydrology reservoirs in Ukraine]. Kyiv: Naukova dumka, 2006. 375 p.
3. Gopchenko E.D., Loboda N.S. *Primenenie metodov statisticheskogo modelirovanija pri ocenke izmenenij godovogo stoka rek pod vlijaniem oroshenija* [Application of statistical modeling in the evaluation of changes in annual river flow under the influence of irrigation]. *Meteorolohiya i hidrolohiya--Meteorology and Hydrology,* 1986, no. 9, pp. 79-84.
4. Gopchenko E.D., Loboda N.S. *Vodnye resursy Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya (v estestvennykh i narushenykh*

antropogennoy deyatel'nost'yu usloviyakh [Water resources of north-western Black Sea Coast (in natural and disturbed by anthropogenic activity conditions)]. Kyiv: KNT, 2005. 192 p.
5. Medvedeva Ju.S. Vodnyy ta sol'ovyy rezhymy ozera Kytay:dis. kand. geogr. nauk; 11.00.07, ODEKU [Water and salt balanc of Kytay Lake: Dis. Cand. Geogr. Sciences: 11.00.07, OSENU] , Odessa, 2010. 223 p.
6. Klibashev K.P., Goroshkov I.F., Chebotarev A.I. *Gidrologicheskie raschety* [Hydrological calculations]. Leningrad: Gidrometeoizvdat, 1970. 458 p.

CALCULATION OF WATER BALANCE CHINA LAKE (BETWEEN 2008-2014)

Zh.R. Shakirzanova[1], d.geogr.sciences,
Y.S. Medvedeva[2], k.geogr.n.,
M.D. Yaneva[1], master

[1]*Odessa State Environmental University,*
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, masha281192@rambler.ru
[2] *Odessa National Maritime Academy, st. Didrihsone, 8, 65029 Odessa, Ukraine*

Introduction. The main characteristic of hydrometeorological mode of China Lake, is the water balance of inland waters, defined process flow and water flow. Based on the water balance is determined by water exchange, physical and chemical processes in reservoirs and estimated effects of measures aimed at possible economic use of water resources.

Purpose. The aim is analyze of physical - geographic, morphometric, hydrological, hydraulic characteristics of China Lake and the rivers that feed them; calculation of the components of the water balance of the lake China (in 2008-2014) and determine the water balance of residuals.

Methods. In the analysis of available materials observations known statistical methods used; in determining the unknown components of water balance - similar hydrological methods and operating regulations..

Results. Receipt of lake water balance China (2008-2014) in the largest extent determine precipitation on the water surface of the lake (from 17 to 77%), while expenditure is the highest percentage of evaporation from 38,7 to 86,1%. The greatest value of residuals observed in the summer months, received their size residuals are found within the acceptable.

Conclusion. The authenticity of the definition of the components of the water balance of the lake. China will also be checked accuracy of the values of salinity of water in the reservoir as a result of payments salt balance.

Keywords: water balance, water exchange, filtration, transpiration, surface runoff, groundwater flow, residual.

РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА КИТАЙ (ЗА ПЕРИОД 2008-2014 рр.)

Ж.Р. Шакирзанова[1], д.геогр.н., проф.
Ю.С. Медведева[2], к.геогр.н.
М.Д. Янева[1], магистр

[1] *Одесский государственный экологический университет,*
ул. Львовская, 15, 65016 Одесса, Украина, masha281192@rambler.ru
[2] *Одесская национальная морская академия,*
ул. Дидрихсона, 8, 65029 Одесса, Украина

Основным методом исследования гидрометеорологического режима озер является решение уравнения водного баланса, которое характеризует процессы поступления и расходования воды. Для расчета водных балансов в качестве исходных материалов использованы объемы воды в озере Китай на начало и конец каждого месяца, атмосферные осадки и испарение с водной поверхности. По разным методикам рассчитан поверхностный сток, подземный сток, фильтрация, транспирация.

В статье проанализированы физико-географические, морфометрические, гидрологические, гидротехнические характеристики озера Китай, а также рек, которые его питают; проведен расчет составляющих водного баланса оз. Китай (за 2008-2014 гг.) и определены невязки водных балансов.

Ключевые слова: водный баланс, водообмен, фильтрация, транспирация, поверхностный сток, подземный сток, невязки.

Дата першого подання: **25.06.2015**
Дата надходження остаточної версії: **20.11.2015**
Дата опублікування статті: **26.11.2015**