

УДК 556.55

**Романова Є.О.<sup>1</sup>, Шакірзанова Ж.Р.<sup>1</sup>, Гопченко Є.Д.<sup>1</sup>, Медведєва Ю.С.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Одеський державний екологічний університет

<sup>2</sup>Національний університет «Одеська морська академія»

### **ВОДНИЙ ТА СОЛЬОВИЙ БАЛАНСИ ОЗЕРА КАТЛАБУХ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВОДОЙМИ**

**Ключові слова:** водний та сольовий баланси, мінералізація, озеро Катлабух, імітаційне моделювання, раціональне використання.

**Вступ.** Прісноводне озеро Катлабух, як і інші озера посушливого регіону Придунав'я в межах України є одним з поверхневих джерел постачання води на господарські потреби і зрошення сільськогосподарських культур регіону. В середині минулого століття озеро було зв'язано з р. Дунай природними протоками, які з'єднували водойму з річкою. На той час гідрологічний режим рівнів води в озері визначався динамікою рівнів води в р. Дунай. Це сприяло доброму водообміну та підтримки задовільної якості води у водоймі.

В сучасний період озеро Катлабух відділено від річки Дунай смугою заболоченої суші, з'єднане з нею природними протоками чи штучними каналами, на яких побудовані гідротехнічні споруди для регулювання водообміну і пропуску риби. Свого часу, завдяки заборам води на зрошення і доброго водообміну в озері стан якості води в ньому відносно сольового складу був задовільний. При зменшенні у 90-ті роки минулого століття об'ємів зрошення і заборів води з озера, водообмін води погіршився, що призвело до підвищення мінералізації води озера, яка перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води.

Тому *актуальною проблемою* є дослідження водного і сольового режимів озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми. При цьому гідрологічний режим озера маловивчений, а деякі компоненти водного і сольового балансу не мають систематичних спостережень, що потребує розробки методів їх оцінки та визначення.

**Аналіз досліджень.** Метод водного балансу є одним з основоположних наукових методів, при дослідженнях гідрологічного режиму водосховищ, озер і ставків, відомим в науковій літературі [1-4]. Рівняння водного балансу водойм дають можливість докладно вивчити та зіставити між собою складові приходної та витратної частин водних балансів, що є необхідним при плануванні використання вод, визначенні заходів щодо задоволення потреб у воді господарства і населення. На основі водних балансів розробляються й сольові баланси, які дозволяють оцінювати мінералізацію та якість води водойм для різних водогосподарських потреб.

Обґрунтуванню структури та окремих складових водних балансів, у тому числі при відсутності спостережень за деякими складовими, протягом тривалого періоду були присвячені роботи таких видатних вчених, як М.А. Веліканова [1], Р.А. Нежиховського [2], О.В. Гушлі, В.С. Мезенцева [3], В.С. Вуглинського [4], В.Н. Михайлова [5], Є.Д. Гопченка, О.В. Гушлі [6], О.Ф. Литовченка [7], В.М. Тімченка [8] та ін. У більш пізній період в Одеському державному екологічному університеті були виконані дослідження водних і сольових балансів, математичне та сценарне

моделювання водно-сольових режимів Придунайських озер в умовах їх зарегульованості, а саме для системи озер Ялпуг-Кугурлуй (С.Д. Кузніченко [9]) та озера Китай (Ю.С. Медведєва, Є.Д. Гопченко, Ж.Р. Шакірманова [10]).

Сучасними та найбільш науково-обґрунтованими є дослідження водно-сольових режимів, розробки, калібрування та верифікації імітаційних моделей водно-сольових балансів в умовах водогосподарських перетворень та змін клімату, виконані Н.С. Лободою, Ю.С. Тучковенком, Є.Д. Гопченком, О.М. Грибом для лиманів Північно-Західного Причорномор'я (група Тузловських лиманів, Дофінівський лиман) [11], з більш детальними дослідженнями в межах Тилігульського [11,12] та Куяльницького [11,13] лиманів.

При вивченні водних балансів різними науковцями була виявлена схожість у розрахунках його рівнянь, а саме наявність приходної та витратної частин. Так, до приходної частини відносяться такі складові, як атмосферні опади, поверхневий та підземний припливи та бічний приплив. До складових витратної частини відноситься випаровування, фільтрація в береги та транспірація водною рослинністю. В окремих випадках транспірація може розглядатись разом з випаровуванням [10].

В редакції В.М. Тімченка [8] до водних балансів закритих лиманів повинні бути прийняті також забір води на господарські потреби або надходження дренажних і стічних вод з прилеглої території. Для лиманів Північно-Західного Причорномор'я враховується водообмін (об'єм припливу-стоку води) водойми з морем через канали і пересипи [8, 12, 13]. При вирішенні питань водних балансів Придунайських озер враховуються складові водообміну з р. Дунай [9, 10].

Окремі компоненти водного балансу у будь-яких водоймах відіграють різну роль. Це обумовлюється багатьма факторами, одними з головних таких факторів є кліматичні умови та співвідношення між площею водозбору і площею водного дзеркала [2]. Окрім цього, у водосховищі значення окремих компонентів постійно змінюються. Деякі компоненти змінюються досить незначно (наприклад, акумуляція в льодовому покриві), що дозволяє їх зовсім не враховувати, а такі компоненти як підземний приплив та фільтрація оцінюються наближеними методами [2,3]. В сольових балансах мінералізація окремих складових вимірюється чи також може бути оцінена розрахунковими методами [10,12,13].

У гідрологічній практиці інших країн дослідженню водних і сольових режимів озер (річних, сезонних або місячних) в останні роки приділяється досить велика увага у зв'язку з багатьма випадками катастрофічних наслідків підвищення мінералізації [14-16], падіння рівнів води чи, взагалі, обміління водойм [15-19], а іноді зростання рівнів води в них [20]. Автори [14] вважають, що спроби збереження та відновлення озер потребують точного розуміння багатьох гідро-екологічних факторів, особливо тих, що регулюють водний баланс. За дослідженнями авторів [21] водообмін в озерах, що призводить до змін у водосховищі є результатом динамічного водного балансу.

**Мета** цієї статті полягає в обґрунтуванні методів розрахунку складових водного балансу озера Катлабух при наявності або відсутності даних спостережень, моделюванні на його основі сольового режиму озера за різних умов експлуатації водойми, що дозволить позначити шляхи до покращення гідроекологічного стану озера та задоволення потреб якісної води для різних господарських проблем.

**Морфометричні характеристики та гідрологічний режим озера Катлабух.** Озеро Катлабух, розташоване в південній частині Одеської області України, відноситься до системи Придунайських озер і являє собою регульовану водойму (рис.1). Водообмін водосховища Катлабух з р. Дунай відбувається через канали Желявський та Суспільний, і через озеро Саф'ян, обладнані шлюзами-регуляторами.



Рис. 1. Система Придунайських озер

Озеро Катлабух має довжину 21 км, середню ширину – 3,3 км (при максимальному значенні 6,0 км), середню глибину – 1,92 м (при максимумі - 2,7 м), площу дзеркала водної поверхні при нормальному підпертому рівні води (НПР) – 68,5 км<sup>2</sup> (табл. 1). В озеро впадають невеликі степові річки Великий Катлабух, Ташбунар та Єніка (табл. 2), а основним джерелом надходження прісної води до озера є р. Дунай.

Таблиця 1. Морфометричні характеристики озера Катлабух

№	Параметр	Значення
1	Довжина, км	21,0
2	Ширина: максимальна, км середня, км	6,0 3,3
3	Глибина: максимальна, км середня, км	2,70 1,92
4	Площа дзеркала при НПР, км <sup>2</sup>	68,5
5	Площа мілководь глибиною до 2 м (при НПР), км <sup>2</sup>	29,5
6	Об'єм: повний, млн.м <sup>3</sup> корисний, млн.м <sup>3</sup>	131,0 68,5
7	Протяжність берегової лінії водосховища, км	75,4
8	Відмітки рівнів води: Нормальний підпірний рівень (НПР), м Рівень мертвого об'єму (РМО), м Форсований підпірний рівень (ФПР), м	1,70 0,70 3,00

Таблиця 2. Морфометричні характеристики річок басейну озера Катлабух

№ з/п	Назва річки	Площа водозбору, F, км <sup>2</sup>	Довжина річки, L, км	Середня висота водозбору, H <sub>сер</sub> , м	Ухил річки, I <sub>зв</sub> , ‰
1	Великий Катлабух-устя	536	49	90	2,6
2	Ташбунар-устя	281	40	76	2,9
3	Єніка-устя	243	40	87	1,6

Водообмін озера Катлабух з р. Дунай має регульований характер. У період весняного водопілля, коли рівні води в р. Дунай значно вищі за рівні води в озері, до водойми надходить дунайська вода (до НПР). На період літньої межени шлюзи закриваються. Восени, коли рівні в р. Дунай низькі, шлюзи відкриваються і відбуваються скиди води з водойми (до РМО). Раніше значні об'єми акумульованої води в літній період використовувались на зрошення земель.

Гідрологічний режим малих річок в північній частині озера не має суттєвого впливу на рівневий режим озера. Але річки мають підвищену мінералізацію (до 6-7 г/дм<sup>3</sup>) і є основним джерелом надходження солей до озера, особливо у північній його частині. Слід зазначити, що дані регулярних гідрологічних вимірювань на цих малих річках практично відсутні.

Гідрологічний режим рівнів води озера Катлабух та р. Дунай представлений часовим ходом середньомісячних рівнів води, який показує сезонні і багаторічні коливання рівнів води (рис. 2). За багаторічний період рівні води в озері майже не змінювалися, але зростала солоність води (до 2,5-3,4 г/дм<sup>3</sup>). Слід зазначити, що середня мінералізація в озері по проектних розрахунках за умов глибокого водообміну повинна була коливатися від 1 до 1,47 г/дм<sup>3</sup>.

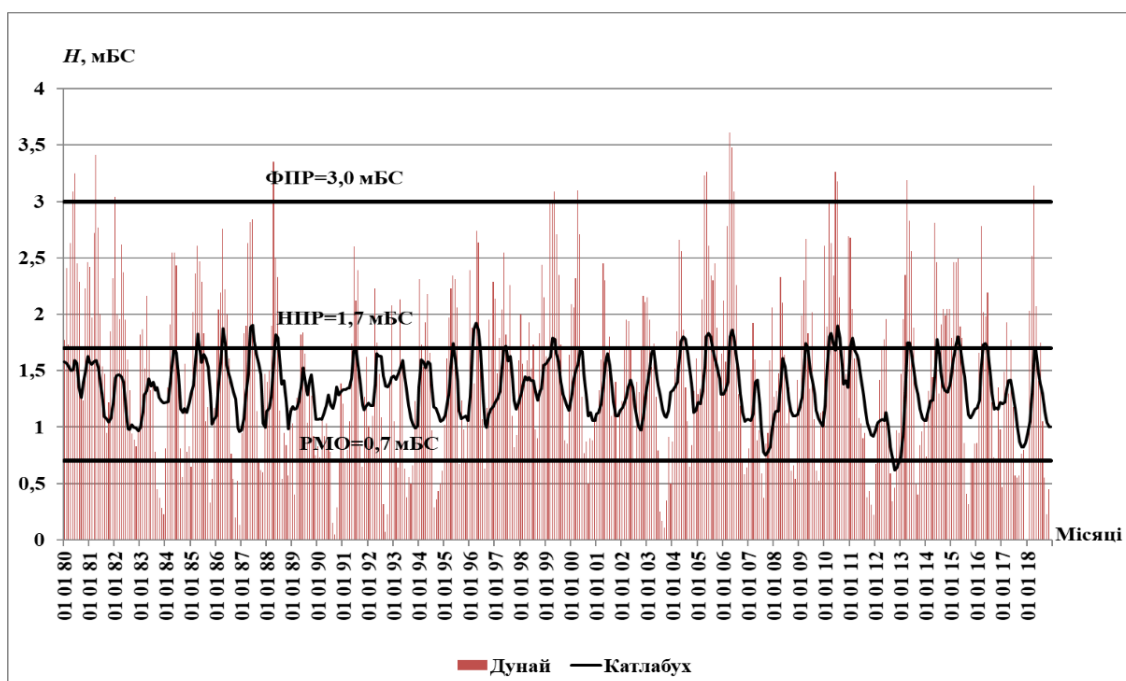


Рис. 2. Графік ходу рівнів води озера Катлабух і р. Дунай – м. Ізмаїл

**Вихідні матеріали та методи дослідження.** Під час вивчення водних балансів необхідне визначення кожного його елемента окремо, за допомогою натурних гідрометричних спостережень чи непрямими методами [2, 3, 7]. Водні баланси складаються за допомогою матеріалів спостережень метеорологічних постів на озері, матеріалів гідрологічних станцій (постів), що враховують стік на притоках до озера та матеріалів про режим роботи гідротехнічних споруд [3].

У загальному вигляді метод водного та сольового балансів для озера Катлабух представлено рівнянням, що виражають різницю між приходною і витратною їх частинами [22, 23]. Нев'язки водних балансів обумовлені похибками розрахунків їх складових, а в умовах водообміну озера Катлабух з р. Дунай – й не фіксованими об'ємами надходження та скидів води.

При аналізі наявних матеріалів спостережень при розрахунках водних

балансів використовуються статистичні методи [24-29]. При визначенні невідомих, тобто складових водних балансів, що не вимірюються зазвичай використовуються методи гідрологічної аналогії, емпіричні формули, карти та діючі нормативні документи [30]. Особлива увага приділяється визначенню добового (місячного) припливу річкової води до озера, так як гідрометричні спостереження для річок, що живлять озеро Катлабух взагалі відсутні.

Атмосферні опади  $V_P$  та випаровування з водної поверхні  $V_E$ . При розрахунках кількості опадів на водойму враховується площа водного дзеркала водойми.

Розрізнені дані по кількості опадів за місяць та рік на метеостанціях налічується з 1885 р. Безперервні дані по опадах мають місце на м/ст Болград з 1945 р., а на м/ст Ізмаїл – з 1949 р. Побудована залежність сум річних опадів м/ст Ізмаїл від м/ст Болград показала, що простежується досить тісний зв'язок між двома станціями (при значущому коефіцієнті кореляції - 0,61).

Дані річних сум опадів на м/ст Болград в подальшому використані в роботі при оцінці норм річного стоку малих річок, що живлять озеро Катлабух та внутрішньорічного розподілу поверхневого стоку, а саме визначення водності року різної забезпеченості (за близькістю розташування до водозборів малих річок).

Об'єми надходження атмосферних опадів на водну поверхню озера Катлабух розраховувалися за даними спостережень за опадами на м/ст Ізмаїл шляхом перемноження кількості опадів на площу водного дзеркала (для розрахункового місяця)

$$V_P = P \cdot F_{\partial 3} / 10^3, \quad (1)$$

де  $P$  - кількість опадів по м/с Ізмаїл, мм;  $F_{\partial 3}$  – площа водного дзеркала (км<sup>2</sup>), яка відповідає середньомісячному рівню води в озері  $H_{сер}$  (м БС).

Багаторічна мінливість об'ємів річних сум опадів м/ст Ізмаїл на площу озера Катлабух наведена на рис. 3а), величини яких за період з 1980 по 2018 рр. змінюються від 17,7 до 44,5 млн.м<sup>3</sup>.

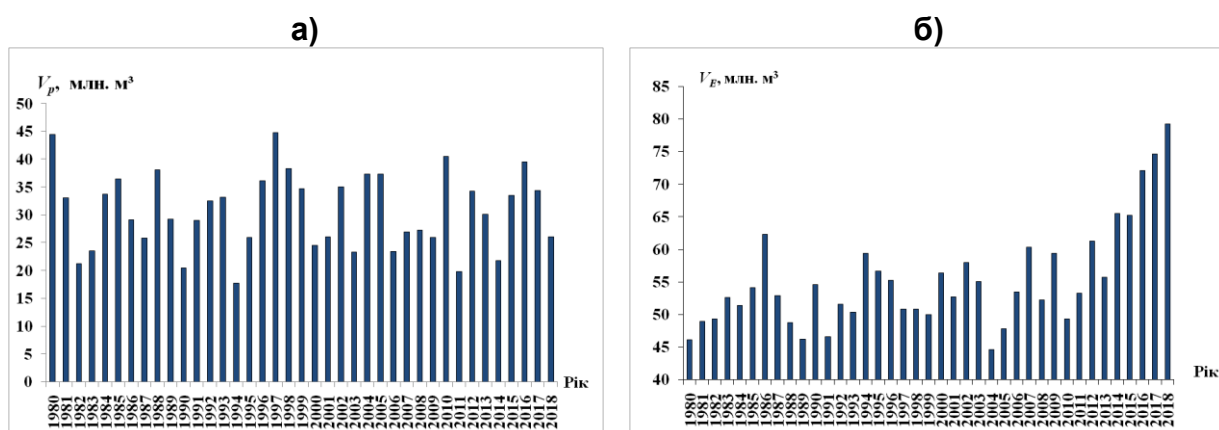


Рис. 3. Багаторічна мінливість об'ємів надходження річних опадів (м/ст Ізмаїл) (а) та випаровування з водної поверхні (м/ст Болград) (б) у період з 1980-2018 рр.

Для озера Катлабух випаровування з водної поверхні визначалося за даними випаровувального басейну на м/ст Болград (з площею 20 м<sup>2</sup> та глибиною 2 м), який був прийнятий в СРСР в якості водойми-еталону [31,32]. При використанні спостережень за випарного басейну підрахунок місячного шару випаровування (мм)

з поверхні малого водосховища ведеться з урахуванням поправочних коефіцієнтів на середню глибину і площу водного дзеркала, на захищеність водосховища [2, 32], сумарний вплив яких для озера Катлабух одержаний рівним одиниці.

Об'єм випаровування водною поверхнею озера Катлабух розраховувався за формулою

$$V_E = E \cdot F_{\text{дз}} / 10^3, \quad (2)$$

де  $E$  – шар випаровування, мм.

На рис. 3б) представлена багаторічна мінливість за рік об'ємів випаровування з водної поверхні озера Катлабух з 1980 по 2018 рр., яка змінюється від 44,6 до 79,3 млн. м<sup>3</sup>. Слід зазначити, що в період с 2014 р. об'єми випаровування мають тенденцію до підвищення.

Транспірацію водною рослинністю  $V_{tr}$  прийнято розраховувати за допомогою поправочних коефіцієнтів для урахування впливу на випаровування водної рослинності [33]. Оцінка коефіцієнтів взята для площі заростей озера Катлабух водною рослинністю 30 % і дорівнює 1,14 (в межах степової географічної зони). З урахуванням розподілення сумарного випаровування з ділянок, зайнятих заростями водної рослинності ( $y\%$ ) (з травня по жовтень) багаторічний хід об'ємів транспірації водною рослинністю коливається в межах від 1,93 до 3,3 млн. м<sup>3</sup>.

Річковий стік  $V_r$ . У монографії за редакцією Гопченка Є.Д. та Лободи Н.С. [13] зазначається, що особливо проблематичним з точки зору оцінки характеристик стоку є південь України, так як на більшості річок цієї території, і, зокрема, річках, що живлять озеро Катлабух дані спостережень за річковим стоком відсутні.

Керуючись нормативними документом СНіП 2.01.14-83 [30] для річок, невивчених у гідрологічному відношенні використовуються карти середнього річного стоку річок (у модулях, л/(с·км<sup>2</sup>) та коефіцієнтів варіації, побудовані в масштабі 1:10 000000. Але ізолінії середнього багаторічного річного стоку в межах південного регіону України недостатньо об'рунтовані.

В Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи була розроблена математична модель річного стоку, яка базується на використанні метеорологічних даних і відноситься до моделей типу «клімат-стік» [34]. Теоретичним базисом моделі «клімат-стік» є запропонована в [34] модифікація рівняння водно-теплового балансу В.С. Мезенцева [35]. Одержані за методикою «клімат-стік» модулі природного річного стоку  $\bar{q} = 0,27$  л/(с·км<sup>2</sup>). При загальній площі водозборів всіх річок, що впадають в озеро Катлабух ( $F = 1060$  км<sup>2</sup>) (табл. 2) середня багаторічна річна витрата води  $\bar{Q}$  становить 0,29 м<sup>3</sup>/с, що в об'ємах дорівнює 9,15 млн. м<sup>3</sup>.

Річний стік з площі водозборів малих річок визначався з урахуванням забезпеченості водності року за формулою [30]

$$Q_r = k_p \cdot \bar{Q}, \quad (3)$$

де  $k_p$  - коефіцієнт, що враховує забезпеченість водності року ймовірністю  $p\%$ ,  $\bar{Q}$  – середня багаторічна річна витрата води, м<sup>3</sup>/с.

В цій роботі вважалось, що забезпеченість річного стоку дорівнює забезпеченості річних опадів, яка визначена за кривою розподілу річних опадів по м/ст Болград. При цьому, встановлений зв'язок середнього шару стоку води за рік поста-аналога р. Когильник – м. Котовськ з сумою річних атмосферних опадів на

м/ст Болград, як основного чинника формування річкового стоку (при значущому коефіцієнті кореляції зв'язку - 0,42).

Об'єм надходження річного стоку невеликих річок  $V_r$  (млн.м<sup>3</sup>) розраховувався за виразом

$$V_r = Q_r \cdot 86400 \cdot 365 / 10^6, \quad (4)$$

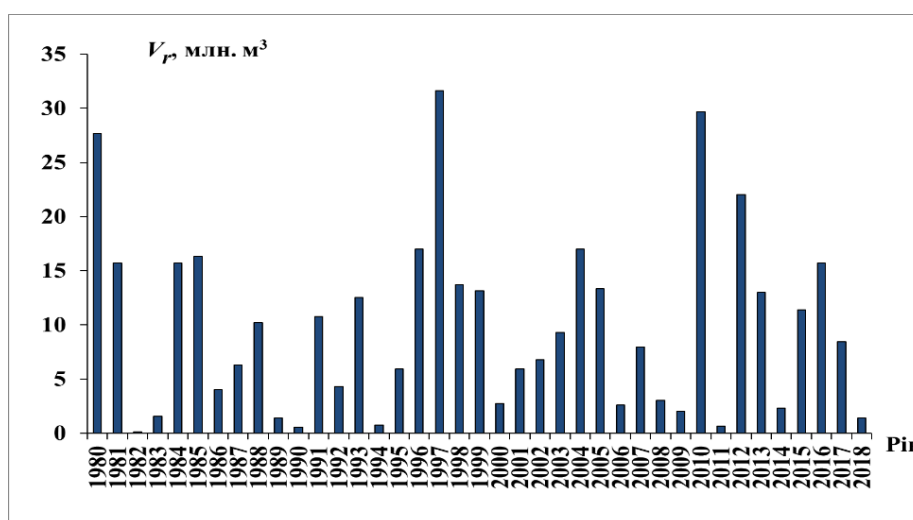
де  $Q_r$  - річний стік з площ водозборів річок басейну оз. Катлабух, м<sup>3</sup>/с; 86400 – кількість секунд в одній добі; 365 – кількість днів у році.

Так як розрахунковий період часу у дослідженнях водних балансів становить один місяць, то був встановлений розподіл стоку річок протягом року (за методикою В.Г. Андреянова [36]) при використанні даних річки-аналога, якою прийнята р. Когильник – м. Котовськ (табл. 3). Внутрішньорічний розподіл залежить від водності року, тому ведеться розрахунок при якому усуваються індивідуальні, нетипові особливості окремих років.

**Таблиця 3. Типова схема внутрішньорічного розподілу поверхневого стоку р. Когильник – м. Котовськ (у %) (1959-2004 рр.)**

Водність року	місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
багатоводний	7,1	12,4	16,9	13,5	9,0	10,1	7,2	4,0	3,3	3,1	5,2	8,3
середньоводний	5,2	9,8	20,7	8,5	8,1	11,1	7,5	5,0	7,8	5,2	5,8	5,3
маловодний	8,6	13,2	15,7	10,1	11,1	9,2	4,9	3,4	3,4	4,5	7,4	8,4

Часовий хід багаторічної мінливості стоку річок Великий Катлабух, Єніка і Ташбунар за період з 1980 по 2015 рр. наведена на рис. 4. За період з 1980 по 2018 рр. розрахункові об'єми річного стоку малих річок, що впадають в озеро Катлабух змінювалися від 0,58 до 29,68 млн.м<sup>3</sup>, в залежності від водності року.



**Рис. 4. Багаторічна мінливість об'ємів річного стоку до озера Катлабух у період з 1980-2018 рр.**

Бічний приплив  $V_b$ . Бічний приплив до озера Катлабух можливо розрахувати в залежності від річкового, тобто

$$V_b = 0,23 * V_r. \quad (5)$$

Співвідношення між  $V_r$  і  $V_b$  було встановлено під час виконання науково-технічного проекту Tacis-2001 на оз. Ялпуг-Кугурлуй [37].

Приплив ґрунтових вод  $V_{gr}$ . Ґрунтове живлення озер складається з ґрунтових вод його басейну, які безпосередньо дреноються по периметру водойми, та ґрунтових вод, що надходять разом з поверхневим стоком річок. Ґрунтова складова поверхневого припливу входить до загального річкового стоку.

При відсутності безпосередніх вимірювань ґрунтова складова визначається методами, які базуються на використанні гідрогеологічних даних [38].

Як вже відзначалося, басейн озера Катлабух характеризується недостатньою гідрологічною вивченістю, тому для оцінки норми ґрунтового стоку в регіоні в даній роботі використаний генетичний метод, запропонований А.М. Бефані [39]:

$$\overline{Y_{gr}} = th[a_2 (\frac{F}{F_{1kp}} - 1)^\varepsilon] U_0, \quad (6)$$

де  $Y_{gr}$  - шар стоку ґрунтового припливу води;  $U_0$  – норма інфільтрації, яка за даними В.Г.Сорокіна, для Придунайського регіону становить 2,5 мм;  $a_2$  – гідрогеологічний параметр, числове значення якого можна прийняти на рівні 0,20;  $\varepsilon$  – параметр, який визначає інтенсивність дронування водоносних горизонтів і складає він 0,25;  $F$  – площа водозбору озера становить 68,5 км<sup>2</sup>;  $F_{1kp}$  – початкова площа витoku річок, яка на півдні України становить 60 км<sup>2</sup>.

Типова схема припливу ґрунтових вод по місяцях прийнята за методикою, що запропонована Н.С. Лободою [34,40] при узагальненні даних розчленування гідрографів невеликих річок Причорноморської низовини (табл.4).

**Таблиця 4. Внутрішньорічний розподіл припливу (у %) ґрунтових вод до озера Катлабух ( $V_{gr} = 4,13$  млн. м<sup>3</sup>)**

Водність року	місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Багатоводний	4,4	6,4	10,3	10,7	11,4	11,3	8,0	6,4	6,3	7,2	8,4	9,2
Середньоводний	7,4	10,3	12,6	12,3	12,5	6,5	5,2	5,8	6,5	7,7	7,4	5,8
Маловодний	3,9	4,7	5,1	5,2	5,4	6,0	8,0	9,3	11,0	13,4	13,5	14,5

Сумарний забір води  $V_z$  та дренажні та комунально-побутові води  $V_{dr}$ . Сумарний забір води озера Катлабух на господарські потреби здійснюється головним чином на зрошування сільськогосподарських земель в його басейні. Загалом до озера Катлабух належить низка зрошувальних систем, розташованих на території Ізмаїльського, Кілійського та Болградського районів, всього до 20,936 тис.га. Цей об'єм водозабору відповідає зрошувальним нормам 3000-4600 тис.м<sup>3</sup>/га.

Об'єм прямих вимірювань водозабору  $V_z$  за період 1980-2018 рр. в середньому становив 32,1 млн. м<sup>3</sup>, при коливаннях в межах від 84,5 млн. м<sup>3</sup> в 1996 році до 2,1 млн. м<sup>3</sup> в 2018 році (рис.5а). Внутрішньорічний розподіл характеризується відповідністю типовій схемі, причому основна частка його приходить на період травень-вересень, за який в середньому забирається близько 85% від всього об'єму.



Дані про об'єм припливу дренажних вод (у тому числі й комунально-побутових зворотних вод) прийняті як

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

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

Багаторічна мінливість об'ємів припливу дренажних вод до озера Катлабух за 1980-2018 рр. представлена на рис. 5б. Слід зазначити, що з 1997 року господарські забори води на зрошування і, відповідно, об'єми припливу дренажних вод, значно зменшилися, а з 2010 р. вони майже припинились. Це стало головною причиною підвищення солоності вод озера та погіршення його гідроекологічного стану, в основному із-за зниження інтенсивності перемішування вод та послаблення водообміну і водооновлення вод в північній частині озера.

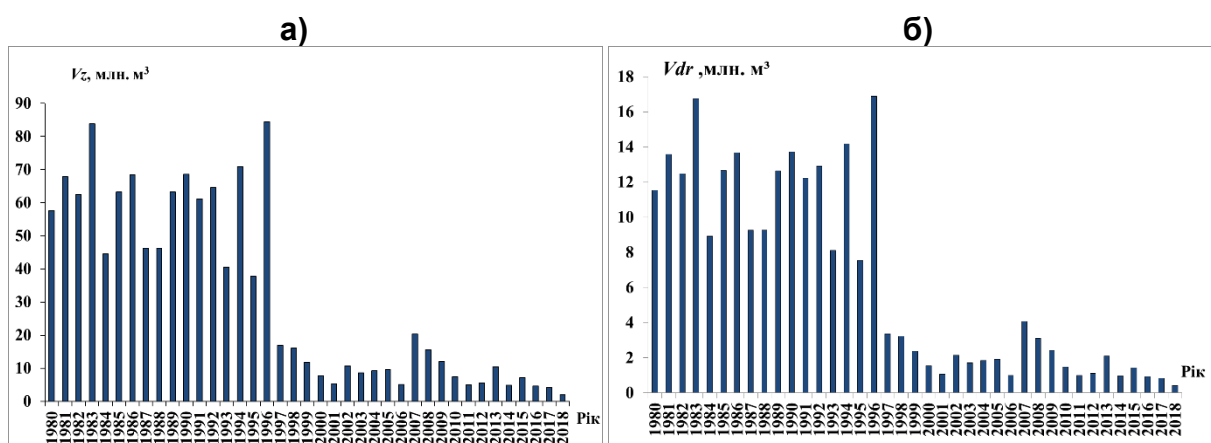


Рис. 5. Багаторічна мінливість об'ємів заборів води (а) та дренажних та комунально-побутових вод, що надходять до озера Катлабух (б) у період з 1980-2018 рр.

Фільтрація води в береги  $V_f$ . Фільтрація визначена на підставі розрахункових даних Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю (для озера Ялпуг) [37] і в середньому за рік становить 6,6 млн.м<sup>3</sup> при площі водної поверхні озера Катлабух  $F_{\text{вз}}=69$  км<sup>2</sup>, а за місяць - 0,55 млн.м<sup>3</sup>. Крім того режим експлуатації озера характеризується значними коливаннями рівнів води в ньому, тому на протязі року ці величини корегуються зміною рівнів води в озері.

Надходження води р. Дунай до озера Катлабух  $V_D$  та скиди води з озера в р. Дунай  $V_D'$ . Водообмін озера Катлабух з р. Дунай відбувається у регульованому режимі відповідно графікам пропускної спроможності шлюзів каналів Желявський та Громадський (за диспетчерськими графіками), що встановлюються на засіданнях міжвідомчих нарад і визначаються рівнями води на р. Дунай (рис. 2).

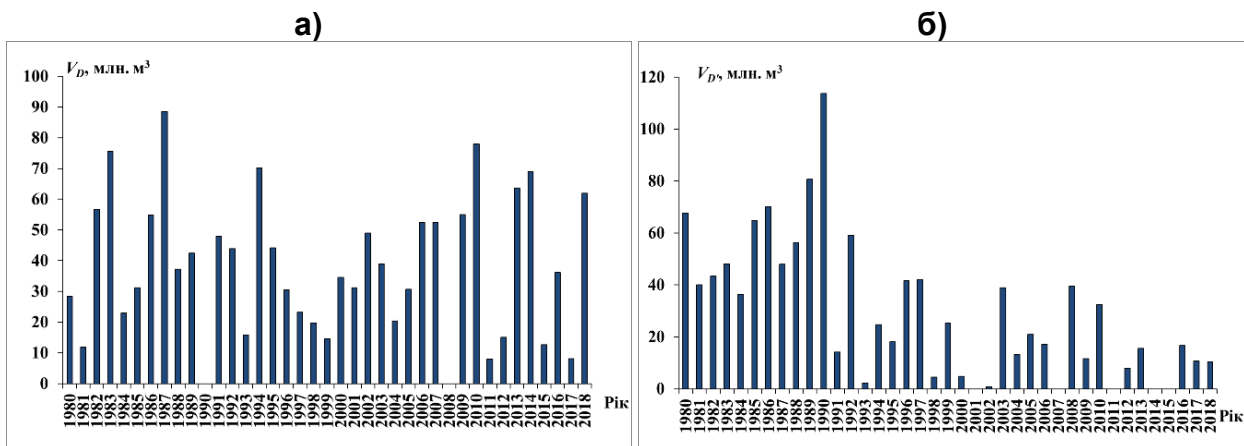
Коли достовірних даних про водообмін р. Дунай та озера Катлабух по шлюзах регуляторів немає, то вони обчислюються зворотнім шляхом з рівняння водного балансу.

Так, в основному у зимові місяці при високих рівнях води в Дунаї та у весняно-літній період при проходженні водопілля на р. Дунай при відкритті шлюзів відбувається наповнення озера Дунайською водою (рис. 6а).

В осінні місяці, коли рівні води р. Дунай стають нижче рівня води озера Катлабух, при відкритті шлюзів, відбувається обернений процес – скид води з озера в р. Дунай (рис. 6б). Однак, коли рівні води в Дунаї вищі за рівні води озера в осінній і навіть у зимовий період відбувається відкриття шлюзів на наповнення озера

Дунайською водою, як було у 2002, 2007, 2008, 2014 рр. В окремі роки, як наприклад у 2011, 2015 рр. протягом майже усього року рівні Дунаю були нижче за рівні озера, в такому випадку шлюзи не відкривались і озеро знаходилось у стані простою, окрім січня місяця 2015 р.

В цілому можна відмітити тенденцію з 90-х років минулого сторіччя до зменшення скидів об'ємів води з озера до р. Дунай, які зазвичай здійснюються в осінній період. В сполученні зі зменшенням заборів води на зрошення в цей період (рис. 5а) і послаблення внаслідок цього водообміну у водоймі, спостерігалось різке підвищення накопичення солей в озері.



**Рис. 6. Багаторічна мінливість об'ємів, що надходять з р. Дунай до озера Катлабух (а) та скидаються з озера до р. Дунай (б) за період з 1980 по 2018 рр.**

В такому разі, на основі водних балансів були розраховані й сольові баланси озера Катлабух. Визначення мінералізації окремих складових сольового балансу здійснювалося за даними безпосередніх вимірів або розрахунків за формулами і рекомендаціями [41,42]. При цьому для розрахункових місяців середні по озеру величини мінералізації розраховані послідовним шляхом, приймаючи, що мінералізація на кінець попереднього місяця дорівнює початковій для наступного. Слід зазначити, що всі розрахунки мінералізації води в озері велися від прийнятого початкового значення  $1,5 \text{ г/дм}^3$  (за відсутності даних вимірів на початку 1980 р.).

Мінералізація в опадах, при розрахунках сольових балансів, була прийнята за даними багаторічних спостережень на метеорологічних станціях України, що розташовані в різних фізико-географічних зонах і районах авторами робіт [41,42] і прийнята на рівні  $0,035 \text{ г/дм}^3$ .

Мінералізація води в річках, які впадають в озеро  $S_r$  визначена за матеріалами епізодичних вимірів та узагальнена, в залежності від об'єму річкового стоку у вигляді залежності  $S = f(V_r)$ . За рівнянням, отриманим з графіку зв'язку було розраховано мінералізацію річних вод, що живлять озеро Катлабух.

За даними водогосподарських проектів [37] та водогосподарської організації Відокремлений підрозділ Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів» мінералізація вод бічного припливу встановлена за співвідношенням, в якому вона дорівнює 57% від мінералізації води в річках. Мінералізація ґрунтових вод прийнята на рівні  $2,60 \text{ г/дм}^3$ , а дренажних –  $2,00 \text{ г/дм}^3$ .

Для визначення мінералізації річкових вод р. Дунай були використані дані середньорічних показників якості води в пунктах Рені та Ізмаїл за період з 1981-2018 рр. Іншим варіантом оцінки мінералізації річкових вод Дунаю можуть бути прийняті

їх розрахункові величини, які встановлюються для різних за водністю років. При розрахунках сольових балансів озера Катлабух вони прийняті рівними 0,39 г/дм<sup>3</sup>.

Мінералізація води, що витрачається на фільтрацію, зрошування та інші види користування (у тому числі й на підтримку рівнів води в системі Лунг-Саф'ян) і мінералізація води, що скидається до р. Дунай розраховувались як середні по озеру для розрахункових місяців послідовним шляхом.

**Результати дослідження.** Результати розрахунків водного балансу показали, що основний об'єм приходної частини за 1980-2018 рр. складають атмосферні опади (38,6%) та надходження води з р. Дунай (38,7%), об'єм річкового припливу дорівнює 10,5%, а об'єми бічного припливу, ґрунтових та дренажних вод становлять 2,6%, 5,4%, 7,2% відповідно. У витратній частині основний об'єм припадає на випаровування разом з транспірацією (53,1%), об'єми заборів води на зрошування, скиди води до р. Дунай, фільтрацію та підтримку системи озер Лунг-Саф'ян, які становлять 21,2%, 19,1%, 6% та 1,6% відповідно.

Розрахунки сольового балансу показали, що у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком становить 53,4%, води з р. Дунай – 25,5%. З ґрунтовими водами, бічним припливом, дренажними та водами з атмосферних опадів надходить відповідно 8,4%, 7,1%, 3,9% та 3,3% солей. У витратній частині втрати солей відбуваються з об'ємами води на зрошування та дорівнюють 45,1%, а також витрачаються на скиди води до р. Дунай – 31,9%, а втрати солей на фільтрацію становлять 15,7%.

Нев'язки у розрахунках водних балансів пов'язані в основному з недоврахуванням водообміну озера з р. Дунай. Достовірність результатів розрахунків кількості солей у воді озера Катлабух, одержані за сольовим балансом перевірено при порівнянні розрахованих і вимірених (по точкових значеннях) значень мінералізації води (по даних 1995-2018 рр.). При цьому, слід зазначити, що розраховані величини мінералізації є середніми для акваторії озера, а вимірні їх величини показані на графіку (рис. 7) для північної (пункт Суворово) і південної (пункт Кислиця) частин озера.

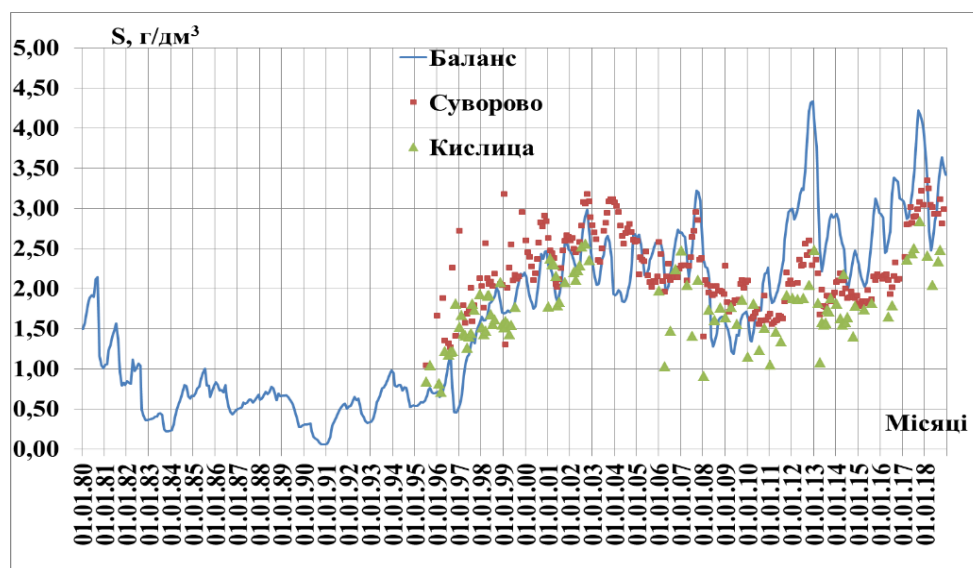


Рис. 7. Часова змінність мінералізації води в озері Катлабух за період з 1980 по 2018 рр.

В цілому спостерігається добра збіжність розрахункових і спостережених величин мінералізації (рис. 7). Але в період 2011, 2012 рр. розрахункові величини мінералізації (наприклад, 4,32 г/дм<sup>3</sup> в листопаді 2012 р.) значно перевищували

спостережені ( $2,6 \text{ г/дм}^3$ ). Аналіз розрахунків цих років був виконаний за аналогією з 2006, 2007 рр., коли рівні води в озері були майже однаково низькими (на рівні  $\text{РМО}=0,7 \text{ м БС}$ ), а попередній рік – маловодним. При цьому у 2006, 2007 рр. розрахункові і спостережені величини мінералізації майже співпали.

В роботі встановлено, що основною причиною похибок в розрахунках мінералізації води озера є відсутність у ці роки водообміну з Дунаєм. Якщо у 2006 і 2007 рр. водообмін з р. Дунай становив 62% та 54% відповідно, то у 2011 та 2012 рр. він дорівнював 24% та 18% відповідно. Крім того, слід зазначити, що з 2011 року майже припинилися скиди води з озера в р. Дунай. Це погіршило умови водообміну і стало ще однією причиною підвищення розрахункових величин мінералізації води озера Катлабух. В період 2016-2018 рр. крім зазначених причин, спостерігалось сезонне зниження рівнів води в озері майже до відміток  $\text{РМО}$  (рис.2), підвищення об'ємів випаровування з водної поверхні (рис.3б), що призвело до критичного підвищення мінералізації води в озері до  $3,1\text{-}3,35 \text{ г/дм}^3$  – в північній його частині (рис. 7). При цьому розрахункові величини мінералізації були дещо вищими за спостережені.

*Імітаційне моделювання сольового режиму озера Катлабух за різних умов його експлуатації та регулювання води у водоймі.* Для планування можливих заходів щодо зниження мінералізації та покращення якості води в озері Катлабух було розглянуто декілька варіантів функціонування водойми та можливого регулювання води в неї.

За розрахунками сольових балансів озері Катлабух найбільше надходження солей (порядку 50% в середні за водністю роки) відбувається разом з припливом води невеликих річок, які впадають у водосховище. Тому був змодельований варіант функціонування водойми за проектні умови відведення стоку річок, але компенсації його примусовою підкачкою води з р. Дунай (у об'ємах порядку  $10 \text{ млн.м}^3$  щорічно), мінералізація якої в середньому становить  $0,39 \text{ г/дм}^3$ . За результатами розрахунків побудовано графік часової змінності мінералізації води в озері за умови відведення стоку річок (рис.8). При цьому протягом майже 20-ти річного періоду (1981-2000 рр.) мінералізація води у водоймі була нижчою за  $0,5 \text{ г/дм}^3$ , а в існуючих умовах експлуатації водойми дещо збільшувалася у наступний період (до  $1,0 \text{ г/дм}^3$ ) і тільки в окремі роки сягала  $1,5 \text{ г/дм}^3$ .

В іншому варіанті імітаційного моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух, що б дозволило зменшити загальну мінералізацію води в озері, приймалось, що витрати води на випаровування у літні місяці можливо компенсувати за рахунок примусових підкачок води з р. Дунай (об'ємом в середньому  $55 \text{ млн.м}^3$ ). В такому разі змодельована мінералізація води в озері в середньому становила  $1,5 \text{ г/дм}^3$  протягом всього розглядуваного періоду (рис. 9).

За іншим варіантом моделювання урахувалось, що з водойми, при існуючих умовах функціонування і рівні водокористування, забиратимуть воду на зрошення та інші потреби, у тому числі й для підтримки рівнів води в системі Лунг-Сафьян, в об'ємах  $10,0; 20,0; 30,0; 60,0 \text{ млн.м}^3$  та підкачують такі ж самі об'єми води з р. Дунай (з мінералізацією  $0,39 \text{ г/дм}^3$ ) для підтримки експлуатаційних рівнів води у водоймі. Об'єми забору і підкачки води розподілені порівну на три літні місяці (червень, липень і серпень). Отриманий хід мінералізації в такому варіанті моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух представлено на рис. 10.

При цьому можна відмітити, що тільки за умов заборів води на зрошення в об'ємі  $60 \text{ млн.м}^3$  протягом тривалого періоду 1990-2018 рр. можна було б досягти проектних значень мінералізації води в озері - не більше  $1,0\text{-}1,5 \text{ г/дм}^3$ .

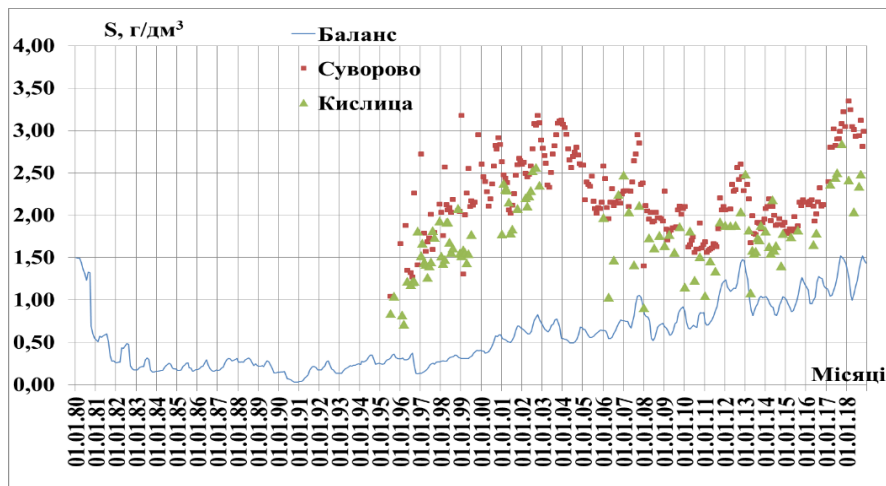


Рис. 8. Часова змінність мінералізації за умови відведення стоку річок та компенсуючих підкачок води з р. Дунай за період з 1980 по 2018 рр.

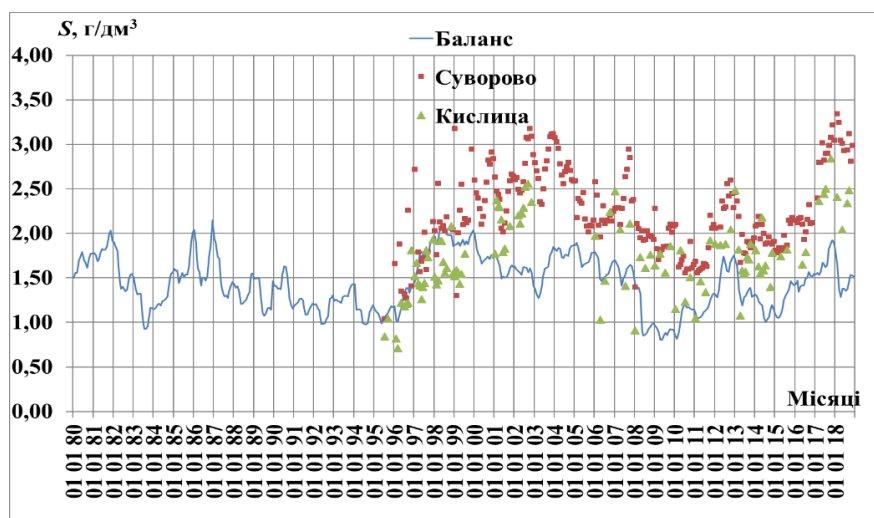


Рис. 9. Часова змінність мінералізації за умови компенсування випаровування води за рахунок підкачки води з р. Дунай за період з 1980 по 2018 рр.

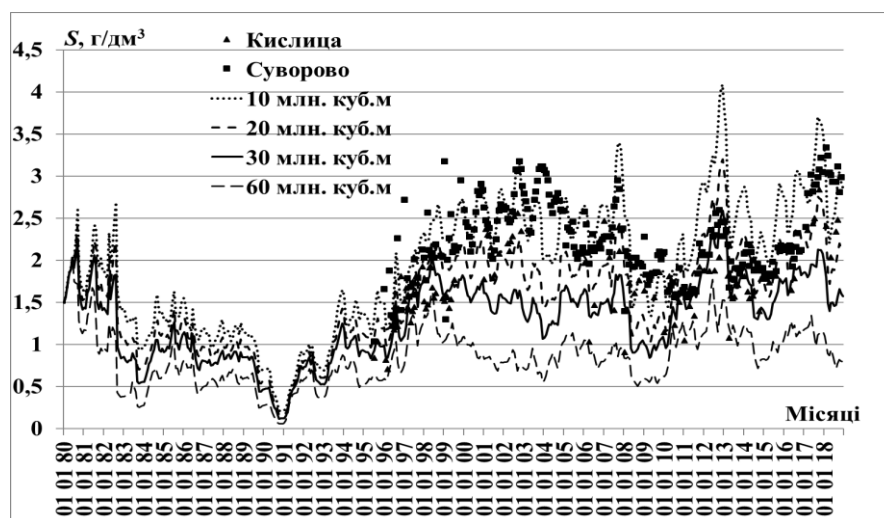


Рис. 10. Часова змінність мінералізації за умови заборів води на зрошення та компенсуючих підкачок води з р. Дунай за період з 1980 по 2018 рр.

**Висновки і рекомендації.** В результаті моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух, як в природних умовах, так і за різних умов експлуатації водойми можна відзначити:

1. у водних балансах водойми основний об'єм приходної частини за 1980-2018 рр. складають атмосферні опади (38,6%) та надходження води з р. Дунай (38,7%), а витратної частини – випаровування разом з транспірацією (53,1%);

2. у сольових балансах найбільшою часткою приходних складових є надходження солей з поверхневим стоком, на долю якого припадає 53,4%, а у витратній частині основна частина припадає на втрату солей на зрошення і становить 45,1%;

3. зміна режимів експлуатації озера, а саме суттєвого зменшення заборів води на зрошення та погіршення водообміну з р. Дунай призвела до підвищення мінералізації вод, яка досягала 2,5 - 3,5 г/дм<sup>3</sup> в залежності від водності і пори року;

4. імітаційне моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух (в період 1980-2018 рр.) за різних умов експлуатації водойми показало, що для поліпшення якісних показників води у водоймі необхідними є такі водогосподарські заходи:

- здійснити заходи щодо зниження мінералізації води річок Великий Катлабух, Ташбунар і Єніка, тому що на їх частку припадає (в середні за водністю роки) більше 50%, потрапляючих в озеро солей. Так, за проектні умови відведення стоку річок, що живлять озеро Катлабух та компенсації його примусовою підкачкою слабо мінералізованої води з р. Дунай (в середньому в об'ємах порядку 10млн.м<sup>3</sup>), мінералізація води у водоймі протягом всього розглядуваного періоду не перевищувала її проектні значення і знаходилася на рівні 0,5-1,0 г/дм<sup>3</sup> і лише в окремі роки досягала 1,5 г/дм<sup>3</sup>;

- компенсувати, за рахунок примусових підкачок води з р. Дунай, витрати води на випаровування у літні місяці року (в середньому в об'ємах до 55 млн.м<sup>3</sup> щорічно). В такому разі змодельована мінералізація води в озері в середньому становила 1,5 г/дм<sup>3</sup> протягом всього розглядуваного періоду;

- здійснювати забори води з озера на зрошення в об'ємі 60 млн.м<sup>3</sup> протягом трьох літніх місяців, що дасть змогу досягти проектних значень мінералізації води в озері не більше 1,0-1,5 г/дм<sup>3</sup>.

Таким чином, імітаційне моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух показало, що корегуючими управлінським заходами щодо подальшої експлуатації водойми можна досягти зниження мінералізації води в озері до проектних значень та поліпшення її якості. Але слід зауважити, що у технічному і економічному відношенні реалізація таких водогосподарських проектів експлуатації Придунайського озера Катлабух потребує додаткового техніко-економічного обґрунтування.

#### **Список літератури**

1. *Великанов М.А.* Гидрология суши. Ленинград: Гидрометеиздат, 1948. 530 с. 2. *Нежиховский Р.А.* Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. 191 с. 3. *Гушля А.В., Мезенцев В.С.* Воднобалансовые исследования. Киев: Вища школа, 1982. 229 с. 4. *Вуглинский В.С.* Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 224 с. 5. *Михайлов В.Н., Добровольский А.Д.* Общая гидрология: Учеб. Для геогр. спец. Вузов. Москва: Высш. шк., 1991. 368 с. 6. *Голченко Є.Д., Гушля О.В.* Гідрологія суші з основами водних меліорацій: Навч. Посібник. Київ: ІСЛЮ, 1994. 296 с. 7. *Литовченко О.Ф.* Інженерна гідрологія та регулювання стоку: Підручник. Київ: Вища школа. 1999. 360 с. 8. *Тимченко В.М.* Екологическая гидрология водоемов. Проект «Наукова книга», Киев: Наукова думка, 2006. 382 с. 9. *Кузниченко С.Д.* Водный и солевой режим системы озер Кугурлуй – Ялпуг в условиях их зарегулирования: дис. .... канд. геогр. наук: 11.00.07 /Одесса, 2005. 294 с. 10. *Медведєва Ю.С., Голченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р.* Водний і сольовий режим озера Китай: монографія/ ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с. 11. Актуальні проблеми лиманів північно-

західного Причорномор'я: Колективна монографія/ за ред. Ю.С. Тучковенка, Є.Д. Гопченка. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2011. 223 с. **12.** Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія/ за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеський державний екологічний університет, Одеса:ТЕС, 2014. 278 с. **13.** Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: Монографія/ за ред. Н.С. Лободи, Є.Д. Гопченка; Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с. **14.** James L. Bischoff, Isabel Israde-Alcantara, Victor H. Garduno-Monroy, Wayne C. Shanks III, The springs of Lake Pátzcuaro: Chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lake / Applied Geochemistry 19 (2004), pp. 1827–1835. **15.** A. V. Frolov, T. Yu. Vyruchalkina and S. G. Sarkisyan Modeling Water and Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake, Water Resources, 2018, Vol. 45, No. 3, pp. 318–325. **16.** Yusufjiang Rusuli, Lanhai Li, Sajjad Ahmad, Xin Zhao Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China, Environmental Earth Sciences, 2015, pp. 2499–2510. **17.** J. Nossent, W. De Brabanter, and W. Bauwens Analysis of the water balance of Lake Victoria, Vrije Universiteit Brussel, Hydrology and Hydraulic Engineering, Brussels, Belgium, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-9905, 2009, EGU General Assembly 2009. **18.** Aldo I. Ramírez, Javier Aparicio Alfredo Ocón, Roberto Mejía-Zermeño Álvaro A. Aldama Water balance of Chapala lake, Mexico, Ingeniería hidráulica en México, vol. XXI, núm. 1, pp. 5-16, enero-marzo de 2006. **19.** J. R. Okongu, S. M. Sewagudde R. J. Mngodo, F. D. Sangale, F. L. Mwanuzi and R. E. Hecky Water balance of Lake Victoria, Lake Victoria Environmental Management Project, 2018, pp. 25-41. **20.** Mahmoud M. A. Elgamal, Kassem S. El-Alfy, Mohamed G. M. Abdallah, Fahmy S. Abdelhaleem and Ahmad M. S. Elhamrawy Restoring Water and Salt Balance of Qarun Lake, Fayoum, Mansoura University Faculty of Engineering Mansoura Engineering Journal, Egypt. 2017, vol.42, pp.1-13. **21.** Izabela Chlost Water balance of Lake Gardno, Department of Hydrology, Institute of Geography, University of Gdańsk, Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk, Limnol. Rev., Poland, (2019) 19, 1: pp.15–23. **22.** Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р. Медведєва Ю.С., Бурукова М.М. Визначення складових водних балансів озера Катлабух // Вісник ОДЕКУ. 2016. Вип. 20. С.52-61. **23.** Кулібабін О.Г., Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О. Еколого – економічні проблеми раціонального використання природних ресурсів Придунайських озер (на прикладі озера Катлабух) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2017. Т.2. С. 61-67. **24.** Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеиздат, 1974.423 с. **25.** Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. Москва: «Наука», 1981. 254 с. **26.** Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Санкт -Петербург, 2007. 278с. **27.** Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: Одеськ. державний екологічний університет, Одеса: ТЕС, 2014. 484 с. **28.** Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург, 2010. 162 с. **29.** Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О некоторых приемах статистического анализа гидрологических рядов // Тр. ГГИ, 1968. Вып. 143. С. 110–133. **30.** Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 448 с. **31.** Ресурсы поверхностных вод СССР [под ред. М.С. Каганера]. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. Т. 6. вып. 1: Западная Украина и Молдавия. 1969. 884 с. **32.** Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Ленинград: Гидрометиздат, 1969. 83 с. **33.** Клибашев К.П., Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. 2-ое издание, переработанное и дополненное. Ленинград: Гидрометеиздат, 1970. 460 с. **34.** Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-Западного Причерноморья (в естественных и нарушенных антропогенной деятельностью условиях): Монография. Київ: КНТ, 2005. 192 с. **35.** Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Белоненко Г.В., Плотников Ю.Н., Полисадов С.Д. Режимы влагообеспечения и условия гидромелиораций степного края // Под ред. Мезенцева В.С. Москва: Колос, 1974. 240 с. **36.** Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока (Основные закономерности и их использование в гидрологических и водохозяйственных расчетах) / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Д.Л.Соколовского. Ленинград: Гидрометеиздат, 1960. 328 с. **37.** Модель водно-солевого режима и качества воды в озере Ялпуг-Кугурлуй (в рамках научно-технического проекта «Tasic»), Одесса, 2002. **38.** Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. Научный ежегодник ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)

ОГУ. Одесса, 1957. 125 с. **39. Бефани А.Н.** Основные положения теории речного стока. Тр. ОГМИ. 1958, вып. 12. С. 99-164. **40. Лобода Н.С.** Расчеты о обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. Одеса: Экология, 2005. 208 с. **41. Гідрохімія України: Підручник/ Л.М. Горєв, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський.** Київ: Вища шк., 1995. 307 с. **42. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К.** Загальна гідрохімія: Підручник. Київ: Либідь, 1997. 384 с.

### References

**1. Velikanov M.A.** Hidrologija sushi. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1948. 530 s. **2. Nezhihovskij R.A.** Hidrologicheskie raschety i prognozy pri jekspluatacii vodohrani-lishh. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976. 191 s. **3. Gushlja A.V., Mezencev V.S.** Vodnoba-lansovye issledovanija. Kiev: Vishha shkola, 1982. 229 s. **4. Vuglinskij V.S.** Vodnye resursy i vodnyj balans krupnyh vodohranilishh SSSR. Leningrad: Gidrometeoiz-dat, 1991. 224 s. **5. Mihajlov V.N., Dobrovolskij A.D.** Obshhaja gidrologija: Ucheb. Dlja geogr. spec. Vuzov. Moskva: Vyssh. shk., 1991. 368 s. **6. Hopchenko Ye.D., Hushlia O.V.** Hidrolohiiia sushi z osnovamy vodnykh melioratsij: Navch. Posib-nyk. Kyiv: ISLYu, 1994. 296 s. **7. Lytovchenko O.F.** Inzhenerna hidrolohiiia ta rehuliuвання stoku: Pidruchnyk. Kyiv: Vyscha shkola. 1999. 360 s. **8. Timchenko V.M.** Jekologicheskaja gidrologija vodoemov. Proekt «Naukova kniga», Kiev: Naukova dumka, 2006. 382 s. **9. Kuznichenko S.D.** Vodnyj i solevoj rezhim sistemy ozer Kugurluj – Jalpug v uslovijah ih zaregulirovanija: dis. kand. geogr. nauk: 11.00.07 /Odessa, 2005. 294 s. **10. Medvedieva Yu.S., Hopchenko Ye.D., Shakirzanova Zh.R.** Vodnyj i sol'ovyj rezhymy ozera Kytaj: monohrafiia/ ODEKU. Odesa: TES, 2018. 136 s. **11. Aktual'ni problemy lymaniv pivnichno-zakhidnoho Prychornomor'ia: Kolektyvna monohrafiia/ za red. Yu.S. Tuchkovenka, Ye.D. Hopchenka.** Odesa: Odes'kyj derzhavnyj ekolohichnyj universytet, 2011. 223 s. **12. Vodni resursy ta hidroekolohichnyj stan Tyl'ihul's'koho lymanu: Monohrafiia/ za red. Yu.S. Tuchkovenka, N.S. Lobody.** Odes'kyj derzhavnyj ekolohichnyj universytet, Ode-sa:TES, 2014. 278 s. **13. Vodnyj rezhym ta hidroekolohichni kharakterystyky Kuial'nyts'ko-ho lymanu: Monohrafiia/ za red. N.S. Lobody, Ye.D. Hopchenka; Odes'kyj derzhavnyj eko-lohichnyj universytet.** Odesa: TES, 2016. 332 s. **14. James L. Bischoff, Isabel Israde-Alcantara, Victor H. Garduno-Monroy, Wayne C. Shanks III,** The springs of Lake Pátzcuaro: Chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lake / Applied Geochemistry 19 (2004), pp. 1827–1835. **15. A. V. Frolov, T. Yu. Vyruchalkina and S. G. Sarkisyan** Modeling Water and Salt Balance of Bol'shoe Yashaltinskoe Lake, Water Resources, 2018, Vol. 45, No. 3, pp. 318–325. **16. Yusufujiang Rusuli, Lanhai Li, Sajjad Ahmad, Xin Zhao** Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China, Environmental Earth Sciences, 2015, pp. 2499–2510. **17. J. Nossent, W. De Brabanter, and W. Bauwens** Analysis of the water balance of Lake Victoria, Vrije Universiteit Brussel, Hydrology and Hydraulic Engineering, Brussels, Belgium, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-9905, 2009, EGU General Assembly 2009. **18. Aldo I. Ramírez, Javier Aparicio Alfredo Ocón, Roberto Mejía-Zermeño Álvaro A. Aldama** Water balance of Chapala lake, Mexico, Ingenieríahidráulica en México, vol. XXI, núm. 1, pp. 5-16, enero-marzo de 2006. **19. J. R. Okongu, S. M. Sewagudde R. J. Mngodo, F. D. Sangale, F. L. Mwanuzi and R. E. Hecky** Water balance of Lake Victoria, Lake Victoria Environmental Management Project, 2018, pp. 25-41. **20. Mahmoud M. A. Elgamal, Kassem S. El-Alfy, Mohamed G. M. Abdallah, Fahmy S. Abdelhaleem and Ahmad M. S. Elhamrawy** Restoring Water and Salt Balance of Qarun Lake, Fayoum, Mansoura University Faculty of Engineering Mansoura Engineering Journal, Egypt. 2017, vol.42, pp.1-13. **21. Izabela Chlost** Water balance of Lake Gardno, Department of Hydrology, Institute of Geography, University of Gdańsk, Bażyńskiego 4, 80-309 Gdańsk, Limnol. Rev., Poland, (2019) 19, 1: pp.15–23. **22. Hopchenko Ye.D., Shakirzanova Zh.R. Medvedieva Yu.S., Burukova M.M.** Vyznachennia sklado-vykh vodnykh balansiv ozera Katlabukh // Visnyk ODEKU. 2016. Vyp. 20. S.52-61. **23. Kulibabin O.H., Shakirzanova Zh.R., Romanova Ye.O.** Ekoloho–ekonomichni problemy ratsiona-l'noho vykorystannia pryrodnykh resursiv Prydunajs'kykh ozer (na prykladi ozera Katlabukh) // Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia. 2017. T.2. S. 61-67. **24. Rozhdestvenskij A.V., Chebotarev A.I.** Statisticheskie metody v gidrologii. Lenin-grad: Gidrometeoizdat, 1974.423 s. **25. Krickij S.N., Menkel' M.F.** Hidrologicheskie osnovy upravlenija rechnym stokom. Moskva: «Nauka», 1981. 254 s. **26. Sikan A.V.** Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii. Sankt -Peterburg, 2007. 278 s. **27. Hopchenko Ye.D.,**



Loboda N.S., Ovcharuk V.A. Hidrolohichni rozrakhunky: Odes'k. derzhavnyj ekolohichnyj universytet, Odesa: TES, 2014. 484 s. **28.** Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh karakteristik i opredeleniju ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym. Sankt-Peterburg, 2010. 162 s. **29.** Krickij S.N., Menkel' M.F. O nekotoryh priemah statisticheskogo analiza gidrologicheskikh rjadov // Tr. GGI, 1968. Vyp. 143. S. 110–133. **30.** Posobie po opredeleniju raschetnyh gidrologicheskikh karakteristik. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 448 s. **31.** Resursy poverhnostnyh vod SSSR [pod red. M.S. Kaganera]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. T. 6. vyp. 1: Zapadnaja Ukraina i Moldavija. 1969. 884 s. **32.** Ukazaniya po raschetu isparenija s poverhnosti vodoemov. Leningrad: Gidromet-izdat, 1969. 83 s. **33.** Klibashev K.P., Goroshkov I.F. Hidrologicheskie raschety. 2-oe izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 460 s. **34.** Gopchenko E.D., Loboda N.S. Vodnye resursy severo-zapadnogo Prichernomor'ja (v estestvennyh i narushennyh antropogennoj dejatel'nost'ju uslovijah): Monografija. Kiïv: KNT, 2005. 192 s. **35.** Mezencev V.S., Karnacevich I.V., Belonenko G.V., Plotnikov Ju.N., Polisadov S.D. Rezhimy vlogoobespechenija i uslovija gidromelioracij stepnogo kraja // Pod red. Mezenceva V.S. Moskva: Kolos, 1974. 240 s. **36.** Andrejanov V.G. Vnutrigodovoe raspredelenie rechnogo stoka (Osnovnye zakonomernosti i ih ispol'zovanie v gidrologicheskikh i vodohozajstvennyh raschetah) / Pod red. d-ra tehn. nauk, prof. D.L.Sokolovskogo. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960. 328 s. **37.** Model' vodno-solevogo rezhima i kachestva vody v ozere Jalpug-Kugurluj (v ramkah nauchno-tehnicheskogo proekta «Tasic»), Odessa, 2002. **38.** Befani A.N. Puti geneticheskogo opredelenija normy stoka. Nauchnyj ezhegodnik OGU. Odessa, 1957. 125 s. **39.** Befani A.N. Osnovnye polozhenija teorii rechnogo stoka. Tr. OGMI. 1958, vyp. 12. S. 99-164. **40.** Loboda N.S. Raschety o obobshhenija karakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v uslovijah antropogenного vlijanija: Monografija. Odesa: Jekologija, 2005. 208 s. **41.** Hidrokhimija Ukrainy: Pidručnyk/ L.M. Horiev, V.I. Peleshenko, V.K. Khil'chevs'kyj. Kyiv: Vyscha shk., 1995. 307 s. **42.** Peleshenko V.I., Khil'chevs'kyj V.K. Zahal'na hidrokhimija: Pidručnyk. Kyiv: Lybid', 1997. 384 s.

**Водний та сольовий баланси озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми  
Романова Є.О., Шакирзанова Ж.Р., Гопченко Є.Д., Медведєва Ю.С.**

Зміна умов експлуатації та регулювання Придунайського озера Катлабух призвела до зниження рівнів води і підвищення солоності, що не дає можливості використовувати воду для різних господарських потреб. Імітаційне моделювання водно-сольового режиму озера Катлабух (в період 1980-2018 рр.) за різних умов експлуатації водойми показало, що для поліпшення якісних показників води у водоймі необхідні корегуючі управлінські заходи. Вони пов'язані з примусовими підкачками слабо мінералізованої води з р. Дунай або заборами води з озера на зрошення. Це дасть змогу досягти проектних значень мінералізації води в водоймі рівню 1,0-1,5 г/дм<sup>3</sup>.

Таким чином, при вирішенні цілої низки проблем для збереження та відновлення раціонального використання природних ресурсів озера Катлабух потрібні ефективні управлінські водогосподарські заходи, які потребують додаткових техніко-економічних обґрунтувань.

**Ключові слова:** водний та сольовий баланси, мінералізація, озеро Катлабух, імітаційне моделювання, раціональне використання.

**Водный и солевой балансы озера Катлабух при различных условиях эксплуатации водоема**

**Романова Е.А., Шакирзанова Ж.Р., Гопченко Е.Д., Медведева Ю.С.**

Изменение условий эксплуатации и регулирования Придунайского озера Катлабух привело к снижению уровня воды и повышению солёности, что не даёт возможности использовать воду для различных хозяйственных нужд. Имитационное моделирование водно-солевого режима озера Катлабух (в период 1980-2018 гг.) при различных условиях эксплуатации водоема показало, что для улучшения качественных показателей воды в водоеме необходимы корректирующие управленческие мероприятия. Они связаны с принудительными подкачками слабо минерализованной воды из р. Дунай или заборами воды из озера на орошение, что позволит достичь проектных значений минерализации воды в водоеме равной 1,0-1,5 г / дм<sup>3</sup>.

Таким образом, при решении целого ряда проблем для сохранения и восстановления рационального использования природных ресурсов озера Катлабух нужны эффективные управленческие водохозяйственные мероприятия, требующие дополнительных технико-экономических обоснований.

**Ключевые слова:** водный и солевой балансы, минерализация, озеро Катлабух, имитационное моделирование, рациональное использование.

## **Water and salt balances of Katlabukh Lake under different conditions of water reservoir operation**

**Romanova Y.A., Shakirzanova ZH.R., Gopchenko E. D., Medvedieva I.S.**

*Katlabukh Lake is a part of the Danube Lakes system and is one of the surface water sources for water supply, for agricultural needs and irrigation of the region. Changing the conditions of operation and regulation of the reservoir led to a decrease of water levels and an increase of salinity, which makes it impossible to use water for different management needs.*

*Calculations of the water and salt regimes of the lake based on the solution of the equation of balance said that in the water balance of Katlabukh Lake the main volume of the revenue part for the period 1980-2018 was precipitation (36.1%) and water inflow from the Danube River (38%), and the expenditure part - evaporation together with transpiration (50.5%). Salt flow into the lake is mainly due to surface inflow (53.4%) and water of the Danube River (25.5%), and loss of irrigation (45.1%) and water discharges to the Danube River (31.9%).*

*Simulation modeling of the water-salt regime of the Katlabukh lake under different conditions of exploitation of the reservoir showed that corrective management measures are needed to improve the qualitative indicators of the water in the reservoir. They consist in the fact that for three summer months it is necessary to carry out forced pumping of poorly mineralized water from the Danube River to compensate for evaporation from the water surface (on average in volumes of the order of 55 million m<sup>3</sup>) or to carry out fences of water from the lake for irrigation in 60 million m<sup>3</sup>. This will allow to reach the design values of water mineralization in the lake equal to 1.0-1.5 g/dm<sup>3</sup>.*

*Thus, addressing a range of problems to conserve and restore the rational use of the natural resources of Katlabukh Lake requires effective managerial water management activities that require additional feasibility studies.*

**Key words:** *water and salt balances, mineralization, Katlabuh Lake, simulation modelling, rational use.*

**Надійшла до редколегії 17.09.2019**

УДК: 556.512

**Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **ВПЛИВ СУЧАСНИХ ЗМІН У СПІВВІДНОШЕННІ СНІГО-ДОЩОВОГО ЖИВЛЕННЯ РІЧОК НА СТРУКТУРУ ВОДНОГО БАЛАНСУ ЇХ БАСЕЙНІВ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ ВОРСКЛИ)**

**Ключові слова:** *басейн р. Ворскла, водний баланс, атмосферні опади, стік води, сумарне випаровування, кліматичні зміни, сніго-дощове співвідношення живлення річок.*

**Вступ.** Гідрологічний цикл являє собою безперервний процес переміщення водних мас під впливом цілого ряду фізичних сил, дія яких проявляється у різноманітних процесах формування та руху природних вод: випаровування вологи з поверхні океанів та суші, випадінні атмосферних опадів, стіканні їх частини поверхневим та підземним шляхом тощо. Однією з кількісних характеристик гідрологічного циклу є водний баланс певної території за визначений інтервал часу, що відображає об'єктивно існуючі в природі співвідношення між надходженням, витрачанням та зміною запасів вологи. Формування водного балансу здійснюється під впливом різноманітних факторів, що діють в атмосфері, на поверхні ґрунту та в приповерхневій товщі ґрунту [2].

Основною прихідною частиною водного балансу є атмосферні опади, оскільки саме їх кількість і перерозподіл в часі та просторі визначають як особливості формування річкового стоку так і величину випаровування. В загальному випадку, опади поділяються на рідкі і тверді. Саме агрегатний стан, у якому опади надходять на водозбір, переважно є визначальним для процесів формування стоку зимової межени та весняного водопілля річок. З іншого боку, форма випадіння опадів

ISSN:2306-5680 **Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekolohiia. 2019. № 4 (55)**