

Характер сучасних та оцінка можливих майбутніх змін у водному режимі оз. Лебедине (Сумська область)

Василь Гребін¹,

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри гідрології та гідроекології,

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, географічний факультет,

просп. Академіка Глушкова, 2, м. Київ, 02000, Україна,

e-mail: greb1964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8197-607X>;

Ольга Лук'янець¹,

к. геогр. н., доцент, кафедра гідрології та гідроекології,

e-mail: luko15_06@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8903-130X>

Проведено дослідження характеру сучасних та оцінено на найближче десятиріччя (2021-2030 рр.) можливі зміни у водному режимі оз. Лебедине, що знаходиться біля м. Лебедин Сумської області. Для об'єктивної оцінки та з метою виявлення довгострокових змін, які вже відбулися у водообміні озера, проведено порівняння складових водного балансу озера за два періоди - сучасний (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Виявлено, що загальний об'єм надходження води в озеро в сучасний період зменшився (у порівнянні в періодом кліматичної норми) майже на 16 %. З них, надходження води з площі, прилеглої до озера (схиловий стік) стало меншим на 17,8 %, зменшився й об'єм атмосферних опадів на дзеркало озера на 11,7 %. Відзначається зменшення абсолютного об'єму випаровування з водної поверхні оз. Лебедине за рахунок зменшення об'ємів надходження води, але у той же час на фоні підвищення температури повітря зростає інтенсивність випаровування – його частка у водно-балансових співвідношеннях збільшилася на 8,3% у порівнянні з періодом кліматичної норми. Оцінюючи акумулятивну складову водного балансу озера, можна констатувати, що в період кліматичної норми відбувалося певне накопичення води в озері - в середньому на +22130 м³ щорічно, а в сучасний період відбувалося виснаження об'єму води в озері – в середньому за період 1991-2019 рр. на -81200 м³ на рік. В результаті об'єм води в ложі озера в сучасний період зменшився приблизно на 40-42% у порівнянні з періодом кліматичної норми. За прогностичними оцінками величин сумарного надходження води в озеро на період 2021-2030 рр. можна припустити, що в порівнянні з попереднім десятиріччям вони зростуть, в середньому, на 18%. Тому можна очікувати, при певній стабілізації величин випаровування, незначне, але все ж-таки поповнення озера водою.

Ключові слова: Україна, місто Лебедин., озеро Лебедине, водний баланс озера; водний режим, часова динаміка, прогностичні оцінки.

Як цитувати: Гребін Василь. Характер сучасних та оцінка можливих майбутніх змін у водному режимі оз. Лебедине (Сумська область) / Василь Гребін, Ольга Лук'янець // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 95-102. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-08>

In cites: Grebin Vasiliy, Lukianets Olga (2022). Nature of current and assessment of possible future changes in the water regime of lake Lebedyne (Sumy region). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 95-102. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-08> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. У Сумській області України є цікаве місто з поетичною назвою Лебедин. Воно знаходиться на р. Вільшанка, а на околиці міста знаходиться оз. Лебедине в оточенні соснового лісу. Останнім часом колись мальовниче глибоке озеро стало міліти, заростаючи очеретом, і влітку 2019 р. висохло майже до самого дна. Вочевидь, зважаючи на це, лебединці забили на сполох і звернулися до представників влади, зокрема Президента України. Так, на офіційному інтернет-представництві глави держави, у розділі «Електронні петиції» 6 листопада 2019 р. з'явилося звернення: «...Озеро Лебедине. Перлина Лебединщини за роки незалежності і бездіяльності місцевої влади почало швидко міліти, перетворюючись на велике болото. Просимо вас вжити заходів, щодо порятунку озера...». У 2020 р. із Лебединського міського бюджету виділили 150 тис. грн. на співфінансування робіт із наукового дослідження щодо поліпшення стану озера Лебеди-

не. Фінансування робіт передбачене Програмою економічного і соціального розвитку міста Лебедина на 2019 р. та наступні 2020-2021 програмні роки. Як зауважили посадовці під час обговорення проекту на засіданні виконавчого комітету, «передпроектні роботи – першочергове завдання. Потрібні вони, аби остаточно зрозуміти, що ж саме стало каталізатором сьогоденних змін у житті водойми: клімат, господарська діяльність тощо. Лише після встановлення такого своєрідного «діагнозу» можна говорити про власне проведення робіт із відновлення однієї із перлин Лебедина».

Для з'ясування причин такої зміни водності озера нами виконана договірна тема «Наукове обґрунтування можливості відновлення водності озера Лебедине».

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Дослідження по всьому світу свідчать про те, що в сучасний період з проблемами обміління

стикаються озера по всій Землі. Деякі з найбільших озер світу в останні 10-20 років зменшились вдвічі [4]. У Північній Америці зменшуються площі водної поверхні Великих озер, в Азії озера Байкал – найбільших у світі, в Африці – озера Чад, у Південній Америці міліє озеро Тітікака, а озеро Пупо, площа водної поверхні якого на початку 2000-х років складала 3,2 тис. км², перетворилося в тонку кірку солі [4]. Прикладами зменшення водності озер в Європі можуть слугувати водойми Німеччини, Білорусі та України. Яскравим прикладом в Україні є Шацькі озера, які у останні роки відчутно страждають від обміління. За даними Інституту водних проблем і меліорації НААН України, зниження рівня води в озері Світязь спостерігається з 2010 р. [7-8]. У 2019 р. проблема обміління Світязя стала україною гострою – вода відійшла від берега на відстань від 20 до 90 метрів. Екологи фіксували рівень падіння води до 40 см. У різних регіонах України міста стикаються з проблемою обміління їхніх водойм. Так, у м. Ходорів в останні роки міліє міський став, так само як у містах Калуш, Слов'янськ, Лебедин, Київ та ін.

Обміління та зникнення озер пов'язано зі змінами клімату. Дані з усього світу свідчать про те, що озера завдяки підвищенню температури повітря поступово стають теплішими, випаровуються швидше, ніж поповнюються, зменшуються за розмірами або зовсім зникають, надаючи тим самим колосальний вплив на екосистеми [5].

Не треба забувати про різноманітні антропогенні впливи на озера та їх басейни. Так обміління та зникнення деяких озер в Європі, на Близькому Сході і в Азії пов'язують з процесами іригації. Тепер же поступове підвищення температури повітря посилює ці процеси [4-5]. Щодо Шацьких озер, то в 1960-80 роках минулого століття було проведено осушення верхів'я Прип'яті, при цьому зникли тисячі гектарів боліт, які підживлювали як підземні водні горизонти, так і річки та озера. В останні роки на озері Світязь відпочивають сотні тисяч туристів. Лише у 2018 році їх було більше мільйона. Користувачі в літній період активніше починають відбирати воду з озер і цей процес зовсім неконтрольований. До того існує проблема забруднення озера Світязь через відсутність каналізаційної мережі [8].

Тому озера як у світі, так в нашій країні потребують глибокого і всебічного дослідження. Поки що їх води безжалісно використовують, не даючи майже нічого взамін. Водна рамкова директива пропонує потенціал для вирішення наслідків посухи і проблем з нестачею води [10]. Це добрий кількісний стан підземних вод, що забезпечує баланс між водозабором і поповненням підземних вод. Також досягнення доброго екологіч-

ного стану поверхневих вод та визначення мінімальних потоків води, від яких залежить життя водних екосистем. Тому перший крок має бути спрямований на виявленні поточних і майбутніх наслідків зміни клімату з подальшою розробкою стратегій адаптації, включаючи план дій та заходи з адаптації [10].

Результати останніх досліджень з зазначеної проблеми оз. Лебедине представлено у матеріалах XIV Міжнародної наукової конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану навколишнього середовища» (листопад 2020 р.). Одна з доповідей присвячена визначенню підземної складової водного балансу озера Лебедине в контексті перспектив відновлення його водного складу [11], друга – розрахунку водного балансу озера в сучасних кліматичних умовах [12].

Метою даного дослідження є виявлення характерних особливостей сучасних та прогнозна оцінка до 2030 р. можливих змін у водному режимі оз. Лебедине.

Матеріали та методи дослідження. Для з'ясування характеру сучасних змін у водності озера застосовано водно-балансовий метод. Загальний вид рівняння водного балансу озера має наступний вигляд:

$$\sum H - \sum B = \sum A + \eta, \quad (1)$$

де $\sum H$ – сума компонентів надходження у водному балансі;

$\sum B$ – сума компонентів втрачання у балансі;

$\sum A$ – сума акумулятивних компонентів;

η – нев'язка розрахунку балансу [1-3].

Питома вага різних складових балансу нерівнозначна і визначається кліматичними умовами, морфометричними особливостями озера, його проточністю, співвідношенням площ дзеркала водної поверхні озера і водозбору, рівнем господарської діяльності тощо. Для оз. Лебедине, як для безстічної водойми, рівняння його водного балансу, враховуючи основні складові, можна представити у вигляді:

$$H_P + H_{On} - B_{VT} - B_{\Phi} = \pm A_O, \quad (2)$$

де H_P – надходження води з площі, що безпосередньо прилегла до озера і не має постійної гідрографічної мережі (схиллий стік);

H_{On} – надходження води за рахунок опадів, що випадають на дзеркало озера;

B_{VT} – втрати на випаровування з водної поверхні озера (при його заростанні додаються втрати на транспірацію);

B_{Φ} – фільтрація (підземний стік) з озера;

A_O – акумуляція води у в чаші озера [1-2].

Загалом, для водного балансу за періоди з підвищеним зволоженням характерно перевищення складових надходження щодо складових втрачання

ня, що приводить до зростання акумуляційної складової $\sum A$ і підвищення рівня води в озері. За періоди з невеликим зволоженням витратна частина переважає над частиною надходження, і рівні води в озері знижуються. Тобто, водний баланс озера є головною характеристикою гідрологічного режиму та водообміну [2].

Виклад основного матеріалу. Для об'єктивної оцінки та з метою виявлення довгострокових змін, які вже відбулися у водообміні озера [12], проведено порівняння складових водного балансу за два періоди – сучасний (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.) [9, 13-14].

Для розрахунку складових водного балансу озера в єдиної розмірності – в об'ємних одиницях m^3 , прийняті наступні осереднені за зазначені вище періоди морфометричні показники. Площа

водної поверхні оз. Лебедине у період 1961-1990 рр. складала $0,52 \text{ км}^2$, а у період 1991-2019 рр. зменшилася до $0,49 \text{ км}^2$. Площа водозбору озера $9,5 \text{ км}^2$. Середнє значення найбільшої глибини озера за період 1961-1990 рр. – $2,3 \text{ м}$, а за період 1991-2019 рр. вона зменшилася до $1,5 \text{ м}$. Середній діаметр водної поверхні озера за період 1961-1990 рр. – 725 м , за період 1991-2019 рр. – 680 м .

Використовуючи наявні дані регіонального гідрометеорологічного моніторингу та оцінки гідрогеологів щодо фільтрації та відтоку з озера підземних вод, які за їх розрахунками складають 75600 м^3 на рік, розраховано водний баланс оз. Лебедине [11-12] та подано за два досліджуваних періоди зміни величин водно-балансових елементів – надходження води в озеро, втрачання з нього та зміни акумуляційної складової (табл. 1).

Таблиця 1 / Table 1

Водний баланс оз. Лебедине / Water balance of lake Lebedyne

Компоненти надходження, m^3		Компоненти втрачання, m^3		Акумулятивна компонента об'єму води в озері (m^3), A_O
води з площі прилеглої до озера (схиловий стік), H_P	атмосферні опади на дзеркало озера, H_{On}	випаровування з дзеркала озера та транспірація, B_{BT}	фільтрація (підземний відтік) з озера, B_Φ	
Період 1961-1990 рр.				
921500	311480	1135250	75600	+22130
Період 1991-2019 рр.				
760000	274890	1040490	75600	-81200

При цьому треба враховувати, що середня річна температура повітря в сучасний період (1991-2019 рр.) в середньому зросла на 1°C (за даними метеостанції Лебедин) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.).

Якщо проаналізувати компоненти надходження в рівнянні водного балансу оз. Лебедине за 2 періоди, то співвідношення між надходженням води з водозбірної площі та за рахунок опадів на дзеркало озера не змінилося – $74-75\%$ від загального надходження припадає на схиловий стік з прилеглих до озера територій і відповідно $25-26\%$ на опади. Але порівнюючи досліджувані періоди, можна констатувати, що загальний об'єм надходження води в озеро в сучасний період зменшився у порівнянні в періодом кліматичної норми майже на 16% (табл. 1). З них, надходження води з площі, прилеглої до озера (схиловий стік) стало меншим на $17,8\%$, зменшився й об'єм атмосферних опадів на дзеркало озера на $11,7\%$.

Щодо величини випаровування з водної поверхні оз. Лебедине. В сучасний період відбувається два різнонаправлені процеси. На фоні збільшення температури повітря зростає інтенсивність випаровування з водної поверхні. Але, зменшення об'ємів надходження води в оз. Лебедине сприяє зниженню рівнів води в озері і, як наслідок, змен-

шенню площі його водного дзеркала, з якого відбувається випаровування. Тобто, водночас відзначається зменшення величини абсолютного об'єму випаровування з водної поверхні оз. Лебедине в сучасний період за рахунок зменшення площі водного дзеркала, а частка випаровування у водно-балансових співвідношеннях, навпаки, зросла майже на $8,3\%$ у порівнянні з стандартним кліматичним періодом (табл. 1).

Знаючи кількісні показники основних компонентів водного балансу оз. Лебедине можна оцінити акумулятивну компоненту водного балансу (табл. 1) за період кліматичної норми та сучасний період за рівнянням (2). Якщо в період кліматичної норми відбувалося певне накопичення води в озері ($+22130 \text{ м}^3$, в середньому на рік), то в сучасний період відбувається природне спрацювання (виснаження) об'єму води в озері (-81200 м^3 , в середньому за рік).

Для наближеної оцінки наскільки в середньому за два досліджуваних періоди зменшився об'єм води в ложе оз. Лебедине W_{O3} (m^3) в сучасний період (1991-2019 рр.) у порівнянні з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.) використано формулу кулькового сегменту:

$$W_{O3} = 3,14 \cdot h_{\text{сеп.найб}} \cdot \left(\frac{d_{O3}^2}{8} + \frac{h_{\text{сеп.найб}}^2}{6} \right), \quad (3)$$

де $h_{сер_найб}$ - середнє значення найбільших глибин озера, м;

$d_{оз}$ - діаметр водної поверхні озера, м [2].

У сучасний період, аналізуючи розрахунки, об'єм води в ложе озера зменшився приблизно на 40-42% у порівнянні з періодом кліматичної норми.

Для прогнозової оцінки на найближчі роки особливостей у водообміні оз. Лебедине прослід-

ковано динаміку середніх річних температур повітря та атмосферних опадів за період з 1961 по 2019 рр. за даними метеостанції Лебедин, а також прогноз цих параметрів за кліматичними проєкціями з використанням траєкторії low end RCP4.5 (м'який варіант) на період з 2021 по 2030 роки (рис. 1 та 2).

Середня річна температура повітря на насту-

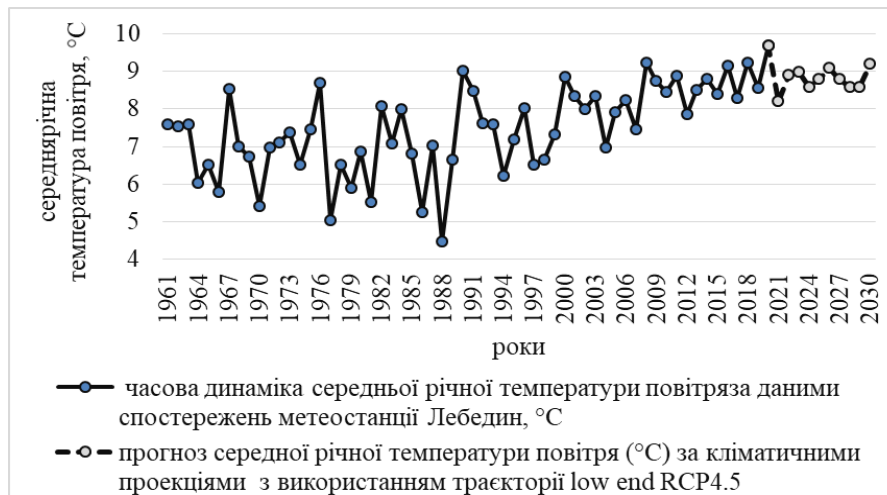


Рис. 1. Часова динаміка середніх річних температур повітря за період з 1961 по 2019 рр. (за даними метеостанції Лебедин) та їх прогнозовані оцінки на період з 2021 по 2030 рр. /

Fig. 1. Time dynamics of average annual air temperatures for the period from 1961 to 2019 (according to the Lebedyn weather station) and their forecast estimates for the period from 2021 to 2030



Рис. 2. Часова динаміка річних сум атмосферних опадів за період з 1961 по 2019 рр. (за даними метеостанції Лебедин) та їх прогнозовані оцінки на період з 2021 по 2030 рр. /

Fig. 2. Time dynamics of annual amounts of atmospheric precipitation for the period from 1961 to 2019 (according to the Lebedyn weather station) and their forecast estimates for the period from 2021 to 2030

пне десятиліття 2020-2030 рр. за прогнозом у порівнянні з попереднім мало зміниться, навіть можливо буде нижчою, в середньому на 0,1°C.

Щодо середніх річних кількостей атмосферних опадів, то за прогнозом у період 2020-2030 рр. вони зростуть у порівнянні з попереднім десятиліттям (2010-2019 рр.) в середньому на 120-125 мм (з 554 мм до 680 мм).

За середньорічними величинами температури повітря та кількості атмосферних опадів за період з 1961 по 2019 рр. отримано емпіричне рівняння множинної регресії [6] для досліджуваного регіону (коефіцієнт кореляції цього зв'язку значимий, $Rr = 0,88$), за яким надано наближені прогнозовані оцінки шарів схилового притоку води R_p (в мм):

$$R_p = -22,45 \cdot t + 0,027 \cdot P + 240,9, \quad (4)$$

де t - середня річна температура повітря, °С,
 P - сума кількості опадів за рік, мм.

Знаючи величину водозбірної площі оз. Лебедине, оцінено об'єми притоку води з площі прилеглої до озера. Перераховано в об'єми й кількості опадів на водну поверхню озера. Таким чином,

передбачено сумарний приплив до оз. Лебедине на наступне десятиліття 2021-2030 рр. (рис. 3). Для можливості порівняння з попередніми роками на рис 3 також показано динаміку такого надходження за період 1961-2020 р., а на рис. 4 – середнє сумарне надходження води до озера по десятирічкам.



Рис. 3. Динаміка сумарного надходження води до оз. Лебедине (з площі прилеглої до озера та атмосферних опадів на дзеркало озера) за період з 1961 по 2019 рр. та його прогнозні оцінки на період з 2021 по 2030 рр. /

Fig. 3. Dynamics of the total water inflow into Lake Lebedyne (from the area adjacent to the lake and atmospheric precipitation to the lake surface) for the period from 1961 to 2019 and its forecast estimates for the period from 2021 to 2030

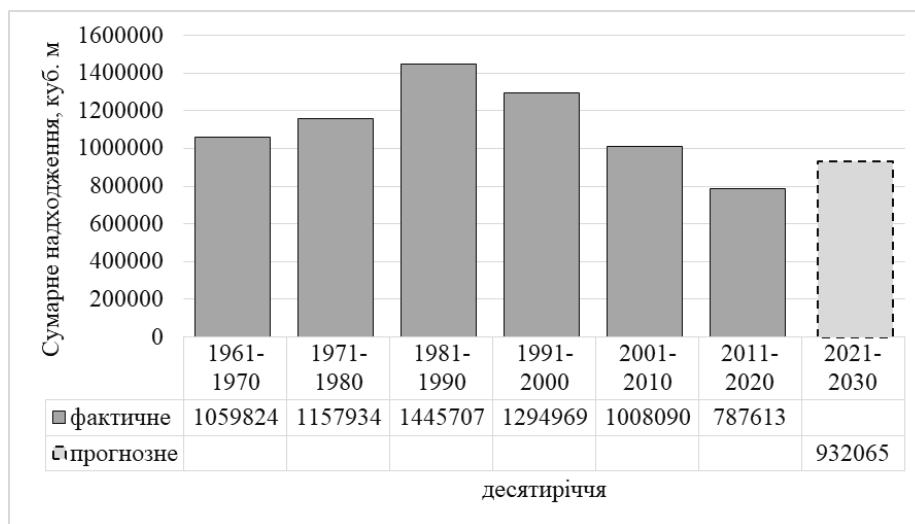


Рис. 4. Багаторічні зміни по десятирічкам сумарного надходження води до оз. Лебедине та його прогнозні оцінки

Fig. 4. Long-term changes in decades of total water inflow into the Lake Lebedyne and his predictive estimates

Найбільше сумарне надходження води до озера спостерігалось у 80-90-ті роки минулого століття, найменше – у десятиріччя з 2011 р по 2020 р. (рис. 4). Якщо порівнювати послідовні десятиріччя з 2000 р., то сумарне надходження до

оз. Лебедине за період 2001-2010 рр. в середньому складало 1008090 м³ води на рік, а вже в наступне десятиріччя цей показник зменшився на 22% з і склав 787613 м³. Прогнозні оцінки сумарного надходження води в озеро на період з 2021 по 2030

рр. в порівнянні з попереднім десятиріччям показують його зростання в середньому до 932065 м³ на рік, але таке збільшення (у порівнянні з попереднім зменшенням) всього на 18%.

Висновки. Для з'ясування причин обміління колись мальовничого, достатньо глибокого оз. Лебедине, що знаходиться біля м. Лебедин Сумської області застосовано водно-балансовий метод. Складові водного балансу є характеристиками водообміну і визначаються процесами надходження, втрачання та акумуляція води у в чаші озера. Для виявлення довгострокових змін у водообміні озера проведено порівняння складових водного балансу за два періоди – сучасний (1991-2019 рр.) з періодом кліматичної норми (1961-1990 рр.). Водно-балансові розрахунки показали, що загальний об'єм надходження води в озеро в сучасний період в середньому зменшився у порівнянні в періодом кліматичної норми майже на 16 %. При цьому, надходження води з площі, прилеглої до озера зменшилося на 17,8 %, також зменшився й об'єм атмосферних опадів на дзеркало озера на

11,7 %. Вагомою складовою втрат у водному балансі озера є випаровування з дзеркала озера та транспірація. Його відсоток від загального надходження в сучасний період збільшився майже на 8,3%. Тому в період кліматичної норми відбувалося певне накопичення води, а в сучасний період – природне спрацювання (виснаження) об'єму води в озері. Порівнюючи об'єми води в ложе озера за період 1991-2019 рр. з періодом кліматичної норми, можна констатувати, що він зменшився, в середньому, на 40-42%.

Прогнозні оцінки та порівняння сумарного надходження води в озеро на період з 2021 по 2030 рр. з попереднім десятиріччям показують його зростання в середньому на 18% – з 787613 м³ на рік (2010-2019 рр.) до прогнозних 932065 м³ на рік. Враховуючи той факт, що середня річна температура повітря за прогнозом на наступне десятиліття 2021-2030 рр. у порівнянні з попереднім мало зміниться, навіть можливо буде нижчою в середньому на 0,1°C, можна очікувати незначне, але все ж-таки поповнення озера водою.

Список використаної літератури

1. Гидрологические и воднобалансовые расчеты / Под ред. Н. Г. Галущенко // – К.: Вища школа, 1987. – С. 171-221.
2. Догановский А.М. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши (практикум по гидрологии): Уч. пособ. / А. М. Догановский, В. Г. Орлов. – Санкт-Петербург: Изд-во РГТМУ, 2011. – 197-226 с.
3. Загальна гідрологія. / За ред. В.К. Хільчевського, О. Г. Ободовського // – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 179-187 с.
4. Крупнейшие озера на Земле вскоре могут исчезнуть – ученые. URL: <https://zn.ua/TECHNOLOGIES/krupneyshie-ozera-na-zemle-vskore-mogut-ischeznut-uchenye-206398.html>
5. Найбільші озера Землі зникають через зміни клімату. URL: <https://wz.lviv.ua/news/162835-naibilshi-ozera-zemli-znykaiut-cherез-zminy-klimatu>
6. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. / А. В. Сикан. – Санкт-Петербург: изд. РГТМУ, 2007. – С. 136-167.
7. Хільчевський В.К.. Основні аспекти морфометрії та гідрохімії Шацьких озер / В.К. Хільчевський, М.Р. Забокрицька // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2020. – № 3(58). – С. 92-100. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.9>
8. Чи будуть Шацькі озера з водою: підрахунки і прогнози експерта. URL: <http://www.volynpost.com/articles/1887-chy-budut-shacki-ozera-z-vodoyu-pidrahunky-i-prognozy-eksperta>
9. Чорноморець Ю.О. Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли) / Ю.О. Чорноморець, О.І. Лук'янець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. – № 4(55). – С. 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>
10. ALTERNATIVE ENVIRONMENTAL PLATFORM-2020 «ECO-MODERNIZATION» Блок «Охорона водних та земельних ресурсів». URL: <https://appau.org.ua/publications/alternative-environmental-platform-2020-eco-modernization/>
11. Chomko D. Determination of the underground component of the water balance of lake Lebedyne (Sumy region) in the context of prospects for the restoration of its water constitution and the project / D. Chomko, O. Koshliakov, O. Dyniak and I. Koshliakova. – Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment» – European Association of Geoscientists & Engineers. – Nov 2020. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056092>.
12. Lukianets O. Water balance of lake lebedyne in modern climatic conditions / O. Lukianets and V. Grebin. – Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment». – European Association of Geoscientists & Engineers. – Nov 2020. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056026>.
13. WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on «climate normal». UPL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>.
14. WMO, 2007: «The role of climatological normals in a changing climate», World Climate Data and Monitoring Programme – No. 61, WMO-TD. – No. 1377.

15. Kuusisto, Esko; Hyvärinen, Veli (2000). *Hydrology of Lakes*. In Pertti Heinonen (ed.). *Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring*. John Wiley & Sons. – Pp. 4–5. ISBN 978-0-470-51113-8.
16. Wetzel, Robert (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press. 1006 p. ISBN 9780127447605.
17. Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-513353-0.
18. Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (p. 649). The Netherlands: A.A. Balkema Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>
19. Balistrieri, L. S., Tempel, R. N., Stillings, L. L., & Shevenell, L. A. (2006). *Modeling Spatial and Temporal Variations in Temperature and Salinity during Stratification and Overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA*. *Applied Geochemistry*, 21, 1184-1203.
20. Muvundja, A.F., Pasche, N., Bugenyi, W.B.F., Isumbisho, M., Müller, B., Namugize, J.P., Rinta, P., Schmid, M., Stierli, R. and Wüest, A. (2009) *Balancing Nutrient Inputs to Lake Kivu*. *Journal of Great Lakes Research*, 35, 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.06.002>
21. Rzętala, Mariusz; Jagus, Andrzej (May 2011). *New lake district in Europe: Origin and hydrochemical characteristics*. *Water and Environment Journal*. 26 (1): 108-117. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00269.x>
22. Sterner, R.W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhude, K. and Rogers, M. (2020). *Ecosystem Services of Earth's Largest Freshwater Lakes*. *Ecosystem Services*, 41, Article ID: 101046. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101046>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Nature of current and assessment of possible future changes in the water regime of lake Lebedyne (Sumy region)

Vasiliy Grebin¹,

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Hydrology and Hydroecology,
¹Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geography,
2-A Glushkov Prospekt, Kyiv, 02000, Ukraine;

Olga Lukianets¹,

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Hydrology and Hydroecology

ABSTRACT

Aim of the research is to identify the characteristic features of modern and predictive assessment until 2030 possible changes in the water regime of the Lake Lebedyne.

Methods of the research – water balance method (to clarify the nature of modern changes in the water exchange of the lake), pairwise and multiple correlation methods (for statistical analysis of relationships between hydro-meteorological variables).

Scientific novelty – for the first time the analysis of modern changes in the water exchange of the Lake Lebedyne by comparing the components of the lake's water balance for two periods - modern (1991-2019) with the period of the climatic norm (1961-1990); for the first time estimated for the next decade (2021-2030) changes in the water regime of Lake Lebedyne.

Practical value is determined by the fact that the main provisions of this scientific research will be used when discussing a project to improve the state of Lake Lebedyne, which was provided for by the Program of Economic and Social Development of the city of Lebedin for 2020-2021 program years.

Research results. It was revealed that the total volume of water inflow into the lake in the modern period (1991-2019) has decreased (compared to the period of the climatic norm - 1961-1990) by almost 16%. Of these, the inflow of water from the area adjacent to the lake (slope runoff) decreased by 17.8%, and the amount of atmospheric precipitation on the lake's surface by 11.7% also decreased. There is a decrease in the absolute volume of evaporation from the water surface of Lake Lebedyne due to a decrease in the volume of water inflow. However, at the same time, against the background of an increase in air temperature, the intensity of evaporation increases - its share in the water-balance ratios increased by 8.3% compared to the period of the climatic norm. Evaluating the accumulative component of the lake's water balance, it can be stated that during the period of climatic normal there was a certain accumulation of water in the lake - on average by + 22130 m³ annually. In the modern period, the volume of water in the lake was depleted - on average for the period 1991-2019 by - 81200 m³ per year. As a result, the volume of water in the lakebed in the modern period has decreased by about 40-42% compared to the period of the climatic norm. According to the forecast estimates of the values of the total water inflow into the lake Lebedyne for the period 2021-2030 it can be assumed that in comparison with the previous decade, they will grow by an average of 18%. Therefore, with a certain stabilization of the evaporation values, one can expect an insignificant, but nevertheless, replenishment of the lake with water.

Keywords: Ukraine, Lebedyn city, lake Lebedyne, water balance of the lake; water regime, time dynamics, forecast estimates.

References

1. Galushchenko, N. G. (Ed.). (1987). *Hydrological and water balance calculations*. Kyiv: Vishcha shkola, 171-221 [in Russian].
2. Doganovsky, A.M., Orlov, V. G. (2011). *Collection of tasks to determine the main characteristics of water bodies on land (workshop on hydrology): Textbook*. St. Petersburg: Publishing house of the Russian State Hydrometeorological University, 197-226 [in Russian].
3. Khilchevsky, V.K., Obodovsky, O. G., etc. (2008). *Regional Hydrology*. Kyiv: Publishing and printing center «Kyiv University», 179-187 [in Ukrainian].
4. Largest lakes on Earth may soon disappear – scientists. URL: https://zn.ua/TECHNOLOGIES/krupneyshie-ozera-na-zemle-vskore-mogut-ischeznut-uchenye-206398_.html [in Russian].
5. The largest lakes on Earth are disappearing due to climate change. URL: <https://wz.lviv.ua/news/162835-naibilshi-ozera-zemli-znykaiut-cherez-zminy-klimatu> [in Ukrainian].
6. Sikan, A. V. (2007). *Methods of statistical processing of hydrometeorological information*. Textbook. St. Petersburg: Publishing house of the Russian State Hydrometeorological University, 136-167 [in Russian].
7. Khilchevskiy, V.K., Zabokrytska, M.R. (2020). Main aspects of the morphometry and hydrochemistry of Shatsk Lakes. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 3(58), 92-100. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.9> [in Ukrainian].
8. Will Shatsky lakes with water: calculations and forecasts of the expert. URL: <http://www.volynpost.com/articles/1887-chy-budut-shacki-ozera-z-vodoyu-pidrahunky-i-prognozy-eksperta> [in Ukrainian].
9. Chornomorets, Yu. O., Lukianets, O. I. (2019). Influence of modern changes in the ratio of snow and rain supply of rivers on the structure of water balance of their basins (on the example of the river basin of Vorskla). *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 4 (55). 40-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3> [in Ukrainian].
10. ALTERNATIVE ENVIRONMENTAL PLATFORM-2020 «ECO-MODERNIZATION» Block "Protection of water and land resources". URL: <https://appau.org.ua/publications/alternative-environmental-platform-2020-eco-modernization/> [in Ukrainian].
11. Chomko, D., Koshliakov, O., Dyniak, O. and Koshliakova, I. (2020). Determination of the underground component of the water balance of lake Lebedyne (Sumy region) in the context of prospects for the restoration of its water constitution and the project. *Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*, European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056092>.
12. Lukianets, O. and Grebin, V. (2020). Water balance of lake Lebedyne in modern climatic conditions. *Conference Proceedings, XIV International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*, European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056026.6>.
13. WMO Media Centre (2015). *New Two-Tier approach on «climate normal»*. UPL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>.
14. WMO (2007). *The role of climatological normals in a changing climate*. World Climate Data and Monitoring Programme. 61, WMO-TD. 1377.
15. Kuusisto, Esko; Hyvärinen, Veli (2000). *Hydrology of Lakes*. In Pertti Heinonen (ed.). *Hydrological and Limnological Aspects of Lake Monitoring*. John Wiley & Sons. pp. 4–5. ISBN 978-0-470-51113-8.
16. Wetzel, Robert (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. San Diego: Academic Press. 1006 p. ISBN 9780127447605.
17. Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-513353-0.
18. Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (p. 649). The Netherlands: A.A. Balkema Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>
19. Balistrieri, L. S., Tempel, R. N., Stillings, L. L., & Shevenell, L. A. (2006). Modeling Spatial and Temporal Variations in Temperature and Salinity during Stratification and Overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA. *Applied Geochemistry*, 21, 1184-1203.
20. Muvundja, A.F., Pasche, N., Bugenyi, W.B.F., Isumbisho, M., Müller, B., Namugize, J.P., Rinta, P., Schmid, M., Stierli, R. and Wüest, A. (2009) Balancing Nutrient Inputs to Lake Kivu. *Journal of Great Lakes Research*, 35, 406-418. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.06.002>
21. Rzętała, Mariusz; Jagus, Andrzej (May 2011). New lake district in Europe: Origin and hydrochemical characteristics. *Water and Environment Journal*. 26 (1): 108-117. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00269.x>
22. Sterner, R.W., Keeler, B., Polasky, S., Poudel, R., Rhude, K. and Rogers, M. (2020). Ecosystem Services of Earth's Largest Freshwater Lakes. *Ecosystem Services*, 41, Article ID: 101046. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101046>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 22 February 2021

Accepted 12 July 2021