

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202002-248>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/248>

УДК 556.5; 551.5

## ПРИЧИНИ ПОНИЖЕННЯ РІВНЯ ОЗЕРА СИНЄ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ЙОГО ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ

О.М. Козицький<sup>1</sup>, гол. фахівець, С.А. Шевчук<sup>2</sup>, канд. техн. наук,  
І.А. Шевченко<sup>3</sup>, канд. техн. наук, Н.В. Логунова<sup>4</sup>, провідний інженер

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-4459-6331>; e-mail: olegkoz@ukr.net;

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-5844-4980>; e-mail: sergey\_shevchuk\_@ukr.net;

<sup>3</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-7401-8786>; e-mail: irina.shevchenk.23@gmail.com;

<sup>4</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-4207-4863>; e-mail: lagunova@ukr.net

**Анотація.** Згідно з даними експертів Всесвітньої метеорологічної організації середньорічна температура на планеті зросла на 1 °С порівняно з доіндустріальним періодом, що призвело до різкого збільшення випарування і, як наслідок, стало причиною зменшення річкового стоку на 9,3%. В Україні температура повітря змінюється значно швидше ніж загалом у світі. За останні роки вона зросла на 2 °С порівняно з кліматичною нормою, що стало причиною зміщення на північ агрокліматичних зон на відстань біля 200 км. У роботі наведено результати кількісної дискретної оцінки природних і техногенних чинників, що зумовили різке зниження рівнів озера Синє в останні роки. В результаті виконаних досліджень встановлено, що зменшення стоку річок та об'єму природних водойм насамперед є результатом інтенсивного підвищення температури повітря в останні десятиліття і обумовлено ним збільшення об'ємів випарування вологи з поверхні водойм і водозборів. Іншими важливими чинниками зменшення водності оз. Синє є зменшення кількості опадів та господарська діяльність, зокрема будівництво доріг, інтенсивна забудова території і відведення дренажного та поверхневого стоку за межі водозбору озера. Через відсутність снігового покриву у 2020 р весняна повінь на рівнинних річках України пройшла з витратами, що значно менші норми, зокрема стік р. Ірпінь, в межах водозбору якої знаходиться озеро, за період з 2011 р. зменшився в 1,46 рази порівняно з попереднім періодом 1958–2010 рр., а за останні 5 років він зменшився майже в 2 рази. Через незначні об'єми повеневого притоку не відбулося наповнення водосховищ і озер до нормативних рівнів, а в результаті зменшення кількості опадів і зростання випарування значно понизилися рівні ґрунтових вод, що в результаті зумовило зменшення ґрунтового притоку до водойм. За умови повторення кліматичного сценарію 2019 гідрологічного року рівні води оз. Синє можуть знизитися значно нижче історичних відміток і призвести до повної деградації озера. Покращення екологічного стану озера можливе завдяки збільшенню притоку поверхневих і ґрунтових вод шляхом перенаправлення до озера поверхневого та дренажного стоку з території природного водозбору озера, а також у результаті розчищення і днопоглиблення озера, що дозволить збільшити глибину при меженних відмітках та забезпечить розкриття закольматованих джерел підземного живлення.

**Ключові слова:** озеро, басейн, гідрологічний режим, рівні води, опади, випарування, природні умови, антропогенне навантаження.

**Актуальність і постановка питання.** Зменшення водності річок і водойм у результаті сучасних кліматичних змін є проблемою планетарного масштабу, що підтверджується численними дослідженнями вітчизняних і зарубіжних фахівців [1–3]. Аналіз багаторічних даних спостережень на метеостанціях України, а також матеріали нових кліматичних норм за період 1991–2020 рр., що розробляються в Центральній геофізичній обсерваторії імені Бориса Срезневського, свідчать про те, що за останні роки клімат в Україні змінюється

значно швидше ніж загалом у світі. Особливо аномальним був 2019 р., що став найтеплішим роком за всю історію метеоспостережень. Зі зміною середньорічної температури і кількості накопиченого тепла агрокліматичні зони України зазнали кардинальних змін, значно змістившись на північ [2]. Наслідки інтенсивного зростання температури повітря наочно простежуються на прикладі обміління природних водойм, у яких, на відміну від ставків та водосховищ, відсутня можливість регулювання стоку. Це, зокрема, стосується

київських водойм, багато з яких використовується в різноманітних сферах, зокрема для відпочинку. Крім того, водойми в місті збагачують ландшафт, поліпшують мікроклімат, є біотопом для коловодних видів рослин і тварин. Однією з таких водойм є оз. Синє, що знаходиться в Подільському районі м. Києва. З середини минулого століття озеро і територія навколо нього зазнають значного антропогенного навантаження, що негативно відобразилось на його гідрологічному режимі. Обміління озера стало причиною значного погіршення його екологічного стану, зокрема збільшення заростання, погіршення водно-фізичних властивостей і якості води, цвітіння, загибель мікроорганізмів та їхтїофауни. Озеро Синє та навколишня місцевість завжди були популярною зоною відпочинку, тому різке погіршення його екологічного стану викликали занепокоєння громадськості і широке обговорення проблеми з метою порятунку водойми. Розроблення комплексної системи заходів щодо покращення екології озера потребує ґрунтового дослідження основних чинників формування гідрологічного режиму водойми і їх дискретної оцінки.

**Аналіз останніх досліджень.** Зменшення стоку річок та обміління водойм стало характерним явищем для значної частини України [4]. Не оминули ці зміни й водні об'єкти Києва, зокрема озеро Синє. Це озеро, хоч і не належить до великих, але є дуже відомим. Озеро було об'єктом дослідження кількох наукових колективів та окремих авторів. Так, деякі результати досліджень оз. Синє знайшли відображення в наукових публікаціях [5; 6]. У роботі [5] зазначено, що площа озера становить 4,4 га, об'єм – 37,6 м<sup>3</sup>, середня глибина – 0,85 м, максимальна – 1,85 м. У цій роботі прийнято, що середній шар випаровування з водної поверхні київ-

ських водойм становить 527 мм. На нашу думку, остання величина є заниженою, принаймні застарілою. Про це, зокрема, свідчать дані спостережень на метеостанціях, де виконуються відповідні дослідження. У зазначеній праці наведено величину ґрунтового живлення озера, але як саме вона отримана не сказано.

Значну увагу екологічному стану озера приділено у праці [7], де описано характерні види водної та повітряно-водної рослинності, а також риби, що поширені в озері. Важливо, що в жодній з наявних праць не сформульовано проблему всихання озера, яка спостерігається останнім часом.

**Метою роботи** є встановлення природних і техногенних чинників, що зумовили значне зниження рівнів озера Синє в останні роки та розроблення заходів щодо покращення його екологічного стану.

**Методи досліджень.** Дослідження виконано на основі загальноприйнятих у гідрології методів синтезу і аналізу багаторічних даних гідрометеорологічних спостережень, матеріалів дистанційного зондування Землі, геодезичних вишукувань, а також аналізу антропогенних чинників, що впливають на формування стоку.

**Викладення основного матеріалу.** Озеро Синє розташоване на північно-західній околиці масиву Виноградар, у межах верхньої частини басейну р. Горенка, правої притоки р. Ірпінь (рис. 1). Належить до озер вододільного типу. Походження його льодовикове. Відповідно до класифікації озер Києва [6], належить до типу безстічних. Живлення озера відбувається за рахунок поверхневого, ґрунтового і напірного підземного живлення.

Ділянка оз. Синє розташована на північно-східному схилі Українського кристалічного щита, глибокий фундамент якого пере-



Рис. 1. Озеро Синє на карті та вигляд його північної частини, 13.06.2020 р.

кривається нашаруваннями пісків, супісків та глин. У гідрогеологічному відношенні територія розташована в межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну, що приурочений до однойменної тектонічної западини, заповненої потужною товщею осадових порід. В період інтенсивного танення снігу та великих дощів можливе коливання рівнів ґрунтових вод з амплітудою від 1 м до 2,5 м. Основний підйом води спостерігається у весняний період, спад – у літню межень та взимку. Згідно з гідрогеологічними вишукуваннями ТОВ «Водбуд-Україна» у червні 2020 р. ґрунтові води на прибережній ділянці оз. Синє встановилися на глибині 1,2–2,5 м (абс. відмітки 151.2–152.5 м БС), а рівень озера у вересні 2019 р. становив 151,49 БС (рис. 2), що більш ніж на 1 м менше середніх багаторічних значень для цього періоду року.

Зростання випарування з водної поверхні, зменшення опадів та притоку з водозбору обумовили не лише зменшення рівнів води в озері, але і зменшення його площі, що наочно простежується на різночасових космічних знімках (рис. 3). Раніше озеро мало площу 15 га, довжину 700 м і ширину – біля 200 м.

Реконструкція озера була виконана у 1996 р. На сьогодні озеро розділене на 2 частини – північну і південну, що з'єднані між собою каналом довжиною біля 100 м. Згідно з проектними даними площа озера становила 5,4 га. В період осінньої межень 2001 р. площа водного дзеркала становила 3,4 га. Зростання інтенсивності обміління озера розпочалося весною 2019 р. У вересні 2019 р. площа водного дзеркала зменшилася до 2,6 га, рівень води понизився більш ніж на 1 м, а лінія урізу змістилась до середини більш ніж на 10 м. В результаті пониження рівня води літом 1920 р. повністю пересох з'єднувальний канал і озеро перетворилося на дві окремі водойми. Рівні в північному озері спостерігалися нижчими ніж в південному, що свідчить про більш інтенсивний відтік води в напрямку р. Горенка. Зміни морфологічних характеристик озера за останні 20 років наведені в табл. 1.

Зменшення розмірів озера відбулося внаслідок зміни складових його водного балансу, на який безпосередньо вплинули чинники як природного, так і техногенного характеру. Аналіз топографічних карт минулого століття показує, що озеро розташоване в мікропо-

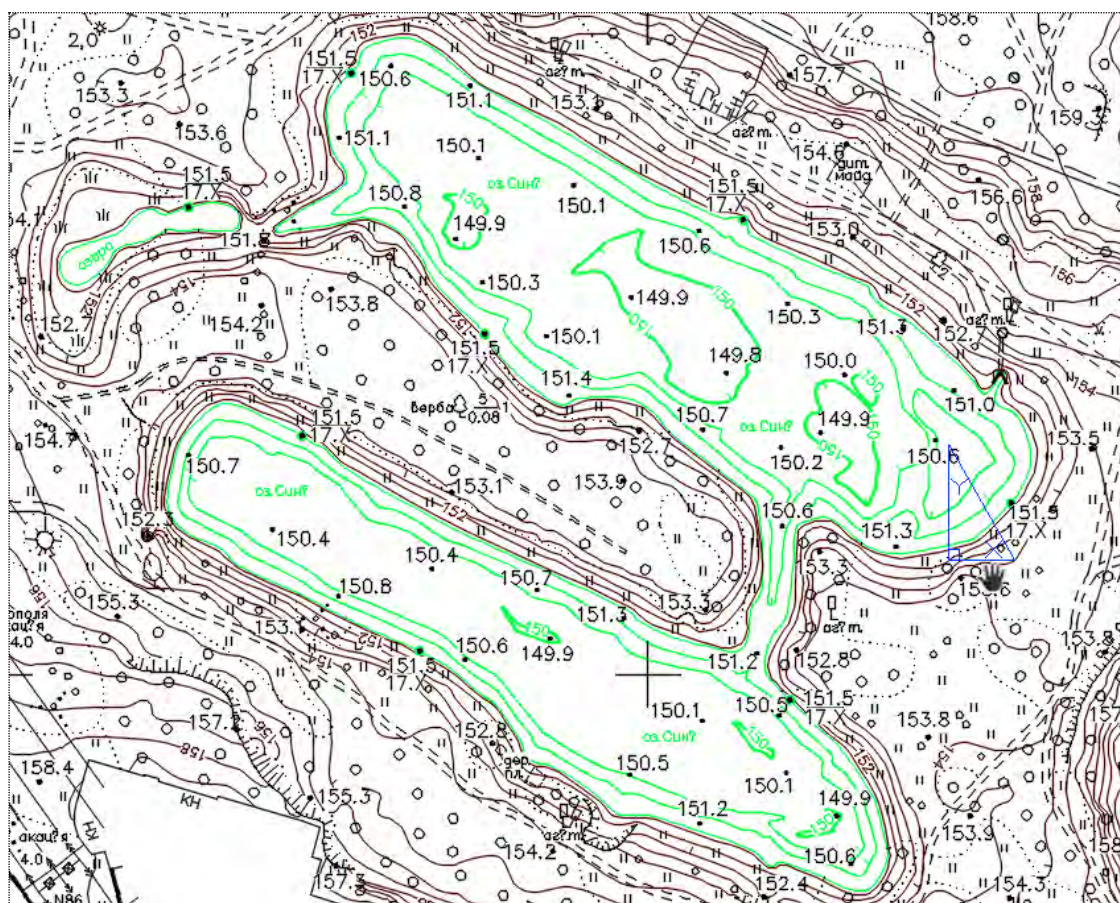


Рис. 2. Топографічний план озера Синє (ТОВ «Водбуд-Україна», 2019 р.)



Рис. 3. Зміна контурів оз. Синє за період із квітня 2004 р. (а), по квітень 2019 р. (б)

#### 1. Морфологічні характеристики оз. Синє в періоди осінньої межені в 2001 р. і 2019 р.

Дата	Площа водного дзеркала, га	Північна ділянка, м		Південна ділянка, м		Ширина з'єднувального каналу, м
		ширина в районі каналу	довжина	ширина в районі каналу	довжина	
26.10.2001	3,4	85	257	61	268	19
17.09.2019	2,6	72	246	56	253	13

ниженні рельєфу, в якому концентрувався стік трьох невеликих балок. Площа водозбору в цей період становила 758 га (рис. 4а). Збудовані насипи автомобільних доріг навколо озера стали штучною перешкодою для надходження поверхневого стоку в озеро. Вздовж автомобільних доріг влаштована зливово-каналізація, яка відводить поверхневі води в сторону Дніпра. Природні умови надходження ґрунтового притоку також порушила

забудова навколишньої території (рис 4б), оскільки технологія будівництва пов'язана з необхідністю водовідведення з будівельних майданчиків і житлових масивів. Сучасна мережа дренажних і зливових систем забезпечує водовідведення в р. Дніпро. У результаті площа водозбору озера зменшилася до 21 га і, відповідно, зменшився природний стік в озеро.

Іншими природними чинниками водного

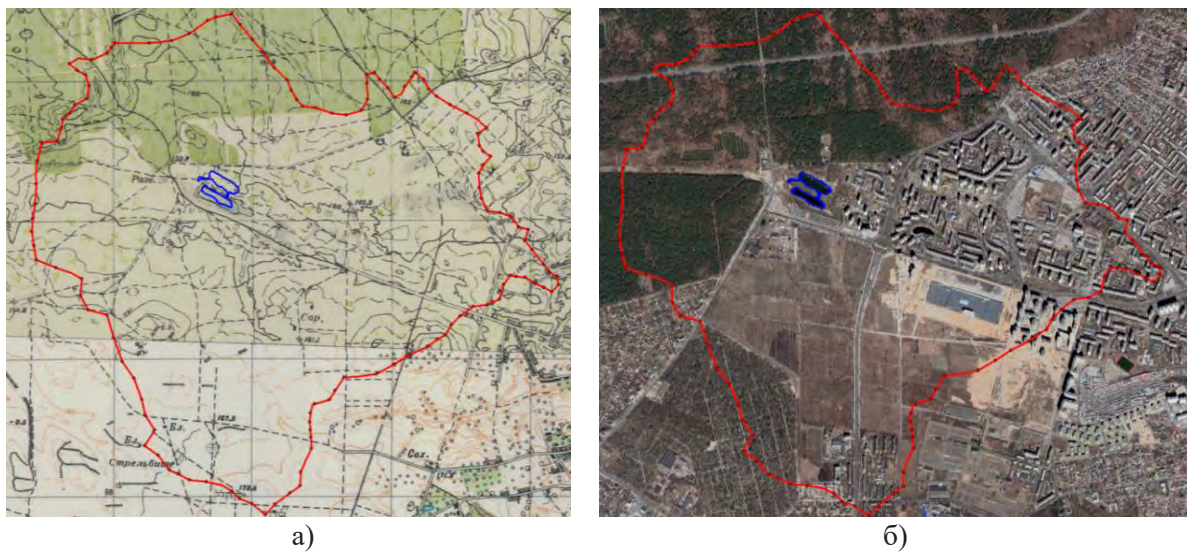


Рис. 4. Водозбір озера Синє (червона лінія): а – топографічна карта М1:25 000 (1937 р.); б – супутниковий знімок (2019 р.).

балансу озера є кількість атмосферних опадів і випарування з водної поверхні та водозбору, останні безпосередньо залежать від температури повітря. Наведені на рис. 5 дані багаторічних спостережень за температурою повітря на метеостанції «Київ» засвідчують поступове зростання температури упродовж усього періоду спостережень з 1881 р. Протягом минулого століття це зростання було незначним, але в останні два десятиліття інтенсивність значно виросла, особливо за період з 2010 р.

За період з 2000 по 2019 рр. середня температура повітря зросла на  $1,6^{\circ}\text{C}$  порівняно з кліматичною нормою (1961–1990 рр.), а за останні 10 років на  $1,9^{\circ}\text{C}$ . У 2019 р. температура перевищувала кліматичну норму на  $2,9^{\circ}\text{C}$ . Динаміка зміни місячних і річних температур за характерні періоди спостережень наведена в табл. 2.

Різке зростання температури повітря обумовило значне зростання випарування з водної поверхні. Нині в Україні відсутня нормативна база для розрахунку випарування з водної поверхні і єдиним чинним документом залишаються «Указання по расчету испарения с поверхности водоемов», що видані у 1969 р. На сьогодні існують багато емпіричних методів розрахунку випарування з поверхні водойм, що потребують значної кількості метеорологічних даних і є не досить

зручними для практичного використання. Окрім того, порівняльний аналіз результатів розрахунків, отриманих різними методами, з результатами натурних інструментальних вимірювань засвідчує суттєві відмінності між ними, що обумовлено складністю і багатофакторністю процесів випарування [8]. Оскільки метою роботи є не оцінка фактичного випарування з поверхні оз. Синє з найбільшою достовірністю, а лише оцінка впливу на нього температури повітря, то для подальших досліджень нами використано наближений емпіричний метод А.М. Постнікова [9; 10], що базується тільки на залежності випарування від суми місячних температур повітря за безморозний період. Формула була отримана на основі даних інструментальних вимірювань випарування і температури повітря на найбільших водоймах колишнього СРСР. Коефіцієнт кореляції між температурою і розрахованим випаруванням є досить високим і становить  $0,975$ , а середня відносна похибка –  $6\%$  [10]. Розраховане за даною формулою середнє випарування з водної поверхні (за весь період спостережень за температурою повітря в Києві) дорівнює  $732$  мм, що практично співпадає з розрахунковим значенням випарування  $50\%$  забезпеченості за формулою Українського гідрометеорологічного інституту ( $703$  мм [8]), яка найбільш широко використовується в Україні. На рис. 6 наведені

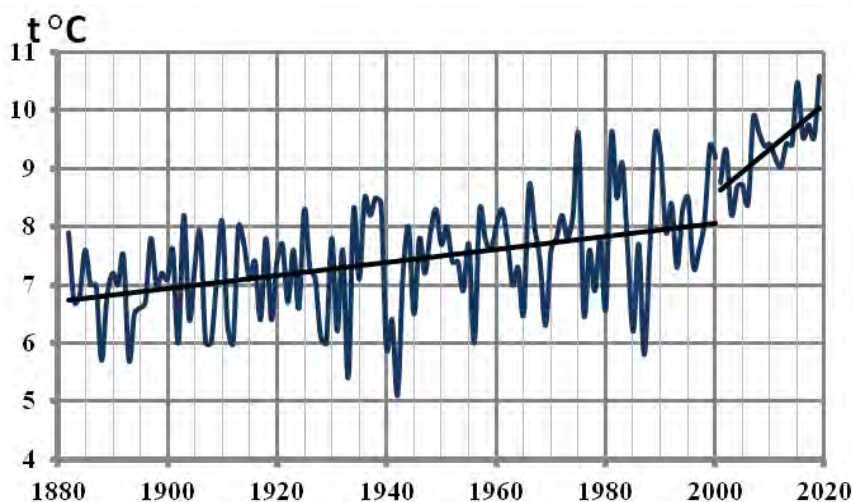


Рис. 5. Динаміка середньорічної температури за даними метеостанції «Київ»

## 2. Динаміка зміни середньорічної температури за даними метеостанції «Київ»

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	рік
Кліматична норма 1961–1990	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,2	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7
2000–2019	-3,5	-2,5	2,7	10,5	16,4	19,6	21,7	20,9	15,2	8,8	3,4	-1,3	9,3
2010–2019	-4,3	-2,5	2,9	10,9	17,0	20,8	21,9	21,5	15,8	8,6	3,7	-0,7	9,6

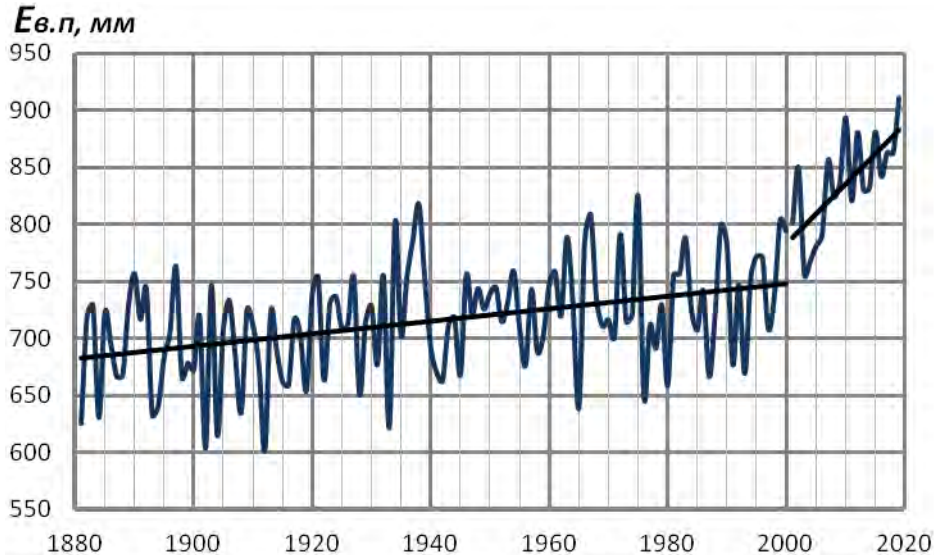


Рис. 6. Розрахункове випарування з водної поверхні київських водойм за період із 1881 р.

результати розрахунку випарування з водної поверхні для м. Києва, що дозволяють оцінити втрати об'єму безстічних водойм у результаті зростання температури повітря.

Аналіз отриманих результатів свідчить (табл. 3), що порівняно з кліматичною нормою випарування з київських водойм зросло за останні 20 років на 100 мм і в середньому становить 834 мм. У спекотний 2019 р. (середня річна температура становила 10,6°C, що на 2,9°C вище кліматичної норми) воно сягнуло величини 911 мм, тобто на 176 мм більше від кліматичної норми та на 206 мм

більше ніж у середньому за період 1881–1960 рр. За останні 5 років середнє випарування з водної поверхні становило 872 мм за рік, що на 137 мм більше кліматичної норми.

Іншою важливою складовою водного балансу території є кількість атмосферних опадів, багаторічна динаміка яких за матеріалами спостережень на метеостанції «Київ» наведена на рис. 7 і табл. 4. У 2019 р. в Києві випало всього 521 мм опадів, що на 132 мм менше кліматичної норми (табл. 4). Загалом, за останні 5 років **сумарна** кількість опадів зменшилась на 434 мм порівняно з кліматичною

### 3. Динаміка зміни середньорічного випарування з водної поверхні в Києві

Період	1881–1960	1961–1990 (кліматична норма)	2000–2019	2010–2019	2015–2019	2019
Випарування, мм	705	735	834	862	872	911

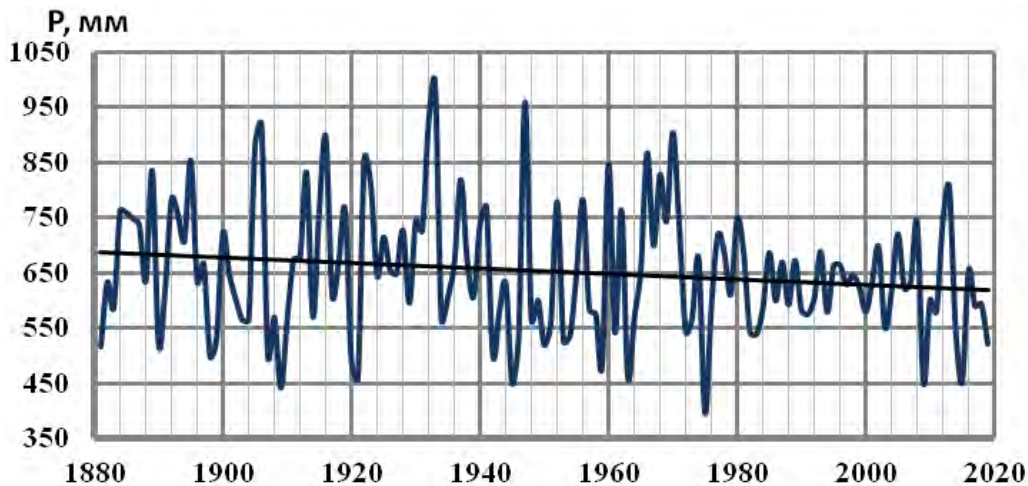


Рис. 7. Динаміка кількості опадів у Києві за весь період спостережень

## 4. Випарування з суходолу і опади в м. Києві

Рік	Кліматична норма (1961–1990 рр.)	2015	2016	2017	2018	2019	Сума за 2015–2019 рр.
Опади, мм	649	452	654	590	594	521	2811
Випарування, мм	573	439	599	554	557	501	2650

нормою (в середньому на 87 мм за рік).

Зростання температури майже на 2 °С за останнє десятиліття обумовило зміну випарування не лише з поверхні озера, але і з поверхні водозбору. Середнє річне випарування з суходолу, що розраховане за гідрологічно-кліматичним методом Мезенцева [11] для періоду 1961–1990 рр. (кліматична норма), становить 573 мм, тоді як у 2019 р. воно дорівнювало 501 мм. Динаміка випарування з суходолу за багаторічний період і його значення за останні роки порівняно з кліматичною нормою наведено на рис. 8 і в табл. 4

Зменшення випарування з поверхні водозбору (при значно вищій середньорічній температурі) обумовлене значним зменшенням кількості опадів і, відповідно, зменшенням вологості ґрунту. Наведені вище результати спостережень за опадами і розрахунки випарування з суходолу засвідчують, що в останні 5 років сумарна кількість опадів на 161 мм перевищує випарування за цей же період, тобто зберігається позитивний баланс вологи на водозборі. Однак це у 2,4 рази менше кліматичної норми. У маловодні 2015 і 2019 рр. різниця опадів і випарування з водозбору становила 13 і 20 мм, тоді як у період 1961–1990 рр. вона дорівнювала 69 мм. Це обумовило зниження рівнів ґрунтових вод і, відповідно, зменшення їх притоку до озера.

Різниця опадів і випарування із земної

поверхні ( $P-E$ ) є важливою характеристикою водного балансу території, що відображає сумарний об'єм стоку ( $W$ ) і акумуляції ґрунтових вод на водозборі ( $\pm w$ ) за розрахунковий період. Особливо показовим є коефіцієнт зволоження водозбору ( $G_k$ ), який, прийнявши  $P-E = G$ , розраховується за формулою

$$G_k = \frac{G_i}{\left(\sum_1^n G_i / n\right)},$$

де  $G_i$  – гідрологічний параметр зволоження  $i$ -того року;  $n$  – кількість років спостереження.

На рис. 9 наведена динаміка значень коефіцієнта зволоження  $G_k$ , де простежується різка тенденція до його зменшення в останні десятиліття. Природні процеси зменшення вологозабезпечення території розпочалися ще на початку 80-тих років минулого століття і особливо активізувалися в останні 5 років, що обумовило різке зменшення запасів ґрунтових вод і водності річок. Якщо до 1980 р. середнє значення  $G_k$  становило 1,13, то у наступний період воно зменшилося до 0,69. За останні 5 років середнє значення  $G_k$  зменшилось до 0,41, причому у 2015 р. і 2019 р. сумарний об'єм стоку і акумуляції ґрунтових вод становив всього 16% і 26% від його багаторічного значення. За 40 останніх років тільки в 6-ти випадках річний коефіцієнт  $G_k$  перевищував середньобагаторічне значення, причому

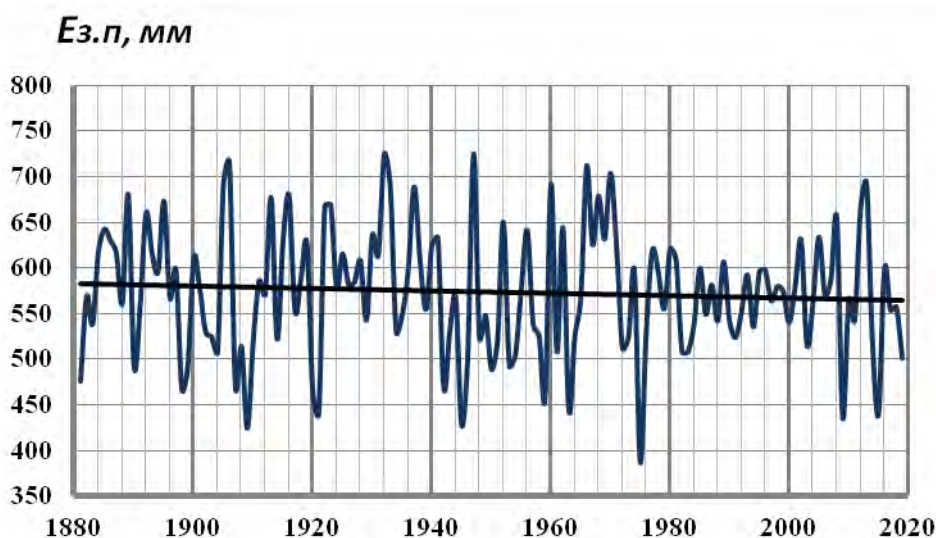
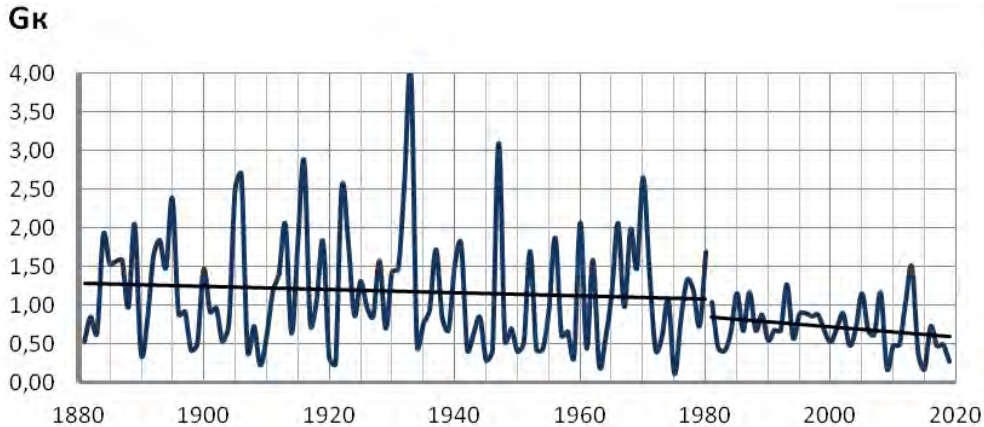


Рис. 8. Динаміка випарування з суходолу в м. Києві

Рис. 9. Зміна коефіцієнта зволоження водозбору ( $G_k$ ) за багаторічний період

тільки у 1993 р. і 2013 р він був більшим 12%.

Різне зменшення водності в районі Києва наочно підтверджується даними стаціонарних спостережень за стоком у басейні р. Ірпінь, у межах якого знаходиться озеро. Наведені в табл. 5 і на рис. 10 результати спостережень на гідрологічному посту с. Мостище показують, що за період з 2011 р. стік річки в 1,46 рази зменшився порівняно з попереднім періодом 1958–2010 рр, а за останні

5 років він зменшився майже в 2 рази. Підтвердженням зростання випарування, як складової водного балансу річкового басейну, є також зменшення коефіцієнта стоку (відношення шару стоку до опадів) р. Ірпінь, який за період з 2015 по 2019 рр зменшився в 1,7 рази порівняно з періодом до 2010 р. (табл. 5). Оскільки кліматичні умови в межах водозборів р. Ірпінь і оз. Синє практично однакові, аналогічне зменшення стоку характерне і для

#### 5. Середньорічні витрати і об'єми стоку р. Ірпінь – г/п Мостище за окремі періоди спостережень і останні роки

Період	Витрата, м <sup>3</sup> /с	Об'єм стоку млн.м <sup>3</sup>	Коефіцієнт стоку
1958–2010	7,19	227	0,12
2015	3,9	123	0,07
2016	3,92	124	0,07
2017	3,33	105	0,06
2018	3,88	122	0,07
2019	3,42	108	0,07
2015–2019	3,69	116	0,07
2011–2019	4,9	155	0,08

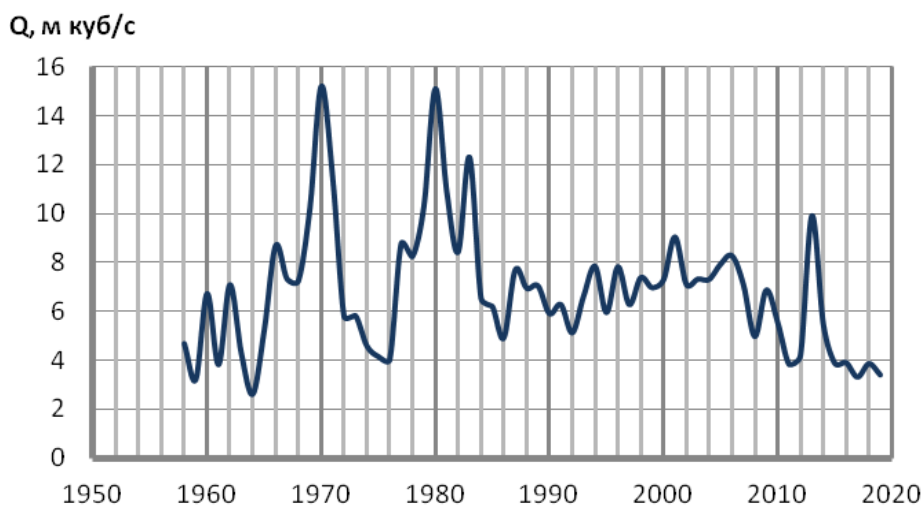


Рис. 10. Динаміка витрат р. Ірпінь – г/п Мостище



водозбору озера.

Окрім зазначених вище чинників техногенного характеру на екологічний стан озера також негативно вплинуло замулення і заростання ємності водойми, а також зміна технології очищення резервуарів питної води водопровідної станції «Виноградар-1». Згідно з вишукуваннями ТОВ «Водбуд-Україна», замулення озера у 2019 р. становило 1–1,5 м, що призвело до кольматажу джерел напірного живлення і зменшення притоку підземних вод. Підтримання задовільного екологічного стану в попередні роки частково забезпечувалося за рахунок надходження технологічних скидів води з водопровідної станції «Виноградар-1», де згідно з регламентом двічі на рік виконували роботи з очищення резервуарів питної води загальним об'ємом 14 тис. м<sup>3</sup>. Після впровадження новітніх технологій очищення води (без застосування рідкого хлору) технологічні скиди води припинилися, що також негативним чином позначилось на режимі рівнів озера.

**Висновок.** У результаті виконаних досліджень встановлено, що головною причиною зменшення рівнів води та об'єму озера Синє в останні роки є зміна клімату, зокрема зменшення кількості опадів та інтенсивне зростання температури повітря, що зумовило збільшення об'ємів випарування з водної поверхні і водозбору. Порівняно з кліматичною нормою випарування з поверхні київських водойм зросло за останні 10 років на 127 мм, а у 2019 р. воно сягнуло рекордної величини 911 мм. У 2019 р. у Києві випало всього 521 мм опадів, що на 132 мм менше кліматичної норми. Тільки за рахунок збільшення випарування з поверхні коефіцієнтами фільтрації.

озера і зменшення кількості опадів рівень озера в 2019 р. понизився на 30,4 см. Як наслідок, за період з осені 2019 р по червень 2020 р. рівні ґрунтових вод понизилися більш ніж на 1 м та встановилися практично на рівні поверхні озера. Різка погіршення екологічного стану озера також пов'язане з впливом антропогенних чинників, зокрема замуленням і кольматажем джерел напірного живлення, будівництвом автомобільних доріг, житлової забудови навколишньої території, а також зміною технології очищення резервуарів питної води водопровідної станції «Виноградар-1». За умови повторення кліматичного сценарію 2019 р. і весни 2020 р. існує реальна небезпека повної деградації озера. Зменшення інтенсивності обміління озера можливе за рахунок збільшення притоку поверхневих і ґрунтових вод шляхом перенаправлення до озера поверхневого і каналізаційного стоку (після очищення), а також дренажного стоку як із території природного водозбору озера, так і з поза його меж. Розчищення і днопоглиблення озера дозволить збільшити глибину при меженних відмітках та забезпечить розкриття закольматованих джерел підземного живлення. Це також забезпечить покращення екологічного стану озера, оскільки інтенсивність заростання повітряно-водною рослинністю різко зменшується при глибинах більше 1,5 м. Наповнення озера за рахунок вод напірних горизонтів є недоцільним через неминучі фільтраційні втрати, оскільки рівні ґрунтових вод на прибережній ділянці північної частини озера на сьогодні є нижчими від рівнів озера, а переважаючі піщані ґрунти навколо озера характеризуються високими

### Бібліографія

1. Milly P.C.D., Dunne K.A. Colorado River flow dwindles as warming-driven loss of reflective snow energizes evaporation // *Science*. 2020. Mar 13, 367(6483). P. 1252–1255.
2. Гутброд К., Адаменко Т. та ін. Міграція кліматичних зон на північ. URL: <https://landlord.ua/wp-content/page/pid-udarom-stykhii-iak-mihruuiut-klimatychni-zony-v-ukraini/> (дата звернення: 01.04.2020).
3. Вишневецький В.І., Шевчук С.А. Зміни клімату та їх вплив на водність річок та умови сільськогосподарського виробництва // *Меліорація і водне господарство*. 2015. Вип. 102. С. 101–108.
4. Ромащенко М.І., Яцюк М.В., Сидоренко О.О. та ін. Причини обміління Шацьких озер і шляхи регулювання їх водного балансу // *Вісник аграрної науки*. 2020. № 8(809). С. 5–13.
5. Драган С.В. Озеро Синє – еколого-гідрологічні характеристики // *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2011. № 3(24). С.145–150
6. Афанасьев С.А. Характеристика гидробиологического состояния разнотипных водоемов города Киева // *Вестник экологии*. 1996. № 1-2. С. 112–118
7. Екологічні проблеми київських водойм і прилеглих територій / За ред. Романенка О.В. Київ: Наукова думка, 2015. 192 с.
8. Шерешевський А.І., Синицька Л.К. Сучасна оцінка розрахункового випарування з водної поверхні дніпровських водосховищ з метою його врахування при розробці режимів роботи

ГУС // Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 213–228.

9. Постников А.Н. Формулы для расчета среднего годового испарения с поверхности суши и радиационный баланс водной поверхности // Проблемы современной гидрологии. Сб. науч. трудов гидрологич. фак-та, СПб. 2004. С. 143–153.

10. Постников А.Н. Приближенный метод оценки испарения с озер и водохранилищ // Уч. зап. РГГМУ. 2010. № 13, С. 21–29.

11. Мезенцев В.С. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Учебное пособие. Омск: Изд-во Омского с.-х. ин-та, 1982. 84 с.

### References

1. Milly, P.C.D., & Dunne, K.A. (2020). Colorado River flow dwindles as warming-driven loss of reflective snow energizes evaporation [Colorado River flow dwindles as warming-driven loss of reflective snow energizes evaporation]. *Science*, 367(6483), 1252–1255.

2. Hutbrod, K., & Adamenko, T. et al. Migrations of climatic zones to the north. landlord.ua. Retrieved from: <https://landlord.ua/wp-content/page/pid-udarom-stykhii-iak-mihruuiut-klimatychni-zony-v-ukraini>. [in Ukrainian]

3. Vyshnevskij, V.I., & Shevchuk, S.A. (2015). Zminy klimatu ta yix vplyv na vodnist` richok ta umovy silskogospodarskogo vyrobnytstva [Climate change and its impact on river water content and conditions of agricultural production]. *Melioraciya i vodne gospodarstvo*, 102, 101–108 [in Ukrainian]

4. Romashchenko, M., Yatsiuk, M., Sydorenko, O., Nechai, O., Voropai, H et al. (2020). Prychyny obmilinnia Shatskykh ozer i shliakhy rehuliuвання yikh vodnoho balansu [Causes of Shatsk Lakes shoaling and ways of regulation of their water balance]. *Visnyk aharnoi nauky*, 8(809), 5–13. [in Ukrainian]

5. Drahan, S.V. (2011). Ozero Synie – ekoloho-hidrolohichni kharakterystyky [Blue Lake – ecological and hydrological characteristics]. *Hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii*, 3(24), 145–150. [in Ukrainian]

6. Afanasev, S.A. (1996) Kharakterystyka hydrobyolohycheskoho sostoianiya raznotypnykh vodoemov horoda Kyeva [Characteristics of the hydrobiological state of different types of water bodies in the city of Kiev]. *Vestnyk ekolohyy*, 1-2, 112–118. [in Russian]

7. Romanenko, O.V., Arsan, O.M., Kipnis, L.S., & Sytnyk, Yu.M. (2015). Ekologichni problemy kyyivskykh vodojm i pryglyx terytorij [Ecological problems of Kyiv reservoirs and adjacent territories]. Romanenko O.V. (Ed). Kyiv. Naukova dumka. [in Ukrainian]

8. Shereshevskiy, A.I., & Synytska, L.K. (2006). Suchasna otsinka rozrakhunkovoho vyparuvannya z vodnoi poverkhni dniprovykh vodoshkovyshch z metoiu yoho vrakhuvannya pry rozrobttsi rezhyimiv roboty HUS [Modern estimation of the calculated evaporation from the water surface of the Dnieper reservoirs in order to take it into account when developing the modes of operation of the GUS]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, 255, 213–228. [in Ukrainian]

9. Postnykov, A.N. (2004). Formuly dlia rascheta sredneho hodovoho ysparenyia s poverkhnosty sushy y radyatsyonnyi balans vodnoi poverkhnosty [Formulas for calculating the mean annual evaporation from the land surface and the radiation balance of the water surface]. *Problemy sovremennoi hydrolohyi*. Sb. nauch. trudov hydrolohych. fak-та, SPb, 143–153. [in Russian]

10. Postnykov, A.N. (2010). Pryblyzhennyi metod otsenky ysparenyia s ozer y vodokhranylyshch [Approximate method for estimating evaporation from lakes and reservoirs] *Uch. zap. RHHMU*, 13, 21–29. [in Russian]

11. Mezentsev, V.S. (1982). Hydrolohicheskiye raschety v melyoratyvnykh tseliakh [Hydrological calculations for reclamation purposes]. *Uchebnoe posobie*. Омск: Yzd-vo Om. s.-kh. yns-та. [in Russian]

### О.Н. Козицкий, С.А. Шевчук, И.А. Шевченко, Н.В. Логунова Причины понижения уровня озера Синее

#### и мероприятия по улучшению его экологического состояния

**Аннотация.** По данным экспертов Всемирной метеорологической организации, среднегодовая температура на планете выросла на 1 °C по сравнению с доиндустриальным периодом, что привело к резкому увеличению испарения и, как следствие, стало причиной уменьшения речного стока на 9,3%. В Украине температура воздуха изменяется значительно быстрее чем в целом в мире. За последние годы она выросла на 2 °C по сравнению с климатической нормой. В результате агроклиматические зоны сместились на север на расстояние около 200 км. В работе приведены результаты количественной дискретной оценки природных и техногенных факторов, обусловивших резкое понижение уровней озера Синее в последние годы. В результате выполненных исследований

установлено, что уменьшение стока рек и объема природных водоемов, прежде всего, является результатом интенсивного роста температуры воздуха в последние десятилетия и обусловленного им увеличения объемов испарения влаги с поверхности водоемов и водосборов. Другими важными причинами уменьшения водности оз. Синее является уменьшение количества осадков и хозяйственная деятельность, в частности строительство дорог, интенсивная застройка территории и отвод дренажного и поверхностного стока за пределы водосбора озера. Из-за отсутствия снежного покрова в 2020 г. весеннее половодье на равнинных реках Украины прошло с расходами, что значительно меньше нормы, в частности сток р. Ирпень за период с 2011 г. уменьшился в 1,46 раза по сравнению с предыдущим периодом 1958–2010 гг., а за последние 5 лет он уменьшился почти в 2 раза. Из-за незначительных объемов паводкового притока не произошло наполнение водохранилищ и озер к нормативными уровням, а в результате уменьшения количества осадков и роста испарения значительно понизились уровни грунтовых вод, что обусловило уменьшение почвенного притока к водоемам. При повторении климатического сценария 2019 гидрологического года уровни воды оз. Синее могут снизиться значительно ниже исторических отметок и привести к полной дегградации озера. Улучшение экологического состояния озера возможно за счет увеличения притока поверхностных и грунтовых вод путем перенаправления к озеру поверхностного и дренажного стока с территории природного водосбора озера, а также в результате расчистки и дноуглубления озера, что позволит увеличить глубину при меженных отметках и обеспечит раскрытие закольматированных источников подземного питания.

**Ключевые слова:** озеро, бассейн, гидрологический режим, уровень воды, осадки, испарение, природные условия, антропогенная нагрузка.

**O.M. Kozytskyi, S.A. Shevchuk, I.A. Shevchenko, N.V. Logunova**

#### **Factors of lowering the Lake Syne level and measures to improve its ecological state**

**Abstract.** According to experts from the World Meteorological Organization, the average annual temperature on the planet has increased by 1 °C compared to the pre-industrial period, which led to a sharp increase in evaporation and, consequently, caused a decrease in river runoff by 9,3%. In Ukraine, air temperature changes much faster than in the world as a whole. In recent years, it increased by 2 °C compared to the climatic norm, which has caused the shift of agro-climatic zones to the north in a distance of about 200 km. The paper presents the results of quantitative discrete assessment of natural and man-made factors that have led to a sharp lowering of the Lake Synye levels in recent years. The study has shown that the decrease in river runoff and the volume of natural reservoirs is primarily the result of an intensive increase in air temperature in recent decades and the resulting increase in the evaporation of moisture from the surface of reservoirs and watersheds. Other important reasons for the decrease in water content of Synye lake is the reduction of precipitation and economic activities, including the construction of roads, intensive development of the adjacent territory as well as drainage and surface runoff outside the catchment area of the lake. Due to the lack of snow cover in 2020, the spring floods on the plains of Ukraine were characterized with much lower flow rates than usual, in particular the runoff of the Irpin River since 2011 has decreased by 1,46 times compared to the previous period of 1958–2010, and over the past 5 years, it has decreased almost 2 times. Due to small volumes of flood inflow, reservoirs and lakes were not filled up to the regulatory levels, and as a result of decreasing rainfall and increasing evaporation, groundwater levels decreased significantly, resulting in a decrease in groundwater inflow to reservoirs. Subject to the repetition of the climate scenario of 2019 hydrological year, the water levels in Lake Syne can fall well below historical levels and it can lead to complete degradation of the lake. Improving the ecological condition of the lake is possible by increasing the inflow of surface and groundwater by redirecting to the lake surface and drainage runoff from the natural catchment area of the lake, as well as by clearing and dredging the lake, which will increase the depth at the boundary marks and ensure the disclosure of clogged underground feeding sources.

**Key words:** lake, basin, hydrological regime, water levels, precipitation, evaporation, natural conditions, anthropogenic load.