

## ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК [556.3+556.552]-047.58:502.51(285):551.579.5(477.52)  
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.99.09>

О. Кошляков, д-р геол. наук, проф.,  
E-mail: kosh57@ukr.net;  
О. Диняк, канд. геол. наук, доц.,  
E-mail: oksdyn@ukr.net;  
Д. Чомко, канд. геол. наук, доц.,  
E-mail: dimath@ukr.net;  
І. Кошлякова, інж.,  
E-mail: irkos@ukr.net;

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

**ОЦІНЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ ВОДНОГО БАЛАНСУ ОЗЕРА ЛЕБЕДИНЕ  
(СУМСЬКА ОБЛАСТЬ)**

(представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. дослідником О. І. Меньшовим та д-ром геогр. наук, проф. В. В. Гребнем)

Представлено кількісний аналіз зв'язку між поверхневими і підземними водами на території, прилеглої до озера Лебедине (Сумська область). Попередні дослідження не дають пояснення впливу та кількісної оцінки величини підземного стоку на коливання рівня озера. Авторами статті запропоновано розв'язання проблеми на основі розрахунку водного балансу. Наведено результати досліджень гідрогеологічних умов території поблизу озера та результати кількісного оцінювання підземної складової водного балансу. Установлено, що рівневий режим озера Лебедине обумовлений метеорологічними чинниками, рельєфом місцевості й умовами взаємозв'язку поверхневих і підземних (передусім ґрунтових) вод. Також установлено, що ґрунтові води в алювіальних відкладах на прилеглої до озера території відділені від водоносних горизонтів, що залягають нижче, потужним шаром водотривких гірських порід. Отже, тривала експлуатація згаданих водоносних горизонтів і комплексів з метою централізованого водопостачання не може бути безпосередньою причиною зміни природного водного балансу ґрунтових вод та озера. Також незначне антропогенне навантаження на прилеглої території не можна вважати чинником, що помітно впливає на природний водний баланс. Живлення ґрунтових вод на території досліджень відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і перетікання поверхневих вод з озера у ґрунтові. Зміна рівня води в озері дуже швидко зумовлює зміну рівня води у ґрунтовому водоносному горизонті, і навпаки. За даними розрахунків, загальні втрати з озера на живлення ґрунтових вод становлять близько 207,1 м³/доба, або 75600 м³/рік. Отримані результати є основою для наукового обґрунтування проєктування системи локального моніторингу за станом ґрунтових вод на території, прилеглої до озера Лебедине.

**Ключові слова:** водний баланс, гідрогеологічна модель, взаємозв'язок між поверхневими і підземними водами, ґрунтові води, інфільтрація.

**Постановка проблеми.** Аналіз ситуації, що складається на водних об'єктах України впродовж останніх десятиліть, свідчить про подальше загострення проблеми забезпеченості водними ресурсами населення і галузей господарського комплексу. Період маловоддя, що триває на річках та озерах України вже близько десяти років, досягнув критичної межі у 2020 році, що стало наслідком поєднання кількох факторів: посушливої осені попереднього року, теплої, малосніжної зими та наступного дефіциту опадів у березні – квітні. Наслідком такої ситуації стала дуже низька водність більшості річок країни, що у квітні 2020 року досягла значень, більш характерних для середини – кінця літа (*Рішення РНБО України "Про стан водних ресурсів України", 2021*).

Міліють не лише річки, міліють і озера (широко освітлюється в засобах масової інформації проблема обміління перлини України – озера Світязь). Суттєво знижуються рівні води в колодязях і свердловинах, що викликає занепокоєність населення країни, переважно сільського, для якого колодязі є єдиним джерелом питного водопостачання. Проблема маловоддя торкнулася не тільки значних за розмірами водних об'єктів (таких як озеро Світязь або великі річки України).

Ситуація, що склалася, вимагає негайного розроблення і впровадження низки заходів, передбачити які має Водна стратегія України, розроблення якої ведуть провідні науково-дослідні установи країни. Проблема має комплексний характер і для розв'язання потребує

об'єднання зусиль державних органів влади, органів місцевого самоврядування та вчених.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема маловоддя впродовж останніх років на річках та озерах України торкнулася і озера Лебедине (м. Лебедин Сумської обл.). Останні інженерно-геологічні вишукування для поліпшення технічного стану та благоустрою озера проводилися у 2013 р. Їх результати представлено у звіті (*Хоруженко та ін., 2013*). З'ясування причин різкого обміління озера Лебедине із застосуванням водно-балансового методу міститься у статтях (*Lukianets and Grebin, 2020; Chomko et al., 2020; Лук'янець та Гребінь, 2021*). У цих роботах для об'єктивного оцінювання змін, що відбулися у водообміні озера, проведено порівняння складових водного балансу за два періоди – кліматичної норми (1961–1990 рр.) та сучасний (1991–2019 рр.) (табл. 1).

Для оз. Лебедине кількісні показники складових водного балансу нерівнозначні як усередині досліджуваних періодів, так і між ними. Автори згаданих публікацій вважають, що обміління озера – значною мірою природно обумовлений процес. У сучасний період спостерігається зменшення кількості атмосферних опадів і, як наслідок, схилового припливу води в озеро, а підвищення температури повітря обумовлює збільшення інтенсивності випаровування.

Проте до недавнього часу мало уваги було приділено визначенню фільтрації (підземного відтоку) з озера Лебедине. Метою статті є кількісне оцінювання фільтрації як складової водного балансу озера Лебедине.

Таблиця 1

Водний баланс оз. Лебедине (Lukianets and Grebin, 2020)

| Компоненти водного балансу озера, м <sup>3</sup> |                                                          | Період, роки |           |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------|-----------|
|                                                  |                                                          | 1961–1990    | 1991–2019 |
| Компоненти надходження                           | приплив води із площі, прилеглої до озера (схилний стік) | 921500       | 760000    |
|                                                  | атмосферні опади на дзеркало озера                       | 311480       | 274890    |
| Компоненти втрачання                             | випаровування із дзеркала озера і транспірація           | 1135250      | 1040490   |
|                                                  | фільтрація (підземний відтік) з озера                    | 75600        | 75600     |
| Акумулятивна компонента об'єму води в озері      |                                                          | +22130       | -81200    |

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення балансової складової фільтрації (підземного відтоку)  $V_f$  протягом року автори детально досліджували зв'язок між поверхневими водами озера Лебедине та ґрунтовими водами водоносного горизонту в алювіальних відкладах голоцену заплави річок, їхніх приток і днищ балок (аН).

Ґрунтові води горизонту залягають на глибинах від 3 до 6 м, рідше глибше (в деяких районах статичний рівень зафіксований на глибині 4,08–15,4 м). Водовміщуючі породи мають неоднорідний літологічний склад і мінливу потужність, здебільшого це піски різнозернисті, глинисті. Потужність водоносного горизонту коливається від 9,6 до 18,1 м. Нижнім водотривом є щільні породи кийської світи еоцену ( $P_2kv$ ) (Державна геологічна карта України, н.д.). За хімічним складом води горизонту сульфатно-гідрокарбонатні кальцієві та гідрокарбонатні магнієво-кальцієві із загальною мінералізацією до 0,33–0,53 г/дм<sup>3</sup> і загальною твердістю від 3,75 до 5,62 ммоль/дм<sup>3</sup>. Характерним є підвищений вміст заліза до 1,64 мг/дм<sup>3</sup> (ГДК – 0,3 г/дм<sup>3</sup>). Живлення ґрунтових вод горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, перетікань із поверхневих водойм (зокрема озера Лебедине), а також за рахунок перетікання із нижчезалягаючих водоносних горизонтів у місцях дренування останніх річками.

На території досліджень рівень ґрунтових вод фіксується в середньому на глибині 2,2 м від поверхні. Ґрунтові води відділені від водоносних горизонтів, що залягають нижче, потужним шаром водотривких гірських порід, тобто не мають між собою значущого гідравлічного зв'язку. Тому, на думку авторів статті, існуюча тривала експлуатація згаданих водоносних горизонтів і комплексів з метою водопостачання не може бути безпосередньою причиною значущої зміни природного водного балансу ґрунтових вод та озера.

За результатами опрацювання матеріалів фондів досліджень у геолого-гідрогеологічному розрізі району озера Лебедине виділяють чотири різні шари ґрунту (Хоруженко та ін., 2013):

1. Рослинний шар – пісок темно-сірий гумусований, малого ступеня водонасичення. Потужність шару до 0,3 м.

2. Пісок середньої крупності світло-сірий, жовтий, пухкий із прошарками середньої щільності, малого ступеня водонасичення, із прошарками супіску та суглинку 10–15 %. Потужність шару від 1,5 до 4,1 м.

3. Пісок мілкий сірий, світло-сірий, жовтий, пухкий із прошарками середньої щільності та піску пилюватого до 15 %, насичений водою, із включеннями гравію та гальки до 10 %, із прошарками супіску та суглинку 10–15 %. Потужність шару від 0,2 до 2,4 м.

4. Пісок мілкий сірий, світло-сірий, жовтий, щільний, вологий, черепашко-дитритове включення до 5 %, із прошарками супіску та суглинку 10–15 %. Потужність шару від 0,7 до 0,8 м.

За даними власних польових досліджень авторів у червні 2020 року та наявних фондів матеріалів, на прибережних ділянках озера було зазначено місця підповерхневого стоку вод атмосферних опадів в озеро. На

низьких заплавах місцями ґрунтові води містяться дуже близько до денної поверхні й утворюють заболочені ділянки, але на час досліджень такі ділянки майже висохли. На віддаленні від озера рівні ґрунтових вод стають нижчими за рівень води в озері, вони зменшуються в усіх напрямках від озера (Хоруженко та ін., 2013): дзеркало ґрунтових вод розходить куполом від 123,5 м (рівень оз. Лебедине, позначка дна озера 122,2 м) до 122,1–122,2 м на північ, 122,0–122,1 м на південь, 121,8–122,0 м на схід та 121,2–122,2 м на захід (рис. 1).

Таке розташування рівнів поверхневих та ґрунтових вод свідчить про те, що між водами оз. Лебедине і ґрунтовими водами існує дуже тісний гідравлічний зв'язок. Зміна рівня води в озері швидко приводить до зміни рівня в ґрунтовому водоносному горизонті, і навпаки.

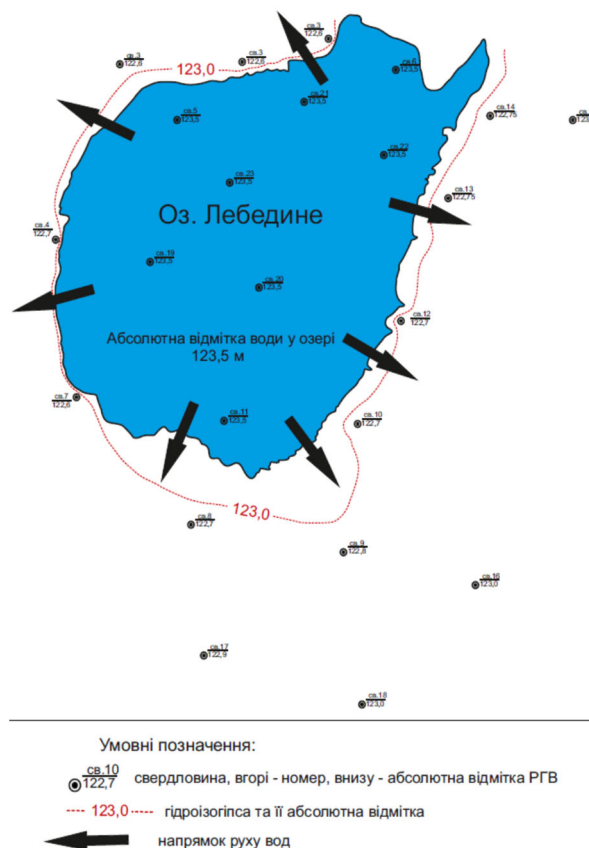


Рис. 1. Рівні ґрунтових вод поблизу оз. Лебедине

Слід зауважити, що результати наявних багаторічних регіональних гідрогеологічних спостережень (Прогноз рівнів ґрунтових вод на території України, 2008, 2010, 2011, 2018) по двох найближчих до озера Лебедине свердловинах (рис. 2) Державної моніторингової мережі не фіксують в останні роки суттєвих змін глибини залягання рівня ґрунтових вод на території (табл. 2).

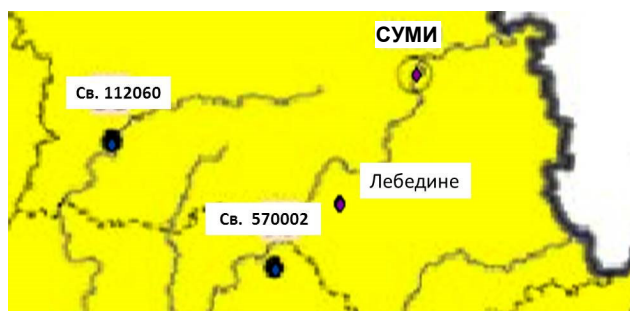


Рис. 2. Наявні режимні свердловини

З наведеного можна зробити висновок, що в регіональному плані суттєві зміни рівня ґрунтових вод не спостерігаються. Тому з позиції подальших кількісних розрахунків підземних втрат води з озера як складової загального водного балансу озеро Лебедине по всьому периметру слід вважати зоною живлення потоку ґрунтових вод, а незначне антропогенне навантаження на прилеглу до озера територію (передусім наявність колодязів та свердловин, що каптують ґрунтові води), за даними польових обстежень авторів, не може бути чинником, що помітно впливає на підземний відтік. Саме за таких умов авторами виконаний розрахунок підземного відтоку  $V_{\phi}$  з озера Лебедине.

Таблиця 2

Рівні ґрунтових вод у спостережних свердловинах

| №          | Середній багаторічний рівень ґрунтових вод від поверхні землі, м | Середньорічні фактичні рівні за рік, м |      |      |      |      |
|------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------|------|------|------|
|            |                                                                  | 2008                                   | 2010 | 2011 | 2018 | 2019 |
| Св. 112060 | 3,82                                                             | 3,97                                   | 3,93 | 3,80 | 3,78 | 3,74 |
| Св. 570002 | 2,18                                                             | 2,35                                   | 2,60 | 2,60 | 2,57 | 2,61 |

Загальна математична модель руху підземних вод у просторі описується рівняннями математичної фізики еліптичного або параболічного типу (Жернов, 1982; Гавич і др., 1983). При розрахунках руху ґрунтових вод режим фільтрації вважають жорстким (зневажають деформацією гірської породи та рідини), а рівняння має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_z \frac{\partial H}{\partial z}) = 0, \quad (1)$$

де  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$  – коефіцієнти фільтрації у напрямках осей координат.

Для практичного застосування моделі авторами виконано схематизацію умов геофільтрації відповідно до умов конкретного об'єкта розрахунків. У процесі виконаної схематизації можна виділити три послідовні етапи: створення природної гідрогеологічної моделі; створення геофільтраційної моделі; створення розрахункової математичної моделі (Гавич, 1980; Дробноход, 2008).

Природна гідрогеологічна модель була створена на основі інформації, що міститься в наявних фондових матеріалах і спеціальній науковій літературі (Хоруженко та ін., 2013). Зокрема, це інформація про геологічну будову території, умови залягання і розповсюдження водоносних і слабопроникних шарів, основні джерела формування підземних вод, умови живлення і розвантаження підземних вод, гідрогеологічні параметри водоносних і слабопроникних шарів та закономірності їх зміни в плані та розрізі, умови взаємозв'язку підземних і поверхневих вод, умови інфільтрації атмосферних опадів, джерела живлення і розвантаження підземних вод тощо.

Далі природна модель перетворювалась на геофільтраційну, на якій реальна природна гідрогеологічна обстановка формалізувалась шляхом виділення основних чинників формування підземних вод. Потім на основі геофільтраційної моделі була створена розрахункова математична модель, що враховує режим фільтрації, кількість розрахункових шарів у розрізі, межі області фільтрації, крайові умови та розрахункові значення гідрогеологічних параметрів.

Оскільки природна гідрогеологічна модель є структурою, розміри якої у площині набагато перевищують потужність геологічних шарів, далі для розрахунків була використана модель планового потоку підземних вод (передумова Дюпюї) (Жернов, 1982).

Отже, базове рівняння (1) стосовно планового потоку ґрунтових вод має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_x \cdot h \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \cdot h \frac{\partial H}{\partial y}) + W = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (2)$$

де  $h$  – потужність потоку ґрунтових вод;  $W$  – інтенсивність інфільтраційного живлення потоку;  $\mu$  – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі гірської породи.

Відсутність даних режимних спостережень за рівнями ґрунтових вод та рівнем води в озері унеможливають на даний час використати модель неусталеного руху, тому автори використали модель усталеного руху потоку ґрунтових вод. У такому разі рівняння (2) перетворюється на наступне:

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_x \cdot h \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_y \cdot h \frac{\partial H}{\partial y}) + W = 0. \quad (3)$$

При подальшому корегуванні розрахункової математичної моделі автори виходили з того, що фактичний розрахунок втрат води з озера Лебедине на живлення ґрунтових вод (витрати потоку ґрунтових вод) можливо здійснити лише за течією, що відповідає наявним інженерно-геологічним розрізам (Хоруженко та ін., 2013). Тому в підсумку була використана модель усталеного одновимірного потоку. При розрахунках таких потоків приймається, що ширина потоку дорівнює 1 м. Витрата потоку, ширина якого дорівнює 1 м, має назву питомої витрати і позначається як  $q$ . Розмірність питомої витрати –  $\text{м}^2/\text{доба}$ . Щоб отримати загальну величину витрати потоку ґрунтових вод  $Q$  (у  $\text{м}^3/\text{доба}$ ), необхідно осереднену питому витрату помножити на довжину берегової лінії озера.

При розгляді усталених одновимірних потоків зазвичай розрізняють три основні схеми їхньої будови: потік зі сталим коефіцієнтом водопровідності, однорідний безнапірний потік (схема Дюпюї), однорідно-шаруватий безнапірний потік (схема Гринського) (Жернов, 1982; Гавич і др., 1983). Для обґрунтованого вибору схеми будови потоку було проаналізовано матеріали наявних інженерно-геологічних розрізів і результати лабораторних визначень властивостей ґрунтів (Хоруженко та ін., 2013). За цими даними водонасичена товща складається із двох головних шарів. Зверху залягає шар пісків середньої крупності завтовшки 0,6–1,9 м, знизу – пісок дрібний завтовшки 1,8–3,0 м. Коефіцієнт пористості пісків нижнього шару змінюється від 0,39 до 0,472, середнє значення становить 0,427.

Оскільки відсутні фактичні дані про коефіцієнти фільтрації згаданих шарів, то коефіцієнти фільтрації були визначені за наявними даними фактичного літологічного опису порід і табл. 3.

Таблиця 3

| Значення коефіцієнта фільтрації для різних порід (Стольберг та ін., 2000) |                               |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Характеристика породи                                                     | Коефіцієнт фільтрації, м/доба |
| Глина                                                                     | < 0,0001                      |
| Суглинок                                                                  | 0,0001–0,0100                 |
| Супісок                                                                   | 0,001–1,000                   |
| Пісок пилюватий                                                           | 0,01–1,00                     |
| Пісок дрібний                                                             | 0,1–10,0                      |
| Пісок середньої крупності                                                 | 1–10                          |
| Пісок крупний                                                             | 10–100                        |
| Гравій, галька                                                            | 100–10000                     |
| Нетріщинуваті породи                                                      | 0,01                          |
| Слаботріщинуваті породи                                                   | 0,01–10                       |
| Тріщинуваті породи                                                        | 10–30                         |
| Дуже тріщинуваті породи                                                   | 30–100                        |

Для подальших розрахунків використано такі коефіцієнти фільтрації: для верхнього шару  $K_1 = 1,0$  м/доба, для нижнього  $K_2 = 0,4$  м/доба.

Подальша схематизація вимагала зведення неоднорідної (двошарової) товщі до квазіоднорідної (одношарової). Для цього за умови невеликої кількості точок визначення параметрів зазвичай використовують емпіричний критерій у вигляді співвідношення коефіцієнтів фільтрації (Гавиц, 1980):

$$\frac{K_1}{K_2} \leq 3 \dots 5. \quad (4)$$

Тоді за розрахункове приймають середньоарифметичне значення коефіцієнта фільтрації або використовують сумарну загальну водопровідність товщі.

У нашому випадку  $\frac{K_1}{K_2} = \frac{1,0}{0,4} = 2,5 \leq 3$ , тобто товщу можна вважати квазіоднорідною у фільтраційному сенсі. Тому для подальших розрахунків можна використати згадану раніше схему одновимірного потоку зі сталим коефіцієнтом водопровідності  $T$ , а саме таке рівняння:

$$\frac{d^2 H}{dx^2} + \frac{w}{T} = 0. \quad (5)$$

Розв'язки рівняння (5) відомі, вони наведені, наприклад, у (Жернов, 1982).

Для визначення гідродинамічного напору  $H_x$  у будь-якому перетині  $x$  (див. рис. 3) має вигляд

$$H_x = H_0 + \frac{H_L - H_0}{L} \cdot x + \frac{w \cdot x}{2 \cdot T} \cdot (L - x). \quad (6)$$

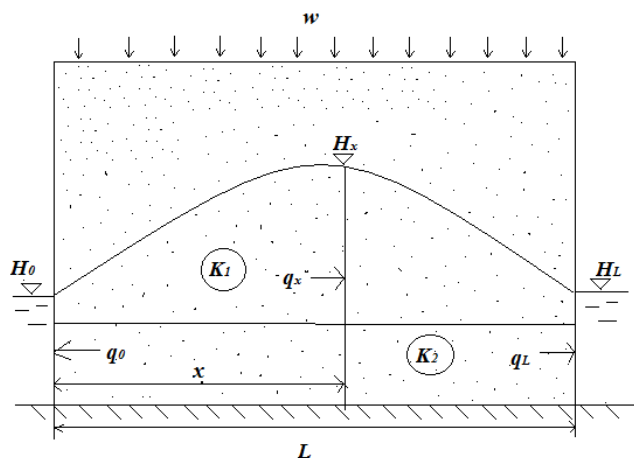


Рис. 3. Схема одновимірного потоку ґрунтових вод

Питома витрата потоку  $q_x$  у будь-якому перетині  $x$  визначається за залежністю

$$q_x = -T \cdot \frac{dH}{dx} = T \cdot \frac{H_0 - H_L}{L} - w \cdot (0,5 \cdot L - x). \quad (7)$$

Для витрат на межах потоків  $q_0$  і  $q_L$  маємо

$$\begin{aligned} q_0 &= T \cdot \frac{H_0 - H_L}{L} - \frac{w \cdot L}{2}; \\ q_L &= T \cdot \frac{H_0 - H_L}{L} + \frac{w \cdot L}{2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо інфільтраційне живлення потоку (надходження води у потік по вертикалі) можна вважати несуттєвим ( $w \approx 0$ ), то відповідні рівняння матимуть вигляд

$$H_x = H_0 + \frac{H_L - H_0}{L} \cdot x; \quad q = q_0 = q_L = T \cdot \frac{H_0 - H_L}{L}. \quad (9)$$

Враховуючи малу відстань від озера до свердловин (від 14 до 79 м), інфільтраційне живлення потоку на ділянці розрахунків можна вважати несуттєвим ( $w \approx 0$ ). Тому питома втрата води з озера на живлення ґрунтових вод  $q$  (у м<sup>2</sup>/доба) визначалась саме за допомогою залежності (9). Тут  $H_0$  відповідає позначці рівня ґрунтових вод у свердловині, м;  $H_L$  – позначка рівня води в озері, м;  $L$  – відстань від озера до свердловини, м;  $T$  – сумарна загальна водопровідність товщі, м<sup>2</sup>/доба. Відповідна розрахункова схема наведена на рис. 4.

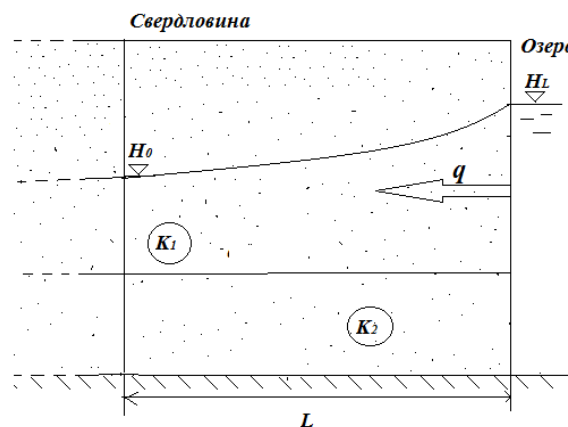


Рис. 4. Прийнята розрахункова схема одновимірного потоку ґрунтових вод для визначення питомої втрати води з озера

Результати розрахунків за залежністю (9) представлені в табл. 4.

Враховуючи величину периметра озера, за даними табл. 4 можна визначити імовірну величину підземного відтоку  $B_\phi$  (втрат води з озера Лебедине на живлення ґрунтових вод). Результати такого визначення наведені в табл. 5.



Таблиця 4

## Результати авторських розрахунків питомих втрат води з озера Лебедине

|                                           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Абс. відм. поверхні озера, м              | 123,50000 |           |           |           |           |           |           |           |           |
| Розріз                                    | 1-1       | 1-1       | 2-2       | 2-2       | 3-3       | 4-4       | 4-4       | 5-5       | 5-5       |
| № св.                                     | 1         | 14        | 2         | 13        | 3         | 4         | 12        | 7         | 10        |
| Абс. відм. рівня у свердлов., м           | 122,10000 | 122,20000 | 122,00000 | 122,20000 | 122,00000 | 122,00000 | 121,60000 | 121,80000 | 122,10000 |
| Відстань від озера до свердловини, м      | 50,00000  | 50,00000  | 43,40000  | 78,90000  | 50,00000  | 61,50000  | 14,00000  | 61,60000  | 37,70000  |
| Напірний градієнт                         | 0,02800   | 0,02600   | 0,03456   | 0,01648   | 0,03000   | 0,02439   | 0,13571   | 0,02760   | 0,03714   |
| Коеф. фільтр. шару 1, м/д                 | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   |
| Абс. відм. підшви шару 1, м               | 120,50000 | 120,50000 | 120,50000 | 120,50000 | 119,80000 | 120,20000 | 121,00000 | 120,40000 | 120,20000 |
| Коеф. фільтр. шару 2, м/д                 | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   | 0,40000   |
| Абс. відм. підшви шару 2, м               | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 | 118,00000 |
| Коеф. водопровідності шару 1, кв.м/д      | 1,60000   | 1,70000   | 1,50000   | 1,70000   | 2,20000   | 1,80000   | 0,60000   | 1,40000   | 1,90000   |
| Коеф. водопровідності шару 2, кв.м/д      | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 1,00000   | 0,72000   | 0,88000   | 1,20000   | 0,96000   | 0,88000   |
| Коеф. водопровідності сумарний, кв.м/д    | 2,60000   | 2,70000   | 2,50000   | 2,70000   | 2,92000   | 2,68000   | 1,80000   | 2,36000   | 2,78000   |
| Питома витрата потоку, кв.м/д             | 0,07280   | 0,07020   | 0,08641   | 0,04449   | 0,08760   | 0,06537   | 0,24429   | 0,06513   | 0,10324   |
| Питома витрата потоку середня, кв.м/д     |           |           |           |           |           |           |           |           | 0,83951   |
| Питома витрата потоку мінімальна, кв.м/д  |           |           |           |           |           |           |           |           | 0,04449   |
| Питома витрата потоку максимальна, кв.м/д |           |           |           |           |           |           |           |           | 0,24429   |
| Питома витрата потоку імовірна, кв.м/д    |           |           |           |           |           |           |           |           | 0,07868   |

Таблиця 5

Результати визначення величини підземного відтоку  $V_{\Phi}$ 

|                                                    |       |
|----------------------------------------------------|-------|
| Периметр озера, м                                  | 2632  |
| Підземний відтік імовірний, у м <sup>3</sup> /доба | 207,1 |
| Підземний відтік імовірний, у м <sup>3</sup> /рік  | 75600 |

**Висновки.** Установлено, що рівневий режим озера Лебедине обумовлений метеорологічними чинниками, рельєфом місцевості й умовами взаємозв'язку поверхневих і підземних (передусім ґрунтових) вод. Авторами статті детально досліджений зв'язок поверхневих і підземних вод на території, прилеглої до озера Лебедине.

Аналіз наявної геолого-гідрогеологічної інформації свідчить про те, що ґрунтові води в алювіальних відкладах на прилеглій до озера території відділені від водоносних горизонтів, що залягають нижче, потужним шаром водотривких гірських порід, тобто вони не мають між собою значущого гідравлічного зв'язку. Тому тривала експлуатація згаданих водоносних горизонтів і комплексів із метою централізованого водопостачання не може бути безпосередньою причиною зміни природного водного балансу ґрунтових вод та озера. Також незначне антропогенне навантаження на прилеглій території (наявність колодязів і свердловин, що каптують ґрунтові води) не можна вважати чинником, що помітно впливає на природний водний баланс озера.

Живлення ґрунтових вод на території досліджень відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і перетікання поверхневих вод з озера у ґрунті. Наявність згаданого перетікання підтверджується тим, що рівень ґрунтових вод відповідно до отриманих позначок навкруги озера зменшується в усіх напрямках. Така конфігурація гідроізогіпс свідчить про те, що між озером і ґрунтовими водами існує дуже тісний гідравлічний зв'язок. Зміна рівня води в озері дуже швидко зумовлює зміну рівня води в ґрунтовому водоносному горизонті, і навпаки. Отже, озеро Лебедине по всьому його периметру є зоною живлення потоку ґрунтових вод.

Авторами виконано розрахунок втрат води з озера Лебедине на живлення ґрунтових вод (підземного відтоку) за течією, результати наведено у табл. 4. Загальні втрати з озера на живлення ґрунтових вод становлять близько 207,1 м<sup>3</sup>/доба, або 75600 м<sup>3</sup>/рік.

Отримані результати є основою для наукового обґрунтування проєктування системи локального моніторингу за станом ґрунтових вод на території, прилеглій до озера Лебедине.

## Список використаних джерел

- Гавич, І.К. (1980). Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. М.: Недра, 358.
- Гавич, І.К., Ковалевский, В.С., Язвин, Л.С. и др. (1983). Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. Новосибирск: Наука, 241.
- Державна геологічна карта України (масштаб 1:200 000). (н.д.). Отримано з <http://geoinf.kiev.ua/>
- Дробноход, М.І. (2008). Оцінка запасів підземних вод. К.: ВПЦ "Київський університет", 384.
- Жернов, І.Е. (1982). Динамика подземных вод. К.: Вища школа, 324.
- Лук'янець, О.І., Гребін, В.В. (2021). Часова динаміка водно-балансових складових в басейні р. Псел. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1(59), 28-36. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.3>.
- Рішення РНБО України "Про стан водних ресурсів України" від 30 липня 2021 року. (2021). Отримано з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0049525-21#Text>
- Стольберг, Ф.В., Ладыженский, В.Н. и др. (2000). Экология города. К.: Либра, 464.
- Хоруженко, Ю.В. та ін. (2013). Поліпшення технічного стану та благоустрою озера Лебедине в м. Лебедин. *Технічний звіт за результатами інженерно-геологічних вишукувань*. К., ТОВ "Укргеоінвест Консалтинг", 40.
- Прогноз рівнів ґрунтових вод на території України на 2008 рік. (2008). Держ. служба геології та надр України, ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України". Відп. за вип. Н.Г. Пишна. К.: Б.в., 42.
- Прогноз рівнів ґрунтових вод на території України на 2010 рік. (2010). Держ. служба геології та надр України, ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України". Відп. за вип. Н.Г. Пишна. К.: Б.в., 41.
- Прогноз рівнів ґрунтових вод на території України на 2011 рік. (2011). Держ. служба геології та надр України, ДНВП "Державний інформаційний геологічний фонд України". Відп. за вип. Н.Г. Пишна. К.: Б.в., 39.
- Прогноз рівнів ґрунтових вод України на 2018-2019. (2018). Отримано з <http://geoinf.kiev.ua/publikatsiyi/prognoz-rivniv-gruntovix-vod/>
- Chomko, D., Koshliakov, O., Dnyniak, O., 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. *XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056092>
- Lukianets, O., Grebin, V. (2020). Water balance of lake Lebedyne in modern climatic conditions. *Conference Proceedings. XIV International Scientific Conference on "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056026.6>

## References

- Chomko, D., Koshliakov, O., Dyniak, O., 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. *XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056092>
- Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine "On the state of water resources of Ukraine" of July 30, 2021. (2021). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0049525-21#Text>
- Drobnokhod, M.I. (2008). Assessment of groundwater reserves. K.: PPC "Kyyivs'kyi universytet", 384. [in Russian]
- Gavich, I.K. (1980). Theory and practice of applying modeling to hydrogeology. M. Nedra, 358. [in Russian]
- Gavich, I.K., Kovalevsky, V.S., Yazvin, L.S. et al. (1983). Fundamentals of hydrogeology. Hydrogeodynamics. Novosibirsk: Nayka, 241. [in Russian]
- Khoruzhenko, Yu., V. et al. (2013). Improving the technical condition and improvement of Lake Lebedyne in Lebedyn. *Technical report on the results of engineering and geological surveys*. K., LLC "Ukrgeoinvest Consulting", 40. [in Ukrainian]
- Lukianets, O.I., Grebin, V.V. (2021). Time dynamics of water balance components in the Psel river basin Hydrology. *Hydrochemistry and Hydroecology*, 1(59), 28-36. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.1.3> [in Ukrainian]
- Lukianets, O., Grebin, V. (2020). Water balance of lake Lebedyne in modern climatic conditions. Conference Proceedings. *XIV International Scientific Conference on "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment"*, 10-13 November 2020, Kyiv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056026.6> [in Ukrainian]
- State Geological Map of Ukraine (scale 1:200 000). (n.d.). Retrieved from <http://geoinf.kiev.ua/> [in Ukrainian]
- Stolberg, F.V., Ladyzhensky, V.N. et al. (2000). Ecology of the City. K.: Libra, 464. [in Russian]
- Zhernov, I.E. (1982). Dynamics of groundwater. K.: Vyscha shkola, 324. [in Russian]
- Forecast of groundwater levels of Ukraine for 2008. (2008). State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. DNVP "GEOINFORM UKRAINE" Resp. for vip. N.H. Pyshna. K., 42. [in Ukrainian]
- Forecast of groundwater levels of Ukraine for 2010. (2010). State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. DNVP "GEOINFORM UKRAINE" Resp. for vip. N.H. Pyshna. K., 41. [in Ukrainian]
- Forecast of groundwater levels of Ukraine for 2011. (2011). State Service of Geology and Subsoil of Ukraine. DNVP "GEOINFORM UKRAINE" Resp. for vip. N.H. Pyshna. K., 39. [in Ukrainian]
- Forecast of groundwater levels of Ukraine for 2018-2019. DNVP "GEOINFORM UKRAINE". (2018). Retrieved from <http://geoinf.kiev.ua/publikatsiyi/prognoz-rivniv-gruntovix-vod/> [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 19.04.22

O. Koshliakov, Dr. Sci. (Geol.), prof., Head of the Department,  
E-mail: kosh57@ukr.net;  
O. Dyniak, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,  
E-mail: oksdyn @ukr.net;  
D. Chomko, Cand. Sci. (Geol.), Assoc. Prof.,  
E-mail: dimath@ukr.net;  
I. Koshliakova, Engineer,  
E-mail: irkos@ukr.net;  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,  
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

## ASSESSMENT OF THE FILTRATION COMPONENT OF THE WATER BALANCE OF LEBEDYNE LAKE (SUMY REGION)

*Quantitative analysis of the relationship between surface and groundwater in the area adjacent to Lebedyne Lake (Sumy region) is presented. Preliminary studies do not explain the role and quantification of groundwater runoff in lake level fluctuations. The solution to the problem is proposed by the authors based on the calculation of water balance. The article presents the results of research of hydrogeological conditions of the territory near the lake and the results of quantitative assessment of the underground component of the water balance. It has been established that the level regime of Lebedyne Lake is determined by meteorological factors, terrain and conditions of interconnection of surface and groundwater (primarily groundwater). It was also found that groundwater in alluvial deposits in the area adjacent to the lake is separated from the aquifers below, a thick layer of waterproof rocks. Therefore, the existing long-term operation of the mentioned aquifers and complexes for the purpose of centralized water supply cannot be a direct cause of changes in the natural water balance of groundwater and lakes. Also, low anthropogenic pressure in the surrounding area cannot be considered a factor that significantly affects the natural water balance. Groundwater supply in the study area is due to infiltration of precipitation and the flow of surface water from the lake into the groundwater. Changing the water level in the lake very quickly leads to a change in the water level in the soil aquifer, and vice versa. According to calculations, the total loss from the lake to groundwater supply is about 207.1 m<sup>3</sup>/day or 75600 m<sup>3</sup>/year. The obtained results are the basis for scientific substantiation of designing a system of local monitoring of groundwater status in the area adjacent to Lebedyne Lake.*

**Keywords:** water balance, hydrogeological model, relationship between surface and groundwater, groundwater, infiltration