

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-01>

УДК (UDC): 556.168+556.324+556.332.2

О. Л. ШЕВЧЕНКО¹, д-р геол. наук, старш. наук. співроб.,
голов. наук. співроб. лабораторії досліджень впливу кліматичних змін на водні ресурси
e-mail: shevch62@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

В. В. ШКЛЯРЕНКО¹,
аспірант, мол. наук. співроб. лабораторії досліджень впливу кліматичних змін на водні ресурси
e-mail: valentin.shkliarenko@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-9866-558X>

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України,
пр. Науки, 37, Київ, 03028, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПІДЗЕМНОГО СТОКУ ДО р. ГОЛОВЕСНІ (БАСЕЙН р. ДЕСНА) ЗА ПОСУШЛИВИЙ ПЕРІОД 2007-2021 рр.

Мета. Проаналізувати особливості динаміки підземного стоку на водозборі р. Головесні – правобережної притоки р. Десна, за посушливий період 2007-2021 рр. та виявити ознаки впливу змін клімату на режим ґрунтових вод.

Методи. Гідродинамічний скінчено-різницевий метод розрахунків питомих витрат ґрунтових вод за даними режимних спостережень за рівнями ґрунтових і поверхневих вод, гідродинамічний метод розрахунку складових балансу ґрунтових вод.

Результати. Розраховано питомі витрати ґрунтових вод до р. Головесня за даними спостережень по двох свердловинах та на гідрометричному посту за 2007-2021 рр.; визначено частку стоку ґрунтових вод в загальному стоці річки, виявлено зміни в динаміці інфільтраційного живлення та припливу ґрунтових вод до річки, що можуть бути пов'язані із знаком заряду статичного електричного поля приземного шару атмосфери, підвищенням температури повітря, збільшенням обсягів утримання вологи в зоні аерації після зниження РГВ.

Підземний стік до річки значною мірою компенсує втрати та стабілізує річковий стік у маловодні роки та під час гідрологічної посухи. Частка участі ґрунтових вод в загальному стоці р. Головесня за період відчутних кліматичних змін 2010-2020 рр. зростала від 37 до 60%. До 2016 р. хронологічні графіки демонструють більш чіткі сезонні закономірності: повторюваність коливань підземного стоку за весняний та осінній сезони; протилежні коливання витрат взимку та весною і відносно стабільний літній стік; характерні для осені максимальні, а для літа завжди мінімальні значення запасів та інфільтраційного живлення ґрунтових вод. У багатоводному 2016 р. інфільтраційне живлення і запаси ґрунтових вод за осінь та зиму різко зменшуються та набувають від'ємних значень внаслідок значного зниження РГВ в попередній період, несприятливого ходу температури та розподілу опадів, посилення відтоку до річки. У 2017-2021 рр. сезонні відмінності у живленні річки ґрунтовими водами майже нівелюються: роль ґрунтового живлення за літній період зростає, за весняний та осінній сезони зменшується.

Висновки. Виявлено зміни в живленні та розвантаженні ґрунтових вод, особливо в період після 2015 р., які можна трактувати як наслідки впливу несприятливих погодно-кліматичних умов у 2014-2015 рр. За 2018-2021 рр. відбулось зменшення ресурсів ґрунтових та поверхневих вод, що відповідає ознакам гідрологічної посухи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: підземний стік, ґрунтові води, річковий стік, питомі витрати, посуха, сезонність, баланс, шар стоку, втрати вологи, інфільтраційне живлення, рівень ґрунтових вод

Як цитувати: Шевченко О. Л., Шкляренко В. В. Особливості формування підземного стоку до р. Головесні (басейн р. Десна) за посушливий період 2007-2021 рр. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 41. С. 6-18. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-01>

In cites: Shevchenko, O. L. & Shkliarenko, V. V. (2024). Features of underground flow formation to the Golovesnya river (Desna basin) during the dry period 2007-2021. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (41), 6-18. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-01> (in Ukrainian)

© Шевченко О. Л., Шкляренко В. В., 2024



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Вступ

Актуальність досліджень динаміки підземного стоку до річок пов'язана з необхідністю збалансованого, заощадливого водокористування та управління водними ресурсами в умовах несприятливих змін клімату (тривалої посухи або надмірних опадів тощо), які наразі спостерігаються [1,2]. Чим більша частка підземного живлення річки, тим більш стійким є її стік в умовах зменшення поверхневого (атмосферного) живлення під час гідрологічної посухи [3]. Цю закономірність слід враховувати при плануванні водокористування: водозабори слід розміщувати та експлуатувати таким чином, щоб, з одного боку, забезпечити водопотребу місцевого населення та промислових

об'єктів, з іншого – не порушити умови формування ресурсів підземних і поверхневих вод та не призвести до їх кількісного виснаження [4-6]. З іншого боку, недооцінка швидкості змін погодних умов та нехтування умовами природної дренажності території на час багатоводних періодів може призвести до значних підтоплень [7], затоплень [8] та навіть катастрофічних наслідків.

Мета дослідження – аналіз особливості динаміки підземного стоку на водозборі р. Головесні, – правобережної притоки р. Десна, за посушливий період 2007-2021 рр. та виявити ознаки впливу змін клімату на режим ґрунтових вод.

Об'єкт та методи дослідження

На водозборі р. Десна розміщена одна з двох на сьогодні діючих в Україні водно-балансових станцій (рис. 1) (друга в Закарпатті). Завдяки наявності спостережних свердловин та унікальних даних безперервних комплексних спостережень за режимом поверхневого стоку і підземних вод, які

тривають з 50-60-х років минулого сторіччя [9], існує рідкісна можливість провести розрахунки підземного стоку до річки та інфільтраційного живлення найбільш точними методами і проаналізувати зміни в динаміці підземного стоку у співставленні із метеорологічними чинниками.

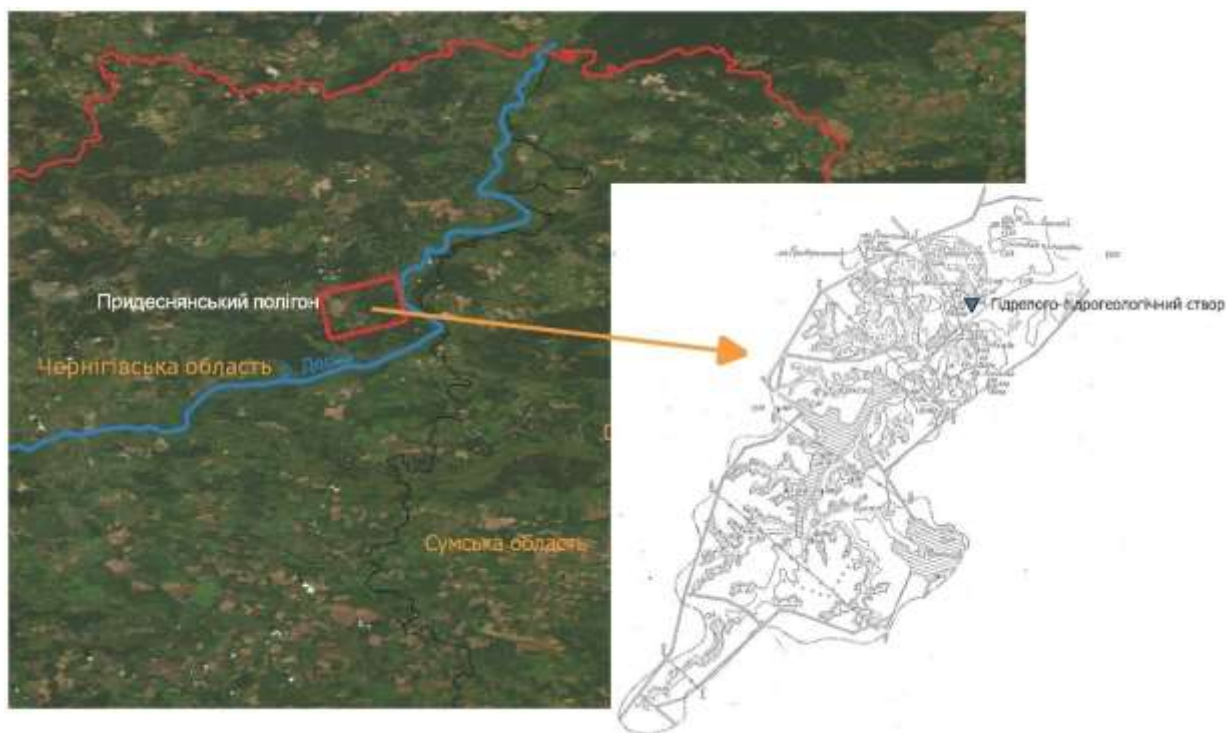


Рис. 1 – Розташування Придеснянської водно-балансової станції (полігону) із спостережними свердловинами, гідрометричними постами та метеостанцією

Fig. 1 – The location of the Prydesnian water balance station (landfill) with observation wells, hydrometric posts and a weather station

Слід також відзначити, що р. Десна є основним джерелом водопостачання для населення столиці України м. Києва: вона забезпечує 85% добової потреби у воді [10]. Отже дослідження особливостей формування стоку її малих приток теж мають велике практичне значення.

Водозбір р. Головесня (рис.1) приурочений до східного крила Дніпровського артезіанського басейну, що обумовлює неглибоке залягання напірних водоносних горизонтів еоцену, перекритих товщею слабообводнених четвертинних лесових елювіально-делювіальних та глинисто-піщаних флювіогляціальних, озерних та гляціальних відкладів [11]. Заглиблення і збільшення потужності палеогенових і крейдяних відкладів, водоносні горизонти та комплекси в яких можна віднести до зони інтенсивного водообміну, відбувається зі сходу і північного сходу (приблизно від р. Десна на даній території) на захід і південний захід, в той час як р. Головесня протікає в напрямку з південного заходу на північний схід. Тобто генеральний напрямок підземного потоку протилежний до напрямку поверхневого стоку. Своєрідною особливістю водозбору є також його розташування в межах лесового острова посеред водно-льодовикової рівнини. Лесовий острів приурочений до Понорницького підняття (тектонічне утворення), яке витягнуте у широтному напрямку від р. Десна на сході до с. Чорнотичі на заході. Схили долини річки досить високі та круті: здіймаються від 142 до 203 м (БС висот)(перепад до 61 м) і добре розчленовані балками і ярами, що посприяло виходу на поверхню багатьох ерозійних та контактних джерел. За довжини тальвегу 12,6 км постійна течія утворюється приблизно за 5,35 км вище головного водомірного створу.

Максимальний річний шар *поверхневого стоку* з водозбору р. Головесня (площа водозбору до водомірного поста 29,5 км²) за період 1954-1985 рр. складав 231 мм (1969 р.), мінімальний – 94,5 мм (1961 р.), середній – 175,75 мм [9]. Це відповідало об'ємам стоку 6814,5 (1969 р.), 2787,75 (1961 р.) і 5184,6 тис. м³ (середній). За посушливий період 2011-2020 рр. витрати та обсяги стоку істотно зменшились: середній обсяг стоку склав 3707,8 тис. м³, середній модуль стоку – близько 4,0 л/с/км². За останній період максимальні середньомісячні витрати спостерігались з лютого по квітень та в грудні.

Найбільша повторюваність максимальних витрат (три роки: 2014, 2016, 2020) припала на лютий.

Основним експлуатаційним водоносним горизонтом в даній місцевості є бучацько-канівський горизонт, представлений переважно дрібно- та різнозернистими пісками. Залягає він з глибини переважно 15-56 м (найменші глибини в місцях де водотрив канівської світи представлений темно-сірим до чорних глинами), а на окремих ділянках є *першим від поверхні* (у випадках залягання з поверхні суцільної товщі суглинків та глин). В с. Криски цей горизонт навіть відслонюється на поверхні [11]. Вище бучацького-канівського горизонту часто залягають обводнені піски київської світи еоцену, а на вододілах зустрічається слабо водоносний, малопотужний горизонт в піщаних відкладах полтавської серії міоцену.

Здебільшого перший від поверхні водоносний горизонт в четвертинних відкладах приурочений до супіщаних, піщаних, рідше суглинистих різновидів флювіогляціальних, рідше озерних, елювіально-делювіальних, болотних та алювіальних відкладів. В шести з 12 спостережних свердловин рівні ґрунтових вод коливаються в діапазоні 10-20 м від поверхні (водоносний горизонт в четвертинних відкладах), в трьох – 35-40 м (водоносні горизонти у відкладах бучацької та канівської світ або київської світи), в двох – 5-7 м (поблизу річки) і в одній, на заплаві – до 1,0 м (в болотних та алювіально-флювіогляціальних відкладах).

Застосовувались переважно гідродинамічний чисельний [12,13] та балансовий методи [14]. Метод розчленування гідрографів річок застосовано для одного року – з метою верифікації результатів розрахунків підземного стоку, отриманих чисельним методом.

Вибір методів досліджень ґрунтується на концепції, що загальний річний водний баланс формується з єдиної прибуткової складової – суми опадів, що переважно витрачаються на річковий стік (W_r) та випаровування (E):

$$P = W_r + E + (W_d + W_{az}) = (Y + Q_g + Q_d) + E + (W_d + W_{az}) \quad (1)$$

В той же час:

$$P = \frac{W_l}{K_g} \quad (2)$$

звідки випливає, що:

$$W_l = K_g(W_r + E + (W_d \pm W_{az})) \quad (3)$$

Де P – атмосферні опади, W_r – річковий стік, Y – поверхневий (дощовий та талий) стік, Q_g – стік ґрунтових вод, що повністю перехоплюється річкою, Q_d – глибоке напірне живлення річки, E – випаровування з поверхні ґрунту та відкритої водної поверхні, W_d – перетікання на вододілах в глибокі водоносні горизонти, що не дрениуються малою річкою, а розвантажуються у водотоки вищого порядку, в моря або експлуатуються водозаборами, W_l – латеральний підземний стік, K_g – коефіцієнт підземного стоку, W_{az} – втрати вологи на насичення зони аерації.

Сума параметрів W_d і W_{az} являє собою «нев'язку» рівняння (1). Оскільки останній параметр визначається з різниці між вологозапасами в ненасичених ґрунтах наприкінці та на початку календарного року він може бути як додатним так і від'ємним. Якщо він від'ємний, тобто на початку року запас вологи був більшим, ніж наприкінці, то відповідно на цю різницю збільшиться W_r і навпаки, чим більше вологи затримується ґрунтом (різниця додатна), тим менше води надійде в річку за рік. В умовах потепління клімату та зниження рівня ґрунтових вод (РГВ), цей показник стає визначальним для величини річкового стоку, особливо там де РГВ опускаються нижче 8 м і капілярна (вільна) та зв'язана волога, що зосереджується в діапазоні від РГВ до 4,5 м стає практично недосяжною для випаровування та транспірації рослинами. Звідси випливає, що вплив випаровування на режим та формування ресурсів ґрунтових вод під час тривалої посухи повинен зменшуватись.

Величина W_{az} також регулює інфільтраційне живлення ґрунтових вод і чим більша потужність зони аерації, тим складніше виявити зв'язок між коливаннями РГВ та кількістю опадів. Якщо приймати, що в багаторічному плані коефіцієнт K_g та перетікання в глибокі горизонти є величинами сталими для даного водозбору, то основні зміни відбуваються із значеннями W_r , E і W_{az} . Отже, згідно рівняння (3), перший та третій із цих показників визначатимуть мінливість латерального підземного стоку W_l за прихованого впливу опадів.

Питомий стік ґрунтових вод до річки Q_g та абсолютне значення ґрунтового стоку в загальному стоці річки (після множення на 2 та на довжину річки вище створу) за період 2007-2021 рр., були визначені гідродинамічним методом за скінчено-різнице-вим рівнянням:

$$q_t = k_{сер} h_t I_t \pm \frac{\Delta h_t l_t \mu_t}{2} \quad (4)$$

де q_t – витрати ґрунтового потоку на момент часу t в перерізі урізу річки, м²/добу; $k_{сер}$ – середній коефіцієнт фільтрації ґрунтів, м/добу; h_t – середнє арифметичне від висоти рівня води в річці і у розрахунковій свердловині над водотривом водоносного пласта на початковий момент вимірювань, м; I_t – градієнт потоку; l_t – відстань від урізу води в річці до осі спостережної свердловини, м; Δh_t – абсолютна величина позитивного або від'ємного приросту РГВ за одиницю часу посередині між урізом води в річці та свердловиною, м/добу; μ_t – величина водовіддачі або браку насичення ґрунту в зоні коливання РГВ.

Для оцінки балансу ґрунтових вод, який на прирічкових ділянках визначається головним чином бічним припливом і/або відтоком до/з річки, а також інфільтраційним живленням та випаровуванням, використано балансове рівняння:

$$A = \Delta Q + \Delta w, \text{ або } A = Q_{np} - Q_e + w - e \quad (5)$$

де Δw – інфільтраційне живлення, як різниця між поповненням ґрунтових вод за рахунок інфільтрації (w) і витратою їх на випаровування (e) за проміжок часу Δt , A – зміна запасів ґрунтових вод за розрахунковий проміжок часу Δt , яка визначається за даними спостережень:

$$A = \mu \Delta H \cdot 10^3; \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі або браку насичення (за умов повільних природних коливань рівня відрізняються не суттєво); ΔH – різниця рівнів ґрунтових вод на початковий і кінцевий моменти розрахункового проміжку часу Δt у середньому за потоком перетині балансового майданчика, м; ΔQ – різниця між бічним припливом і відтоком на верхній і нижній за потоком границях балансового майданчика за час Δt .

На Придеснянській водно-балансовій станції режимні гідрогеологічні спостереження до 2006 р. проводились по 11 свердловинах, а з 2007 – по 12. Включена до регламенту спостережень у 2007 р. додаткова свердловина №265 на водозборі р. Головесня доповнила створ із свердловини №264 та гідропоста на річці і дозволила використати для розрахунків ΔQ скінчено-різнице-вим рівняння для трьох пунктів спостережень [8]:

$$\Delta Q = 2k_{\phi} \frac{h \cdot \Delta t}{l_1 + l_2} \cdot \left(\frac{H_1 - H_2}{l_1} - \frac{H_2 - H_3}{l_2} \right) \cdot 10^3 \quad (7)$$

де k_f – коефіцієнт фільтрації ґрунтового водоносного горизонту, м/добу; h – середня для балансового майданчика потужність ґрунтового водоносного горизонту, м; H_1, H_2, H_3 , – середні за Δt рівні ґрунтових вод у пунктах спостережень, м; l_1, l_2 – відстані між пунктами спостережень, м; 10^3 – коефіцієнт переходу в мм шару води.

Основні результати

Своєрідність гідрогеологічних умов на полігоні, крім описаних вище ознак, полягає в тому, що область підземного живлення річки Головесні значно більша за територію, яка обмежена вододілом поверхневого стоку (гіпсометричним або топографічним) [9], у зв'язку з чим водозбір р. Головесня має **аномально високі модулі підземного стоку**, які, за оцінками І.С. Шпака, сягають 1,0-1,3 л/с/км², тоді як на малих річках району з подібним ерозійним врізом русла – 0,3-0,6 л/с/км² [15]. За оцінками Єщенко Н.Д. площа підземного водозбору більша за річковий майже у 2 рази [16]. За нашими розрахунками, модуль підземного стоку для р. Головесня, з врахуванням джерел, що розвантажуються на поверхні, змінювались за період 2007-2021 рр. від 1,91 (2016) до 1,62 (2020) л/с/км².

Ці особливості необхідно враховувати під час аналізу стійкості режиму та вразливості ресурсів ґрунтових і поверхневих вод до метеорологічної та гідрологічної посухи [17,18].

Ознакою впливу змін клімату, а саме його потепління, на баланс водотоків є збільшення частки участі підземних вод в живленні річки [17,19]. Для р. Десна таке збільшення на період 1989-2007 рр. відбулось на 10% порівняно з періодом 1936-1988 рр. – з 45 до 55% [20]. Затяжні посушливі періоди проявляються у зростанні відносної частки **глибокого** підземного живлення в загальному стоці малих приток р. Десна.

Згідно наших розрахунків гідродинамічним методом, за середніх коефіцієнтів фільтрації водоносної товщі 1,25 м/добу і водовіддачі 0,08, частка підземного стоку в загальному за 2007 р. складала 36,4% (середні РГВ в межах 10,5-16,5 м від поверхні). За розчленуванням річного гідрографа річки частка ґрунтового живлення склала близько 37%, **глибокого** підземного живлення – 39%, поверхневого живлення лише 24%, що

Після визначення ΔQ і A визначається величина поповнення ґрунтових вод за рахунок інфільтрації (w), або витрата ґрунтових вод в зону аерації, в т.ч. на випаровування і транспірацію (якщо значення від'ємне) за період Δt :

$$\Delta w = A - \Delta Q \quad (8)$$

продемонструвало добру сумісність методів а також дало змогу визначити частку **глибокого** живлення, яку не вдалось поррахувати гідродинамічним методом.

Режим ґрунтових вод за РГВ більше 10 м є відносно стабільним. Це проявляється і у **динаміці підземного стоку**. За період з 2007 по 2021 рр. він змінювався неістотно: **максимальне** значення у 156,37 м³/рік/метр погонний довжини річки припало на багатоводний 2016 р., коли зимовий стік був одним з найбільших за період спостережень (рис.2а), а підземний стік за весняний та літній сезони – тотожними; **мінімальне** – зафіксоване у 2021 р. (кількість опадів 728 мм, що вище середньобогаторічної за період 1961-2022 рр. величини у 692 мм) і склало 149,73 м³/рік/м. 2016 р. відзначився максимальним за десять років (до 2021 р.) модулем поверхневого стоку – 5,09 л/с/км². Низькі значення припливу ґрунтових вод до річки були у 2014 та 2019-2020 рр. Максимальне значення бічного припливу весною 2007 р. було наслідком попереднього вологого холодного сезону, а от підвищений приплив ґрунтових вод до річки влітку 2016-2018 рр. є наслідком аномального зростання інфільтраційного живлення в жаркий період (рис. 2).

Спостерігається сезонна підпорядкованість динаміки підземного стоку – здебільшого весняні максимуми та зимові або осінні мінімуми (рис. 2а). Варіації в сезонних коливаннях з року в рік можуть бути значними. До 2018 р. коливання стоку за осінній період практично повторюють зміни стоку весною. Очевидно, що обсяги стоку ґрунтових вод за зимовий та весняний сезони конкурують між собою: збільшення витрат за зимовий сезон призводить до їх зменшення весною і навпаки. Проте після 2016 р. остання закономірність порушується. Літній стік до 2015 р. демонстрував відносну стабільність (рис. 2а).

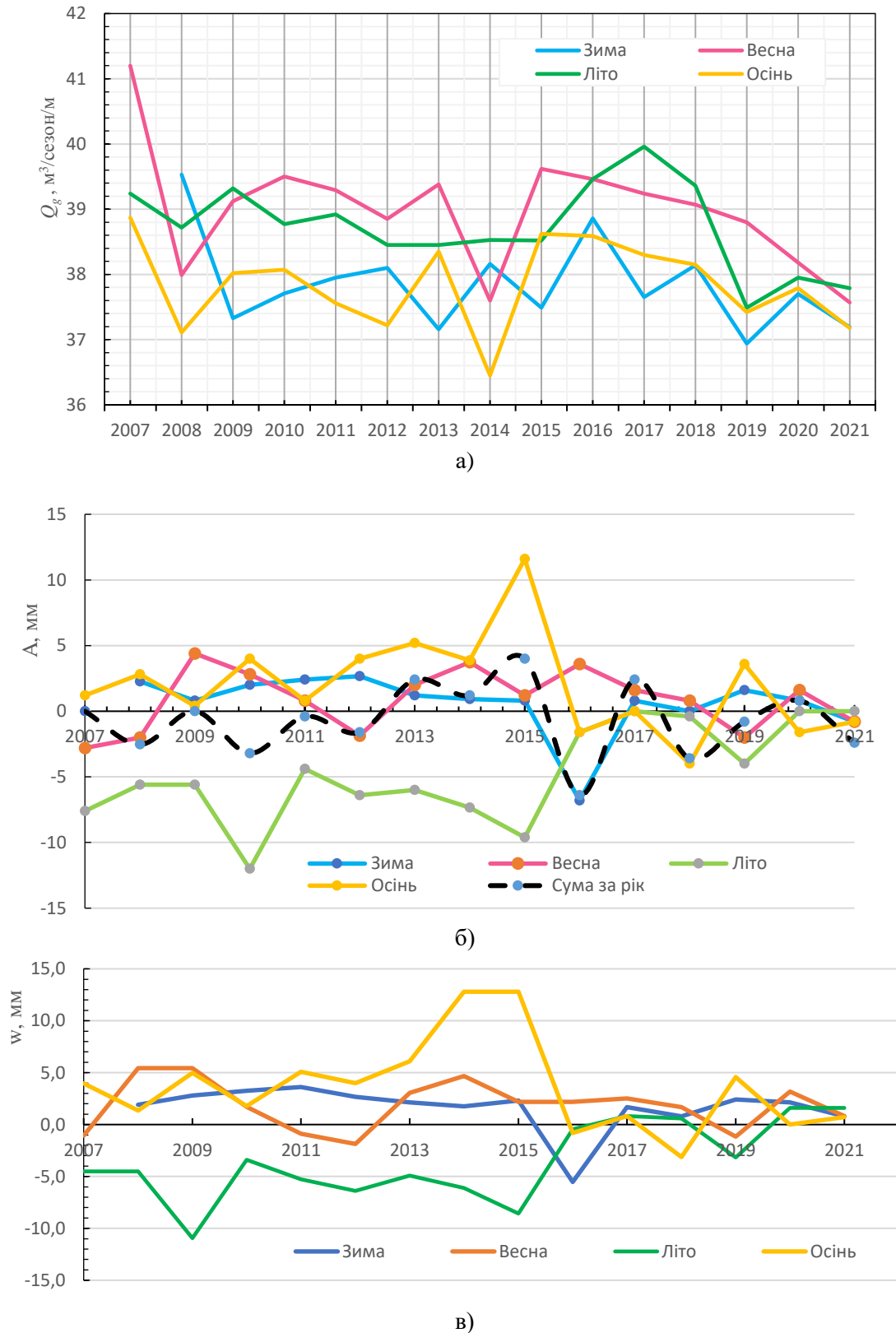


Рис. 2 – а) Динаміка бічного припливу ґрунтових вод до р. Головесні;
 б) зміни запасів ґрунтових вод на водозборі;
 в) динаміка інфільтраційного живлення ґрунтових вод за 2007-2021 роки
Fig. 2 – a) The dynamics of the lateral inflow of groundwater to the Golovesnya River;
 b) changes of groundwater reserves on the catchment;
 c) dynamics of groundwater infiltration recharging for 2007-2021

Виконані розрахунки та аналіз результатів доводять правильність викладених вище міркувань щодо істотного впливу на стік ґрунтових вод у посушливі періоди показників W_r і W_{az} . Дійсно, під час гідрологічної посухи, що спостерігалась у 2019-2020 рр. зменшення річкового стоку та, відповідно рівня води в річці призвело до поглиблення бази ерозії та зменшення сезонної різниці у витратах потоку ґрунтових вод до річки. Попередньо, у 2016-2018 рр. відбулось помітне збільшення літніх витрат підземних вод до річки (рис. 2а). Із середньорічними витратами річки за 2011-2020 рр. найкраща кореляція у питомих витрат ґрунтового стоку за весняний (0,67) та літній (0,52) сезони.

Хронологічні графіки *змін запасів ґрунтових вод* (А) до 2016 р. демонструють більш чіткі сезонні закономірності: максимумами характерні переважно для осені, мінімуми – завжди для літа (рис. 2б). Під час маловодного циклу 2007-2021 рр. переважали від'ємні значення у змінах запасів – внаслідок зменшення величин прибуткових (таких як інфільтраційне живлення восени) та більш вагомого збільшення витратних складових балансу, таких як втрати вологи в зону аерації та підземний стік до річки влітку. Зміни запасів помітно реагують на річні суми опадів здебільшого на наступний рік.

Головним чинником втрат води на водозборі є *глибина промерзання ґрунту*, а отже і *температура приземного повітря взимку та на початку весни*. Згідно спостережень за 1960-1985 рр., за глибини промерзання ґрунту взимку від 90 до 149 см втрат стоку під час весняного водопілля не відбувалось [9]. Коли ж промерзання зменшувалось до 82-45 см втрати поверхневого стоку складали від 21 до 61 мм. А за товщини промерзлого шару ґрунту 25-7 см втрати стрімко, проте нелінійно зростали до 72-165 мм [9,21].

Інфільтраційне живлення ґрунтових вод (рис. 2в) майже повторює коливання змін запасів (рис. 2б). У багатоводному 2016 році інфільтраційне живлення і запаси ґрунтових вод за осінь та зиму різко зменшуються, набуваючи від'ємних значень (переважають втрати вологи в зону аерації, в т.ч. на випаровування). Ми пов'язуємо це із значним зниженням РГВ наприкінці 2015 р. та ходом зимових температур. Важливе значення для поповнення ґрунтових вод на глибинах 10-15 м взимку відіграє кількість опадів попереднього літньо-осіннього періоду, проте саме у серпні-жовтні 2015 р. кількість опадів була дуже низькою – 43 мм за три

місяці. Листопад був насправді дощовим (майже 103 мм), проте теплим, і випаровування відіграло значущу роль. Грудень 2015 р. відзначився дуже значними і стрімкими коливаннями середньодобової температури, наприклад від +7,4 до -9,3 °C за 5 діб (24-29 грудня), за посередньої та рівномірно розподіленої кількості опадів (40 мм). Причому відбулось чотири похолодання і чотири стрімкі відлиги за місяць, внаслідок чого практично вся волога зійшла по промерзлій поверхні до річки. У січні 2016 р. була достатня кількість опадів (66,7 мм), проте найбільш низькі і стійкі від'ємні температури після 2010 р. Ці опади також не надійшли до ґрунтових вод внаслідок стрімкої відлиги в лютому. Слід сказати, що останній був найтеплішим після 2002 р. (як і у 2022 р.), а переважна кількість опадів (49 мм) випала у другій його половині, тобто пішла на живлення ґрунтових вод у весняно-літній період. Підкреслимо, що значення усіх показників балансу ґрунтових вод зимового періоду приймалися не за календарні зимові місяці року а за період грудень попереднього року – січень, лютий поточного. Аномальне зменшення інфільтраційного живлення за зимовий сезон 2016 р. відобразилось у річному багаторічному мінімумі (рис. 3). Для остаточного пояснення цього парадоксу (невідповідності інфільтрації річній кількості опадів) необхідно проаналізувати, крім метеорологічних, гідрофізичні показники (зміни вологості зони аерації, всмоктуючого тиску, електричних потенціалів і т.п.), у тому числі й за попередній період; взяти до уваги витрати струмків та річки Головесні та ін. Цей аналіз буде проведено на наступному етапі та включено до майбутніх публікацій, оскільки саме гідрологічні події 2016 р. дуже важливі для розуміння пролонгованих впливів змін погодно-кліматичних умов, в першу чергу метеорологічних посух (як у 2014-2015 рр.), на режим, баланс та ресурси ґрунтових і поверхневих вод в Поліському регіоні.

Надалі, у 2017-2021 рр. сезонні відмінності у живленні майже нівелюються (див. рис. 2в): роль живлення за літній період зростає, а за весняний та осінній сезони зменшується.

Вплив атмосферних опадів на інфільтраційне живлення та підземний стік за РГВ більших 10 м проявляється із нерівномірним і значним запізненням, зв'язок з інфільтраційним живленням практично відсутній (рис.3), що не дозволяє використати ці показники в розрахункових моделях підземного

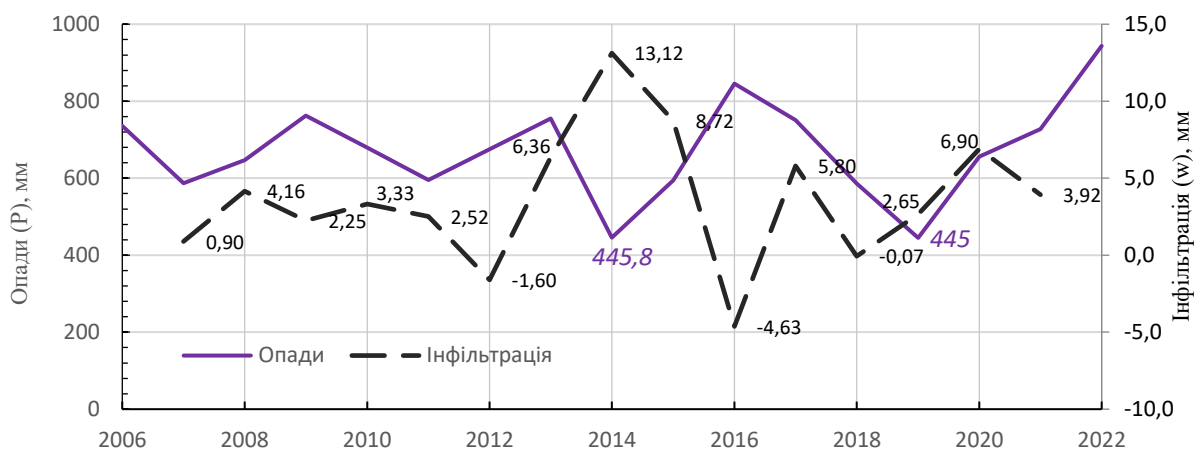


Рис. 3 – Зміни сумарного за рік інфільтраційного живлення у співставленні із річною сумою опадів

Fig. 3 – Changes in the annual total infiltration recharge of groundwater in comparison with the annual amount of precipitation

стоку. Натомість важливими чинниками регулювання режиму ґрунтових вод у маловодні періоди виступають рівень води в дренажі та втрати вологи на насичення зони аерації, а отже і літологічний та гранулометричний склад цієї зони та температура приземного повітря.

Можна помітити (рис. 3), що обсяги інфільтраційного живлення корелюють із кількістю опадів із запізненням на 1 рік до 2015 року, після якого реакція інфільтрації збільшується до 2 років або стає невпорядкованою.

На перший погляд дивним виглядає стійке збільшення інфільтраційного живлення саме за найтепліший літній сезон починаючи з 2016 р. (рис. 2в). Проте, це не складно пояснити, якщо взяти до уваги аномально високу кількість опадів за 2016 р. – 845,5 мм (метеостанція с. Покошичі, ще більше опадів було хіба що за 2022 р. – 943,6 мм), їх значне надходження саме за теплий період з квітня по серпень – 445 мм та досить високу, як для даної місцевості, середню температуру за той самий період (+17,3 °С, в наступному році, для прикладу, було +16,2 °С). Розподіл опадів у часі забезпечив насичення ними потужної зони аерації (до 10-15 м), складеної переважно неоплейстоценовими делювіальними, озерними та гляціальними суглинками, а значні перепади температури вдень і вночі забезпечили конденсаційний, більш швидкий, порівняно з інфільтраційним, механізм перенесення вологи через поровий простір ґрунтів. Цілком можливо, що вирішальним чинником, який

посприяв зростанню інфільтраційного живлення та підтриманню його високих значень був позитивний знак заряду статичного електричного поля приземного шару атмосфери. Саме такий знак заряду переважав в період весна 2016 - літо 2020 рр. [22]. Достеменно встановлено, що коли напруженість електричного поля приземної атмосфери має додатний знак, формується низхідний рух вологи [23]. Тобто відбувається приріст інфільтраційного живлення ґрунтових вод навіть в роки із меншою кількістю атмосферних опадів: середні РГВ для них більші, ніж в періоди із від'ємними статичними полями (як 2006-2010 рр.).

За попередній період, що не пов'язаний із значними проявами потепління клімату, від'ємний баланс спостерігався переважно влітку, рідше взимку та восени (рис. 4). Зимові позитивні прирости в балансі проявлялись навіть частіше, ніж в період більш частих зимових відлиг 2007-2021 рр. В окремі роки (1971, 1977), коли від'ємні зміни запасів відбувались весною, це призводило до значних негативних значень річного балансу. Значні річні позитивні зміни запасів ґрунтових вод (1958, 1970, 1983 та ін.) завжди були пов'язані із додатним балансом зимового сезону.

Найкраще корелювали в 1957-1985 рр. із річним балансом зміни запасу ґрунтових вод за осінній сезон (коефіцієнт кореляції 0,6), найменше – за літній, зимові та весняні зміни приблизно порівну – відповідно, 0,54 і 0,53. За період 2008-2021 рр. значуща кореляція залишилась лише із осіннім (0,57) та зимовим (0,5) сезонами.

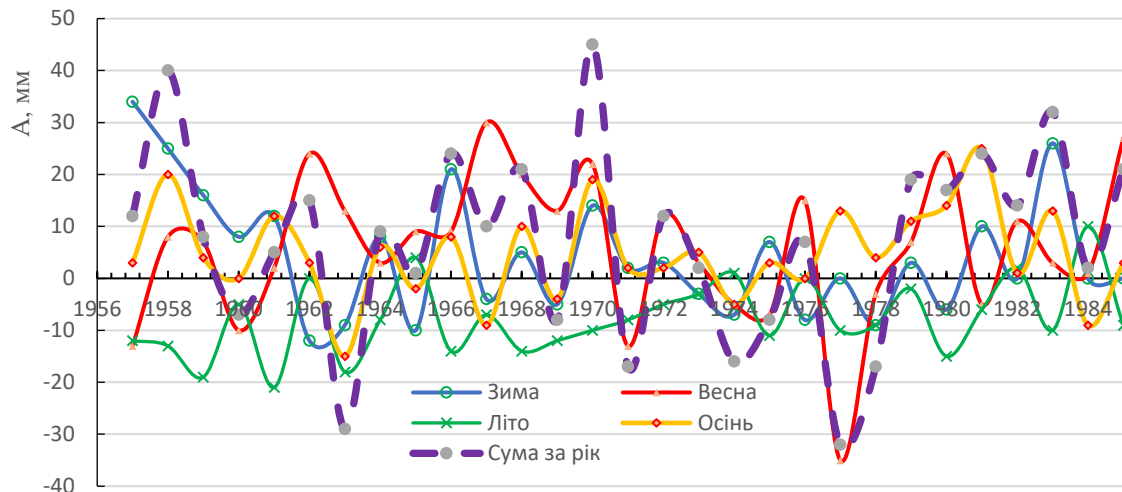


Рис. 4 – Зміни запасів ґрунтових вод на водозборі р. Головесня за 1957-1985 рр.
Fig. 4 – Changes in groundwater reserves on the Golovesnya River catchment for 1957-1985

Більша захищеність підземного стоку, порівняно з поверхневим, від впливу метеорологічної посухи та його вагома роль для стоку р. Головесні (рис. 5) проявляється також в істотно менших змінах витрат: за період 2019-2021 рр. зменшення підземного стоку відбулось на 1,0...2,2%, а поверхневого – на 28,5...35,0%.

Найбільша амплітуда коливань РГВ спостерігається на вододільній частині водозбору, як і зниження рівня під час посухи. За ознаками зниження рівня найбільш захищеними від посухи за природних умов (без впливу водозаборів) можна вважати низькі річкові тераси та високі заплави де наявне напірне живлення ґрунтових вод. Також в

багаторічному плані слабо реагують на брак інфільтраційного живлення і підвищення температури ґрунтові води на глибинах більше 3,0 м, хоча зміни в їх циклічності, пов'язані із чередуванням маловодних та багатоводних циклів, також помітні. За цими критеріями недоцільно розміщувати великі водозабори на перші та другі від поверхні водоносні горизонти на вододілах. Берегові водозабори в області розвантаження ґрунтових та глибоких напірних вод повинні мати мінімальний негативний вплив на стійкість водообмінної системи в умовах гідрологічної посухи.

Отже, гідрогеологічні дослідження в форматі водно-балансових станцій, на яких проводяться одночасні спостереження за

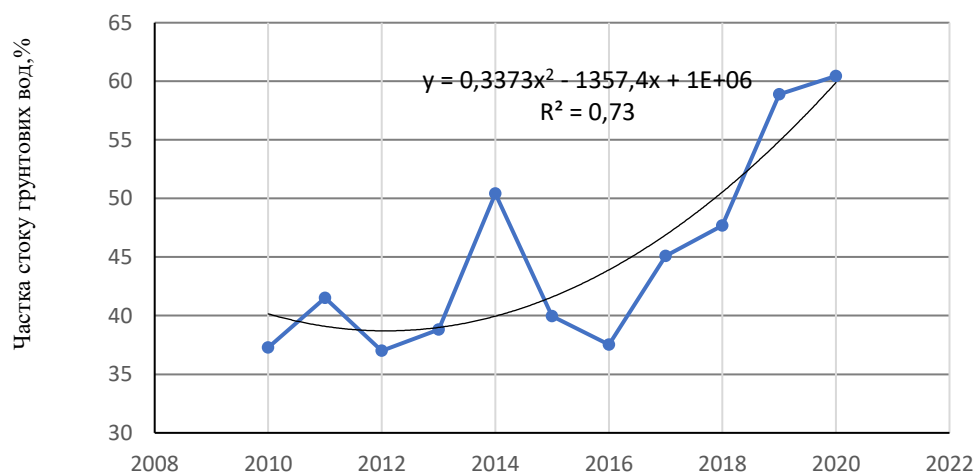


Рис. 5 – Розрахункова частка участі ґрунтових вод в загальному стоці річки Головесня за період відчутних кліматичних змін 2010-2020 рр.

Fig. 5 – Estimated share of groundwater participation in the total runoff of the Golovesnya River during the period of significant climate changes 2010-2020

великою кількістю метеорологічних, гідрологічних та гідрогеологічних показників [9], дозволяють виявити цікаві залежності, важливі для розуміння особливостей впливу погодно-кліматичних умов на режим та баланс

грунтових вод. У подальших дослідженнях варто провести поглиблений аналіз залежностей РГВ, живлення та витрат ґрунтових вод від аномальних метеорологічних подій, їх частоти та тривалості.

Висновки

Підземне, в першу чергу глибоке напірне живлення річок, виконує важливу компенсуючу функцію в маловодні роки та під час тривалої гідрологічної посухи. Важливими чинниками регулювання режиму ґрунтових вод у маловодні періоди в долинах річок (окрім опадів) є рівні та витрати води в річці а також втрати вологи на насичення зони аерації, а отже, - літологічний та гранулометричний склад цієї зони. Втрати в зону аерації є також важливим регулюючим чинником балансу та річкового стоку в масштабах водозбору р. Десна. Найбільше значення стоку ґрунтових вод до річки Головесні за період 2007-2021 рр. встановлене для багатоводного 2016 р., найменше – у 2021 р., – після закінчення посушливого циклу, на початку вологого, що свідчить про інерцію зниження РГВ та стоку після закінчення посухи.

До 2016 р. хронологічні графіки демонструють більш чіткі сезонні закономірності в динаміці бічного відтоку ґрунтових вод до річки, ніж в період поглиблення метеорологічної посухи 2017-2021 рр. До 2016 р. максимальні значення запасів та інфільтраційного живлення ґрунтових вод були характерні переважно для осені, мінімальні – завжди для літа. У 2016 р. *інфільтраційне живлення і запаси* ґрунтових вод за *осінь та зиму* різко зменшуються набуваючи від'ємних значень (переважають втрати вологи в зону аерації, в т.ч. на випаровування). За *літо бічний приплив* ґрунтових вод до річки був найвищим у 2016-2018 рр., коли середньомісячні температури зросли до 20 °С і більше. Надалі (2017-2021 рр.) сезонні відмінності у живленні майже нівелюються: роль живлення за літній період зростає, а за весняний та осінній сезони зменшується.

Зважаючи на 1-2 річне запізнення реакції інфільтраційного живлення глибоких ґрунтових вод (РГВ > 10 м від поверхні) на зміни кількості опадів, можна із впевненістю казати, що зміни в балансі ґрунтових вод з 2016 р. відбулись під впливом аномально низької кількості річних опадів та підвищеної температури в 2014-2015 рр. Цей період можна трактувати як *метеорологічну посуху*. Від'ємний баланс ґрунтових вод за 2018-2021 рр. (в цілому -6 мм) та низька кількість опадів у 2019 р. (445 мм) призвели до *гідрологічної посухи* у 2019-2020 рр. – коли були зафіксовані найменші за багаторіччя об'єми (2,65-2,49 тис. м³/рік) та модулі (2,85-2,68 л/с/км²) поверхневого стоку. Тим не менш, значна кількість опадів у 2022 р. дозволяє сподіватись, що такі зміни не є надто глибокими та незворотними.

Завдяки особливостям водозбору та гідрогеологічних умов, що визначають високу частку участі субнапірних ґрунтових (36,5-60,5%) та більш глибоких напірних підземних вод в стоці річки (загалом 70-85%), режим р. Головесні можна вважати захищеним від несприятливих впливів метеорологічної посухи, що зокрема проявились у 2019-2020 рр.

Виявлено чіткі ознаки впливу змін клімату в фазі загострення посухи на режим та баланс ґрунтових і поверхневих вод: зменшення інфільтраційного живлення восени і взимку (на відміну від першої фази потепління 1980-1998 рр.) та його збільшення влітку – вірогідно за рахунок конденсаційного механізму вологоперенесення; збільшення втрат вологи в зону аерації та підземного стоку до річки влітку, домінування від'ємних значень річного балансу (змін запасів) ґрунтових вод; зростання частки живлення річок ґрунтовими водами до

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Van Loon A.F. Hydrological drought explained. *WIREs Water*. 2015. Vol. 2. N 4. 359-392. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
2. Mirchi A., Di Baldassarre G., Madani K., Alborzi A. Anthropogenic Drought: Definition, Challenges, and Opportunities. *Reviews of Geophysics*. 2021. Vol. 59. N 2. P.1-23. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019RG000683>

3. Шевченко О.Л., Лободзінський О.В., Наседкін І.Ю., Чорноморець Ю.О., Шкляренко В.В. Розчленування гідрографів річок з врахуванням даних гідрогеологічних спостережень. *Геологічний журнал*. 2024. № 1. С. 32-46. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.288190>
4. Conrad L., Fernald A., Guldan S., Ochoa C. A water balancing act: water balances highlight the benefits of community-based adaptive management in Northern New Mexico, USA. *Hydrology*. 2022. Vol. 9. N 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology9040064>
5. Saha G., Quinn M. Integrated surface water and groundwater analysis under the effects of climate change, hydraulic fracturing and its associated activities: a case study from North western Alberta, Canada. *Hydrology*. 2020. Vol. 7. 70. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology7040070>
6. Chang S., Chung I. Water budget analysis considering surface water-groundwater interactions in the exploitation of seasonally varying agricultural groundwater. *Hydrology*. 2021. Vol. 8. 60. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology8020060>
7. Othman A. Monitoring the response of Saudi Arabia's largest fossil aquifer system to climate variability, *Journal of Taibah University for Science*. 2024. Vol. 18. N 1. 2331991. DOI: <https://doi.org/10.1080/16583655.2024.2331991>
8. Shevchenko O.L., Streltsov A.O. Principles of calculations and arrangement of local drainage systems in private building territories. *Land reclamation and water management*. 2023. Vol. 2. P.38-49. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202302-364>
9. Многолетние характеристики гидрометеорологического режима малых водосборов Украины (материалы наблюдений Придеснянской ВБС, Богуславской ПЭГБ, Велико-Анадольской ВБС) под ред. Ю.В. Швейкина, Н.Д. Ещенко, И.И. Швейкиной. 1986. 612 с.
10. Osypov V., Osadcha N., Hlotka D., Osadchyi V. The Desna river daily multi-site streamflow modeling using SWAT with detail snow melt adjustment. *Journal of Geography and Geology*. 2018. Vol. 10. N 3. P.92-110. DOI: <https://doi.org/10.5539/jgg.v10n3p92>
11. Геологическая карта СССР, Масштаб 1:200000, серия Днепрово-Донецкая, М-36-III. Пояснительная записка. Цимба О.Н., Голубицкая А.А. и др. Киев. 1974.
12. Mc Donald M.G., Harbaugh A.W. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey. 1988. DOI: <https://doi.org/10.3133/twri06A1>
13. El-Rawy M., Batelaan O., Buis K., Anibas C., Mohammed G., Zijl W., Salem A. Analytical and Numerical Groundwater Flow Solutions for the FEMME-Modeling Environment. *Hydrology*. 2020. Vol. 7. N 2. 27. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology7020027>
14. Шевченко О.Л., Козицький О.М., Наседкін І.Ю., Рябцева Г.П., Бублясь В.М. та ін. Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986-2004 рр.), Херсон: Олді-плюс. 2011. 416 с.
15. Шпак И.С. Режим почвенных и грунтовых вод бассейна р. Головесни. *Труды УкрНИГМИ*. 1961. Т.30. С.53-66.
16. Ещенко Н.Д. Водный баланс малых водосборов Придеснянской стоковой станции. *Труды УкрНИГМИ*, 1967. № 66. С. 24-34.
17. Van Lanen H.A.J., Wanders N., Tallaksen L.M. & Van Loon A.F. Hydrological drought across the world: impact of climate and physical catchment structure. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2013. Vol. 17. P.1715–1732. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>
18. Pechlivanidis I.G., Arheimer B., Donnelly C., Hundecha Y., Huang S., Aich V., Samaniego L., Eisner S., Shi P. Analysis of hydrological extremes at different hydro-climatic regimes under present and future conditions. *Clim. Chang*. 2017. Vol. 141. P.467–481. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1723-0>
19. Лободзінський О.В., Данько К.Ю. Визначення та оцінка зміни типів живлення річок басейну р. Горинь. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2023. Т.2. № 68. С.33-42. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4>
20. Чорноморець Ю.О., Гребінь В.В. Багаторічна динаміка режиму живлення р. Десна. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т.3. № 20. С.59-67. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2010_3_8
21. Блищик І.А. Умови формування стоку весняної повені на малих водозборах Придеснянської водно-балансової станції. Бакалаврська кваліф. робота. Одеса. Одеський державний екологічний університет. 2019. URL: http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6146/1/BlishchikIA_Umomy_formuvannya_B_2019.pdf
22. Шевченко О., Бублясь В., Ошурок Д. Аналіз геофізичних, метеорологічних та гідрогеологічних даних для пояснення невідповідностей між інфільтрацією та атмосферними опадами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Геологія)*. 2023. Т. 1. № 100. С.111-123. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13>
23. Бублясь В.М. Електричні явища атмосфери і літосфери та їх роль у геологічних процесах. Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво: матеріали IV міжнар. геол. форуму до 60-річчя УкрДГПІ. 2017. Київ. 19-24. URL: https://geonews.com.ua/uploaded_files/geoforum_2017.pdf

Стаття надійшла до редакції 18.04.2024

Стаття рекомендована до друку 23.05.2024

O. L. SHEVCHENKO¹, DSc (Geology)

Chief Researcher of the Laboratory of Research of Climate Change Impact on Water Resources

e-mail: shevch62@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5791-5354>

V. V. SHKLIARENKO¹,

PhD Student, Junior Researcher

of the Laboratory of Research of Climate Change Impact on Water Resources

e-mail: valentin.shkliarenko@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-9866-558X>

¹ *Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine*

and the National Academy of Sciences of Ukraine,

Nauki Ave., 37, Kyiv, 03028, Ukraine

FEATURES OF UNDERGROUND FLOW FORMATION TO THE GOLOVESNYA RIVER (DESNА BASIN) DURING THE DRY PERIOD 2007-2021

Purpose. To analyze the peculiarities of the dynamics of underground flow on the catchment of the Golovesnya River, a right-bank tributary of the Desna River, during the dry period of 2007-2021 in comparison with the period of 1960-1985 - before the beginning of noticeable climatic changes.

Methods. The hydrodynamic finite-difference method of calculating the specific consumption of groundwater based on the data of routine observations of the levels of groundwater and surface water, the hydrodynamic method of calculating the components of the groundwater balance.

Results. The specific flow of groundwater to the Golovesnya River was calculated based on the data of observations for 2007-2021; the share of groundwater flow in the total flow of the river was determined, changes in the dynamics of infiltration nutrition and the inflow of groundwater to the river were revealed, which can be associated with the sign of the charge of the static electric field of the surface layer of the atmosphere, an increase in air temperature, and an increase in the volume of moisture retention in the aeration zone after reducing GWT.

Underground flow to the river largely compensates for the losses and stabilizes the river flow in low-water years and during prolonged hydrological drought. Important factors in the regulation of the groundwater regime in low-water periods (in addition to precipitation) are the level and flow of water in the river, as well as the loss of moisture due to the saturation of the aeration zone, and therefore, the lithological and granulometric composition of this zone. Losses in the aeration zone are also an important regulatory factor of balance and river flow in the scale of the Desna River catchment. The largest volumes of underground runoff to the Golovesnya River for 2007-2021 were set for the multi-water year 2016, the smallest - for 2021. By 2016, the chronological graphs show clearer seasonal patterns: repeatability of underground flow fluctuations in the spring and autumn seasons; opposite flow fluctuations in winter and spring and a relatively stable summer flow; typical for autumn are maximum, and for summer always minimum values of reserves and infiltration recharge of groundwater. In the abundant water year of 2016, infiltration recharge and groundwater reserves during autumn and winter sharply decrease and acquire negative values due to a significant decrease in GWT in the previous period, an unfavorable course of temperature and precipitation distribution, and increased outflow to the river. In 2017-2021, the seasonal differences in the recharge of the river with groundwater are almost equalized: the role of recharge increases during the summer period, and decreases during the spring and autumn seasons. The role of the condensation mechanism of moisture transfer in the aeration zone is increasing. During the summer, the lateral inflow of groundwater to the river was the highest in 2016-2018.

Conclusions. Calculations and analysis of the dynamics of infiltration feeding and groundwater flow to the Golovesnya River have been performed. Changes in groundwater supply and discharge, especially in the period after 2015, have been identified, which can be interpreted as the consequences of adverse weather and climate conditions in 2014-2015. In 2018-2021, there was a decrease in groundwater and surface water resources, which corresponds to signs of hydrological drought.

KEY WORDS: *underground runoff, groundwater, river runoff, specific flows, drought, seasonality, balance, runoff layer, moisture loss, infiltration nutrition, groundwater level*

References

1. Van Loon, A.F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2 (4), 359-392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
2. Mirchi, A., Di Baldassarre, G., Madani, K., & Alborzi, A. (2021). Anthropogenic Drought: Definition, Challenges, and Opportunities. *Reviews of Geophysics*, 59 (2), 1-23. <https://doi.org/10.1029/2019RG000683>
3. Shevchenko O.L., Lobodzynskyi O.V., Nasedkin I.Yu., Chornomorets Yu.O., & Shkliarenko V.V. (2024). Decomposition of river hydrographs taking into account data of hydrogeological observations. *Geological journal*, 1, 32-46. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2024.1.288190> (In Ukrainian)

4. Conrad, L., Fernald, A., Guldán, S., & Ochoa, C. (2022). A water balancing act: water balances highlight the benefits of community-based adaptive management in Northern New Mexico, USA. *Hydrology*, 9, 64. <https://doi.org/10.3390/hydrology9040064>
5. Saha, G., & Quinn, M. (2020). Integrated surface water and groundwater analysis under the effects of climate change, hydraulic fracturing and its associated activities: a case study from North western Alberta, Canada. *Hydrology*, 7, 70. <https://doi.org/10.3390/hydrology7040070>
6. Chang, S., & Chung, I. (2021). Water budget analysis considering surface water–groundwater interactions in the exploitation of seasonally varying agricultural groundwater. *Hydrology*, 8, 60. <https://doi.org/10.3390/hydrology8020060>
7. Othman, A. (2024). Monitoring the response of Saudi Arabia's largest fossil aquifer system to climate variability, *Journal of Taibah University for Science*, 18 (1), 2331991, <https://doi.org/10.1080/16583655.2024.2331991>
8. Shevchenko, O.L., & Streltsov, A.O. (2023). Principles of calculations and arrangement of local drainage systems in private building territories. *Land reclamation and water management*, 2, 38-49. <https://doi.org/10.31073/mivg202302-364>
9. Shveikina, Yu.V., Eshchenko, N.D., & Shveikina, I.I. (Eds.). (1986). Long-term characteristics of the hydro-meteorological regime of small catchment areas in Ukraine (observation materials from the Desnyanskaya WBS, Boguslavskaya FEHB, Veliko-Anadolskaya WBS). (In Russian)
10. Osypov V., Osadcha N., Hlotka D., & Osadchy V. (2018). The Desna river daily multi-site streamflow modeling using SWAT with detail snow melt adjustment. *Journal of Geography and Geology*. 10 (3), 92-110 <https://doi.org/10.5539/jgg.v10n3p92>
11. Geological map of the USSR, Scale 1:200000, Dneprovo-Donetskaya series, M-36-III. (1974). Kyiv. (In Russian)
12. Mc Donald, M.G., & Harbaugh, A.W. (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/twri06A1>
13. El-Rawy, M., Batelaan, O., Buis, K., Anibas, C., Mohammed, G., Zijl, W., & Salem, A. (2020). Analytical and Numerical Groundwater Flow Solutions for the FEMME-Modeling Environment. *Hydrology*, 7, 27. <https://doi.org/10.3390/hydrology7020027>
14. Shevchenko, O.L., Kozytskyi, O.M., Nasedkin, I.Yu., Ryabtseva, G.P., Bublyas, V.M., Ivanushkina, N.I., Osadcha, N.M., & Syzonenko, V.P. (2011). Patterns of migration of man-made radionuclides on reclamation systems of the Chernobyl Exclusion Zone (based on research results from 1986-2004). Kherson: Ukraine. (In Ukrainian)
15. Shpak, I.S. (1961). Regime of soil moisture and groundwater in the Golovesnya river basin. *Proceedings of UkrNIHMI*, 30, 53-66. (In Russian)
16. Yeshchenko, N.D. (1967). Water balance of small catchment areas of the Pridesnyanskaya runoff station. *Proceedings of UkrNIHMI*, 66, 24-34. (In Russian)
17. Van Lanen, H.A.J., Wanders, N., Tallaksen, L.M. & Van Loon, A.F. (2013). Hydrological drought across the world: impact of climate and physical catchment structure. *Hydrol Earth Syst Sci*, 17, 1715–1732. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>
18. Pechlivanidis, I.G., Arheimer, B., Donnelly, C., Hundecha, Y., Huang, S., Aich, V., Samaniego, L., Eisner, S., & Shi P. (2017). Analysis of hydrological extremes at different hydro-climatic regimes under present and future conditions. *Clim. Chang.*, 141, 467–481. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1723-0>
19. Lobodzinskyi O.V., & Danko K.Yu. (2023). Determination and assessment of changes in the types of recharging of the rivers of the Horyn river basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 2(68), 33-42. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.2.4> (In Ukrainian)
20. Chornomoret, Yu.O., & Grebin', V.V. (2010). Long-term dynamics of the recharging regime of the Desna River. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 3 (20), 59-67. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2010_3_8 (In Ukrainian)
21. Blyshchyk, I.A. (2019). Conditions for the formation of spring flood runoff in small catchments of the Prydesnian water balance station. Work on Bachelor's degree. Odesa. Odessa State Environmental University. Retrieved from http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6146/1/BlishchikIA_Umomy_formuvannya_B_2019.pdf (In Ukrainian)
22. Shevchenko, O., Bublyas, V., & Oshurok, D. (2023). Analysis of geophysical, meteorological and hydrogeological data to explain discrepancies between infiltration and precipitation. *Bulletin of Taras Shevchenko Kyiv National University (Geology)*. 1 (100), 111-123. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13> (In Ukrainian)
23. Bublyas, V.M. (2017). Electrical phenomena of the atmosphere and lithosphere and their role in geological processes. Actual problems and prospects for the development of geology: science and production: Materials of the IV International. geol. forum for the 60th anniversary of UkrDGRI. Kyiv: Ukraine. 19-24. Retrieved from https://geonews.com.ua/uploaded_files/geoforum_2017.pdf (In Ukrainian)

The article was received by the editors 18.04.2024

The article is recommended for printing 23.05.2024