

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ

УДК 556.512 (477.84)

ВОДНО-БАЛАНСОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТЕЧІЇ РІЧКИ ЗБРУЧ

І. КУЗИК, С. КУЦЬ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

У статті, за даними середньої багаторічної витрати води, розраховано річний стік в межах середньої течії річки Збруч, який становить 120 мм. За рівнянням водного балансу визначено сумарне випаровування, в залежності від кількості опадів, за останні 30 років. Розраховано коефіцієнти стоку та модуль стоку для річки Збруч. Встановлено, що у витратній частині водного балансу середньої течії річки Збруч переважає випаровування (70%). На формування річного стоку впливає тип ландшафтів басейну річки (частка природних угідь 25%), коефіцієнт щільності річкової мережі (0,5 км²/км) та коефіцієнт розгалуженості річки (6,35).

Ключові слова: річка Збруч, водний баланс, опади, випаровування, коефіцієнт стоку

Вступ. В умовах глобальних і регіональних кліматичних змін, порушенні гідрологічного режиму водних об'єктів, проведення водно-балансових досліджень окремих водотоків чи їх частин набуває актуальності та необхідності оновлення застарілих даних. Такі дослідження, насамперед, потрібно проводити на водно-балансових станціях та гідрологічних постах. Доцільним, також, є проведення водно-балансових досліджень річок, за басейновим принципом, який найбільш повноцінно репрезентує водний об'єкт. Проте, для великих і середніх річок, проведення водо-балансових досліджень для всієї території басейну є досить складним та об'ємним науковим завданням. Найбільш оптимальним проведення таких досліджень є на окремих відтинках річки, з однорідними типами рельєфу, подібними ландшафтами та характером господарської діяльності. Особливо актуальні водно-балансові дослідження в тій частині річки, де розташовані гідрологічні пости чи гідрометеорологічні станції. Тому, *об'єктом* нашого дослідження обрано середню течію річки Збруч, в межах якої розташовано гідрологічний пост у м. Волочиськ Хмельницької області. *Метою* дослідження є визначення основних показників водного балансу річки Збруч в межах її середньої течії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні десятиліття методи водно-балансових досліджень є майже основними при оцінюванні впливу кліматичних змін на водний режим річок, ставків, озер та водосховищ. Так, публікації Л.О. Горбачової, висвітлюють актуальні питання можливих майбутніх змін водного стоку річок України (на середину ХХІ століття), проблеми просторового розподілу зв'язків між елементами водного балансу річкових водозаборів України [7] тощо. Вплив змін клімату на водний баланс та динаміку стоку води річки Ворскла досліджували Мірошніченко К.А., Чорноморець Ю.О. [11]. Просторову та часову динаміку складових водного балансу річки Дністер досліджували Кожем'якін Д.В., Чорноморець Ю.О. [9]. Розрахунок стоку води річки Єзуч за рівнянням водного балансу у своєму дослідженні проводять Е.С. Петрушенко та С.П. Горшеніна [12].

Особливості природокористування у басейні річки Збруч у своїх публікаціях висвітлюють Р. Гаврилянчик, Л. Касіяник [5], Л. Касіяник, І. Касіяник, Л. Любінська [9] та інші. Гідроекологічний стан річки Збруч унаслідок зміни кліматичних умов досліджували Андрусишин Т.В., Скиба О.І., Грубінко В.В. [2]. Комплексну оцінку екологічної ситуації річки Збруч в умовах зарегулювання та маловоддя проводили Т.В. Андрусишин та В.В. Грубінко [1]. Практичні підходи до реалізації басейнового принципу управління водним ресурсами та оцінку трансформаційних процесів в басейнах малих річок досліджували Царик Л.П., Царик П.Л., Бакало О.Д., Кузик І.Р. [3, 10, 15].

Вихідні дані. Річка Збруч - друга за довжиною притока Дністра у Тернопільській області. По цій річці колись проходив державний кордон Росії з Австро-Угорщиною та СРСР з Польщею. Нині річка тече на межі Хмельницької і Тернопільської областей. Річка Збруч починається з джерел у болоті поблизу с. Улянове Хмельницької області на Авратинській височині. Збруч спочатку тече у широкій заболоченій долині, але вже від смт. Підволочиськ долина глибшає і вужчає, а від с. Тарноруда стає глибокою і звивистою, зі стрімкими, дуже мальовничими схилами, особливо високими на відтинку, де Збруч перетинає Товтрову грядку [6, с. 226].

Загальна довжина р. Збруч становить 244 км, падіння – 96,4 м. Щільність річкової мережі басейну р. Збруч складає 0,49 км²/км, площа басейну – 3300 км², середній нахил – 1,7% (табл. 1). Кількість приток р. Збруч становить близько 532 малих річки, сумарною довжиною 1550 км [6, с. 222-223].

Площа водозабору річки становить 712 км², середня багаторічна витрата води 2,71 м³/с, коефіцієнт асиметрії басейну – 1,14 [6, с. 231].

Таблиця 1

Основні гідрометричні характеристики р. Збруч [6]

Довжина	244 км
Загальне падіння	96,4 м
Середній нахил	1,7 %
Площа басейну	3300 км ²
Щільність річкової мережі басейну	0,49 км ² /км
Площа водозабору річки	712 км ²
Середня багаторічна витрата води	2,71 м ³ /с
Кількість приток	532
Коефіцієнт асиметрії басейн	1,14

У живленні р. Збруч переважають снігові води, на частку яких припадає до 45-50% річної величини стоку. Рівневий режим характеризується порівняно високою весняною повінню, літньою та зимовою меженню і дощовими паводками. Для річки властиве досить часте коливання рівнів, викликане впливом побудованих на ній гребель. У багатоводні роки висота весняної повені досягає 2,5-3,5 м над умовним рівнем, у роки мінімальних снігозапасів повинь дуже слабо виражена і рівні становлять 10-20 см. Водний режим характеризується тим, що майже кожного року наявні паводки, які, як правило, невисокі – 0,5-0,4 м над умовним рівнем. За період спостережень найбільші витрати води коливаються від 97,0 м³/с (м. Волочиськ) до 128 м³/с (с. Витківці), найменші літні — відповідно від 0,18 до 7 м³/с. Льодовий режим річки порівняно стійкий. У середньому льодостав встановлюється у кінці грудня – початку січня, а на порожистих ділянках річка не замерзає протягом усієї зими. Вода річки відзначається порівняно значною мінералізацією (400-700 мг/л), досить тверда, сіруватого кольору. Високі повені весною часто призводять до часткового затоплення сіл Криків, Збруч, Кокосинці, руйнують греблі, мости. Річка в основному використовується для гідроенергетики та промислового водопостачання. На річці побудовано ряд ГЕС потужністю від 20 до 150 кВт [6, с. 227].

Результати досліджень. Метод водного балансу можна розглядати як найбільш надійний спосіб, за допомогою якого може бути науково обґрунтована оцінка наслідків впливу господарської діяльності на водний режим гідрологічних об'єктів. При цьому така оцінка може бути дана ще в процесі проектування водогосподарських заходів. Разом з цим, можна вирішити і зворотне завдання: оцінити зміни довкілля в результаті антропогенного перетворення водного балансу. Оскільки водні об'єкти найтіснішим чином пов'язані між собою, та зміна водного балансу одного з них неминуче веде до зміни балансу інших [12].

Рівняння водного балансу, що вирішується відносно річкового стоку, в першу чергу призначене для дослідження формування і оцінки величин стоку, його режимних характеристик. При цьому коливання клімату (погоди) впливають на зміни активних чинників – величин опадів і випаровування, а вони, у свою чергу, взаємодіючи з річковими басейнами, утворюють річковий стік [14].

Водний баланс, як співвідношення його основних елементів – опадів Р (мм), стоку R (мм) і сумарного випаровування Е (мм) розраховується за формулою $P = R + E$ (1), без складової зміни запасів вологи в басейні $\pm \Delta W$, що обумовлено тим, що водний баланс розраховувався за багаторічний період. Основною умовою водно-балансових розрахунків є те, що всі елементи рівняння водного балансу повинні бути виміряні та розраховані незалежними методами [4].

З трьох основних елементів водного балансу, опади та стік - є величинами, що безпосередньо вимірюються на моніторинговій мережі спостережень. Зокрема, дані про кількість атмосферних опадів, впродовж останні 30 років (табл. 2) отримали від Тернопільського обласного гідрометеорологічного центру. Стік води з досліджуваної території розраховували за даними про витрати води з гідрологічного поста р. Збруч – м. Волочиськ Хмельницької області, які перераховувалися в шар стоку води (мм).

Загальна формула визначення шару стоку через витрату води має наступний вигляд:

$$R = Q \times T / A \times 1000 \quad (2) \quad [12]$$

Де, R – це багаторічний шар стоку (мм), Q – середня річна витрата води (для р. Збруч на гідрологічному пості у м. Волочиськ вона становить 2,71 м³/с [6, с. 171]), T – проміжок часу в секундах (у нашому випадку рік), A – площа водозабору річки (для р. Збруч – 712 км² [6, с. 171]).

Відповідно, за формулою 2, багаторічний шар стоку у річці Збруч становить: $R = 2,71 \times 31\,556\,926 / 712 \times 1000 = 85\,519\,269 / 712\,000 = 120$ мм.

Якщо розраховувати річний водний баланс за багаторічний період рівняння водного балансу набирає вигляду:

$$R = P - E \quad (3) \quad [12]$$

Де, R – річний стік, що дорівнює сумі поверхневої і дренуючої підземної частки води, мм; P – сумарна кількість опадів, мм; E – випаровування, мм. Якщо величини P і E представлені величинами середніх арифметичних значень за багаторічний період (норму) опадів і сумарного випаровування, то R є нормою річкового стоку води, у цьому випадку величина R носить назву кліматичний стік. Відповідно із формули 3, можна визначити сумарне випаровування (E). Результати розрахунків наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку основних показників водного балансу середньої течії р. Збруч

Рік	Кількість опадів (P, мм)	Сумарне випаровування (E, мм)	Річний стік (R, мм)	Коефіцієнт стоку ($K_{\text{стоку}}$)	Модуль стоку (M, м ³ /с/км ²)
1990	436	316	120	0,27	3,05
1991	516	396	120	0,23	3,05
1992	567	447	120	0,21	3,05
1993	665	545	120	0,18	3,05
1994	475	355	120	0,25	3,05
1995	537	417	120	0,22	3,05
1996	494	374	120	0,24	3,05
1997	590	470	120	0,20	3,05
1998	725	605	120	0,16	3,05
1999	576	456	120	0,21	3,05
2000	539	419	120	0,22	3,05
2001	798	678	120	0,15	3,05
2002	438	318	120	0,27	3,05
2003	538	418	120	0,22	3,05
2004	596	476	120	0,20	3,05
2005	583	463	120	0,21	3,05
2006	603	483	120	0,19	3,05
2007	638	518	120	0,18	3,05
2008	720	600	120	0,17	3,05
2009	504	384	120	0,24	3,05
2010	761	641	120	0,16	3,05
2011	401	282	120	0,30	3,05
2012	737	617	120	0,16	3,05
2013	728	608	120	0,16	3,05
2014	582	462	120	0,21	3,05
2015	453	333	120	0,26	3,05
2016	494	374	120	0,24	3,05
2017	543	423	120	0,22	3,05
2018	595	475	120	0,20	3,05
2019	543	423	120	0,22	3,05

Для проведення детальних водно-балансових досліджень річки Збруч, додатково потрібно розрахувати, такі показники як *коефіцієнт стоку* та *модуль стоку*. Дані показники характеризують частку стоку води та сумарного випаровування в структурі водного балансу [19].

Коефіцієнт стоку (h) – це відношення величини шару стоку (R) за певний період до кількості опадів (P), які випали на площу водозабору річки:

$$h = R/P \quad (4) \quad [13]$$

Результати розрахунків коефіцієнту стоку для басейну р. Збруч наведено у таблиці 2.

Модуль стоку (M) – це кількість води (Q , м³/с), яка стікає з одиниці площі водозабору (F , км²) за певний час:

$$M = Q \times 1000 / F \quad (5) \quad [13]$$

Для басейну р. Збруч, модуль стоку становить: $M = 2,71 \times 1000 / 712 = 3,05 \text{ м}^3/\text{с}/\text{км}^2$.

У формуванні річкового стоку важливу роль відіграють кількість приток, тобто розгалуженість

річкової мережі, щільність річкової мережі (яка для басейну р. Збруч становить близько $0,5 \text{ км}^2/\text{км}$ [6]), залісненість та розораність басейну. За даними досліджень Касіяник Л.В., Касіяник І.П. та Любінської Л.Г., лісистість басейну р. Збруч становить 11%, а розораність 68,5% [8]. Загалом частка природних угідь у басейні р. Збруч складає лише 25%.

Розгалуженість річкової мережі, найбільш повноцінно репрезентує коефіцієнт розгалуженості річки – це відношення суми довжин всіх рік басейну (ΣL) до довжини основної річки (L), який визначається за формулою:

$$K_{\text{розг.}} = \Sigma L / L \quad [13] \quad (6)$$
$$K_{\text{розг.}} = 1550 \text{ км} / 244 \text{ км} = 6,35$$

Коефіцієнт розгалуженості річкової мережі Збруча становить **6,35**.

Отож, на основі вище наведених результатів розрахунків можна стверджувати, що у витратній частині водного балансу середньої течії р. Збруч значно переважає сумарне випаровування (75-70%), тоді як на річний стік припадає лише (30-25%). У випадку зменшення дохідної частини водного балансу (кількості опадів), у середній течії р. Збруч виникнуть ризики пересихання, оскільки випаровування переважає над стоком. З чого можна зробити висновок, що для регулювання водного балансу р. Збруч не варто будувати водоакумуючі споруди у вигляді ставків чи водосховищ. А все ж таки, варто направити оптимізаційні заходи на збільшення лісистості басейну річки, розчищення приток тощо. Оскільки саме такі заходи сприятимуть зменшенню випаровуваності та збільшенню річкового стоку.

Висновки. За результатами проведених водно-балансових досліджень середньої течії річки Збруч, встановлено, що багаторічний шар стоку в межах досліджуваної території складає 120 мм. Випаровування в залежності від кількості атмосферних опадів в межах середньої течії р. Збруч коливається в межах 318-678 мм. Коефіцієнт стоку, який показує частку річного стоку у водному балансі річки, для середньої течії р. Збруч становить 0,16-0,27. Тобто у водному балансі річки Збруч на річний стік припадає менше 30%, тоді як на випаровування близько 70%. На формування річного стоку значною мірою впливає характер ландшафтів басейну річки, розгалуженість та щільність річкової мережі. Нами розраховано коефіцієнт розгалуженості р. Збруч, який становить 6,35. Таким чином, на основі проведених розрахунків, можемо зробити висновок, що річка Збруч потребує впровадження ефективних оптимізаційних заходів для підвищення річкового стоку та зменшення випаровуваності. Пріоритетними напрямками формування сталого водного балансу р. Збруч є збільшення лісистості басейну, дотримання санітарно-екологічних норм у водоохоронних і прибережних смугах, ренатуралізація малих приток тощо.

Література:

1. Андрусишин Т.В., Грубінко В.В. Комплексна оцінка екологічної ситуації річки Збруч в умовах зарегулювання та маловоддя. Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка, серія: біологія. 2017. №2 (69). С. 81-93.
2. Андрусишин Т.В., Скиба О.І., Грубінко В.В. Гідроекологічний стан річки Збруч унаслідок зміни кліматичних умов. Наук. зап. ТНПУ ім. В. Гнатюка, сер.: біологія. 2018. №2 (73). С. 96-101.
3. Бакало О.Д., Царик Л.П., Царик П.Л. Трансформація еколого-географічних процесів басейну р. Джурин. Монографія. Тернопіль: СМП «Тайп», 2018. 168 с.
4. Бесараб Ю.С., Лук'янець О.І. Водний баланс басейну річки Велика Вись та сучасні зміни його складових. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019 №2 (53). С. 101-105.
5. Гаврилянчик Р., Касіяник Л. Просторова структура та умови збалансованого використання природних кормових угідь у басейні річки Збруч. Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка, серія: географія. 2016. №1. С. 283-291.
6. Географія Тернопільської області. Т.1. Природні умови та ресурси. За ред. проф. Сивого М.Я. Тернопіль: Крок, 2017. 504 с.
7. Горбачова Л.О. Просторовий розподіл зв'язків між елементами водного балансу річкових водозаборів України. Український географічний журнал. 2014. №2. С. 17-21.
8. Касіяник Л.В., Касіяник І.П. Любінська Л.Г. Параметри збалансованості системи природокористування в басейні річки Збруч. Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: екологія. 2018. Вип. 3. С. 97-107.
9. Кожем'якін Д.В., Чорноморець Ю.О. Просторова та часова динаміка складових водного балансу басейну річки Дністер до міста Заліщики. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019 №2 (53). С. 21-30.
10. Кузик І. Розрахунок гідрометричних показників річки Нічлава. Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми перспективи розвитку»: Зб. наук. праць. Переяслав-Хмельницький, 2019. Вип. 48. С. 15-17.
11. Мірошніченко К.А., Чорноморець Ю.О. Вплив змін клімату на водний баланс та динаміку стоку води річки Ворскла. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016 №2 (41). С. 21-30.
12. Петрушенко Е., Горшеніна С. Розрахунок стоку води річки Єзуч за рівнянням водного балансу. Наукові записки СумДПУ ім. А.С.Макаренка. Географічні науки. 2017. Вип. 8. С. 65-70.

13. Питуляк М.Р., Питуляк М.В. Гідрологія: навчально-методичний посібник. Тернопіль: ТНПУ, 2014. 118 с.
14. Сніжко С. І., Паламарчук Л.В., Затула В.І. Метеорологія: підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. 592 с.
15. Царик Л.П., Царик П.Л., Кузик І.Р. Природокористування та охорона природи у басейнах малих річок. Монографія. За ред. проф. Л.П. Царика. Тернопіль, СМП «Тайп», 2019. 104 с.

Abstract:

Ihor Kuzyk, Stepan Kuc WATER-BALANCE RESEARCH OF THE MIDDLE FLOW OF ZBRUCH RIVER

In the article, according to the long-term average water loss, the annual runoff within the middle course of the river Zbruch, which is 120 mm, is calculated. According to the water balance equation was determined the total evaporation, depending on the amount of precipitation, for the last 30 years. The runoff coefficients and runoff modulus for the Zbruch river are calculated. It is established that in the expendable part of the water balance of the middle course of the river Zbruch evaporation prevails (70%). The formation of annual runoff is influenced by the type of landscapes of the river basin (the share of natural lands 25%), the coefficient of density of the river network (0.5 km/km²) and the coefficient of branching of the river (6.35).

Key words: Zbruch river, water balance, precipitation, evaporation, runoff coefficient.

УДК 911.3

**КОЕФІЦІЄНТ МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СТІЙКОСТІ АТМОСФЕРИ У
МЕЖАХ М. ТЕРНОПОЛЯ ЗА 2010-2020 РР.**

І. БАРНА, Л. ГРАБАР

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

У дослідженні проаналізовано критерії та підходи до визначення стійкості природних систем. Особливу увагу приділено питанню визначення стійкості атмосферного повітря як одного з компонентів довкілля. За результатами власних розрахунків встановлено динаміку коефіцієнта метеорологічного потенціалу стійкості атмосфери на прикладі м. Тернополя за період 2010-2020 років. Запропоновано власні розрахунки щодо визначення коефіцієнта метеорологічного потенціалу атмосфери.

Відповідно до розроблених прогнозів щодо зміни клімату на регіональному рівні оцінено зміну потенціалу стійкості атмосфери.

Ключові слова: *стійкість, стійкість системи, атмосфера, метеорологічний потенціал стійкості атмосфери.*

Потрапляння в атмосферу властивих чи невластивих її хімічному складу речовин внаслідок емісій забруднюючих речовин розбалансовує природний склад атмосфери [10], функціональні співвідношення її природних компонентів. Послаблення таких змін в газовому складі атмосфери відбувається за рахунок горизонтального переміщення повітряних мас – вітру [9,10]. З іншого боку, саморегуляція та самоочищення атмосфери реалізується завдяки випаданню опадів, коли домішки виводяться за межі системи [5,11].

Урахування згаданих чинників стійкості атмосфери обумовило спроби вчених кількісно оцінити стійкість атмосфери [2,3,4,11]. Найбільш вдалим виявилось рішення В. А. Барановського, який врахував геофізичні умови території у запропонованому показнику метеорологічного потенціалу атмосфери (МПА), що визначається за формулою:

$$K_{mna} = P_{ш} + P_{т} / P_{о} + P_{в},$$

де $P_{ш}$ – повторюваність днів із швидкістю вітру 0-1 м/с; $P_{т}$ повторюваність днів із туманами; $P_{о}$ повторюваність днів із опадами 5 мм і більше; $P_{в}$ повторюваність днів із швидкістю вітру 6 м/с і більше [2].

Якщо обчислений $K_{mna} > 1$, то переважання безвітряної погоди і туманів сприяють накопиченню шкідливих речовин. Результат обчислень K_{mna} менший 1 отримуємо при переважанні днів з опадами і вітром швидкістю 6 м/с і більше, що уможливорює самоочищення атмосфери.

Показник коефіцієнту метеорологічного потенціалу стійкості атмосфери K_{mna} у 2010 р. вказує на переважання процесів самоочищення, зокрема, за рахунок горизонтального перенесення домішок під час вітряної погоди. Здатність атмосфери до самоочищення за даними 2010 р. коливалась за місяцями з показниками 0,38-1,11, забезпечуючи середньорічний показник на рівні 0,62. З іншого боку, таке значення K_{mna} обумовлене значною часткою днів з швидкістю вітру 0-1 м/с. Найкраща ситуація щодо