

НОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ РІЧОК ПСЕЛ ТА ВОРСКЛА

Бурлуцька М.Е., Романчук М.Є.

Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
viktoryb59@ukr.net, mromanchuk67@gmail.com

Характеристики річного стоку широко використовуються, але визначення їх в умовах обмежених вихідних даних складають проблему, яку можна віднести до недостатньо вивчених у практичному та теоретичному відношенні. Ступінь вивчення особливостей формування річного стоку річок України недостатня, тому потребує подальшого розвитку дослідження у рівній мірі як в області теоретичних, так і практичного відношеннях. Основні характеристики річного стоку повинні мати достатнє обґрунтування рекомендацій з їх розрахунку.

Вони пов'язані з практичними потребами до теоретичних результатів дослідження. При відсутності систематичних вимірювань стоку і, відповідно, часових рядів, характеристики річного стоку визначаються непрямими методами. До найбільш поширених відносяться картування характеристик стоку та регіональні залежності від фізико-географічних чинників.

Головним джерелом живлення річок є атмосферні опади. В сучасних умовах формування стоку на річках України знаходяться під впливом змін клімату, як й увесь світ в цілому, тому при розрахунках норми річного стоку, слід враховувати цей чинник. Авторами статті ця задача вирішується на прикладі визначення та обґрунтування однієї з головних характеристик річного стоку, його норми. Спостереження за річковим стоком велись у басейні річок Псел та Ворскла, винятково у межах України. Досліджуваний регіон має певні особливості у формуванні річного стоку, що обумовлено його географічним положенням, орографією, своєрідним кліматом.

Метою дослідження є аналіз сучасних умов формування річного стоку, визначення та розрахунок норми річного стоку, аналіз ступеня впливу місцевих факторів на цю характеристику та узагальнення розрахункової характеристики по території, базуючись на сучасних даних.

В результаті дослідження виявлено, при аналізі ступеня впливу місцевих чинників, в басейні річок Псел та Ворскла, норма річного стоку не зумовлена географічним положенням, а підкорюється впливу лісу. *Ключові слова:* річний стік, статистичні характеристики, часові ряди, місцеві фактори, регіональні залежності.

Normalization of the characteristics of annual flow in the basin of the Psel and Vorskla rivers. Burlutska M., Romanchuk M.

The characteristics of river flow are widely used, but their determination under conditions of limited initial data is a problem that can be attributed to insufficiently studied in practical and theoretical terms. The degree of study of the peculiarities of the formation of the annual runoff of Ukrainian rivers is insufficient, so further research is needed in both theoretical and practical terms. The main characteristics of the annual runoff should have sufficient justification for recommendations on their calculation.

They are related to practical needs to the theoretical results of the study. In the absence of systematic runoff measurements and, accordingly, time series, annual runoff characteristics are determined by indirect methods. The most common ones include mapping of runoff characteristics and regional dependencies on physical and geographic factors.

The main source of water for rivers is precipitation. In the current conditions of runoff formation, Ukrainian rivers are under the influence of climate change, as is the whole world, so this factor should be taken into account when calculating the annual runoff rate. The authors of this article solve this problem by defining and substantiating one of the main characteristics of the annual runoff, its rate. Observations of river flow were conducted in the basin of the Psel and Vorskla rivers, exclusively within Ukraine. The studied region has certain peculiarities in the formation of annual runoff, which are due to their geographical location, orography, and peculiar climate.

The purpose of the study is to analyze the current conditions of annual runoff formation, determine and calculate the annual runoff rate, analyze the degree of influence of local factors on this characteristic, and generalize the estimated characteristic for the territory based on current data.

As a result of the study, it was found that when analyzing the degree of influence of local factors in the basin of the Psel and Vorskla rivers, the annual runoff rate is not determined by geographical location, but is subject to the influence of the forest. *Key words:* annual flow rate, statistical characteristics, time series, local factors, regional dependencies.

Постановка проблеми. Річний стік являє собою складний природний процес, обумовлений впливом комплексу фізико-географічних чинників та господарською діяльністю. Дія різних природних факторів річний стік та його характеристики залежать від розташування досліджуваного району. Річний

стік є однією з базових характеристик при вирішенні питань, пов'язаних з будівництвом і експлуатацією гідрологічних споруд в долинах і руслах гідрографічної мережі, при здійсненні заходів протиаварійного захисту населених пунктів, промислових і сільськогосподарських об'єктів.

Актуальність. Стаття присвячена актуальній проблемі, яка пов'язана з нормуванням розрахункових характеристик річного стоку (норми) в басейні річок Псел та Ворскла. На основі моделі визначення характеристик річного стоку за відсутності гідрометричних спостережень, обґрунтовується варіант розрахункової схеми і його реалізація. Виконані дослідження відповідають запитам народного господарства, особливо в сучасних умовах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Наукове обґрунтування і практична реалізація виконаних досліджень має важливе значення при розрахунках річного стоку досліджуваного регіону, методики визначення кількісних характеристик стоку у різних водогосподарських та гідрометеорологічних умовах, його формування для забезпечення ефективної діяльності споживачів водних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень. Проблемою річного стоку в басейнах річок України та узагальнення його характеристик займаються сучасні відомі вчені нашої країни. Так О.І. Лук'янець, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь, О.О. Почаєвець, В.О. Корнієнко у своїй статті «Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України» [1] аналізують створену за сучасними даними за допомогою аналітичних функцій ГІС карту ізолій модулів середнього річного стоку води річок України, яка є актуальною та має важливе практичне значення. У роботі виконано порівняння між фактичними їх значеннями за багаторічний період в гідрометричних створах та знятими з карти. Виконаний аналіз відповідності просторового розподілу картографованих річних норм стоку води щодо збереження територіального розподілу водно-балансових співвідношень в межах окремих географічних (природних) зон та річкових басейнів. Виділено найбільш характерні особливості розподілу середнього річного стоку води по території України.

У роботі Л.О. Горбачової «Багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників» [2] проаналізовано багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників на основі гідролого-генетичного аналізу. Автором статті досліджено, що просторово-часова мінливість річного стоку вод річок України добре узгоджується з коливаннями річних сум атмосферних опадів у різних фізико-географічних зонах. Проаналізована циклічність рядів спостережень середньорічного стоку води річок, вони є стаціонарними, оскільки його багаторічні тенденції вказують на наявність у рядах спостережень повних циклів коливань як довгострокових, так і короткострокових.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Водні ресурси великих територій розуміють величину середньорічного стоку річок за рік. Територія України насичена великими та малими річками, але за запасами місцевих водних ресурсів

у розрахунку на одного мешканця (близько 1 тис.м³ на рік) Україна відноситься до малозабезпечених водою країн. Водні ресурси нерівномірно розподілені по території нашої України. На деяких річках, на жаль не велись спостереження за стоком річок. Тому при розрахунках річного стоку, які повинні відповідати запитам водопостачання, зрошення, осушення, гідроенергетики та інших галузей народного господарства, для досліджуваного району була удосконалена методика визначення головних характеристик річного стоку для невивчених річок.

Новизна. При розрахунку величини річного стоку в басейні річок Псел та Ворскла, в рамках наукових досліджень на сучасних матеріалах, була отримана регіональна формула, для визначення норми річного стоку за відсутності даних спостережень.

Методологічне або загальнонаукове значення. Отримана регіональна формула для визначення норми річного стоку невивчених річок досліджуваного району, доведена до практичного використання. Обґрунтована методика при визначенні величини річного стоку за відсутності даних спостережень, яка може бути поширена і на інші регіони України.

Викладення основного матеріалу. У статті розглядаються басейни річок Псел та Ворскла, виключно у межах території України. Досліджувані річки є лівими притоками Дніпра, які несуть свої води по Сумській та Полтавській областях.

Мета дослідження – нормування найбільш важливої характеристики річного стоку, а саме його норми, досліджуваного району.

Для рішення цієї задачі було обрано 17 гідрологічних постів, які входять до басейну річок Псел та Ворскла. Вихідні дані для розрахунків отримані у фондових матеріалах Одеського державного екологічного університету.

Карта-схема розташування гідрологічних постів басейна річок Псел та Ворскла представлена на рис. 1.

Систематичні спостереження за річним стоком на відповідних гідрологічних постах, у межах досліджуваної території, складають від 25 до 74 років. Вони охоплюють діапазон водозбірних площ від 56 км² (р. Ворскла – с. Яковлеве) до 21800 км² (р. Псел – с. Запсілля) [3].

Статистична обробка часових рядів річного стоку виконувалась з використанням кривих біноміального і трипараметричного гама-розподілу [4]. Основні статистичні характеристики – середні значення рядів \bar{q} , коефіцієнт варіації C_v і асиметрії C_s (або співвідношення C_s / C_v) обчислювались за допомогою методів моментів і найбільшої правдоподібності [5]. Як показали результати статистичних розрахунків середні значення рядів \bar{q} змінюються від 2,09 л/(с·км²) (р. Ворскліця – с. Березівка) до 4,38 л/(с·км²) (р. Ворскла – с. Яковлеве). Отримані практично однакові значення коефіцієнтів варіації, які розраховані за двома методами C_{vm} і $C_{v\lambda}$ і знаходяться в межах від 0,27 (Псел – м.Суми) до 0,80 (р. Голтва – с. Михнівка). Коефіцієнти асиметрії C_s

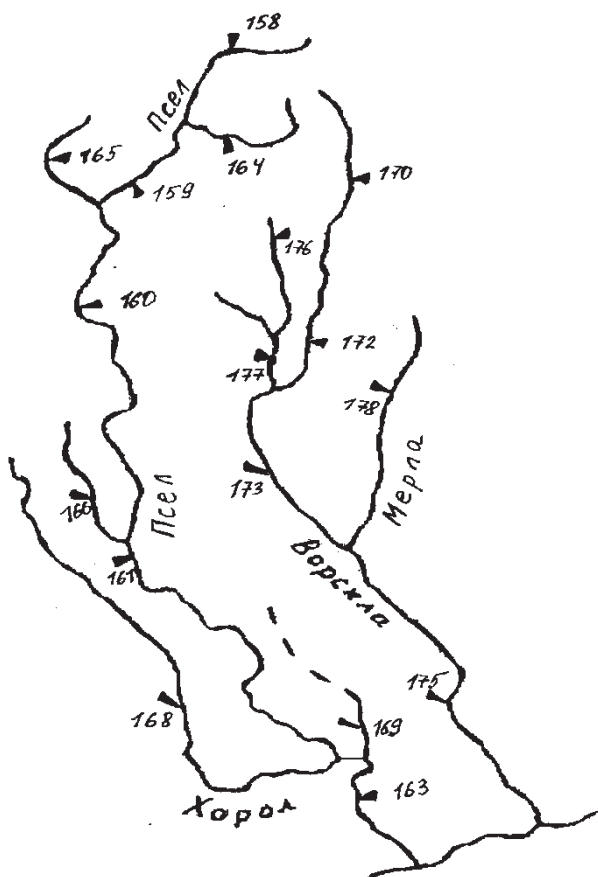


Рис. 1. Карта-схема розташування гідрологічних постів спостережень за річним стоком у басейні річок Псел та Ворскла

нормовані за їх співвідношенням з C_v . В середньому в межах усієї досліджуваної території $C_s = 2.03 C_v$. Точність визначення параметрів статистичного розподілу складає: $\sigma_q = 6,5\%$ і $\sigma_{Cv} = 11,7\%$.

При розрахунках річного стоку звертається увага на питання дослідження циклічності коливань стоку річок в наслідку впливу антропогенних чинників, тому у першу чергу необхідно керуватись аналізом циклічності в басейні річок Псел та Ворскла. Так як коливання річного стоку характеризуються циклічністю, то для визначення циклічності на розглянутій території побудовані різниці інтегральні криві [5]. Аналіз цих кривих показав, що вони утворюють замкнуті цикли коливань водності. Нажаль, деякі пости все ж мали невеликі розриви, але на середні значення це суттєво не впливає і всі наявні ряди спостережень можуть бути використані для подальшого розрахунку норми річного стоку на досліджуваній території.

На значення норми річного стоку можуть впливати такі фактори, як широта, висота водозборів та місцеві фактори (залісеність) [6]. Внаслідок цього були побудовані залежності середньорічних модулів стоку від широти геометричних центрів водозборів, висоти та залісеності. Для узагальнення норми річ-

ного стоку у межах розглянутої території, слід перевірити наявність залежності величини норми річного стоку від широтного положення водозборів для річок басейну Псел та Ворскла. Коефіцієнт кореляції цієї залежності виявився мало значим $r = 0,33$ (рис. 2).

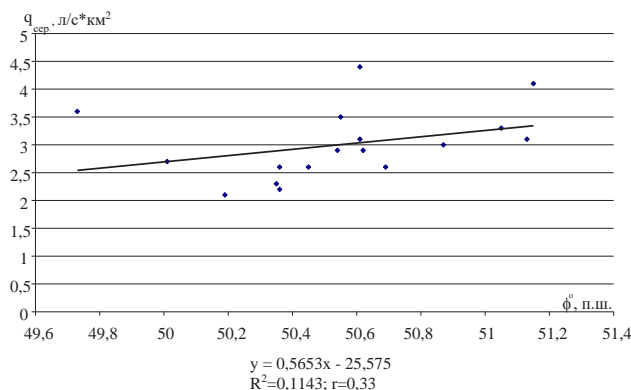


Рис. 2. Залежність середніх модулів річного стоку від широти геометричних центрів водозборів річок Псел та Ворскла

На значення норми річного стоку можуть впливати такі фактори, як висота водозборів так і місцеві фактори (лісистість). Внаслідок цього були побудовані залежності середньорічних модулів стоку від висоти та лісистості. Першим був проаналізований вплив висоти на норму річного стоку (рис. 3).

Аналіз цієї залежності показав, що коефіцієнт кореляції є значим і дорівнює $r = 0,60$. Так як коефіцієнт кореляції залежності норми стоку від висоти водозборів значимий, стає питання все ж таки впливу широтного положення водозборів. Для цього, використовуючи рівняння (1), яке описує залежність на рис. 3, були визначені для всіх постів середні модулі стоку, які приведені до умовної висоти $\bar{q}_{H=200}$

$$\bar{q} = 0.015(H - 200) + \bar{q}_{H=200} \quad (1)$$

де H – висота водозборів;

$\bar{q}_{H=200}$ – середній модуль стоку, приведений до умовної висоти $H=200$ м.

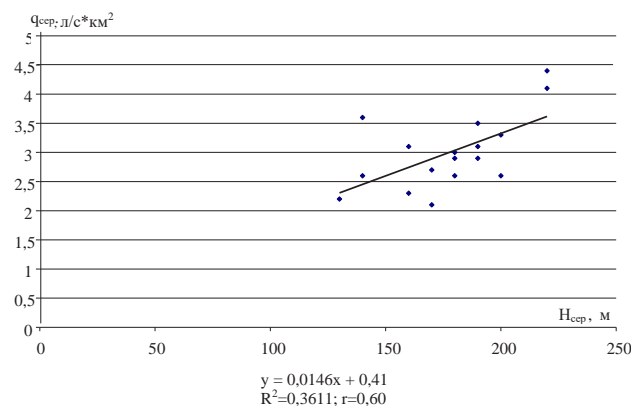


Рис. 3. Залежність середніх модулів річного стоку від середньої висоти водозборів в басейнах річок Псел та Ворскла

Була побудована залежність $\bar{q}_{H=200}$ від широти гео- метричних центрів водозборів. Коефіцієнт кореляції цієї залежності відноситься до незначущих і дорівнює $r = 0,014$. Тому автори статті вважали недоцільним наводити цю залежність. Останнім дослідженням норми річного стоку даного району є вплив на цю характеристику лісистості. Побудована таким же чином залежність норми стоку від лісистості $\bar{q}_{H=200} = f(f_l)$, яка наведена на рис. 4.

Ця залежність описується рівнянням

$$\bar{q}_{H=200} = 3.96 - 0.097f_l \quad (2)$$

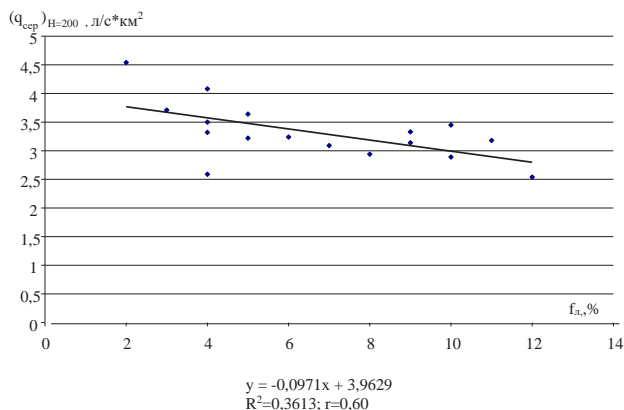


Рис. 4. Залежність середніх модулів стоку, приведених до умовної висоти $H=200$, від лісистості

Залежність норми річного стоку від лісистості має чіткий вираз, коефіцієнт кореляції є значимий і дорівнює $r = 0,60$.

Це свідчить про вплив лісистості на норму річного стоку в басейнах річок Псел та Ворскла. З урахуванням формули (2), формула (1) набуде вигляду

$$\bar{q} = 0,015(H-200) - 0,10 \cdot f_l + 4,0 \quad (3)$$

Таким чином, отримана регіональна формула визначення норми річного стоку для невивчених річок досліджуваного басейну.

На підставі одержаних результатів були виконані перевірочні розрахунки з використанням регіональної формули в басейнах річок Псел та Ворскла (табл. 1).

Перевірочні розрахунки виконувались за формулою

$$\Delta q = \frac{|q_p - q_\phi|}{q_\phi} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $q_p, \%$ – розрахункові за методикою значення;
 $q_\phi, \%$ – фактичні значення

Точність значень Δq для постів території, що розглядається, знаходиться в межах від $\Delta q = 0,32\%$ (р. Грунь – с. Римарівка) до $\Delta q = 39,0\%$ (р. Пена – с. Пени).

Середнє значення $\Delta q = 10,3\%$, що відповідає вихідній інформації по стоку річок $\sigma_q = 6.5\%$.

Це свідчить про те, що запропоновану методику можна використовувати для визначення розрахункової характеристики норми річного стоку за відсутністю даних спостережень в басейні річок Псел та Ворскла.

Головні висновки. Авторами статті виконано: аналіз сучасних умов формування стоку і проведено уточнення розрахункових характеристик часових рядів річного стоку для досліджуваного басейну річок Псел та Ворскла; оцінка та аналіз ступеня

Таблиця 1

Перевірочні розрахунки норм річного стоку в басейнах річок Псел, Ворскла

№ за картою	Річка - пост	F, км ²	\bar{q}_ϕ , л/(с·км ²)	\bar{q}_p , л/(с·км ²)	$ \Delta \bar{q} $, %
158	Псел – м. Обоянь	1100	3,8	3,9	2,63
159	Псел – с. Крупец	4700	3,32	3,6	8,43
160	Псел – м. Суми	7770	3,09	3,25	5,18
161	Псел – м. Гадяч	11300	3,03	2,8	7,59
163	Псел – с. Запсілля	21800	2,34	2,6	11,1
164	Пена – с. Пени	1000	2,59	3,6	39,0
165	Суджа – с. Замостье	972	3,49	3,35	4,01
166	Грунь – с. Римарівка	958	3,11	3,1	0,32
168	Хорол – м. Миргород	1740	2,17	2,45	12,9
169	Голтва – с. Михнівка	1560	3,64	2,9	20,3
170	Ворскла – с. Яковлеве	56	4,38	3,9	10,9
172	Ворскла – с. Козинка	1870	2,94	3,15	7,14
173	Ворскла – с. Чернечина	5790	2,69	2,65	1,49
175	Ворскла – с. Кобеляки	13500	2,55	2,1	17,6
176	Ворскла – с. Мокра Орловка	612	2,88	2,6	9,72
177	Ворскліця – с. Березівка	1460	2,09	2,35	12,4
178	Мерла – м. Богодухів	309	2,59	2,7	4,25
Середнє значення					10,3

впливу місцевих факторів на його параметри та узгалянення розрахункової характеристики у вигляді регіональної формули, базуючись на сучасних даних.

Перспективи використання результатів дослідження. Обґрунтована методика для нормування розрахункових характеристик річного стоку в басейні річок Псел та Ворскла доведена для прак-

тичного використання. Отримана регіональна формула для визначення норми річного стоку невивчених річок досліджуваного басейну. Використання цієї формули може бути поширено і на інші регіони України, причому, за такою методикою можна визначати норму інших характеристик річного стоку за відсутністю даних спостережень.

Література

1. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. / О.І.Лук'янець та ін. *Український географічний журнал*, 2021. № 1(113), С. 6–14.
2. Горбачова Л.О. Багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників. *Наукові праці УКРНДГМІ*, 2016. вип. 269. С. 94–106.
3. Вишневецький В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр, 2003. 324 с.
4. Овчарук В.А. Максимальний стік весняного водопілля рівнинних річок України: монографія. Одеса: Видавничий дім «Гальваніка», 2020. 300 с.
5. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
6. Генсірук С.А., Нижник М.С. Географія лісових ресурсів України. Львів: Світ, 1995. 123 с.