

НОРМА РІЧНОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ РІЧОК ПРИАЗОВ'Я

Бурлуцька М.Е., Романчук М.Є., Погорелова М.П.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

victoryb59@ukr.net, mromanchuk67@gmail.com, djoir84@ukr.net

Об'єктом дослідження у цій роботі є басейни річок Приазов'я. Основною та найбільш важливою характеристикою стоку будь-якої річки є його середнє значення за багаторічний період – норма річного стоку. Для уточнення норми стоку в басейні річок Приазов'я необхідно виявити вплив на цю важливу характеристику місцевих факторів (висота місцевості, лісистість, заболоченість) і широтного положення водозбору, визначити норму річного стоку за допомогою побудованої карти ізоліній розглянутої території, якою можна керуватися при відсутності таких спостережень.

Для визначення параметрів були використані такі методи: метод моментів і найбільшої правдоподібності за програмою Stok Stat, перевірка на однорідність часових рядів річного стоку за критеріями Фішера, Стьюдента та Вілкосона. Визначався вплив на норму річного стоку місцевих факторів та широтного положення водозборів, для чого були побудовані відповідні залежності. Узагальнення норми річного стоку виконано у вигляді карти ізоліній.

Для визначення норми стоку в басейні річок Приазов'я обрано 26 гідрологічних постів, на яких ведуться систематичні спостереження за стоком води. За цими даними виконана статистична обробка часових рядів середньорічних модулів річного стоку, отримані головні статистичні параметри: середнє значення ряду, коефіцієнт варіації та коефіцієнт асиметрії. Середня квадратична похибка для середньорічних модулів стоку, тобто для q_{sp} , у басейні річок Приазов'я дорівнює 8,1%, а коефіцієнтів варіації – 13%. Це відповідає вимогам нормативного документу СНІП 2.01.14.83. При перевірці на однорідність були виявлені 11 неоднорідних гідрологічних постів по басейну. За даними цих постів були побудовані хронологічні графіки та виявлені часові тренди.

Проаналізувавши можливий вплив різних чинників на розподіл норми річного стоку на розглянутій території, можна зробити висновок, що основним чинником є лише широтне положення водозборів. Була розроблена методика узагальнення по території норми річного стоку у вигляді карти ізоліній для річок Приазов'я, на яких відсутні дані гідрометричних спостережень. *Ключові слова:* статистичні параметри, норма стоку, просторове узагальнення, географічна зональність.

Annual runoff rate in the basin of the rivers of the Azov Sea. Burlutska M., Romanchuk M., Pogorelova M.

The object of study of this work is the basin of the rivers of the Azov Sea. The main and practically are the most important characteristic of the runoff of any river is average value for a long period of time – the rate of annual runoff. To clarify the flow rate for the rivers of the Azov Sea, it's necessary to identify the impact on this important characteristic of local factors (altitude, forest cover, wetlands) and the latitudinal position of the catchment, as well as to determine the annual flow rate is using a map of isolines of the territory, which can be controlled in the absence of data observation.

The following methods were used to determine the parameters: the method of moments and the highest plausibility according to the Stok Stat program, checking for homogeneity of time series of annual runoff according to the criteria of Fisher, Student and Wilcoxon. The influence of local factors and the latitudinal position of catchments on the norm of annual runoff was determined, for which the corresponding dependences were constructed. The generalization of the annual runoff rate is made in the form of a map of isolines.

To determine the rate of runoff in the basin of the rivers of the Azov Sea, 26 hydrological posts were selected, where systematic monitoring of water runoff is conducted. According to these data, statistical processing of time series of average annual modules of annual runoff was performed, the main statistical parameters such as the average value of the series, the coefficient of variation and the coefficient of asymmetry were obtained. The root mean square error for the average annual runoff modules, ie for q_{sp} , in the Azov river basin is equal to $\sigma_q = 8,1\%$ and coefficients of variation – $C_v = 13\%$. This satisfies the requirements of the regulatory document SNIP 2.01.14.83. When checking for homogeneity, 11 inhomogeneous hydrological posts in the basin were found. According to these posts, chronological graphs were constructed and time trends were identified.

After analyzing the possible influence of various factors on the distribution of annual runoff in the area, we can conclude that the main factor is only the latitudinal position of the catchment. A method of generalization of the annual runoff norm on the territory in the form of a map of isolines for the rivers of the Azov Sea, on which there are no data of hydrometric observations, was developed. *Key words:* statistical parameters, runoff rate, spatial generalization, geographical zoning.

Постановка проблеми. Основною та практично найбільш важливою характеристикою стоку будь-якої річки є його середнє значення за багаторічний період – норма річного стоку. Поняття стійкості норми стоку є умовним, тому що при цьому

враховується стійкість середніх багаторічних значень основних кліматичних чинників стоку (опадів і випаровування), а також незмінність фізико-географічних умов (рельєфу, ґрунтів, рослинності). Норма річного стоку має важливе значення при розрахун-

ках стоку і водогосподарському проектуванні, тому що вона визначає потенційні водні ресурси певного району або басейну.

Актуальність дослідження. Розрахункові характеристики річного стоку відповідають вимогам нормативного документу СНіП 2.01.14-83 [1]. Однак цей нормативний документ ґрунтується на вихідних даних спостережень, проведених до 1980 року. За цей період ряди річного стоку суттєво поповнилися новими даними. Тому доцільним є уточнення розрахункових характеристик, насамперед норми річного стоку.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Вчення про стік є частиною річкової гідрології, у якій розглядаються процеси, що відбуваються в басейні річки та визначають її водність. Більшість потреб галузей народного господарства до розрахунків річного стоку (запити гідроенергетики, водопостачання, залізничного та автомобільного транспорту, зрошення, осушення) насамперед зводиться до визначення об'ємів води, які підлягають використанню.

Особливо велика роль вчення про стік в умовах території України, яка має багато річок, але безпосередні вимірювання на яких гідрометричними методами не можливі. Тому важливого значення набуває вивчення законів формування та розподілу стоку у часі і просторі на основі узагальнення спостережень порівняно невеликої кількості опорних гідрометричних пунктів. Коли розглядається річний стік, вводиться поняття «норма стоку», яка є однією з основних характеристик водних ресурсів річок. Норма річного стоку має важливе значення при розрахунках річного стоку та водогосподарському проектуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням річкового стоку, його головних характеристик на сучасному етапі займаються вчені-гідрологи. Цій темі присвячено багато наукових робіт і статей. Вирішення цієї проблеми розпочато в останніх дослідженнях і публікаціях. Так, у статті «Районирование бассейна Верхнего Днестра по характеру колебаний годового стока на основе кластерного анализа» д.геогр.н. Н.С. Лобода та к.техн.н. С.В. Мельник виконали гідрологічне районування на основі аналізу розподілення річного стоку шляхом формалізації показників його мінливості й угруповання часових рядів спостережень середньорічних витрат води за допомогою кластерного аналізу [2]. Особливістю цього методу є те, що розподіл території по районах базується на аналізі коливань річного стоку як на великих річках, так і на усіх річках досліджуваного у статті району, що дає більш детальну картину.

Дослідженню річного стоку присвячена й стаття д.геогр.н. Н.С. Лободи «Оценка влияния атмосферных процессов Северной Атлантики на формирование полей годового стока рек Украины», метою якої

є установа зв'язків між структурою полів річного стоку річок України і розлучним індексом атмосферної циркуляції [3].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Ця стаття присвячена розробці методики узагальнень характеристик річного стоку. Існують річки, на яких відсутні систематичні вимірювання стоку, тому уточнення головної розрахункової характеристики річного стоку – норми і її дослідження – для невивчених річок є важливим завданням. Раніше не визначалася норма річного стоку для невивчених річок басейну Приазов'я.

Новизна. За методикою, викладеною у роботі, можна визначати норму річного стоку за допомогою побудованої карти ізоліній розглянутої території для невивчених річок Приазов'я.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропоновану методику можна використовувати для визначення розрахункових характеристик річного стоку за відсутності систематичних вимірювань стоку і часових рядів для невивчених річок інших річкових басейнів.

Виклад основного матеріалу. Вказана вище територія розташована на півдні України, на північному узбережжі Азовського моря. До басейну північного узбережжя Азовського моря відносяться невеликі по протяжності і водності річки, які стікають із південних схилів Приазовської височини і Донецького кряжа. Це річки Молочна, Обитічна, Берда, Кальміус, Міус [4]. Ґрунтовий покрив у межах описуваного району неоднорідний, у його просторовій зміні спостерігається кліматична зональність [5].

Рослинність водозборів Приазов'я відображає фізико-географічні особливості досліджуваного регіону. Для цієї зони в минулому були характерні різнотравно-типчакково-ковилові степи. Нині ці степи суцільно розорані [6]. Територія Приазов'я вирізняється помірно-континентальним кліматом. За своїм географічним розташуванням досліджуваний район знаходиться під впливом повітряних мас, що прийшли з Атлантики, Арктичного басейну або сформувалися над значними континентальними територіями Євразії [7]. У період весняної повені досліджувана територія затоплюється водою шаром від 0,8-1,5 м до 2-3 м [8].

Спостереження за річним стоком досліджуваного району проводилася по 26 гідрологічних постах. Враховувалися спостереження від початку і по 2015 рік включно. Схема розташування гідрологічних постів у басейні річок Приазов'я наведена на рис. 1.

Відповідно до рекомендацій СНіП 2.01.14.83 середньорічні модулі стоку обчислювалися з використанням методів моментів і найбільшої правдоподібності [10; 11]. Визначалися стандартні параметри (q_{cp} , C_v , C_s і C_s / C_v) [9]. За результатами розрахунку середньорічні модулі стоку змінюються

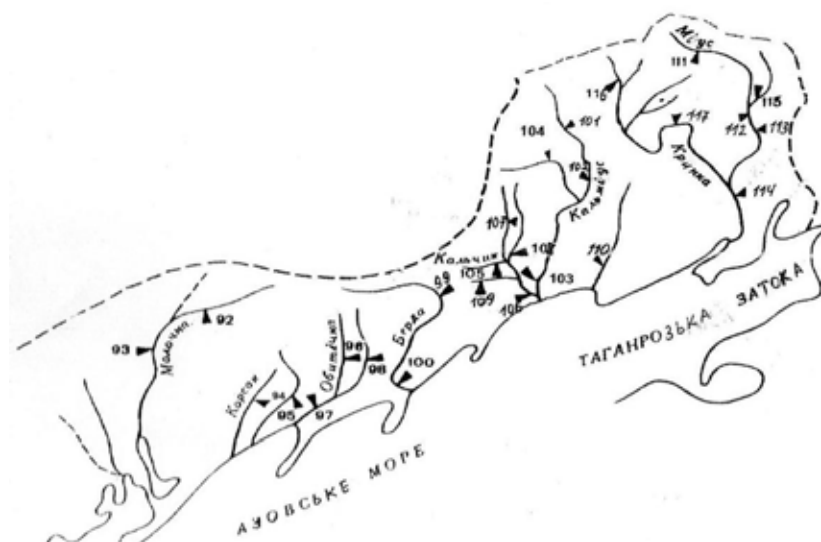


Рис. 1. Карта-схема розташування пунктів гідрологічних спостережень у басейні річок Приазов'я

від $0,58 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ до $11,4 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Коефіцієнти варіації дають майже однакові результати за двома методами і змінюються в межах від 0,27 до 0,94, що свідчить про невелику мінливість у рядах річного стоку розглянутої території.

По басейну середнє значення $C_v = 0,49$. При $C_v < 0,5$ методи найбільшої правдоподібності та метод моментів мають практично однакові результати, тому в подальших розрахунках можна використовувати будь-який із них. Коефіцієнти асиметрії змінюються від 0,05 до 1,71. Співвідношення C_s / C_v в середньому знаходиться на рівні 1,73. Мірою точності статистичних розрахунків є середня квадратична похибка. Середня квадратична похибка n -річних середніх рядів річного стоку, тобто для q_{cp} , у басейні річок Приазов'я дорівнює $\sigma_{q_{cp}} = 8,1\%$, а коефіцієнтів варіації – $C_v = 13\%$ [12].

При встановленні норми річного стоку необхідно перевіряти статистичну однорідність часових рядів. Відомо, що ряди спостережень за стоком можуть бути неоднорідними у часі та просторі. Необлік цих обставин може призвести до неправильних висновків при визначенні норми річного стоку. Тому усі ряди річного стоку досліджуваної території були перевірені на однорідність. Перевірка виконувалася за критеріями Фішера, Ст'юдента і Вілкоксона на 5% рівні значущості [13]. За результатами перевірки неоднорідними виявилось 11 гідрологічних постів, інформацію про це наведено в табл. 1. Із вихідних даних не можна зробити однозначних висновків щодо причин такої неоднорідності, можливо, це наслідки інтенсивних водогосподарських перетворень. У разі, коли статистична неоднорідність ряду стоку встановлена, є сенс виявити у хронологічній послідовності стоку тренд, тобто зміну стокових величин у бік зростання або зменшення.

Для розв'язання цієї задачі можна використати критерій Аббе [14]. В його основі лежить порівняння дисперсії значень випадкової величини X із сумою квадратів їх послідовних різниць S^2 , яка менш чутлива до систематичної зміни математичного сподівання. Тому по неоднорідних постах були побудовані хронологічні графіки та виявлені часові тренди.

На розглянутих постах була зафіксована тенденція до збільшення та зменшення водності при зростанні років, що пов'язано з коливальними процесами. Найвні тренди на всіх неоднорідних постах чітко виражені. Одна група років є багатоводною, інша – маловодною. Це пояснює неоднорідність у цих гідрологічних рядах. Як приклад на рис. 2 і 3 наведені хронологічні графіки з часовими трендами по р. Кальміус – смт. Приморське та по р. Кальчик – м. Маріуполь.

Після дослідження однорідності і отримання відповідних результатів можна приступати до визначення норми річного стоку для невивчених річок Приазов'я. Метод розрахунку річного стоку за відсутності гідрометеорологічної інформації в досліджуваному районі базується на методах, заснованих тільки на гідрологічній інформації у пунктах, де проводяться спостереження [15]. Формування гідрографічної мережі та режим поверхневого стоку річок Приазов'я здебільшого залежить від геолого-геоморфологічних особливостей території [16] (рис. 3).

Для узагальнення норми річного стоку по території спочатку необхідно виключити вплив на неї широтного положення водозборів. З цією метою будується залежність $\bar{q} = f(\phi^\circ)$, яка показана на рис. 4. Описує цю залежність таке рівняння:

$$\bar{q} = 3,04(\phi^\circ - 47,6) + \bar{q}_{\phi=47,6}, \quad (1)$$

Перевірка часових рядів стоку на однорідність у басейні річок Приазов'я

№ п/п	Річка – пост	п, років	Рівень значущості, %	Критерій Фішера		Висновок	Критерій Ст'юдента		Висновок	Критерій Вілкосона	Загальний висновок
				F	F _{кр}		t	t _{кр}			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
92	р. Молочна – м. Токмак	65	5	2,8	2,0	неодн.	1,9	2,0	однор.	однор.	неодн.
93	р. Молочна – с. Терпіння	47	5	1,1	2,3	однор.	0,5	2,0	однор.	однор.	однор.
94	р. Корсак – с. Аннівка	17	5								
95	р. Лозуватка – с. Новоолексіївка	57	5	2,4	2,2	неодн.	0,8	2,0	однор.	однор.	неодн.
96	р. Обитічна – с. Шевченко	32	5	1,8	3,3	однор.	0,4	2,0	однор.	однор.	однор.
97	р. Обитічна – м. Приморськ	49	5	1,5	2,4	однор.	2,0	2,0	неодн.	неодн.	неодн.
98	р. Кільгичя – с. Новотроїцьке	33	5	2,2	3,2	однор.	0,2	2,1	однор.	однор.	однор.
99	р. Берда – с. Захарівка	49	5	1,0	2,2	однор.	1,2	2,0	однор.	однор.	однор.
100	р. Берда – с. Осипенко	61	5	1,8	2,1	однор.	2,7	2,0	неодн.	неодн.	неодн.
101	р. Кальміус – смт. Авдот'їно	37	5	2,5	2,9	однор.	5,1	2,0	неодн.	неодн.	неодн.
102	р. Кальміус – с. Роздольне	58	5	1,6	2,1	однор.	3,3	2,0	неодн.	неодн.	неодн.
103	р. Кальміус – смт. Приморське (Саргана)	77	5	1,5	2,0	однор.	4,4	2,0	неодн.	неодн.	неодн.
104	р. Мокра Волноваха – с. Миколаївка	63	5	1,1	2,1	однор.	0,8	2,0	однор.	однор.	однор.
105	р. Кальчик – с. Кременівка	53	5	1,5	2,2	однор.	0,3	2,0	однор.	однор.	однор.
106	р. Кальчик – м. Маріуполь	75	5	2,7	2,0	неодн.	3,5	1,9	неодн.	неодн.	неодн.
107	р. балка Полкова – с. Кременівка	17	5								
108	р. М. Кальчик – с. Кременівка	51	5	1,8	2,2	однор.	0,5	2,0	однор.	однор.	однор.
109	р. Калец – х. Перемога	18	5								
110	р. Грузській Єланчик – с. Гусельщикове	26	5	5,2	3,6	неодн.	0,2	2,0	однор.	однор.	неодн.
111	р. Міус – с. Стрюкове	54	5	2,1	2,2	однор.	1,5	2,0	однор.	однор.	однор.
112	р. Міус – с. Дмитрівка	50	5	1,1	2,2	однор.	0,4	2,0	однор.	однор.	однор.
113	р. Міус – с. Куйбишеве	18	5								
114	р. Міус – с. Матвій Курган	25	5	1,2	3,6	однор.	0,2	2,0	однор.	однор.	однор.

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
115	р. Крепенька – х. Чугуно-Крепінка	19	5	1,6	4,0	однор.	0,03	2,0	однор.	однор.	однор.
116	р. Кринка – с. Новоселівка	64	5	1,3	2,1	однор.	3,4	2,0	неодн.	неодн.	неодн.
117	р. Кринка – смт Благодатне	60	5	1,1	2,1	однор.	3,1	2,0	неодн.	неодн.	неодн.

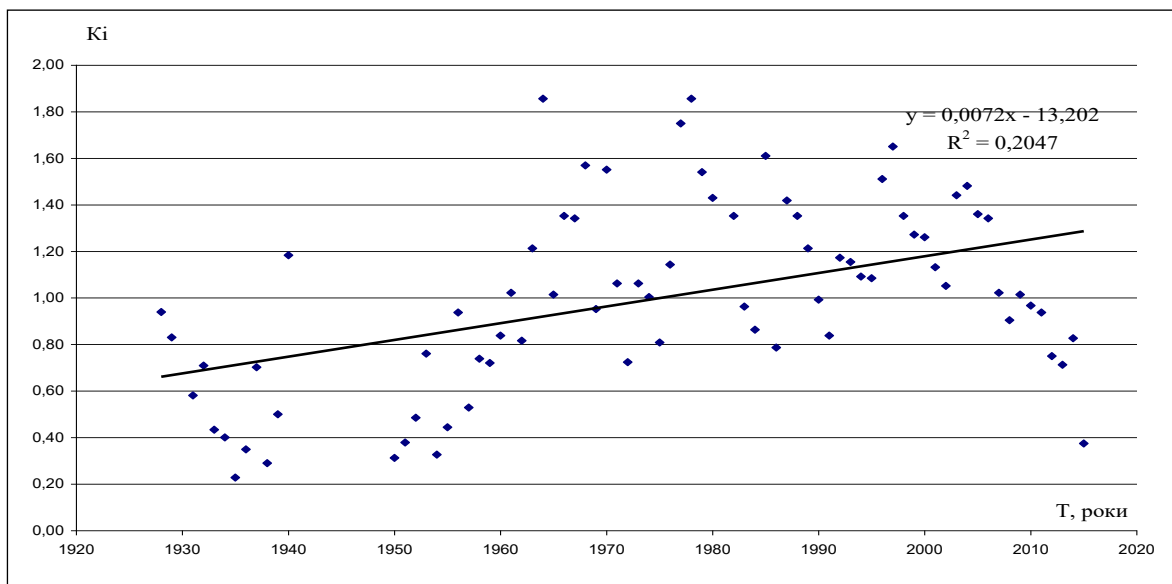


Рис. 2. Визначення тренду на р. Кальміус – смт. Приморське

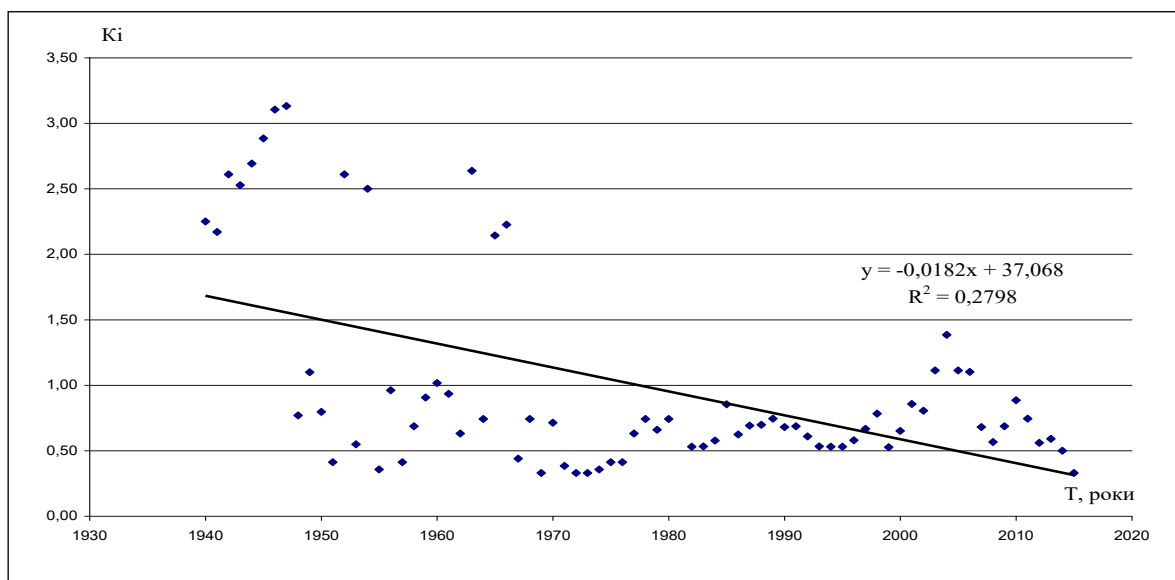


Рис. 3. Визначення тренду р. Кальчик – м. Маріуполь

Так, норма річного стоку підкорюється широтній закономірності, коефіцієнт кореляції r є суттєво значимим і дорівнює 0,60. На норму річного стоку можуть впливати і місцеві фактори (висота місцевості, лісистість, заболоченість). Тому були

побудовані залежності $\bar{q} = f(f_s)$, $\bar{q} = f(H_{cp})$, аналіз яких показав, що лісистість суттєво не впливає на норму річного стоку, коефіцієнт кореляції цієї залежності відноситься до незначущих ($r = 0,36$).

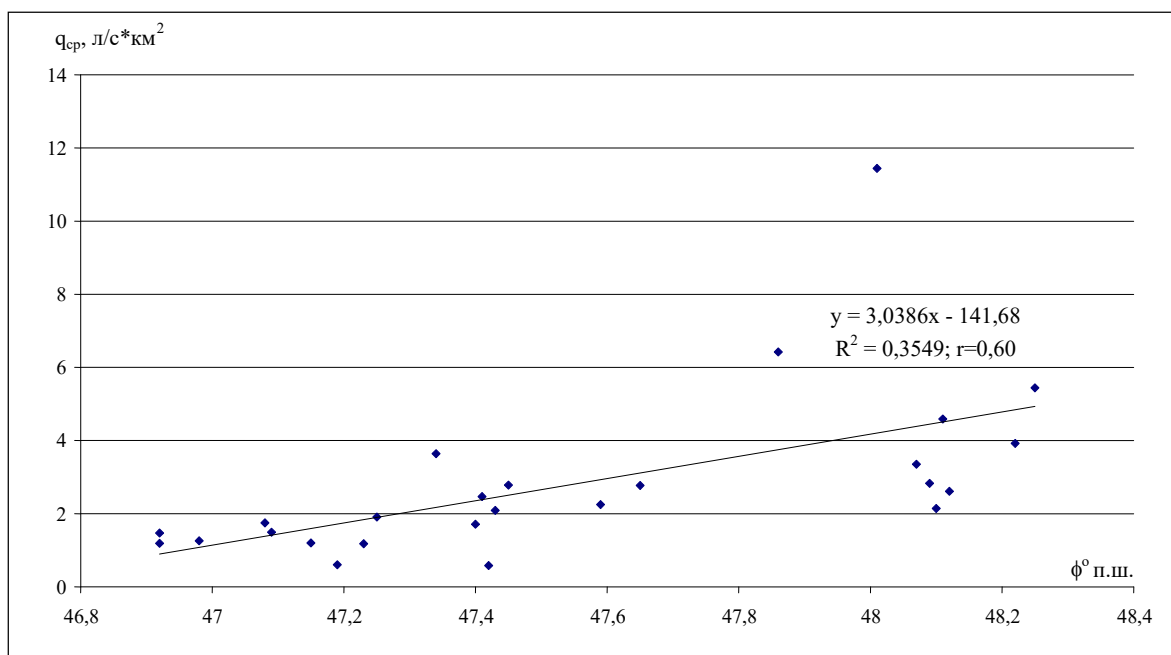


Рис. 4. Залежність середньорічних модулів річного стоку від широти геометричних центрів тягіння водозборів у басейні річок Приазов'я

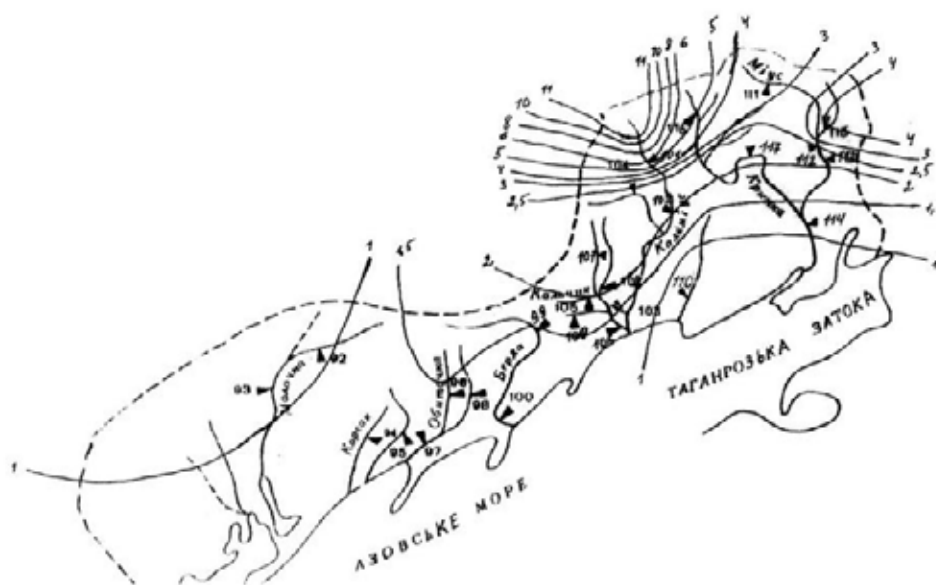


Рис. 5. Карта ізоліній розподілу норми річного стоку в басейні річок Приазов'я

Стосовно впливу висоти на норму річного стоку в басейнах річок Приазов'я, то коефіцієнт кореляції цієї залежності дорівнює 0,05 і теж є не значимим. Тому ці залежності можна не враховувати при узагальненні норми річного стоку досліджуваного району, через що їх і не наведено у цій статті. Щодо заболоченості, то її вплив на норму річного стоку дослідити не можливо, оскільки на розглянутій території вона майже відсутня.

Проаналізувавши можливий вплив різних факторів на розподіл по розглянутій території Приазов'я

норми річного стоку, можна зробити висновок, що основним чинником впливу на цю характеристику є лише широтне положення водозборів. Найявніша залежність норми річного стоку від широти геометричних центрів водозборів (рис. 4) є підставою для картування значень \bar{q} (л/с*км²) досліджуваного району (рис. 5).

При побудові карти ізоліній середньорічні модулі стоку відносилися до геометричних центрів водозборів району досліджень. Ізолінії змі-

нюються від 1,0 (л/с·км²) у районі р. Молочна до 11 (л/с·км²) біля р. Кальміус. Для перевірки адекватності отриманої карти ізоліній розподілу норми річного стоку по території басейну річок Приазов'я були виконані перевірочні розрахунки. Точність розрахунку визначається як відносне середнє відхилення розрахункових значень від фактичних за такою формулою:

$$\Delta\bar{q} = \frac{|q_p - q_f|}{q_f} 100\%, \quad (2)$$

де q_p % – розрахункові за методикою значення;
 q_f % – фактичні значення.

За результатами перевірки встановлено, що в середньому по басейнах річок досліджуваної території відносне середнє відхилення дорівнює 11,0, що відповідає точності вихідної інформації $\sigma_{\bar{q}} = 8,1\%$.

Головні висновки. Для визначення норми річного стоку в басейні річок Приазов'я було обрано 26 гідрологічних постів із початку спостережень за річним стоком і по 2015 рік включно.

Середньорічні модулі стоку змінювалися від 0,58 л/с·км² до 11,4 л/с·км². Коефіцієнти варіації давали майже однакові результати за двома методами. По басейну середнє значення $C_v = 0,49$. Це свідчить про невелику мінливість у рядах річного стоку розглянутої території. Співвідношення C_s/C_v

в середньому знаходилося на рівні 1,73. Середня квадратична похибка n-річних середніх рядів річного стоку, тобто для \bar{q} , в басейні річок Приазов'я дорівнювала $\sigma_{\bar{q}} = 8,1\%$, а коефіцієнтів варіації – $C_v = 13\%$, що відповідає вимогам СНіП 2.01.14.83.

За результатами перевірки на однорідність неоднорідними виявилось 11 гідрологічних постів. Для встановлення неоднорідності були побудовані хронологічні графіки та виявлені часові тренди. Наявні тренди на всіх неоднорідних постах чітко виражені, спостерігалася тенденція до збільшення та зменшення водності за роками. Кожний із неоднорідних постів мав групу багатководних років і групу малоководних років. Це пояснює неоднорідність розглянутих гідрологічних рядів.

На підставі отриманих розрахункових параметрів річного стоку річок Приазов'я здійснено узагальнення норми річного стоку у вигляді карти ізоліній. Для визначення точності отриманої карти виконані перевірочні розрахунки. Точність значень норми річного стоку, знятих із карти, дорівнює $\Delta\bar{q} = 11,0\%$ і відповідає точності вихідної інформації згідно нормативного документу СНіП 2.01.14.83, яка дорівнює $\sigma_{\bar{q}} = 8,1\%$. Тому запропоновану карту можна рекомендувати для визначення норми річного стоку для річок басейну Приазов'я за відсутності таких спостережень.

Література

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
2. Мельник С.В., Лобода Н.С. Районирование бассейна Верхнего Днестра по характеру колебаний годового стока на основе кластерного анализа. *Український гідрометеорологічний журнал*. Одеса : Вид. «ТЕС», 2010. № 6. С. 180–189.
3. Лобода Н.С. Оценка влияния атмосферных процессов Северной Атлантики на формирование полей годового стока рек Украины. *Український гідрометеорологічний журнал*. Одеса : Вид. «ТЕС», 2008. № 3. С. 167–177.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 3. Бассейн Северского Донца и реки Приазов'я / под ред. М.С. Каганера. Ленинград : Гидрометеиздат, 1967. 492 с.
5. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т. 2. Продуктивность почв, пути ее повышения, мелиорация, защита почв от эрозии и управление плодородием / под ред. Б.С. Носко, В.В. Медведева, Р.С. Трускавецкого. Киев : Урожай, 1988. 176 с.
6. Генсірук С.А., Нижник М.С. Географія лісових ресурсів України. Львів : Світ, 1995. 123 с.
7. Клімат України / за ред. Ліпінського В.М., Дячуа В.А., Бабіченко В.М. Київ : Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
8. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
9. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Лобода Н.С. Гідрологічні розрахунки : підручник. Одеса : ТЕС, 2014. 483 с.
10. Gopchenko E.D., Romanchuk M.E., Pogorelova M.P. The influence of the afforestation and swampiness on the design characteristics of the spring flood peak flow in the river Pripyat basin. *European science review. Premier Publishing s.r.o.* Vienna, 2015. №№ 1-2. P. 10–13.
11. Кучмент Л.С. Речной сток (генезис, моделирование, предвычисление) : монографія. Москва, 2008. 394 с.
12. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации : учебник. Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. 302 с.
13. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. 424 с.
14. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Ленинград : Гидрометеиздат, 1979. 432 с.
15. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ника-Центр, 2003. 324 с.
16. Лобода Н.С. Розрахунок та узагальнення характеристик річного стоку річок України в умовах антропогенного впливу : монографія. Одеса : Екологія, 2005. 208 с.