

*The intra-annual distribution of river water runoff for years of different water content and separate phases for the basins of both studied rivers is calculated by the season composition method. The comparative characteristics of the obtained results are carried out and the common hydrological characteristics and significant differences in the studied river basins are revealed.*

**Keywords:** the Ros and Ubort rivers; river basin, internal distribution of the trunk, water content.

**Надійшла до редколегії 10.04.2020**

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.8>

УДК 556.5 + 528.8

**Сурай К.С., Ободовський О.Г., Почаєвець О.О.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

## **ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК В БАСЕЙНАХ ПРУТУ ТА СІРЕТУ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)**

**Ключові слова:** басейн річки Прут; басейн річки Сірет; мінімальний стік води; мінімальні модулі стоку; просторовий розподіл.

**Вступ.** Мінімальний стік на території досліджуваних басейнів недостатньо досліджений. Причиною цьому є паводковий режим річок та відсутність моніторингових даних по підземному стоку. Довгі роки характер проходження мінімального стоку карпатських річок вважався не настільки вартим уваги, як максимального стоку. Проте в умовах сучасних змін клімату та антропогенного навантаження на навколишнє середовище вивчати мінімальний стік вкрай необхідно, адже він може в першу чергу реагувати на настання посухи в басейні.

**Аналіз попередніх досліджень.** Мінімальний стік води України як об'єкт дослідження привернув до себе увагу ще у 20-30-х роках 20 ст. Аналітичний огляд досліджень мінімального стоку води було виконано в роботах Гребня В.В, Жовнір В.В. [6] та Почаєвець О.О. [17]. Перші узагальнення про мінімальний стік води були зроблені Кочеріним Д.І. [7], який створив першу карту мінімального стоку річок Європейської території колишнього СРСР. Попов Л.Н. у 60-х роках 20 ст. створив карти ізоліній мінімального середньомісячного стоку води по території колишнього СРСР в зимовий та літньо-осінній період.

Владіміров А.М. створив принципи виділення меженних періодів та районування території колишнього СРСР за живленням річок у меженні періоди [1]. Соловей Т.В досліджувала 30-денний мінімальний стік і його вплив на якість води річок басейну Пруту [19]. Вивченням мінімального стоку в контексті внутрішньорічного розподілу займається Горбачова Л.О. [3, 4]. Дослідженнями мінімального стоку річок Карпатського регіону присвячені роботи Ободовського О.Г. [2, 10-15], Лук'янець О.І. [8, 12], Почаєвець О.О. [10, 11, 14-16], Лисенко [9].

Велика кількість публікацій закордоном присвячена дослідженню мінімального стоку на гірських річках, де умови формування стоку подібні до тих, що існують в Карпатах. В роботах американських вчених [22-32] при дослідженні мінімального стоку рекомендується використовувати мінімальні витрати води за період 7-ми днів, як такий, що мінімально піддається впливу випадіння опадів. За цією рекомендацією виконано дослідження мінімального стоку води річок басейну Тиси [14-16].

**Мета роботи** – представити просторовий розподіл мінімального стоку води літньо-осіннього та зимового періодів на річках басейнів Пруту та Сірету (в межах України).

**Вихідні дані та методика дослідження.** Територія досліджуваних басейнів

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2020. № 3 (58)**

має нерівномірний розподіл фізико-географічних характеристик зі значними відмінностями у рельєфі, характері зволоження та водному режимі. За характером поверхні вона поділяється на три частини: гірську, передгірну та рівнинну. Близько 40% займають площі з висотами від 400 до 600 м і лише близько 10 % – території висотою більше 1000 м. Гори та передгір'я знаходяться у зоні надмірного зволоження, рівнинна частина розташована у зоні достатнього зволоження. На річках спостерігається весняне водопілля, однак їм характерний паводковий режим із частими та значними паводками у літньо-осінній та зимовий сезони. Проте існують і міжпаводкові періоди низького стоку.

В класичній гідрології для дослідження мінімального стоку води використовують періоди у 30 днів, однак для досліджуваної території через фізико-географічні особливості цей період можна використовувати лише в окремі роки. Для річок з паводковим режимом можна застосувати період у 10 днів, але 7-денні періоди низького стоку виявились більш показовими (табл. 1, 2).

**Таблиця 1. Порівняння середніх мінімальних витрат води зимового міжпаводкового періоду низького стоку різних розрахункових періодів багатоводних, середніх за водністю та маловодних років**

Річка – населений пункт	Рік	Середня мінімальна витрата зимового періоду		
		30-денна	10-денна	7-денна
р. Прут – смт Ворохта	2014 (95-% забезпеченості)	0,29	0,27	0,27
р. Прут – смт Ворохта	2006 (50-% забезпеченості)	0,34	0,30	0,29
р. Прут – смт Ворохта	2001 (5-% забезпеченості)	1,15	0,63	0,58
р. Прут – м. Чернівці	2012 (95-% забезпеченості)	8,20	6,90	6,49
р. Прут – м. Чернівці	1984 (50-% забезпеченості)	13,7	9,70	9,30
р. Прут – м. Чернівці	2008 (5-% забезпеченості)	40,5	32,9	30,3
р. Прут – м. Яремче	2012 (95-% забезпеченості)	1,82	1,60	1,60
р. Прут – м. Яремче	1992 (50-% забезпеченості)	2,98	2,82	2,62
р. Прут – м. Яремче	1984 (5-% забезпеченості)	2,19	1,79	1,68
р. Сірет – м. Сторожинець	2012 (95-% забезпеченості)	0,64	0,53	0,53
р. Сірет – м. Сторожинець	1983 (50-% забезпеченості)	1,34	1,16	1,02
р. Сірет – м. Сторожинець	1996 (5-% забезпеченості)	6,27	2,73	2,54

**Таблиця 2. Порівняння середніх мінімальних витрат води літньо-осінньої межени різних розрахункових періодів багатоводних, середніх за водністю та маловодних років**

Річка – населений пункт	Рік	Середня мінімальна витрата літньо-осіннього періоду		
		30-денна	10-денна	7-денна
р. Прут – смт Ворохта	2014 (95-% забезпеченості)	0,39	0,38	0,38
р. Прут – смт Ворохта	2006 (50-% забезпеченості)	0,73	0,66	0,64
р. Прут – смт Ворохта	2001 (5-% забезпеченості)	2,00	1,33	1,26
р. Прут – м. Чернівці	2012 (95-% забезпеченості)	12,8	12,2	12,1
р. Прут – м. Чернівці	1984 (50-% забезпеченості)	26,2	16,7	15,6
р. Прут – м. Чернівці	2008 (5-% забезпеченості)	48,5	45,9	45,7
р. Прут – м. Яремче	2012 (95-% забезпеченості)	2,88	2,36	2,34
р. Прут – м. Яремче	1992 (50-% забезпеченості)	4,68	2,87	2,67
р. Прут – м. Яремче	1984 (5-% забезпеченості)	3,45	1,95	1,58
р. Сірет – м. Сторожинець	2012 (95-% забезпеченості)	0,77	0,65	0,62
р. Сірет – м. Сторожинець	1983 (50-% забезпеченості)	2,05	1,31	1,24
р. Сірет – м. Сторожинець	1996 (5-% забезпеченості)	5,75	2,86	2,48

Закордоном 7 денний період для дослідження мінімального стоку води таких регіонів стали вже класикою і наше порівняння це підтверджує.

Оскільки у літньо-осінній та зимовий періоди формується стік різної генетики, вони досліджувалися окремо. Для дослідження мінімального стоку було використано вихідні дані у вигляді щоденних середньодобових витрат води, отримані у Центральній геофізичній обсерваторії ім. Бориса Срезневського. Були використані дані гідрологічних щорічників від початку спостережень за витратами води на гідрологічних постах до 2018 року.

Оцінка просторового розподілу мінімального стоку води виконана на основі побудови картосхем розподілу модулів 7-денного мінімального стоку води, дані для яких взято з басейнів Прута і Сірету та сусіднього річкового басейну Тиси (табл. 3).

**Таблиця 3. Список гідрологічних постів, дані спостережень з яких використані для аналізу просторового розподілу модулів 7-денного мінімального стоку води**

№	Річка - Гідрологічний пост	№	Річка - Гідрологічний пост
1	Тиса - Вилоч	17	Ріка - Міжгір'я
2	Біла Тиса - Луги	18	Боржава - Довге
3	Косівська - Косівська Поляна	19	Латориця - Свалява
4	Тересва - Усть-Чорна	20	Латориця - Мукачеве
5	Ріка - Верхній Бистрий	21	Удава - Удавське
6	Бодрог - Стреда над Бодрогом	22	Прут - Ворохта
7	Бистра - Вісеул	23	Прут - Татарів
8	Красна - Агердомайор Ясіня	24	Прут - Яремче
9	Шамос - Сату Маре	25	Прут - Чернівці
10	Уж - Жорнава	26	Кам'янка - Дора
11	Уж - Зарічеве	27	Чорнява - Любківці
12	Уж - Ужгород	28	Черемош - Устеріки
13	Тур'я - Сімер	29	Білий Черемош - Яблуниця
14	Чорна Тиса -	30	Чорний Черемош - Верховина
15	Латориця - Підполоззя	31	Ільця - Ільці
16	Сірет - Сторожинець	32	Путила - Путила

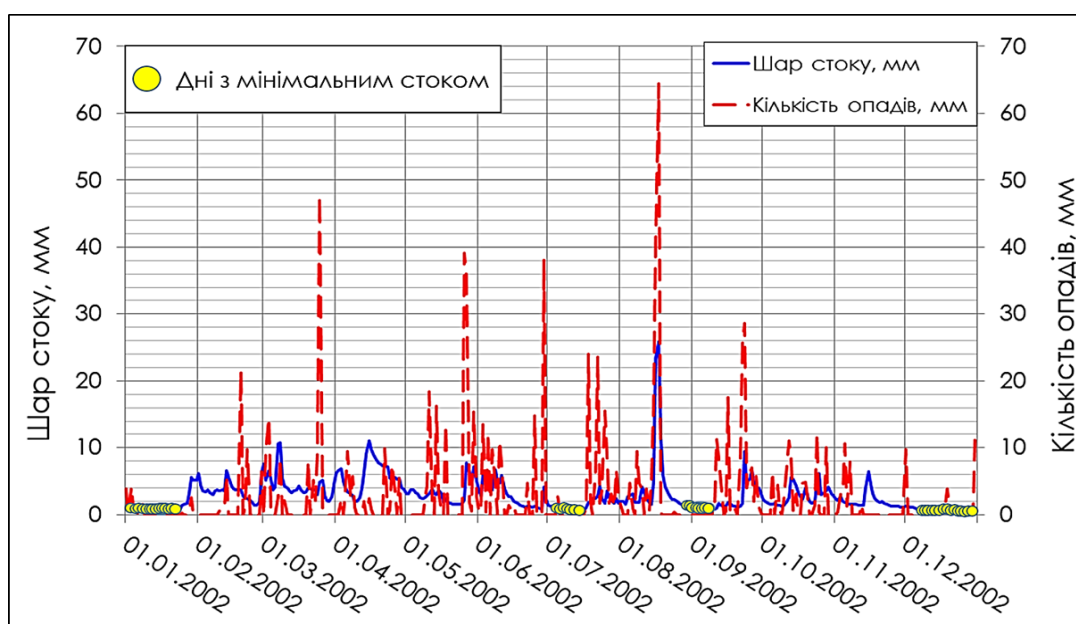
В межах досліджуваної території знаходиться 14 діючих гідрологічних постів, з яких на 12-ти вимірюються витрати води – їхні дані були використані для розрахунків (табл. 4). Мережа метеорологічних спостережень представлена п'ятьма наземними метеорологічними станціями: Пожежевська, Яремче, Коломия, Чернівці та Селятин.

Дані гідрологічних постів представлені у достатній кількості (більше 30 років), а ряди за відносними середніми квадратичними похибками розрахунку норм мінімальних витрат води є репрезентативними ( $\sigma_0 < 15\%$ ), що дозволяє проводити оцінку його просторового розподілу. Вихідною інформацією для цього була мінімальні витрати води, розраховані як середнє арифметичне із середньодобових витрат за 7 днів з найнижчим стоком за міжпаводкові періоди низького стоку – окремо за літньо-осінній та зимовий.

На основі аналізу гідрографів стоку за багатоводні, середні за водністю та маловодні роки та ходу атмосферних опадів було обрано 7-денний період найменшого стоку, так як це максимальна кількість днів, у які прослідковується стійкий мінімальний стік води без паводків та без впливу атмосферних опадів. Багатоводний рік є найбільш показовим, у який виокремити періоди мінімального стоку більш, ніж 7 днів, часто неможливо (рис. 1).

**Таблиця 4. Мережа витратних гідрологічних постів, тривалість рядів спостережень та оцінка їх репрезентативності на території басейнів Пруту і Сірету в межах України**

№	Річка –гідрологічний пост	Оцінка репрезентативності рядів зимового періоду ( $\sigma_0$ ), %	Оцінка репрезентативності рядів літньо-осіннього періоду ( $\sigma_0$ ), %	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Тривалість рядів спостережень
1	Сірет – Сторожинець	8,09	6,52	672	1953–2018 (65)
2	Прут – Ворохта	6,67	6,06	48,3	1977–2018 (41)
3	Прут – Татарів	4,92	5,42	366	1959–2018 (59)
4	Прут – Яремче	4,66	5,04	597	1950–2018 (68)
5	Прут – Чернівці	5,87	5,12	6890	1945–2018 (73)
6	Кам'янка – Дора	14,3	7,43	18,1	1956–2018 (62)
7	Чорнява – Любківці	11,2	12,5	333	1984–2018 (34)
8	Черемош – Устеріки	4,68	4,91	1500	1957–2018 (61)
9	Білий Черемош – Яблуниця	5,24	5,76	552	1958–2018 (60)
10	Чорний Черемош – Верховина	6,25	6,41	657	1962–2018 (56)
11	Ільця – Ільці	6,36	5,95	86,1	1959–2018 (59)
12	Путила – Путила	10,0	8,86	181	1963–2018 (55)



**Рис. 1. Гідрограф стоків та хід кількості опадів за 2002 рік 5%-забезпеченості. Гідрологічний пост р. Прут – м. Яремче, метеостанція Яремче**

На річках басейнів Пруту та Сірету протягом року спостерігається паводковий режим. Під час зимових відлиг тане основна частина снігу, тому максимальні витрати припадають не на весняне водопілля, а на періоди інтенсивних зливових дощів на початку літа. За рахунок зменшення кількості атмосферних опадів найменший стік води спостерігається наприкінці літа, восени та взимку [18]. Виокремити місяці з найменшим стоком дуже важко, тому було обрано два періоди низького стоку: літньо-осінній – з серпня по листопад, зимовий – з грудня по лютий

(від початку льодових явищ на річках).

**Виклад результатів дослідження.** З використанням програми StokStat [21] вибірки були перевірені на однорідність за допомогою трьох критеріїв – Фішера, Стюдента та Вількоксона. Серед них лише останній є непараметричним, тому він може надати найбільш точний результат. Однак параметричні критерії є також важливими показниками, бо дають змогу оцінити відмінності між нормами та дисперсіями рядів. Вибірки було перевірено на однорідність із встановленням 5-% та 1-% рівня значимості. Аналіз однорідності вибірок не у всіх випадках дав задовільний результат. Однорідні вибірки більше притаманні гідрологічним постам, розташованим на рівнинній частині, що спричинено меншим впливом місцевих факторів. Більш однорідними є вибірки літньо-осіннього періоду низького стоку (табл. 5, 6).

**Таблиця 5. Частка однорідних рядів 7-денного мінімального стоку води за різними критеріями однорідності зі встановленням 5-% рівня значимості**

Період низького стоку води	Критерій однорідності	Частка однорідних рядів, %
Літньо-осінній	Фішера	67
	Стюдента	92
	Вількоксона	75
Зимовий	Фішера	42
	Стюдента	75
	Вількоксона	42

**Таблиця 6. Частка однорідних рядів 7-денного мінімального стоку води за різними критеріями однорідності зі встановленням 1-% рівня значимості**

Період низького стоку	Критерій однорідності	Частка однорідних рядів, %
Літньо-осінній	Фішера	75
	Стюдента	100
	Вількоксона	83
Зимовий	Фішера	92
	Стюдента	83
	Вількоксона	67

Відсоток однорідності рядів 7-денного мінімального стоку води вищий за критерієм Стюдента, який оцінює рівність норм рядів даних. В даному дослідженні цей критерій є найбільш цікавим, так як на картосхеми наносяться норми стоку.

Дослідження однорідності гідрологічних вибірок для мінімального стоку по території України [5] показали, що їх однорідність є невисокою, зокрема, для басейнів Пруту і Сірету. Головною причиною таких порушень є зміна клімату, так як результати проведеної оцінки [5] однорідності майже однакові і для районів зі значним антропогенним навантаженням, і для районів із референційними умовами.

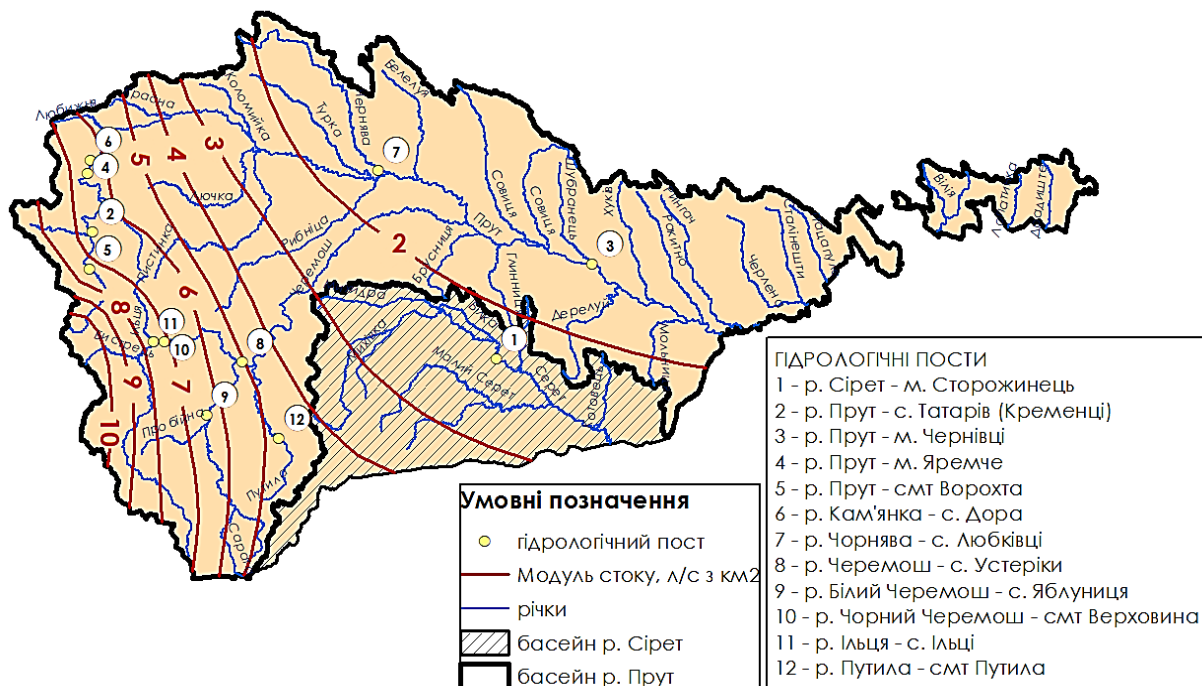
Територія досліджуваних басейнів має густу річкову сітку, однак незначну мережу спостережень: всього у цих басейнах розташовано 12 гідрологічних витратних постів – 11 у басейні Прута і 1 – у басейні Сірета – з них лише три знаходяться на рівнинній території, тобто їх розподіл по території нерівномірний. Для встановлення значень мінімального стоку в інших точках, не охоплених мережею спостережень, найкраще користуватися одним із методів розрахунку гідрологічних характеристик за відсутності гідрометричних спостережень.

Користуючись для таких цілей картами ізоліній, необхідно застосовувати новітні карти мінімального стоку води з урахуванням даних останніх років. Такі карти можна побудувати, використовуючи інструменти ГІС [20].

Для картографування необхідно використовувати дані, не прив'язані до площ

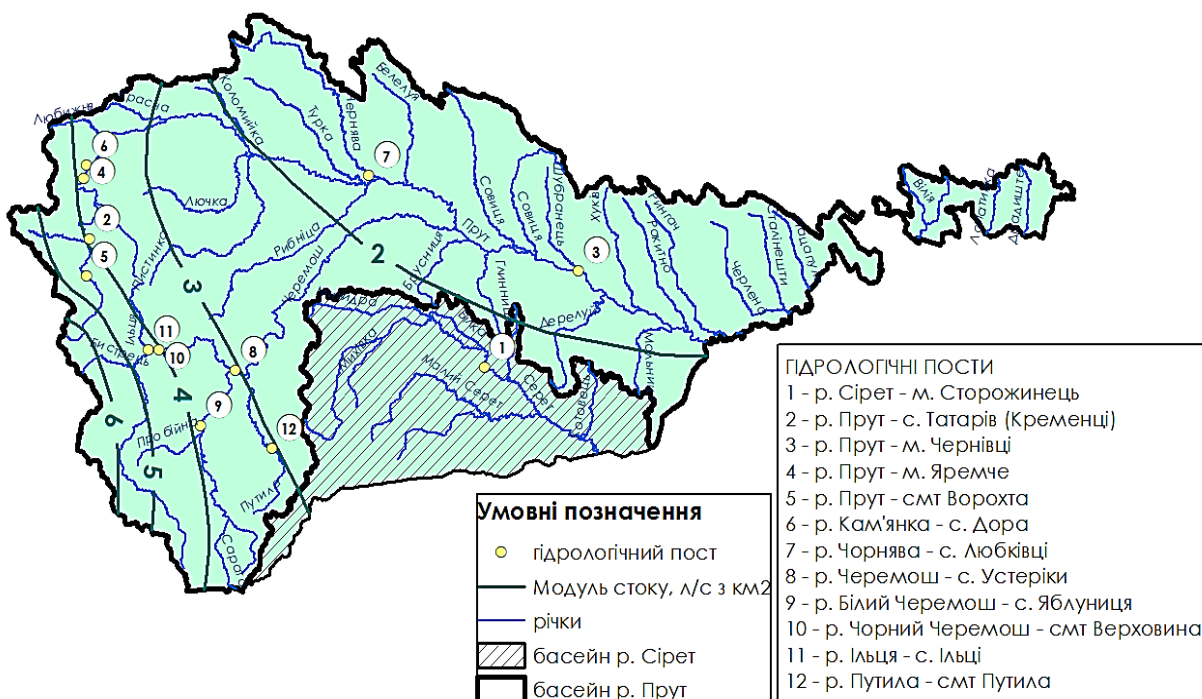
– шар або модуль стоку. В даній роботі картосхеми побудовані на основі модулів стоку води (рис 2, 3).

1:1 000 000



**Рис. 2. Просторовий розподіл модулів 7-денного мінімального стоку води літньо-осіннього періоду річок басейнів Пруту та Сірету**

1:1 000 000



**Рис. 3. Просторовий розподіл модулів 7-денного мінімального стоку води зимового періоду річок басейнів Пруту та Сірету**

Для перевірки відповідності між фактичними модулями мінімального стоку та знятими з картосхем значеннями було побудовано кореляційні залежності, які показали тісний зв'язок. Коефіцієнт апроксимації дуже високий:  $R^2 = 0,9731$  та  $0,968$  (рис. 4). Крім цього, лінії зв'язку проходять по лінії рівних значень (кут близько  $45^\circ$ ), що свідчить, що побудовані картосхеми просторового розподілу модулів 7-денного мінімального стоку води літньо-осіннього та зимового періодів річок басейнів Пруту та Сірету є достовірними.

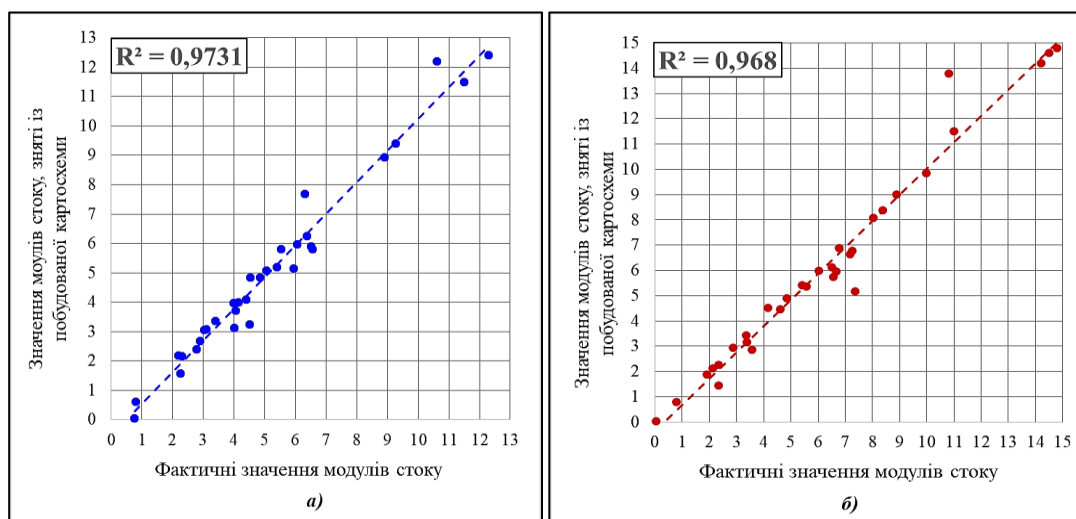


Рис. 4. Кореляційна залежність між фактичними та знятими з картосхем значеннями 7-денних мінімальних модулів стоку води в басейнах Пруту та Сірету: а) зимового періоду; б) літньо-осіннього періоду

Для оцінки того, як мінімальний стік залежить від висоти місцевості, побудовано кореляційні залежності між абсолютними відмітками гідрологічних постів та фактичними мінімальними модулями стоку води (рис. 5). Коефіцієнти апроксимації є значимими:  $R^2 = 0,5618$  та  $0,6661$ , що говорить про вплив висоти місцевості на розподіл мінімального стоку води. В зимовий період на кожні 200 м висоти 7-денні мінімальні модулі стоку води в басейнах Пруту та Сірету збільшуються в середньому 1,4 рази, літньо-осінній період в 1,7 раз.

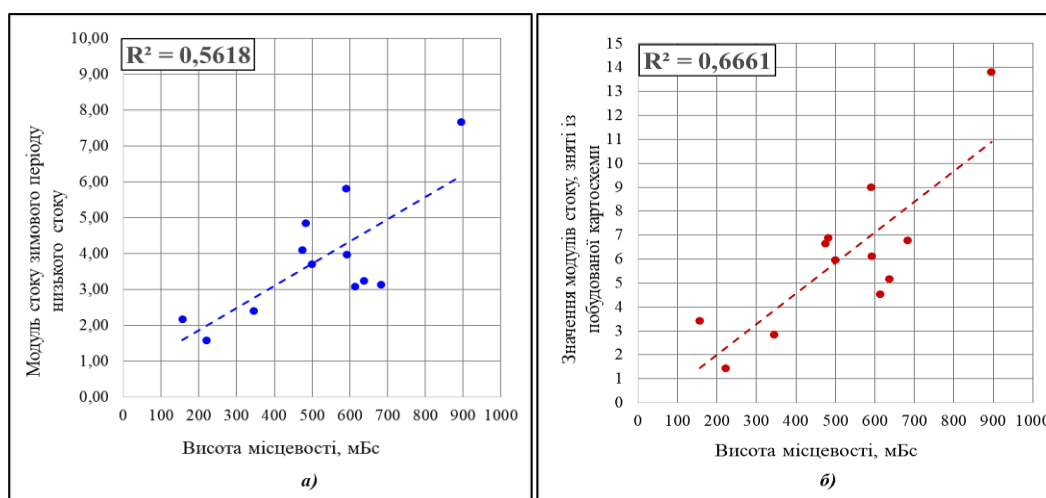


Рис. 5. Кореляційна залежність між висотою місцевості та модулями мінімального стоку води в басейнах Пруту та Сірету: а) зимового періоду; б) літньо-осіннього періоду



Представлені картосхеми є достовірними, детальними і сучасними, так як враховують дані спостережень останніх років. Їх можна використовувати для вирішення різних водогосподарських та науково-дослідних задач, які потребують знання значень багаторічного мінімального стоку літньо-осіннього та зимового періодів низького стоку в будь-якій точці охопленої картосхемами території.

**Висновки.** На основі даних щоденних витрат води від початку спостережень до 2018 р. були обраховані та сформовані ряди середніх 7-денних мінімальних витрат води. Оцінка гідрологічного режиму річок басейнів дала підставу виокремити два періоди низького стоку води: літньо-осінній (з серпня по листопад) та зимовий (з грудня по лютий), – а також визначити найбільш оптимальний період мінімального стоку – 7 днів. Найбільший відсоток однорідності рядів мінімального стоку – за критерієм Стюдента, який оцінює рівність норм рядів даних, які і використовувалися для побудови картосхем. Ряди 7-денних норм витрат води мінімального літньо-осіннього та зимового низького стоку були переведені у модулі стоку для оцінки просторового розподілу по території у вигляді картосхем. Для їх побудови були використані дані не лише досліджуваних басейнів, а й суміжних з ними – з басейну р. Тиса.

Картосхеми демонструють зменшення модулів мінімального стоку по території у напрямку із заходу на північний схід з паралельним зменшенням щільності розподілу ізоліній та висоти місцевості.

Отриманими картосхемами можна користуватися для зняття значень модулів стоку з будь-якої точки басейну. Вони можуть застосовуватися при вирішенні різних задач для задоволення науково-дослідних та водогосподарських потреб, таких як регулювання стоку, водопостачання, меліорація, оцінка посух.

#### Список літератури

1. *Владимиров А.М.* Сток рек в маловодный период года. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 296 с.
2. *Гідроекологічна оцінка та прогноз енергетичного потенціалу річок Українських Карпат.* Науковий звіт теми № 14БП050-01. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. № держреєстрації 0114U003482, 2015 р. с. 336.
3. *Горбачова Л. О.* Методичні підходи щодо оцінки стаціонарності і однорідності гідрологічних рядів спостережень. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2014. Т. 1(32). С. 22-31.
4. *Горбачова Л.О.* Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. Укр. геогр. журн., 2015. № 3. С. 16-23.
5. *Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О.* Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 1(52). С. 36-50.
6. *Жовнір В. В., Гребінь В. В.* Аналітичний огляд досліджень мінімального стоку води. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2018. № 1(48). С. 16-24.
7. *Кочерин Д.И.* Низкие и наименьшие расходы воды на территории Европейской части СССР. Труды Московского института инженеров транспорта, 1929. Вып. XI.
8. *Лук'янець О.І., Камінська Т.П.* Закономірності та просторова синхронність багаторічних циклічних коливань водного стоку річок Українських Карпат. Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наукових праць. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т. Вип. 744–745: Географія. 2015. С. 18-24.
9. *Лысенко К. А.* Минимальный сток малых рек Карпат и его расчёты. Труды УкрНИГМИ. 1976. Вып. 149. С. 130-142.
10. *Ободовський О.Г., Данько К.Ю., Почаєвець О.О., Ободовський Ю.О.* Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу (на прикладі річок Українських Карпат). Вісник київського університету. Географія. 2016. №64. С. 5-11.
11. *Ободовський О.Г., Почаєвець О.О., Заварзін М.А.* Оцінка зв'язків мінімального та середнього стоку води річок Українських Карпат. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2016. № 1(40). С. 60-69.
12. *Ободовський О.Г., Лук'янець О.І.* Виявлення та прогнозна оцінка коливань водності річок Карпатського регіону. Матеріали Міжнар. наук. конф. «Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків (до 140-річчя започаткування географії у Чернівецькому національному університеті ім. Ю. Федьковича)». 11-13 жовтня 2016 р. Чернівці: Чернів. нац. ун-т, 2016. С. 170-171.
13. *Ободовський О., Лук'янець О.,* ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. № 3 (58)



Почаєвець О., Москаленко С. Багаторічна мінливість абсолютних річних мінімумів стоку води річок України. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 4(87), 2019. с. 89-95. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.13>. **14.** Ободовський О.Г., Сурай К.С., Почаєвець О.О. Оцінка мінімального стоку води річок суббасейну Ужа (басейн річки Тиса). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2018. № 2(49). С. 6-15. **15.** Почаєвець О.О., Ободовський О.Г. Оцінка впливу основних гідрографічних характеристик водозборів річок басейну Тиси (в межах України) на формування мінімального стоку води. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2018. № 4(51). С. 76-86. **16.** Почаєвець О.О., Сурай К.С. Карти мінімального стоку води для басейну Тиси в межах України. Шевченківська весна : мат. міжн. наук.-практ. конф. 2019. С.43-47. **17.** Почаєвець О. О. Дослідження мінімального стоку води гірських річок: ретроспектива, огляд і перспектива. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 4(55). С. 53-64. **18.** Ресурсы поверхностных вод СССР, т.6 Украина и Молдавия, вып. 1. Западная Украина и Молдавия. **19.** Соловей Т.В. Характеристика мінімального стоку річок басейну Прута. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: тези доп. II Всеукр. наук. конф. .К.: Ніка-Центр, 2003. С. 76-77. **20.** ArcGIS Online Mapping Without Limits 2018. UPL: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline>. **21.** GeoDigital. Инженерная геодезия. StokStat 1.2 - Статистика для гидрологии UPL: [http://www.geodigital.ru/soft\\_hydr](http://www.geodigital.ru/soft_hydr). **22.** How much water does a river need? / Brian Richter, Jeffrey Baumgartner, Robert Wigington, David Braun. // Freshwater Biology. February 1997. p. 231-249. **23.** Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) UPL: <https://www.coservationgateway.org/ConversationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofhydrologicAlteration/>. **24.** Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1. User's Manual. The Nature Conservancy, 2009. **25.** Opperman, J. Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River, 2006. **26.** Opperman, J. Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR, 2006. **27.** Reilly C., Kroll N. Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. Water resources research, 2003. №30. С. 1–10. **28.** Richter B.D., Baumgartner J.V., Braun D.P. and Powell J. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. Regulated Rivers: Research & Management, 14, 1998. 329-340. **29.** Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., and Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology, 10(4), 1996. 1163-1174. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of Conservation Biology. **30.** Richter B.D., Baumgartner J.V., Wigington R. and Braun D.P. How much water does a river need? Freshwater Biology, 37, 1997. 231-249. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of Freshwater Biology. **31.** Water scarcity&drought indicators' fact sheets, 2013. P. 63. **32.** Tokarczyk T. Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. Acta Geophysica. 2013. №61. p. 404–421.

## References

**1.** Vladimirov A.M. Stok rek v malovodnyj period goda [River runoff during dry season]. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 296 s. **2.** Hidroekolohichna otsinka ta prohnoz enerhetychnoho potentsialu richok Ukrainskykh Karpat [Hydroecological assessment and forecast of energy potential of rivers of the Ukrainian Carpathians]. Naukovyi zvit temy № 14BP050-01. Kyivskiy natsionalnyi universytet imeni Tarasa Shevchenka. № derzhreiestratsii 0114U003482, 2015 r. s. 336. **3.** Horbachova L.O. Metodichni pidkhody shchodo otsinky statsionarnosti i odnoridnosti hidrololichnykh riadiv sposterezhen [Methodical approaches to the assessment of stationarity and homogeneity of hydrological series of observations]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2014. №1(32). S. 22–31. **4.** Horbachova L.O. Suchasnyi vnutrishnorichnyi rozpodil vodnoho stoku richok Ukrainy [Modern intra-annual distribution of water runoff of rivers of Ukraine]. Ukr. heohr. zhurn., 2015. № 3. S. 16-23. **5.** Hrebin' V.V., Obodovs'kyj O.H., Zhovnir V.V., Mudra K.V., Pochaievets' O.O. Otsiniuvannia odnoridnosti riadiv stokovykh kharakterystyk richok raioniv richkovykh baseiniv ta subbaseiniv Ukrainy [Estimation of homogeneity of rivers' runoff characteristics series of river basins and sub-basins of Ukraine]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya, 2019. № 1(52). S. 36-50. **6.** Zhovnir V. V., Hrebin' V. V. Analitychnyj ohliad doslidzhen' minimal'noho stoku vody [Analytical review of studies of minimum water runoff]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya, 2018. № 1(48). S. 16-24. **7.** Kocherin D.I. Nizkie i

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2020. № 3 (58)**

naimen'shie rashody vody na territorii Evropejskoj chasti SSSR [Low and smallest water flows in the European part of the USSR]. Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov transporta. 1929. Vyp. XI. **8.** *Luk'yanets' O.I., Kamins'ka T.P.* Zakonomirnosti ta prostorova synkhronnist' bahatorichnykh tsyklichnykh kolyvan' vodnoho stoku richok Ukrayins'kykh Karpat [Regularities and spatial synchronicity of long-term cyclic fluctuations of rivers' water runoff of the Ukrainian Carpathians]. Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu: zbirnyk naukovykh prats. Chernivtsi: Chernivetskyi nats. un-t. Vyp. 744–745: Heohrafiia. 2015. S. 18-24. **9.** *Lysenko K. A.* Minimal'nyj stok malyh rek Karpat i ego raschjoty [The minimum flow of small rivers of the Carpathians and its calculations]. Trudy UkrNIGMI. 1976. Vyp. 149. S. 130-142. **10.** *Obodovs'kyi O.H., Dan'ko K.YU., Pochayevets' O.O., Obodovs'kyi YU.O.* Metodyka vstanovlennya hidroenerhetychnoho potentsialu (na prykladi richok Ukrayins'kykh Karpat). [Methods for establishing hydropower potential (on the example of the rivers of the Ukrainian Carpathians)]. Visnyk kyyivs'koho universytetu. Heohrafiya, 2016. №64. S. 5-11. **11.** *Obodovs'kyi O.H., Pochayevets' O.O., Zavarzin M.A.* Otsinka zviazkiv minimal'nogo ta serednoho stoku vody richok Ukrains'kykh Karpat [Assessment of the connections between the minimum and average water runoff of the rivers of the Ukrainian Carpathians]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. 2016. № 1(40) S. 60–69. **12.** *Obodovs'kyi O.H., Luk'ianets' O.I.* Vyiavlennia ta prohnozna otsinka kolyvan' vodnosti richok Karpats'koho rehionu [Detection and forecast assessment of river water fluctuations in the Carpathian region]. Materialy Mizhnar. nauk. konf. «Vid heohrafii do heohrafichnoho ukrainoznavstva: evoliutsiia osvitho-naukovykh idei ta poshukiv (do 140-richchia zapochatkuvannia heohrafii u Chernivetskomu natsionalnomu universyteti im. Yu. Fedkovycha) ». 11-13 zhovtnia 2016 r. Chernivtsi: Cherniv. nats. un-t, 2016. S. 170-171. **13.** *Obodovs'kyi O., Luk'ianets' O., Pochaievets' O., Moskalenko S.* Bahatorichna minlyvist' absoliutnykh richnykh minimumiv stoku vody richok Ukrainy [Long-term variability of absolute annual minimums of water runoff of rivers of Ukraine]. Visnyk Kyivs'koho natsional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia, 4(87), 2019, s. 89-95. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.87.13>. **14.** *Obodovs'kyi O.H., Suraj K.S., Pochaievets' O.O.* Otsinka minimal'nogo stoku vody richok subbasejnu Uzha (basejn richky Tysa) [Estimation of minimum river water flow of the rivers of the Uzh sub-basin (Tisza river basin)]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya, 2018. № 2(49). S. 6-15. **15.** *Pochaievets' O.O., Obodovs'kyi O.H.* Otsinka vplyvu osnovnykh hidrografichnykh kharakterystyk vodozboriv richok basejnu Tysy (v mezhakh Ukrainy) na formuvannia minimal'nogo stoku vody. [Estimation of the impact of the basic hydrographic characteristics of water catchments of the rivers of the Tisza basin (within Ukraine) on formation of the minimum water runoff]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya, 2018. № 4(51). S. 76-86. **16.** *Pochaievets' O.O., Suraj K.S.* Karty minimal'nogo stoku vody dlia basejnu Tysy v mezhakh Ukrainy. [Maps of minimum water runoff for the Tisza basin within Ukraine]. Shevchenkivska vesna: mat. mizhn. nauk.-prakt. konf. 2019. S.43-47. **17.** *Pochaievets' O.O.* Doslidzhennia minimal'nogo stoku vody` girs`ky`x richok: retrospekty`va, oglyad i perspekty`va [Research of the minimum water runoff of mountain rivers: retrospective, review and perspective]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya. 2019. № 4(55). S. 53-64. **18.** Resursy poverhnostnykh vod SSSR, t.6 Ukraina i Moldavija, vyp. 1. Zapadnaja Ukraina i Moldavija [Surface water resources of the USSR, vol. 6 Ukraine and Moldova, vol. 1. Western Ukraine and Moldova]. **19.** *Solovej T.V.* Kharakterystyka minimal'nogo stoku richok basejnu Pruta [Characteristics of the minimum river runoff of the Prut basin]. Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya: tezy dop. II Vseukr. nauk. konf. .K.: Nika-Tsentr. S. 76-77. **20.** ArcGIS Online Mapping Without Limits 2018. UPL: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline>. **21.** GeoDigital. Инженерная геодезия. StokStat 1.2 - Статистика для гидрологии UPL: [http://www.geodigital.ru/soft\\_hydr](http://www.geodigital.ru/soft_hydr). **22.** How much water does a river need? / Brian Richter, Jeffrey Baumgartner, Robert Wigington, David Braun. // Freshwater Biology. February 1997. p. 231-249. **23.** Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) UPL: <https://www.coservationgateway.org/ConversationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofhydrologicAlteration/>. **24.** Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1. User's Manual. The Nature Conservancy, 2009. **25.** *Opperman, J.* Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River, 2006. **26.** *Opperman, J.* Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR, 2006. **27.** *Reilly C., Kroll N.* Estimation of 7-day, 10-year low-streamflow statistics using baseflow correlation. Water resources research, 2003. №30. C. 1–10. **28.** *Richter B.D., Baumgartner J.V.,*

Braun D.P. and Powell J. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14, 1998. 329-340. **29.** Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., and Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1996. 1163-1174. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of *Conservation Biology*. **30.** Richter B.D., Baumgartner J.V., Wigington R. and Braun D.P. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 1997. 231-249. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of *Freshwater Biology*. **31.** Water scarcity&drought indicators' fact sheets, 2013. P. 63. **32.** Tokarczyk T. Classification of Low Flow and Hydrological Drought for a River Basin. *Acta Geophysica*. 2013. №61. p. 404–421.

**Просторовий розподіл мінімального стоку води річок в басейнах Пруту та Сирету (в межах України)**

**Сурай К.С., Ободовський О.Г., Почаєвець О.О.**

У статті наведено оцінку та просторовий розподіл мінімального стоку води в басейнах Пруту та Сирету. Для досліджуваної території через фізико-географічні умови та особливості водного режиму річок виділено та обґрунтовано оптимальний період для оцінки мінімального стоку – 7-денні періоди найменшого стоку води, які виявились більш показовими у порівнянні з 30-денними та 10-денними. Мінімальний стік води досліджувався окремо за літньо-осінній та зимовий періоди. Вихідними даними слугували щоденні середньодобові витрати води з гідрологічних постів басейнів Прута і Сирету та сусіднього річкового басейну Тиси від початку спостережень до 2018 р. Просторовий розподіл мінімального стоку води представлено картосхемами за літньо-осінній та зимовий періоди у вигляді 7-денних мінімальних модулів стоку води.

**Ключові слова:** басейн річки Прут; басейн річки Сирет; мінімальний стік води; мінімальні модулі стоку; просторовий розподіл.

**Пространственное распределение минимального стока воды рек в бассейнах Прута и Сирет (в пределах Украины)**

**Сурай К.С., Ободовский А.Г., Почаевец А.А.**

В статье приведена оценка и пространственное распределение минимального стока воды в бассейнах Прута и Сирета. Для исследуемой территории через физико-географические условия и особенности водного режима рек выделено и обосновано оптимальный период для оценки минимального стока - 7-дневные периоды наименьшего стока воды, которые оказались более показательными по сравнению с 30-дневными и 10-дневными. Минимальный сток воды исследовался отдельно для летне-осеннего и зимнего периодов. Исходными данными послужили ежедневные среднесуточные расходы воды по гидрологическим постам бассейнов Прута и Сирет и соседнего речного бассейна Тисы от начала наблюдений до 2018 г. Пространственное распределение минимального стока воды представлено картосхемами за летне-осенний и зимний периоды в виде 7-дневных минимальных модулей стока воды.

**Ключевые слова:** бассейн реки Прут; бассейн реки Сирет; минимальный сток воды рек; минимальные модули стока; пространственное распределение.

**Spatial distribution of minimum river runoff in the Prut and Siret basins (within Ukraine)**

**Surai K.S., Obodovskyi O.G., Pochaevets O.O.**

This article gives an estimation of minimum river water flow of the Prut River and the Siret River basins. There are two special periods of low flow between floods. The first one runs from August to November (summer-autumn period) and the second one runs from December to February (winter period). These periods were separated because of different genetics of runoff formation.

It was found that 7 days is an optimal period with a stable minimum water flow. Physical and geographical features of the river basin, comparative flow and precipitation graph, scientific works of American scientists became the confirmation for giving preference to 7-days period.

All series of observations are homogeneous according to the calculations in the program StokStat. In general, all samples are homogeneous for at least one criterion with 1% level of significance and can be used for further research.

The samples of the average 7-day minimum water runoff from the beginning of observations until 2018 became the basis for the construction of maps of the distribution of the minimum water runoff across the study area. The result of this work represents two current maps of the distribution of runoff modules ( $l^3/s / km^2$ ) of the summer-autumn and winter low water periods.

There was conducted the research of the connection between the actual values and the values taken from the maps. The connection between calculated and cartographed minimum modules of water flow

showed a close correlation, the approximation coefficients are  $R^2 = 0.9731$  and  $0.986$  for two maps. In this case, the connection line is at an angle close to  $45^\circ$ .

We can see a decrease of minimum water flow modules in the direction from west to northeast and a parallel decrease in the density of the distribution of isolines. The altitude has a similar distribution in this area, so there was evaluated a correlation between these two parameters. It is close, the approximation coefficients are  $R^2 = 0.5618$  and  $0.6661$  for winter and summer-autumn periods.

Consequently, the constructed maps are reliable and can be used in the future to determine the value of minimum flow modules from other parts of the basins for practical and scientific purposes. In particular, this concerns the estimation of the minimum runoff of the river basins, for solving various water management tasks: planning water supply and water intake works, designing and constructing hydrotechnical structures, performing reclamation works, drought assessment.

**Keywords:** the Prut River basin; the Siret River basin; minimum river water flow; minimum water flow; minimum modules of water flow; spatial distribution.

**Надійшла до редколегії 10.04.2020**