

Regional method for determination the maximum runoff of the spring flood in sub-basin the Desna River under the climate change

Ovcharuk V.A., Ivashchenko S.V.

The results of development of the regional methodology for calculating the maximum water runoff of the rare probability of exceedance for the rivers of the sub-basin the Desna River under the conditions of modern climate change are presented.

As basic for calculation authors used a modern modified version of the operator model of runoff formation developed at the Odessa State Environmental University to determine the characteristics of spring flood, which allows taking into account the influence of climate change on the calculated characteristics of the maximal runoff modules. The advantage of the proposed method is that it is based on the theory of channel isochrones, which allows describing the natural process of formation of runoff in the form of the operator "slope tide - channel runoff".

To substantiate the basic calculation parameters of the author's methodology, was used the data of direct observations on the hydrological characteristics of the maximum waterrunoff of the spring flood (water discharges, depth of runoff and duration of the influx) and meteorological factors of its formation (maximum snow supply and precipitation during spring flood) for the period since its beginning to 2015, including.

In the process of standardization of the main components of the proposed methodology, methods of statistical processing, spatial generalization, numerical problem solving and mathematical modeling were used.

To account for possible climate change, the original author's scientific and methodological approach is proposed, which is to determine "climate corrections" on the basis of modern baseline data - maximum of the water snow supply and precipitation during spring flood and runoff coefficients of the water, taking into account their dependence from long-term annual air temperatures that are projected according to the developed climate models and scenarios.

The modified version of the operator model is proposed to be used as a regional calculation technique for determining maximum runoff modules of the rare probability of exceeding for ungauged rivers in the Desna sub-basin during the passage of the spring flood.

Keywords: maximum runoff; spring flood; climate change; modified version of the operator model.

Надійшла до редколегії 27.12.2019

УДК 556.166

Москаленко С.О., Бесараб Ю.С., Лук'янець О.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ВОДИ РІЧОК БАСЕЙНІВ ПРУТУ І СІРЕТУ В МЕЖАХ УКРАЇНИ ТА ЙОГО БАГАТОРІЧНА ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ

Ключові слова: річки басейну Пруту та Сірету; максимальний стік; максимальні строкові та середньодобові витрати води; однорідність часових рядів; статистичні параметри; багаторічна просторово-часова мінливість; сумарні та різницеві інтегральні криві; ковзне осереднення.

Вступ. Максимальний стік води річок відноситься до числа важливіших екстремальних режимних характеристик річкового стоку води річок, який може обумовити різні прояви катастрофічних ситуацій (затоплення територій, населених пунктів, руйнування мостів, будівель, гідротехнічних споруд, тощо). Високі підйоми рівнів води та відповідне збільшення витрат води спостерігаються на річках в періоди проходження водопілля, паводків. Вони залежать від інтенсивності та тривалості подачі води на поверхню басейна, від швидкостей стікання, від стану водозбору.

Максимальний стік води річок може виражатися найбільшою витратою води (об'ємом чи шаром стоку) за основну хвилю водопілля або паводку в даному році. Максимальні витрати води можуть бути найбільшими середньодобовими,

строковими (взятими в один зі строків добового вимірювання) або миттєвими (абсолютний максимум у цій добі). На малих річках між цими показниками максимумів можуть бути істотні відмінності у величинах, але чим більше річка, тим ці відмінності менші. Особливо, такі різниці (мається на увазі між середньодобовими, строковими і миттєвими) прослідковується в гірських регіонах, де стікаючи з гір з великими нахилами, річки переходять в передгір'я та потім виходять на рівнину чи низовину.

Вихідні відомості та дані. Об'єктом дослідження в цій роботі є річки басейну Пруту та Сірету, предметом - максимальний річний стік води.

У межах України знаходяться лише верхів'я річок Пруту і Сірету (приток Дунаю). Загальна площа водозборів цих річок на території України становить 11300 км². До основної зони формування паводків відноситься гірська частина басейнів, що займає близько 55 % загальної їх площі. Річка Прут бере початок у Чорногорі, перепливає Карпати, Прикарпаття та Покутсько-Бесарабську височину. На території України його довжина становить близько 240 км, а площа водозбору - 8000 км². Основні його притоки течуть з гір: Пістинка (56 км), Рибниця (54 км), Черемош (80 км). Довжина р. Сірет у межах України становить 115 км.

Середні річні кількості опадів загалом збільшуються з висотою – від 630-660 до 1400-1410 мм. В окремі роки вони можуть досягати від 940 до 1835 мм. Проте були й такі роки, коли їх річна кількість не перевищувала на більшій частині території 370-560, на висотах вище 1000 м – 1000 мм. Найбільша кількість опадів припадає на теплий період – з травня по вересень – 60-80% річної кількості. Залежність річної кількості опадів від висоти проявляється досить певно – їх кількість збільшується в 2-2,5 рази.

Щодо водного режиму, то відповідно до кліматичних умов на річках у басейнах Пруту та Сірету спостерігається весняне водопілля, але переважають дощові паводки в теплий період року, тоді як сніго-дощові паводки холодного періоду на досліджуваних річках бувають, але не характерні.

Високі паводки на річках басейну Пруту та Сірету спостерігалися у 1897, 1908, 1911, 1927, 1941, 1947, 1955, 1969, 1970, 1976, 1980, 1995, 1996, 1998, 2001, 2008, 2010 рр.

Мета даного дослідження – виявлення особливостей та тенденцій у багаторічній просторово-часовій мінливості максимального стоку води в басейнах Пруту та Сірету. На досліджуваній території є 12 гідрометричних постів, на яких ведуть спостереження за стоком води. В таблиці 1 подано перелік постів, періоди спостереження за стоком води, а також гідрографічні та морфометричні характеристики річок та їх водозборів.

Аналізуючи гідрографічні та морфометричні характеристики річок та їх водозборів бачимо, що водозбори мають досить великий діапазон їх середніх висот, що свідчить про те, що досліджуваний басейн відноситься до передгірного і гірського регіону та має різні умови формування максимумів. Тому для дослідження максимального стоку води в басейнах Пруту та Сірету за матеріалами спостережень Державної гідрометеорологічної служби ДСНС сформовано банк вихідних даних – максимальних за рік середньодобових та відповідних їм максимальних строкових витрат води для всіх річок досліджуваного басейну, де вимірюються витрати води, від початку спостережень по 2016 р. включно. На 83 % гідрологічних постів на річках басейну Пруту та Сірету періоди спостережень за стоком води складають 54÷72 років, лише на 2 постах - р. Прут – с. Ворохта (39 років) та р. Чорнява – с. Любківці (32 роки) мають період спостережень <40 років.

Таблиця 1. Гідрографічні та морфометричні характеристики річок та їх водозборів-басейнів Пруту та Сірету

Річка – гідрометричний пост	Період спостережень (кількість років)	Відстань, км		Похил річки, ‰		Водозбір				
		від гирла	від витoku	середній	середній зважений	Площа, км ²	Середня висота, м абс.	Середній похил, ‰	Заболоченість, %	Лісистість, %
Сірет - Сторожинець	1953-2016 (64)	448	65	9,3	4,7	672	590	144	<1	51
Прут - Ворохта	1978-2016 (39)	955	13	-	-	48,3	-	-	-	-
Прут - Кременці	1959-2016 (57)	932	36	27,5	11,9	366	1000	285	0	85
Прут - Яремча	1950-2016 (67)	914	54	21,8	9,6	597	990	281	0	87
Прут - Чернівці	1945-2016 (72)	772	196	7,8	3,6	6890	450	-	<1	42
Кам'янка – Дора	1946-2016 (71)	0,8	6,2	111	66,4	18,1	870	446	0	76
Чорнява - Любківці	1984-2016 (32)	4,5	-	-	-	333	-	-	-	-
Черемош - Устеріки	1957-2016 (59)	79	1,0	9,8	9,0	1500	1100	-	0	51
Білий Черемош - Яблуниця	1958-2016 (59)	14	37	19,0	10,2	552	1200	334	0	56
Чорний Черемош - Верховина	1958-2016 (59)	19	67	16,7	11,4	657	1200	321	0	57
Ільця - Ільці	1959-2016 (58)	4,2	13	40,2	30,5	86,1	1100	303	0	52
Путила - Путила	1963-2016 (54)	19	23	24,2	15,8	181	960	325	0	50

Аналіз попередніх досліджень та публікацій. Вивченню просторово-часових особливостей та закономірностей максимального стоку води річок різних регіонів України завжди приділяється належна увага. У 30-40-х роках минулого століття вивченням умов формування максимального стоку води займалися А. В. Огієвський, А. М. Бефані. У 50-70-х рр. щодо максимального стоку води річок України та просторових закономірностей його формування з'являються наукові розробки Г. І. Швеця, В. І. Мокляка, Г. П. Кубишкіна, П. Ф. Вишневського, Й. А. Железняка. У 70-90-х роках можна виділити дослідження П. М. Лютика, Л. І. Сакалі, Л. В. Дмитренка, Є. М. Киптенко [19], Л. Д. Михальської, Л. М. Коваленко, Я. О. Фоменка, Є. Д. Гопченка [5], В. М. Бойко, М. І. Кульбиди [1], М. М. Сусідка, О. І. Лук'янець [20-23, 28]. Накопичення даних гідрометричних спостережень (збільшення часових послідовностей стокових характеристик) сприяло більш ретельним його дослідженням, обґрунтованим розрахункам та висновкам. В сучасний період у дослідженні максимального стоку води річок України можна відмітити наукові праці В. І. Вишневського, О. О. Косовця [2-3], М. І. Кирилюка [11], Є. Д. Гопченка, В. А. Овчарук [6], Б. Ф. Кіндюка [12], В. В. Гребеня [7]. Останні дослідження характеристик максимального стоку річок України також наведено у дисертаційних роботах Ж. Р. Шакірзанової, М. В. Гопцій, О. І. Тодорової, Л. О. Горбачової, В. А. Овчарук. Розглядаються характеристики максимального стоку води окремих річок чи окремих річкових басейнів України в низці публікацій останніх років В. В. Гребеня, О. І. Лук'янець, С. П. Андрели [8], М. В. Гопцій,

Є. Д. Гопченка [4], В. О. Дутко, С. О. Москаленка [9, 17], В. А. Овчарук, О. І. Тодорової, О. М. Прокоф'єва [18], В. О. Корнієнко [13] та ін. Дослідженням просторово-часової мінливості присвячено статті О. І. Лук'янець, Т. П. Камінської, О. Г. Ободовського, Ю. О. Ободовського, С. О. Москаленка [14-16, 24-27].

Результати дослідження. Співвідношення між максимальними строковими та максимальними середньодобовими витратами води. Для з'ясування відмінностей у величинах максимальних строкових та максимальних середньодобових витрат води побудовано залежності між зазначеними характеристиками (рис. 1).

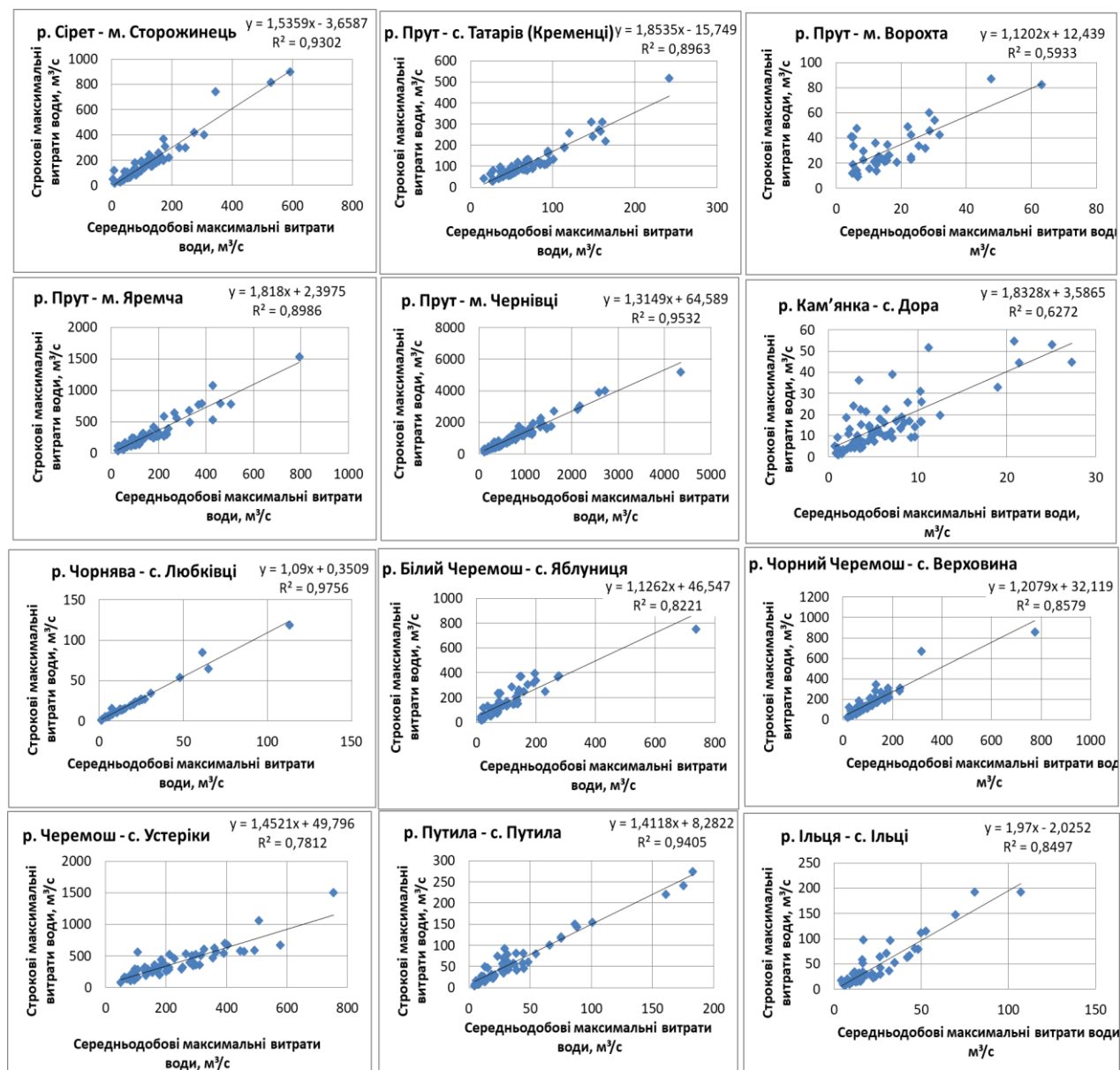


Рис. 1. Залежності між максимальними середньодобовими та відповідними їм максимальними строковими витратами води на річках басейнів Пруту та Сірету

З рис. 1 видно, що зв'язки між максимальними середньодобовими та відповідними їм максимальними строковими витратами води на річках досліджуваних водозборів є досить тісними. Коефіцієнти апроксимації R^2 змінюються в межах від 0,59 до 0,97, що відповідає коефіцієнтам кореляції – від 0,77

до 0,98. Але самі співвідношення між максимальними середньодобовими та відповідними їм максимальними строковими витратами на річках басейнів Пруту та Сірету різні. Для виявлення закономірностей у таких відмінностях побудовано графіки залежності співвідношень між максимальними строковими та максимальними середньодобовими витратами та середніми висотами водозборів (рис. 2).

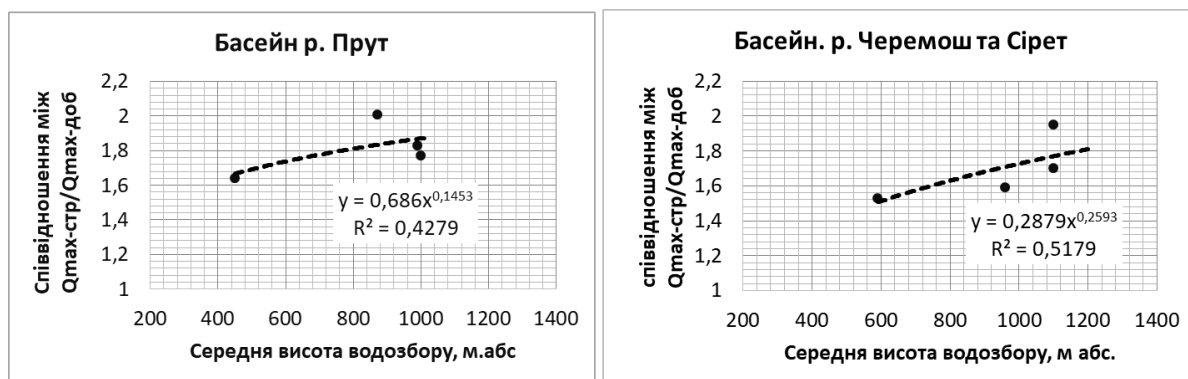


Рис. 2. Залежності між співвідношеннями максимальних строкових $Q_{\max-стр.}$ і максимальних середньодобових $Q_{\max-доб.}$ витрат води та середньою висотою відповідних водозборів річок басейнів Пруту та Сірету

У табл. 2 узагальнено співвідношення між максимальними строковими $Q_{\max-стр.}$ та максимальними середньодобовими $Q_{\max-доб.}$ витратами від середньої висоти водозборів, використовуючи побудовані залежності $Q_{\max-стр.} / Q_{\max-доб.} = f(\text{сер. висота})$ (рис. 2).

Таблиця 2. Зміни співвідношень між максимальними строковими $Q_{\max-стр.}$ і максимальними середньодобовими $Q_{\max-доб.}$ витратами води та середньою висотою відповідних водозборів річок басейнів Пруту та Сірету

Середня висота водозборів, м абс.	Річки басейну Пруту	Річки басейну Черемошу та Сірету
	співвідношеннями між $Q_{\max-стр.} / Q_{\max-доб.}$	співвідношеннями між $(Q_{\max-стр.} / Q_{\max-доб.})$
400	1,6	1,4
600	1,7	1,5
800	1,8	1,6
1000	1,9	1,7
1200	1,9	1,8

Найбільші співвідношення $Q_{\max-стр.} / Q_{\max-доб.}$ спостерігаються на гірських водозборах з середніми висотами 1000-1200 м. абс. – 1,7-1,9. З водозборів з середніми висотами 400 м абс. такі співвідношення зменшуються до 1,4-1,6

Статистичні параметри часових послідовностей максимального стоку води та оцінка їх однорідності. У зв'язку з тим, що залежності між максимальними строковими та максимальними середньодобовими витратами води є досить значимими, то в подальшому досліджувалися лише послідовності максимальних строкових витрат води, як найбільш важливими в практичному застосуванні у гідрологічних розрахунках та прогнозах.

В табл. 3 подано статистичні параметри максимального річного стоку води на річках басейнів Пруту та Сірету – норма, коефіцієнти варіації та асиметрії. Коефіцієнти варіації максимального стоку у переважній більшості змінюються в

межах 0,8-1,0, коефіцієнти асиметрії мають додатні значення і, в основному, знаходяться в діапазоні 1,8-2,5.

Таблиця 3. Статистичні параметри максимального річного стоку води на річках басейнів Пруту та Сірету

Річка –гідрологічний пост	Площа водозбору.км ²	максимальний річний стік води (строкові значення)		
		Норма, м ³ /с	Коефіцієнт варіації, C _v	Коефіцієнт асиметрії, C _s
Сірет - Сторожинець	672	177	0,96	2,62
Прут - Ворохта	48,3	31,6	0,56	1,42
Прут - Кременці	366	121	0,72	2,17
Прут - Яремча	597	309	0,84	2,26
Прут - Чернівці	6890	1131	0,83	1,99
Кам'янка – Дора	18,1	15,2	0,83	1,55
Чорнява - Любківці	333	22,7	1,12	2,22
Черемош - Устеріки	1500	393	0,60	2,05
Білий Черемош - Яблуниця	552	158	0,84	1,80
Чорний Черемош -Верховина	657	164	0,85	2,91
Ільця - Ільці	86,1	42,1	0,99	2,06
Путила - Путила	181	62,0	0,94	1,86

Для порівняння точності визначення норм максимального річного стоку води на річках басейну Пруту та Сірету, які мають різну водність, розраховано відносні значення середніх квадратичних похибок σ_n (%) для кожного поста за формулою:

$$\sigma_n = \pm \frac{100 \cdot C_v}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

де C_v - коефіцієнт варіації, n- тривалість безперервних спостережень, (табл. 4).

Таблиця 4. Відносні значення середніх квадратичних похибок визначення норм максимального річного строкового стоку води на річках басейнів Пруту та Сірету

Річка –гідрологічний пост	Площа водозбору, км ²	максимальний річний стоку води (строкові значення)		
		Період спостережень (кількість років n),	Коефіцієнт варіації, C _v	Відносне значення середньої квадратичної похибки, σ_n %
Сірет - Сторожинець	672	1953-2016 (64)	0,96	12,0
Прут - Ворохта	48,3	1978-2016 (39)	0,56	8,92
Прут - Кременці	366	1959-2016 (57)	0,72	9,55
Прут - Яремча	597	1950-2016 (67)	0,84	10,3
Прут - Чернівці	6890	1945-2016 (72)	0,83	9,84
Кам'янка – Дора	18,1	1946-2016 (71)	0,83	9,88
Чорнява - Любківці	333	1984-2016 (32)	1,12	19,8
Черемош - Устеріки	1500	1957-2016 (59)	0,60	7,80
Білий Черемош - Яблуниця	552	1958-2016 (59)	0,84	11,0
Чорний Черемош - Верховина	657	1958-2016 (59)	0,85	11,0
Ільця - Ільці	86,1	1959-2016 (58)	0,99	13,0
Путила - Путила	181	1963-2016 (54)	0,94	12,8

При цьому має дотримуватися умова – ряд спостережень за максимальним стоком води на річках вважається репрезентативним щодо визначення його норми, якщо величина σ_n не перевищує 15-20 %. Як видно з табл. 4, досліджувані послідовності – репрезентативні.

Важливим в дослідженнях часової мінливості максимального річкового стоку води є перевірка досліджуваних часових послідовностей на однорідність. При дослідженні однорідності рядів спостережень треба прийняти умову, що результати спостережень будемо вважати однорідними тоді, коли вони належать до однієї генеральної сукупності.

Кількісну оцінку однорідності максимальних річних витрат води на річках басейну Пруту та Сірету виконано за узагальненими стандартними параметричними критеріями: за критерієм Стюдента для перевірки рівності середніх значень (статистика t) і критерієм Фішера для перевірки рівності дисперсії (статистика F) (табл. 5-6). З непараметричних критеріїв використано критерій Вілкоксона (статистика кількості інверсій U) (табл. 7).

Таблиця 5. Аналіз однорідності рядів максимального річного стоку води на річках басейну Пруту та Сірету за критерієм Стюдента t за 5% рівні значущості

Річка –гідрологічний пост	максимальний річний стоку води (строкові значення)		
	Емпіричне значення статистики t	Критичні аналітичні значення, $t_{f,k}$	Гіпотеза про однорідність
Сірет - Сторожинець	0,15	2,00	приймається
Прут - Ворохта	0,13	2,04	приймається
Прут - Кременці	0,67	2,01	приймається
Прут - Яремча	1,56	2,00	приймається
Прут - Чернівці	0,94	2,00	приймається
Кам'янка – Дора	0,81	2,00	приймається
Чорнява - Любківці	0,48	2,07	приймається
Черемош - Устеріки	0,82	2,01	приймається
Білий Черемош - Яблуниця	0,16	2,01	приймається
Чорний Черемош -Верховина	0,88	2,01	приймається
Ільця - Ільці	1,51	2,01	приймається
Путила - Путила	1,25	2,01	приймається

Таблиця 6. Аналіз однорідності рядів максимального річного стоку води басейну Пруту та Сірету за критерієм Фішера F за 5% рівні значущості

Річка –гідрологічний пост	максимальний річний стоку води (строкові значення)		
	Емпіричне значення статистики t	Критичні аналітичні значення, $t_{f,k}$	Гіпотеза про однорідність
Сірет - Сторожинець	1,26	2,14	приймається
Прут - Ворохта	3,49	2,86	не приймається
Прут - Кременці	1,94	2,19	приймається
Прут - Яремча	3,37	2,10	не приймається
Прут - Чернівці	2,20	2,06	не приймається
Кам'янка – Дора	1,46	2,06	приймається
Чорнява - Любківці	3,18	3,33	приймається
Черемош - Устеріки	1,38	2,17	приймається
Білий Черемош - Яблуниця	2,01	2,17	приймається
Чорний Черемош -Верховина	1,96	2,18	приймається
Ільця - Ільці	1,46	2,19	приймається
Путила - Путила	1,46	2,25	приймається

Таблиця 7. Аналіз однорідності рядів максимального річного стоку води басейну Пруту та Сірету за критерієм Вілкоксона U за 5% рівні значущості

Річка - поста	Верхнє та нижнє критичні значення інверсій		Порахована кількість інверсій	Гіпотеза про однорідність вибірок
Сірет - Сторожинець	366	658	528	Приймається
Прут - Ворохта	120	260	150	Приймається
Прут - Кременці	283	529	438	Приймається
Прут - Яремча	405	718	648	Приймається
Прут - Чернівці	474	822	680	Приймається
Кам'янка – Дора	460	800	565	Приймається
Чорнява - Любківці	76,0	180	127	Приймається
Черемош - Устеріки	306	564	490	Приймається
Білий Черемош - Яблуниця	306	564	366	Приймається
Чорний Черемош - Верховина	306	564	474	Приймається
Ільця - Ільці	294	547	331	Приймається
Путила - Путила	251	478	309	Приймається

Оцінки однорідності рядів за критерієм Стюдента показала, що гіпотеза про однорідність вибірок максимального річного стоку води для всіх річок басейну Пруту та Сірету приймається.

За критерієм Фішера F – ряди максимумів переважно однорідні, тобто інтенсивність їх мінливості за багаторічний період істотно не змінилася. Лише ряди максимальних річних витрат води на таких постах як р. Прут – смт Ворохта, р. Прут – м. Яремча і р. Прут – м. Чернівці виявилися неоднорідними за критерієм Фішера F за 5 % рівні значущості. Якщо розширити межі критичних аналітичних значень критерію Фішера за 1 % рівні значущості, то гіпотеза про однорідність приймається для постів р. Прут – смт Ворохта і р. Прут – м. Чернівці. При цьому часова послідовність спостережень за максимальним річним стоком води за 1 % рівні значущості для поста р. Прут – м. Яремча залишається неоднорідним.

За непараметричним критерієм Вількоксона гіпотеза про однорідність рядів максимальних річних витрат води для всіх постів на річках басейну Пруту та Сірету приймається (див. табл. 7).

Оцінки багаторічних коливань максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сірету. Для виявлення просторово-часової мінливості максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сірету і тенденцій до групування років з відносно великими та малими його значеннями (тобто, циклічну складову) використано наступні методи:

1) Графічний аналіз сумарних інтегральних кривих. Початок впливу кліматичних чи антропогенних змін наближено оцінюють графічним способом - шляхом побудови сумарної інтегральної кривої (тобто, послідовна сума величин стоку є функцією часу) наступного виду:

$$\sum_{i=1}^{i=n} Q_i = f(t) \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^{i=n} Q_i$ - наростаюча сума величин стоку Q_i від початку спостережень Q_1 до їх завершення Q_n , t – послідовність часу (в нашому випадку, роки).

Якщо є різка зміна кута нахилу графіка залежності, то це характеризує початок можливих зазначених змін. Причому в той рік, де почалась така різка зміна. На рис.3 для всіх постів подано сумарні інтегральні криві максимальних річних витрат води (взято строкові значення) річок басейнів Пруту та Сірету.

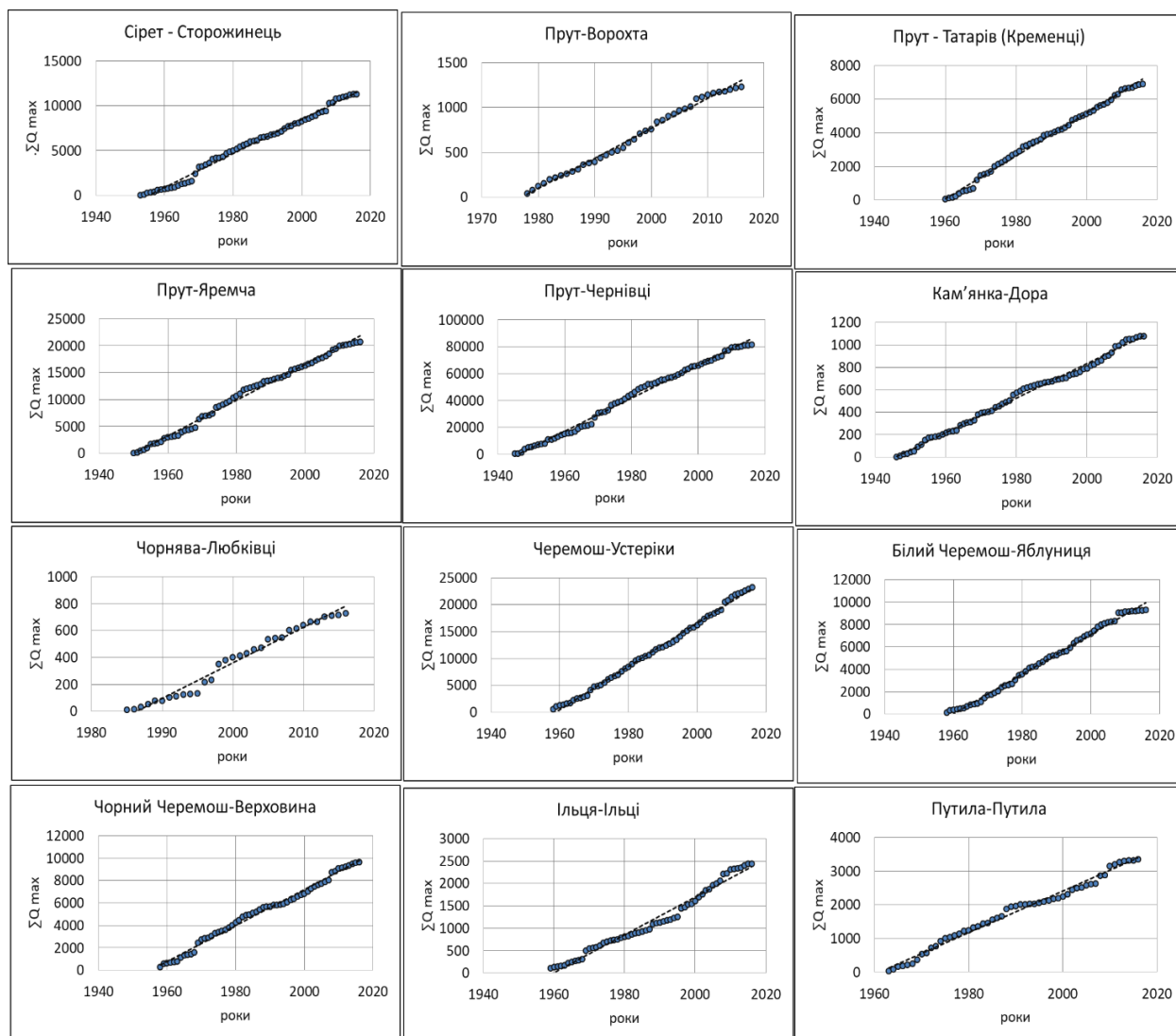


Рис.3. Сумарні інтегральні криві максимальних річних витрат води річок басейнів Пруту та Сірету від початку спостережень по 2016 р.

Помітних змін, які могли б позначитися на режимі максимального стоку води не виявлено. Але на всіх сумарних інтегральних кривих у сучасний період з 2009-2011 рр. є тенденція на зменшення максимумів.

2) Графічний аналіз різницевої інтегральної кривої. Застосовується для виявлення тенденцій до групування років з відносно великими та малими значеннями характеристик річкового стоку води. Графічний аналіз полягає у побудові різницевої інтегральної кривої:

$$\sum_{i=1}^{i=m} (k_i - 1) / C_v = f(t) , \quad (3)$$

де модульний коефіцієнт k_i як стандартне перетворення значень характеристик річкового стоку води, який дорівнює відношенню $Q_i / \bar{Q}$, при цьому $\bar{Q}$ – норма досліджуваного ряду $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$, C_v – коефіцієнт його варіації, t – послідовність часу (в нашому випадку, роки).

На рис. 4 представлено окремі різницеві інтегральні криві часових послідовностей максимальних річних витрат води окремих річок, а також осереднена для басейнів Пруту та Сірету.

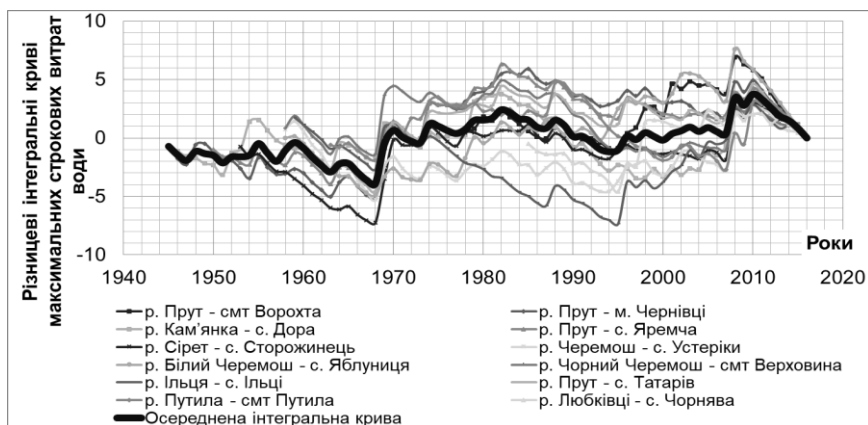


Рис. 4. Різницеви інтегральні криві максимального річного стоку води (строкові значення) річок басейнів Пруту та Сірету

Аналіз як окремих різницевих інтегральних кривих часових рядів максимального річного стоку води для всієї сукупності річок басейнів Пруту та Сірету, так й осередненої різницевої інтегральної кривої показав неможливість виділити явну тривалу циклічну складову в спостереженому максимальному річному стоці води річок. Навіть відокремлення малих водозборів, для яких часто мають вплив азональні, локальні фактори, що сприяє деяким особливостям формування стоку води, показав неможливість виділити стійку тривалу циклічну складову за різницеви інтегральними кривими (рис.5-6).

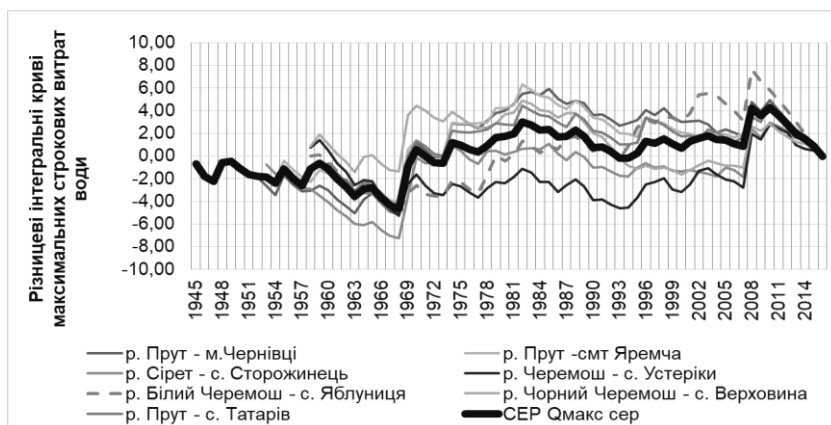


Рис. 5 Різницеви інтегральні криві максимального річного стоку води (строкові значення) річок басейнів Пруту та Сірету без малих водозборів

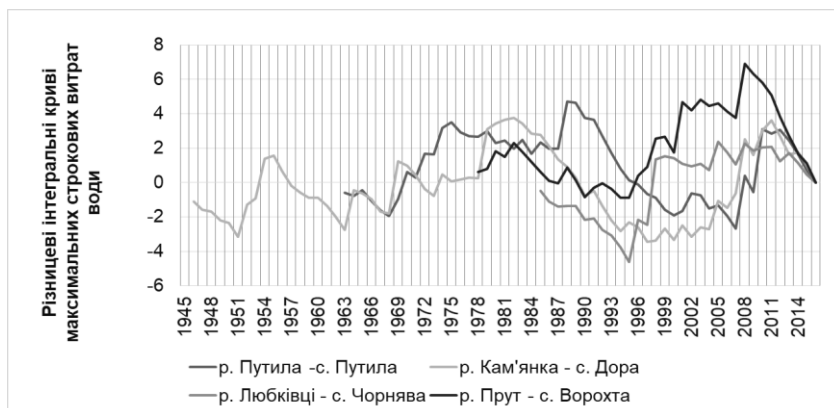


Рис. 6. Різницеви інтегральні криві максимального річного стоку води (строкові значення) річок малих водозборів басейну Пруту та Сірету

Наявність достатньо суттєвих випадкових коливань стоку на річках басейну Пруту та Сірету заважає виявленню за різницею інтегральними кривими закономірностей їх часового ходу, які виражаються у формі довготривалих циклів.

3) Згладжування часових рядів. Для виявлення циклів менших періодичностей застосовано найбільш простий індикатор в технічному аналізі, що полягає у згладжуванні часових рядів – ковзне середнє, яке показує середнє значення часового ряду за певний період часу. Середнє ковзне значення відноситься до категорії аналітичних методів, які слідує за тенденцією, що полягає в тому, щоб визначити час початку нової тенденції або попередити про її завершення.

Ковзне середнє є звичайним середнім арифметичним (чи середнім ваговим) від показників стоку води за певний інтервал осереднення і полягає в заміні вихідних даних осередненими за певний інтервал. Частіше, щоб зберегти симетрію згладжування, в гідрології з практичною метою використовують непарне значення цього інтервалу – 3 (згладжування за трирічками), 5 (згладжування за п'ятирічками), 7 (згладжування за семирічками) тощо. Наприклад, згладжування за трирічками, перші значення витрат ряду Q_1, Q_2, Q_3 осереднюються в $\tilde{Q}_2$, далі береться наступна «трійка» Q_2, Q_3, Q_4 - в $\tilde{Q}_3$ і так само далі до кінця досліджуваного ряду.

Оскільки результати згладжування максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сірету треба порівняти, зроблено стандартне перетворення максимальних витрати води – проведено їх нормування у вигляді модульних коефіцієнтів. Результати згладжування за трирічками та п'ятирічками подано на рис.7-8.

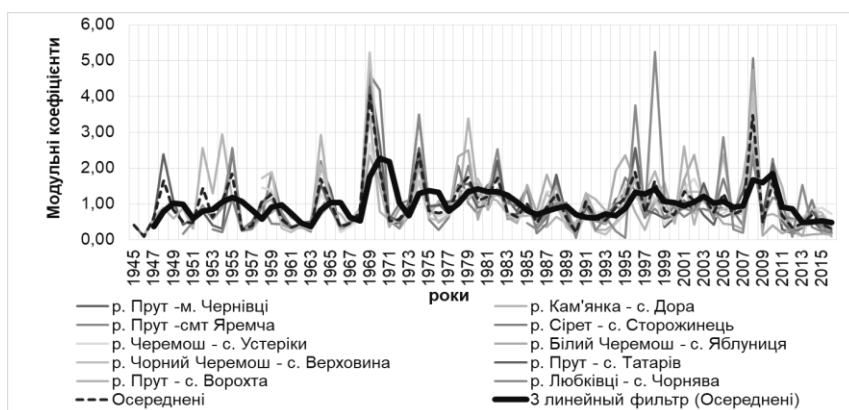


Рис. 7. Згладжування (ковзне середнє) за трирічками максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сірету

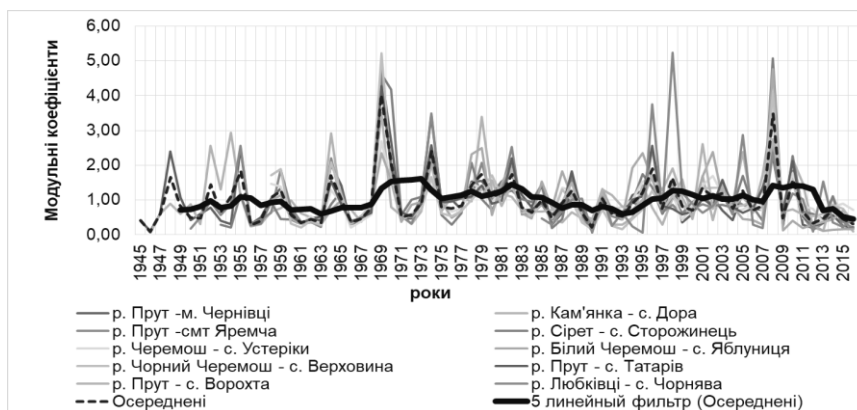


Рис. 8. Згладжування (ковзне середнє) за п'ятирічками максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сірету

Аналіз згладжування за трирічками та за п'ятирічками показав, що в часових послідовностях максимального стоку води річок басейнів Пруту і Сірету присутні цикли менших періодичностей, тривалість яких мінлива, але в переважній більшості знаходиться в межах 5-7 років.

Висновки. Фізико-географічні умови басейнів Пруту та Сірету (насамперед, кліматичні та орографічні) сприяють формуванню значних максимумів на річках території дослідження. Для їх водного режиму характерно весняне водопілля, але переважають дощові паводки в теплий період року, тоді як сніго-дощові паводки холодного періоду для цих водозборів не притаманні. Саме в теплий період спостерігаються найбільші максимуми за рік.

В просторовому відношенні на річках басейнів Пруту та Сірету різні умови формування максимумів, тому що досліджувана територія має елементи гірської та передгірної орографії. У зв'язку з цим, сформовано банк вихідних даних від початку спостережень по 2016 р. включно – максимальних за рік середньодобових та відповідних ним максимальних строкових витрат води для всіх річок досліджуваного басейну за матеріалами спостережень Державної гідрометеорологічної служби ДСНС з 12 гідрометричних постів. Зв'язки між зазначеними максимумами є досить тісними (коефіцієнти апроксимації $R^2=0,59-0,95$), але самі співвідношення на річках досліджуваних водозборів басейнів Пруту та Сірету різні. Виявлено, що найбільші співвідношення між максимальними строковими та максимальними середньодобовими спостерігаються на гірських водозборах з середніми висотами 1000-1200 м. абс. – в середньому 1,7-1,9 разів строкові максимуми перевищують добові. З водозборів з середніми висотами 400 м абс. такі співвідношення зменшуються до 1,4-1,6.

З тієї причини, що залежності між максимумами строковими та середньодобовими є досить значимими, то досліджувалися лише послідовності максимальних строкових витрат води, які є найбільш важливими в практичному застосуванні у гідрології. Розраховані статистичні параметри показали, що коефіцієнти варіації у переважній більшості змінюються в межах 0,8-1,0, коефіцієнти асиметрії мають додатні значення і, в основному, знаходяться в діапазоні 1,8-2,5. Для порівняння точності визначення норм максимального річного стоку розраховано відносні значення середніх квадратичних похибок для кожного поста, які показали, що досліджувані послідовності – репрезентативні. Результати оцінки їх однорідності за критеріями Стюдента, Фішера та Вілкоксона показали, що ряди максимальних строкових витрат води є однорідними, як за нормою, так й за дисперсією.

Дослідження багаторічної мінливості максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сірету за різницевиими інтегральними кривими показало неможливість виділити явну циклічну складову в спостереженому максимальному річному стоці води річок. Виявлення циклів менших періодичностей проведено за ковзним середнім, яке показало, що в часових послідовностях максимального стоку води річок басейнів Пруту і Сірету присутні такі цикли, тривалість яких мінлива, але в переважній більшості знаходиться в межах 5-7 років.

Список літератури

1. Бойко В. М., Кульбіда М. І., Сусідко М. М. Визначний дощовий паводок на річках Закарпаття в листопаді 1998 р. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 1999. Вип.247. С. 91-101.
2. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ : Віпол, 2000. 376 с.
3. Вишневський В. І., Косовець О. О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ніка-центр, 2003. 324 с.
4. Гопцій М.В., Гопченко Є.Д. Дощові паводки в Українських Карпатах та їх розрахункові характеристики. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*, 2011. Т. 2(23). С. 57-62.
5. Гопченко Е.Д. Максимальный сток с речных водосборов (теоретическое обоснование, ISSN:2306-5680 *Hidrolohiia, hidrokhiimia i hidroekolohiia*. 2020. № 1 (56)

методика построения и практическая реализация расчетных моделей): дис. на здобуття наукового ступеня док. геогр. наук: спец. 11.00.07 - «Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія» / Е.Д. Гопченко. Київ, 1994. 356 с. **6. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А.** Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. Одесса: ТЭС, 2002. 110 с. **7. Гребінь В. В.** Сучасний водний режим річок України (ландшафтногідрологічний аналіз). К. : Ніка-Центр, 2010. 316 с. **8. Гребінь В.В., Лук'янець О.І., Андрела С.П.** Характер змін режиму водності та повторюваності паводків в холодний і теплий періоди року в басейні Тиси (у межах України). *Український гідрометеорологічний журнал*: Науковий журнал. Одеса: Вид-во ПП «ТЕС», 2013. № 13. С. 147-154. **9. Дутко В.О., Москаленко С.О.** Особливості паводкового режиму річок басейнів Західного Бугу та правобережжя Прип'яті. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2008. Т. 15. С. 63-68. **10. Дячук В.А., Сусідко М.М.** Паводки в Закарпатті та причини їх виникнення. *Укр. географ. журн.*, №1, 1999. С. 48-51. **11. Кирилюк М.І.** Режим формування історичних паводків в Українських Карпатах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2001. Т. 2. С. 163-167. **12. Кіндюк Б.Ф.** Гидрографическая сеть и ливневой сток Украинских Карпат. Одесса: ТЭС, 2003. 222 с. **13. Корнієнко В. О., Лук'янець О.І.** Розрахункові характеристики максимального річного стоку води річок правобережжя Прип'яті. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2017. Т. 2 (45). С.39-44. **14. 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.: Географія, 2015. Вип. 744-745 С. 18-24. **15. Лук'янець О.І., Москаленко С.О.** Узагальнення та багаторічна мінливість максимального річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2019. № 2 (53). С. 6-20. **16. Лук'янець О.І., Москаленко С.О.** Співвідношення між середньодобовими та строковими максимумами на річках басейну Тиси в межах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2019. № 3 (54). С. 57-58. **17. Москаленко С.О.** Гідрометеорологічні умови та багаторічні характеристики дощових паводків на річках правобережжя Прип'яті. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2010. Т. 18. С. 125-132. **18. Овчарук В.А., Тодорова О.І., Прокоф'єв О.М.** Максимальний стік дощових паводків річок гірського Криму в умовах активного впливу підстильної поверхні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2017. № 4 (47). С. 29-35. **19. Сакали Л.И., Дмитренко Л.В., Киптенко Е.Н., Лютик П.М.** Тепловой и водный режим Украинских Карпат. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 366 с. **20. Соседко М.Н.** Исследование циклических колебаний дождевого стока в бассейне Днестра. Тр. УкрНИГМИ, 1974. Вып.127. С.16-37. **21. Соседко М. М., Лук'янець О.І.** Річки Правобережжя Прип'яті в періоди високої водності: повторюваність дощових паводків та особливості гідрологічного режиму. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 1999. вип. 247. **22. Сусідко М.М., Лук'янець О.І.** Паводки в Карпатах – причини їх виникнення та повторюваність // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Стихійні явища у Карпатах”. Рахів. 1999. С. 316-321. **23. Luk'yanets O., Sossedko M.** Die Abflussbewertung auf nächste Jahre in den Karpaten unter Berücksichtigung der mehrjährigen Abflussschwankungen // Sammelband der XIX. Konferenz der Donauländer. Osijek (Kroatien). 1998. S.393-401. **24. Moskalenko S.** An analysis of temporal changeability of the rivers flow in the Pripyat basin on the territory of Ukraine // Fourth International Conference on Water observation and Information system for decision support, Ohrid, Republic of Macedonia. Skopje: Gradezen fakultet, 2010. P. 205-207. **25. Oleksandr Obodovskyi, Olga Lukianets** Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians Rivers. *Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management*, Vol. 73, No. 1. Kaunas University of Technology, 2017. pp. 33-47. **26. Olga Lukianets and Iurii Obodovskyi** Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. *Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management*, No. 71(1). Kaunas, KTU. 2015. P. 36-46. **27. Olga Lukianets** Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). *Electronic Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management*. 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria. P. 280-290. **28. Shendrik S. P. Sossedko M. M. Lukyanets O. I.** Ein Versuch zur genaueren Bestimmung der

References

1. *Bojko V. M., Kul'bida M. I., Susidko M. M.* Vyznachnyj doschovyj pavodok na richkakh Zakarpattia v lystopadi 1998 r. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 1999. Vyp.247. S. 91-101. 2. *Vyshnevs'kyj V. I.* Richky i vodojmy Ukrainy. Stan i vykorystannia. Kyiv : Vipol, 2000. 376 s. 3. *Vyshnevs'kyj V. I., Kosovets' O. O.* Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy. Kyiv : Nika-tsentr, 2003. 324 s. 4. *Hoptsij M.V., Hopchenko Ye.D.* Doschovi pavodky v Ukrainy'kykh Karpatakh ta ikh rozrakhunkovi kharakterystyky. Hidrolohiiia, hidrokhimiia, hidroekolohiiia, 2011. T. 2(23). S. 57-62. 5. *Gopchenko E.D.* Maksymal'nyj stok s rechnyh vodosborov (teoreticheskoe obosnovanie, metodika postroeniia i prakticheskaja realizacija raschetnykh modelej): dis. na zdobuttja naukovoogo stupenja dok. geogr. nauk: spec. 11.00.07 - «Gidrologiia sushi, vodni resursi, gidrokhimiia» / E.D. Gopchenko. Kiiv, 1994. 356 s. 6. *Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A.* Formirovanie maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ja v uslovijah juga Ukrainy. Odessa: TJeS, 2002. 110 s. 7. *Hrebin' V. V.* Suchasnyj vodnyj rezhym richok Ukrainy (landshaftnohidrolohichnyj analiz). K. : Nika-Tsentr, 2010. 316 s. 8. *Hrebin' V.V., Luk'ianets' O.I., Andrela S.P.* Kharakter zmin rezhymu vodnosti ta povtoriuvanosti pavodkiv v kholodnyj i teplyj periody roku v basejni Tysy (u mezhakh Ukrainy). Ukrainy'kyj hidrometeorolohichnyj zhurnal: Naukovyj zhurnal. Odesa: Vyd-vo PP «TES», 2013. № 13. S. 147-154. 9. *Dutko V.O., Moskalenko S.O.* Osoblyvosti pavodkovoho rezhymu richok basejnyv Zakhidnoho Buhu ta pravoberezhzhia Pryp'iaty. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2008. T. 15. S. 63-68. 10. *Diachuk V.A., Susidko M.M.* Pavodky v Zakarpatti ta prychny ikh vynykennia. Ukr. heohraf. zhurn., №1, 1999. S. 48-51. 11. *Kyryliuk M.I.* Rezhym formuvannia istorychnykh pavodkiv v Ukrainy'kykh Karpatakh. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2001. T. 2. S. 163-167. 12. *Kindiuk B.F.* Hydrohrafycheskaia set' y lyvnevoj stok Ukraynskykh Karpat. Odessa: TES, 2003. 222 s. 13. *Korniienko V. O., Luk'ianets' O.I.* Rozrakhunkovi kharakterystyky maksymal'noho richnoho stoku vody richok pravoberezhzhia Pryp'iaty. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2017. T. 2 (45). S.39-44. 14. *Luk'ianets' O.I., Kamins'ka T.P.* Zakonomirnosti ta prostorova synkhronnist' bahatorichnykh tsyklichnykh kolyvan' vodnoho stoku richok Ukrainy'kykh Karpat. Naukovyj visnyk Chernivets'koho universytetu: zbirnyk naukovykh prats'. Chernivtsi: Chernivets'kyj nats. un-t.: Heohrafiia, 2015. Vyp. 744-745 S. 18-24. 15. *Luk'ianets' O.I., Moskalenko S.O.* Uzahal'nennia ta bahatorichna minlyvist' maksymal'noho richnoho stoku vody richok vidpovidno do hidrohrafichnoho rajonuvannia Ukrainy. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2019. № 2 (53). S. 6-20. 16. *Luk'ianets' O.I., Moskalenko S.O.* Spivvidnoshennia mizh seredn'odobovymy ta strokovymy maksymumamy na richkakh basejnu Tysy v mezhakh Ukrainy. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2019. № 3 (54). S. 57-58. 17. *Moskalenko S.O.* Hidrometeorolohichni umovy ta bahatorichni kharakterystyky doschovykh pavodkiv na richkakh pravoberezhzhia Pryp'iaty. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2010. T. 18. S. 125-132. 18. *Ovcharuk V.A., Todorova O.I., Prokof'iev O.M.* Maksymal'nyj stik doschovykh pavodkiv richok hirs'koho Krymu v umovakh aktyvnoho vplyvu pidstyl'noi poverkhni. Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiiia, 2017. № 4 (47). S. 29-35. 19. *Sakali L.I., Dmitrenko L.V., Kiptenko E.N., Ljutik P.M.* Teplovoj i vodnyj rezhim Ukrainy'kykh Karpat. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 366 s. 20. *Sosedko M.N.* Yssledovanye tsyklycheskykh kolebanyj dozhdevoho stoka v bassejne Dnestra. Tr. UkrNYHMY, 1974. Vyp.127. S.16-37. 21. *Sosiedko M. M., Luk'ianets' O.I.* Richky Pravoberezhzhia Pryp'iaty v periody vysokoi vodnosti: povtoriuvanist' doschovykh pavodkiv ta osoblyvosti hidrolohichnoho rezhymu. Naukovi pratsi UkrNDHMI, 1999. vyp. 247. 22. *Susidko M.M., Luk'ianets' O.I.* Pavodky v Karpatakh – prychny ikh vynykennia ta povtoriuvanist' // Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Stykhnijni iavyscha u Karpatakh". Rakhiv. 1999. S. 316-321. 23. *Luk'yanets O., Sosedko M.* Die Abflussbewertung auf nächste Jahre in den Karpaten unter Berücksichtigung der mehrjährigen Abflussschwankungen // Sammelband der XIX. Konferenz der Donauländer. Osijek (Kroatien). 1998. S.393-401. 24. *Moskalenko S.* An analysis of temporal changeability of the rivers flow in the Pripjat basin on the territory of Ukraine // Fourth International Conference on Water observation and Information system for decision support, Ohrid, Republic of Macedonia. Skopje: Gradezen fakultet, 2010. P. 205-207. 25. *Oleksandr Obodovskyi, Olga Lukianets* Patterns and Forecast of Long-term Cyclical Fluctuations of the Water Runoff of Ukrainian Carpathians

Rivers. Scientific Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 73, No. 1. Kaunas University of Technology, 2017. pp. 33-47. **26. Olga Lukianets and Iurii Obodovskiy** Spatial, Temporal and Forecast Evaluation of Rivers' Streamflow of the Drainage Basin of the Upper Tisa under the Conditions of Climate Change. Scientific Journal: ENVIRONMENTAL Research, Engineering and Management, No. 71(1). Kaunas, KTU. 2015. P. 36-46. **27. Olga Lukianets** Stochastic regularities of long-term fluctuation of average annual runoff of rivers of Tisza river basin (within the Ukraine). Electronic Book with full papers from XXVII Conference of Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. 26-28 September 2017, Golden Sands, Bulgaria. P. 280-290. **28. Shendrik S. P. Sosedko M. M. Lukyanets O. I.** Ein Versuch zur genaueren Bestimmung der Wahrscheinlichkeit maximaler Regenhochwasserabflüsse / XVIII. Konferenz d. Donauländer. Graz, August 1996. Band 19/1 TU.

Максимальний стік води річок басейнів Пруту і Сирету в межах України та його багаторічна просторово-часова мінливість

Москаленко С.О., Бесараб Ю. С., Лук'янець О.І.

В статті проведено дослідження максимального річного стоку води річок басейну Пруту та Сирету та його просторово-часової мінливості. За орографічними умовами досліджувана територія відноситься до гірського та передгірного регіону. Тому сформовано банк вихідних даних максимальних за рік середньодобових та відповідних їм максимальних строкових витрат води для всіх річок досліджуваного басейну від початку спостережень по 2016 р. включно (12 гідрометричних постів). Встановлено зв'язки між максимальними строковими і максимальними середньодобовими витратами води та проведено просторове узагальнення співвідношення між ними. Оцінено однорідність часових послідовностей та статистичні параметри розподілу. Виконано аналіз багаторічної мінливості максимального стоку води річок басейнів Пруту та Сирету за сумарними і різницевими інтегральними кривими, ковзним осередненням.

Ключові слова: річки басейну Пруту та Сирету; максимальний стік; максимальні строкові та середньодобові витрати води; однорідність часових рядів; статистичні параметри; багаторічна просторово-часова мінливість; сумарні та різницеві інтегральні криві; ковзне осереднення.

Максимальный сток воды рек бассейнов Прута и Сирет в пределах Украины и его многолетняя пространственно-временная изменчивость

Москаленко С.А., Бесараб Ю. С., Лукьянец О.И.

В статье проведено исследование максимального годового стока воды рек бассейна Прута и Сирета и его пространственно-временной изменчивости. По орографическим условиям исследуемая территория относится к горному и предгорному региону. Поэтому сформирован банк исходных данных максимальных за год среднесуточных и соответствующих им максимальных срочных расходов воды для всех рек исследуемого бассейна от начала наблюдений по 2016 включительно (12 гидрометрических постов). Установлены связи между максимальными срочным и максимальными среднесуточными расходами воды и проведено пространственное обобщение соотношения между ними. Оценена однородность временных последовательностей та статистические параметры распределения. Выполнен анализ многолетней изменчивости максимального стока воды рек бассейнов Прута и Сирета за суммарными и разностными интегральными кривыми, скользящим осреднением.

Ключевые слова: реки бассейна Прута и Сирета; максимальный сток; максимальные срочные и среднесуточные расходы воды; однородность временных рядов; статистические параметры; многолетняя пространственно-временная изменчивость; суммарные и разностные интегральные кривые; скользящее осреднение.

Maximum runoff of the rivers of the Prut and Siret basins within Ukraine and its long-term spatial and temporal variability

Moskalenko S.O., Besarab Yu.S., Lukianets O.I.

The article studies the maximum annual runoff of the rivers of the Prut and Siret basins and its spatiotemporal variability. According to the orographic conditions, the studied territory belongs to the mountain and piedmont region. Therefore, a source data bank was formed for the maximum daily average for a year and the corresponding maximum urgent water discharges for all the rivers of the studied basin from the beginning of observations to 2016 inclusive (12 gauging stations).

The relationships between the maximum urgent and maximum daily average water discharges are established and the spatial generalization of the relationship between them is carried out. Correlation relationships between the two maxima are quite close (approximation coefficients $R^2 = 0,59 - 0,95$), but the ratio of the maximums on the rivers of the studied catchments of the Prut and Sireta basins are different. It is revealed that the highest ratios between the maximum urgent and maximum daily average water discharges are observed in mountain catchments with average altitudes of 1000-1200 m abs. - an average of 1,7-1,9 times the maximums, which are recorded in the observation time, exceed the average daily maximum. From watersheds with average altitudes of 400 m abs. such ratios are reduced to 1,4 -1,6.

The homogeneity of the time sequences is estimated, and the statistical distribution parameters are calculated. The results of the estimation of homogeneity by the criteria of Student, Fisher and Wilcoxon showed that the series of maximum water discharges are homogeneous, both in terms of norm and in terms of variance. Statistical parameters have shown that the coefficients of variation in the vast majority vary within 0,8 -1,0; the asymmetry coefficients have positive values and are generally in the range of 1,8-2,5.

The analysis of the long-term variability of the maximum runoff of the rivers of the Prut and Siret river basins was carried out using the total integral curves, difference integral curves and moving averaging. Long cycles could not be identified. In sequences of maximum water flow, cycles lasting 5-7 years are traced.

Keywords: *rivers of the Prut and Siret basin; maximum runoff; maximum urgent and average daily water discharges; uniformity of time series; statistical parameters; long-term spatiotemporal variability; total and difference integral curves; moving averaging.*

Надійшла до редколегії 10.01.2020