

УДК 556.51+ 627.743

Ободовський О. Г., Данько К. Ю.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПРОСТОРОВО - ЧАСОВА ДИНАМІКА РУСЛОФОРМУЮЧИХ ВИТРАТ ВОДИ РІЧКИ ДЕСНА

Ключові слова: руслоформуюча витрата води; різницева інтегральна крива; умови руслоформування; bankfull

Актуальність дослідження. Руслоформуючі витрати води Q_{Φ} є активним чинником руслових процесів, які визначають інтенсивність розвитку руслових деформацій та обумовлюють стійкість русла. Особливо їх проходження має активний прояв на рівнинних річках в умовах вільного розвитку руслових деформацій.

В сучасних умовах особливості розвитку руслових процесів р.Десна є слабо вивченими. Визначення руслоформуючих витрат води річки Десна - це необхідна умова щодо оцінки її руслових процесів. Руслоформуючі витрати виступають в даному випадку, інтегральним показником впливу характеристик потоку на русло-заплавний комплекс і, в значній мірі, обумовлюють його стійкість.

Важливим аспектом цього питання є просторова часова оцінка цих витрат, яка дає можливість як проводити ретроспективний аналіз процесів руслоформування, так і встановити сучасні умови їх розвитку.

Мета роботи полягає у встановленні змін водності р.Десна та розрахунку руслоформуючих витрат води за різними підходами у відповідності до різних фаз водності річки.

Методична основа та результати досліджень. Проблематикою визначення руслоформуючих витрат води займалось багато вітчизняних і закордонних вчених, якими розроблено низку різноманітних підходів щодо їх визначення. Деякі з них розраховані для гірських річок, інші адаптовані для рівнинних, таких як річка Десна.

В країнах СНД та Україні, найбільшого розповсюдження та визнання набули підходи оцінки руслоформуючих витрат води рівнинних річок, розроблені М. І. Маккавеевим [6] та К. В. Гришаниним [4]. А також метод, що ґрунтується на аналізі багаторічних кривих витрат $Q=f(H)$, для визначення руслоформуючої витрати води при рівні «bankfull» - Q_{bf} . Цей підхід є одним з найактуальніших в зарубіжній літературі [1-2, 7].

Стосовно методики М.І.Маккавеева, то вона надає можливість оцінити гідрологічну складову руслового режиму річок. Враховуючи енергетичний потенціал потоку, крупність наносів та статистичну забезпеченість кожного інтервалу витрат, за максимумами функцій (1) здійснюється обчислення руслоформуючої витрати води:

$$Q_{\Phi} = f(\sigma Q_{0}^n P I) \quad (1)$$

де σ - коефіцієнт, що враховує ширину розливу річки ($\sigma = 1$ до виходу води на заплаву; $\sigma = 0,9$ при ширині заплави меншої двох ширин русла; $\sigma = 0,5$ при ширині затопленої заплави більше десяти ширин русла); Q_0 - середня витрата води кожного з інтервалів, на які розбивається весь діапазон витрат, що

спостерігаються в розрахунковому створі (при цьому беруться щоденні витрати води), m^3/c ; n – показник ступеню, що залежить від крупності руслового алювію ($n=2$ для річок з піщаним дном; $n=2,5$ для річок з гравійно-гальковим дном; $n=3$, гальково-валунного дна); P - ймовірність перевищення щоденних витрат для відповідного їх інтервалу, %; I – середній похил вільної поверхні водотоку для відповідного інтервалу витрат. Даний підхід дозволяє оцінити величину впливу потоку на русло, по трьох його основних рівнях – в руслі, при виході на заплаву та на заплаві. Певні доповнення до цієї методики зроблені в роботі [7].

Формула для визначення руслоформуєчої витрати води К. В.Гришанина [4, 5], побудована за іншим принципом. Цей автор в своїх роботах, приділяв велику увагу морфометрії русла та умовам його стійкості. Він встановив залежність стану гідродинамічної системи «потік-русло» ($ГДС_{п-р}$) від форми русла та величини стоку води, яка виглядає наступним чином:

$$M_x = \frac{h \times (gB)^{0.25}}{Q^{0.5}} = \text{const.} \quad (2)$$

Залежність (2) визначає умови стійкості русла, де стан динамічної рівноваги $ГДС_{п-р}$ для піщаних русел рівнинних річок, відповідає осередненому значенню 0,9, тобто вираз можна записати у вигляді тотожності:

$$M_x = \frac{h \times (gB)^{0.25}}{Q^{0.5}} = 0,9. \quad (3)$$

Показник M_x у межах прояву властивостей самоорганізації $ГДС_{п-р}$ змінюється від 0,75 до 1,05 [4, 5].

Таким чином, руслоформуєча витрата води неодмінно залежить від стану русла, його форми та стійкості. Отже з рівняння (3) зворотнім шляхом отримуємо формулу для визначення руслоформуєчої витрати води наступного вигляду:

$$Q_{\phi} = [1,11 \times h_{\phi} \times (gB_{\phi})^{0.25}]^2. \quad (4)$$

Структура формули (4) вказує на ступеневий зв'язок між руслоформуєчою витратою і формою русла. Форма русла ділянки річки в свою чергу характеризується типом прояву руслових процесів (типом русла).

Наведені вище методи визначення руслоформуєчих витрат води є достатньо точними аналітичними залежностями. Разом з тим руслоформуєчу витрату води можна визначити і графічним шляхом. Найбільш сприятливі з огляду на процеси руслоформування умови потоку мають місце при заповненому водою руслі, коли витрата води проходить в межах руслових брівок. Така витрата води і вважається руслоформуєчою і отримала назву «bankfull» - Q_{bf} . Даний підхід використовується для оцінки руслових процесів на північноамериканських [1, 2].

Вказаний метод визначення руслоформуєчих витрат доволі простий і ґрунтується на аналізі багаторічних кривих витрат $Q=f(H)$. Визначення руслоформуєчої витрати води при рівні «bankfull», здійснюється шляхом виявлення відповідної витрати руслонаповнюючому рівню води, при якому спостерігається вихід її на заплаву.

Вищенаведені методи визначення руслоформуєчих витрат були застосовані для р. Десна в межах України.

Але для оцінки просторово – часової їх динаміки, необхідно було встановити особливості коливання водності, багаторічної мінливості стоку річки Десна. В цьому контексті фази водності виступають в ролі головного предиктору прояву процесів руслоформування. Для вирішення даної проблеми показово спрацьовує

метод різницевої інтегральної кривої, які відображають загальну мінливість коливання будь-якої характеристики стоку. Даний підхід часто застосовується для вирішення питань пов'язаних зі змінами водності [3]. Для виявлення закономірностей змін водності річки Десна, був проведений аналіз багаторічних коливань водності за середнім і максимальним стоком води.

Для побудови та аналізу різницевої інтегральної кривої коливання середніх і максимальних витрат води р. Десна (рис. 1), використовувались матеріали спостережень трьох гідрологічних постів - с. Розльоти (рис. 1а), м. Чернігів (рис. 1б) та с. Літки (рис. 1в), за стоком р. Десна. Для розрахунків та аналізу залучались дані безперервних рядів спостережень за стоком до 2009 року включно. Обчислення величин руслоформуєчих витрат води, також виконувались за даними цих постів.

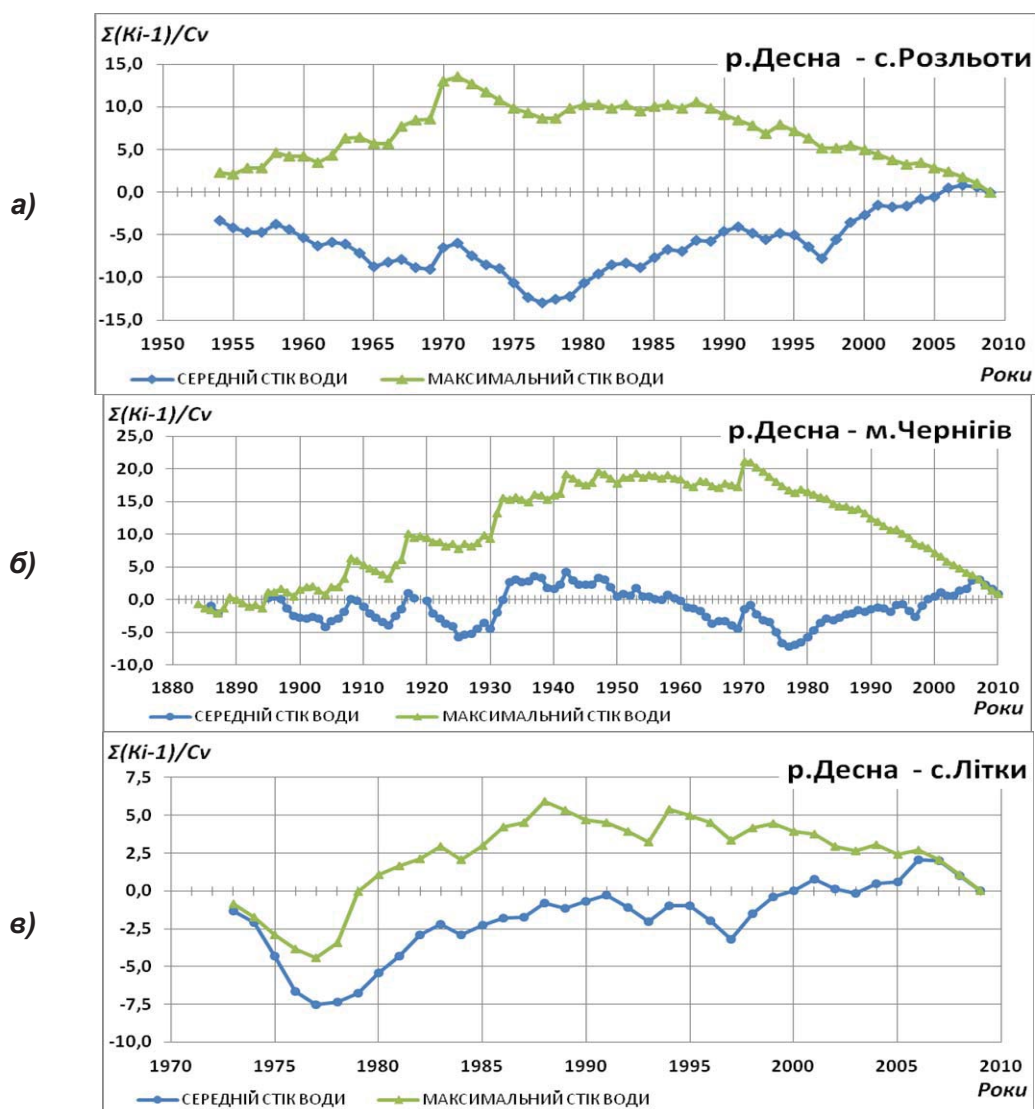


Рис.1. Різницеві інтегральні криві коливання витрат води та наносів р. Десна, побудовані за даними гідрологічних постів с. Розльоти (а), м. Чернігів (б) та с. Літки (в).

Графіки коливання середніх та максимальних витрат води побудовані за даними спостережень на посту м.Чернігів, використовувались як індикаторні, при встановленні циклів водності. Аналіз різницевої інтегральної кривої коливання водності річки Десна, встановив асинфазність в часових змінах середнього та максимального стоку, яка відмічається на графіках для всіх постів. Хоча при цьому

на (рис. 1б), форма кривих вказує на біфуркацію коливання середніх та максимальних витрат, яка відповідає 1943 р. на графіку, що говорить про зміну спрямованості флуктуацій середнього та максимального стоку. Найбільші зміни проявились на коливанні максимального стоку. Співвідношення статистичних параметрів C_s та C_v коливання максимального стоку, суттєво різняться в часових відрізках до ($C_s/C_v = 2,0$) та після 1943 р. ($C_s/C_v = 4,5$) для гідрологічного поста м. Чернігів. Для гідрологічних постів с. Розльоти та с. Літки співвідношення C_s/C_v максимальних витрат, також є достатньо високим в сучасний період 3,6 та 3,3 відповідно. Тому це слугувало підставою до виділення циклу водності, що починається з 1943 року і триває нині.

Тривалість визначеного циклу по 2009 рік включно складає 67 років. В даному циклі чітко виділяються дві фази водності. Найкраще фази водності проявляються на кривих коливання середніх витрат (рис. 1б). З графіків видно, що з 1943 до 1978 року спостерігалась тенденція зменшення середнього стоку, хоча дана фаза характеризувалася високими водопіллями 1947 (4470 м³/с), 1951 (3220 м³/с), 1953 (2850 м³/с), 1963 (3360 м³/с), 1967 (2750 м³/с) та 1970 (8000 м³/с) років. З цього виходить, що маловодній фазі водності за середньорічними значеннями стоку відповідає багатоводна фаза водності за максимальними значеннями витрат води. В цьому проявляється асинфазність коливань середнього та максимального стоку.

Після 1978 р. на графіках відмічається зворотна ситуація. Середньорічний стік поступово збільшується, але тепер дуже високі максимуми практично відсутні.

Після високого водопілля 1970 року (8000 м³/с), найбільша витрата спостерігалась навесні 1979 року (2460 м³/с), з якого відмічається багатоводна фаза середньорічного стоку. В цей час найбільші максимальні витрати спостерігались у 1979 (2460 м³/с), 1986 (1640 м³/с), 1988 (1920 м³/с) та 1994 (2040 м³/с) роках, які практично відповідають середній максимальній витраті – 1831 м³/с. Така ситуація обумовлена змінами умов формування весняного водопілля в межах басейну. За останніми оцінками гідрологічного режиму річки Десна, впродовж останнього періоду відмічаються зміни характеристик весняного водопілля, а саме його тривалості, висоти і об'єму [3, 9]. Водопілля, на яке загалом припадає близько 58 % [3, 9] всього річного стоку, у внутрірічному стоці скоротилась на 11 % впродовж останніх десятиліть [3], тобто зменшилась його висота і об'єм. Проходження стоку в цей період відбувається здебільшого без затоплення заплави, тобто в руслових брівках. Більш багатоводними стають літньо-осіння і зимова межень. Частки їх у річному стоці за даними [3] збільшились на 5% і 6% відповідно. Отже вищевказане свідчить про те, що багатоводна фаза за середньорічними значеннями стоку характеризується підвищенням стокових величин в меженні періоди.

Відомо, що руслоформуєча діяльність потоку більше проявляється під час проходження високих витрат води, а виділені фази водності суттєво відрізняються між собою характером максимального стоку. Отже і умови руслоформування маловодної та багатоводної фази, також суттєво різняться між собою. Тому обчислення руслоформуєчих витрат води річки Десна, виконувались за даними двох періодів, що відповідають різним фазам водності:

- маловодна фаза 1943 – 1978 рр., тривалість 34 роки;
- багатоводна фаза 1979 – 2009 рр., триває 30 років і продовжується досі.

Такий розподіл на фази дав можливість проаналізувати просторово – часову динаміку руслоформуєчих витрат води. Результати обчислення руслоформуєчих витрат води різними методами та за різні часові періоди представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків руслоформуючих витрат води р. Десна

до 1978					
Річка - Пост	Q_{bf}	за формулою К. В.Гришаніна	за методикою М. І. Маккавеева		
			нижній	середній	верхній
р.Десна - с.Розльоти	600	565	-	595	1710
р.Десна - м.Чернігів	1250	1450	-	1000	5400
р.Десна - с.Літки	1010	1021	540	-	2100
1979 - 2009					
Річка - Пост	Q_{bf}	За формулою К. В.Гришаніна	За методикою М. І. Маккавеева		
			нижній	середній	верхній
р. Десна - с. Розльоти	560	592	200	-	1000
р. Десна - м. Чернігів	1350	1264	350	1050	-
р. Десна - с. Літки	1050	862	300	780	-

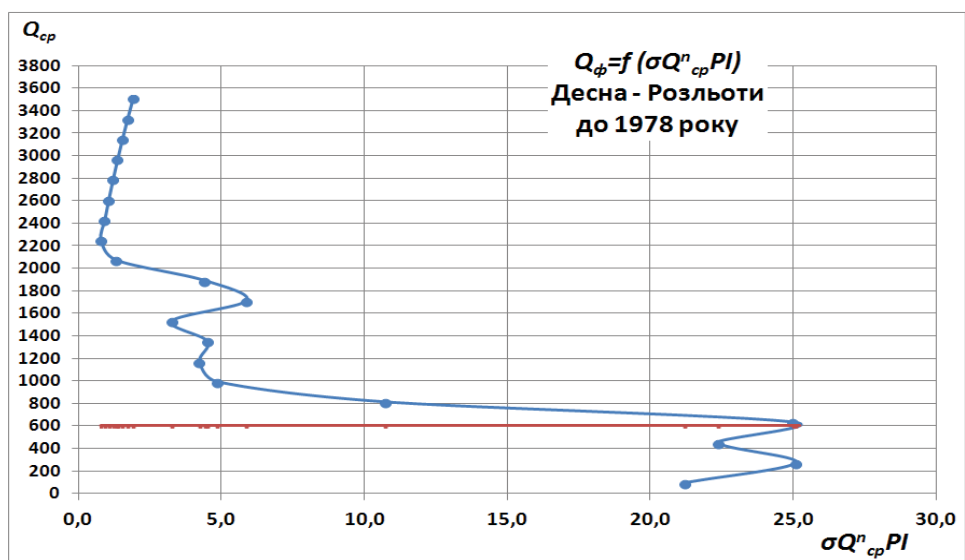
Як засвідчують дані табл. 1, багаторічні коливання водності мають суттєвий вплив на зміну величин руслоформуючих витрат води. За двома підходами (Q_{bf} і за формулою К.В.Гришаніна) визначено по одній руслоформуючій витраті води, які відповідають гідравлічним умовам потоку, перед самим його виходом на заплаву. Варто відмітити, що за цими двома підходами важко встановити тенденцію до змін руслоформуючих витрат, вони не відображають загальної картини взаємодій потоку та русла при проходженні різних інтервалів витрат.

Дещо інша картина спостерігається за оцінкою руслоформуючих витрат води, розрахованих за методикою М.І.Маккавеева. За різні фази водності руслоформуючі витрати води, розрахованих за цією методикою мають суттєві відмінності. Коливання водності суттєво змінило вплив русло-заплавного комплексу на величини руслоформуючих витрат води. Крім наявності двох екстремумів на епюрах Q_{ϕ} (рис. 2–3), які кількісно залишаються незмінними протягом вказаних фаз водності, мають місце суттєві зміни в перерозподілі інтервалів руслоформуючих витрат води. Для всіх трьох постів, на відміну від маловодної фази водності, в багатоводний сучасний період утворились нижні інтервали Q_{ϕ} із загальним зменшенням його величини. При проходженні цього інтервалу відбуваються затоплення всіх руслових форм (коси, осередки, боковики). При цьому має місце зростання градієнтів швидкостей, так як площа поперечного перерізу зростає незначно.

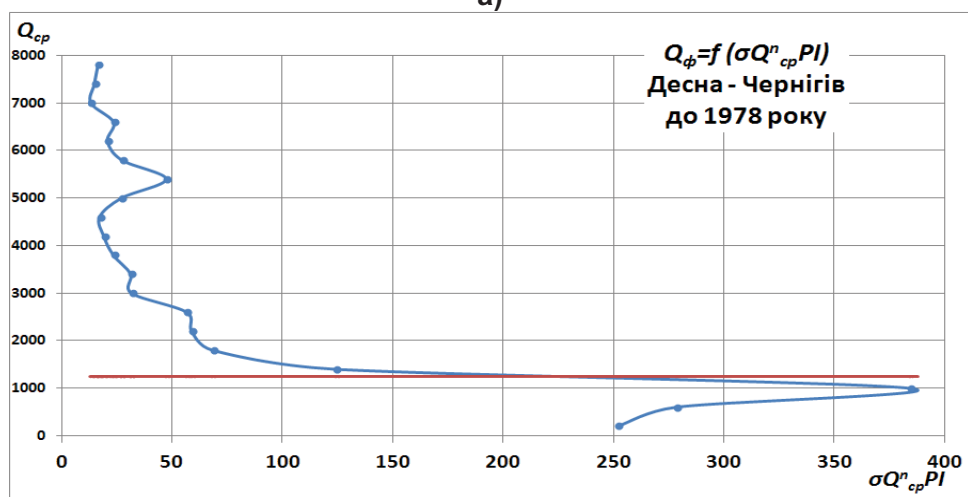
Середній інтервал руслоформуючих витрат трансформувалася (зник для г/п Розльоти і з'явився для г/п Літки) (рис. 3в). Стосовно верхнього інтервалу, то він залишився лише для г/п Розльоти (при абсолютному зменшенні в 1,7 рази). Для двох інших постів в сучасних умовах руслоформування його прояв відсутній. Така ситуація пояснюється тим, що на поверхні заплави за останні 20 років не було зафіксовано витрати, яка б за своїми гідравлічними показниками забезпечувала активний транспорт наносів.

Якщо в цілому розглядати умови проходження руслоформуючих витрат води, то можна констатувати загальне зменшення їхніх абсолютних величин в сучасний період. Особливо це стосується верхніх інтервалів Q_{ϕ} . Натомість середні інтервали Q_{ϕ} децю зросли (збільшення середньої водності річки), що може також свідчити про можливе врізання її русла.

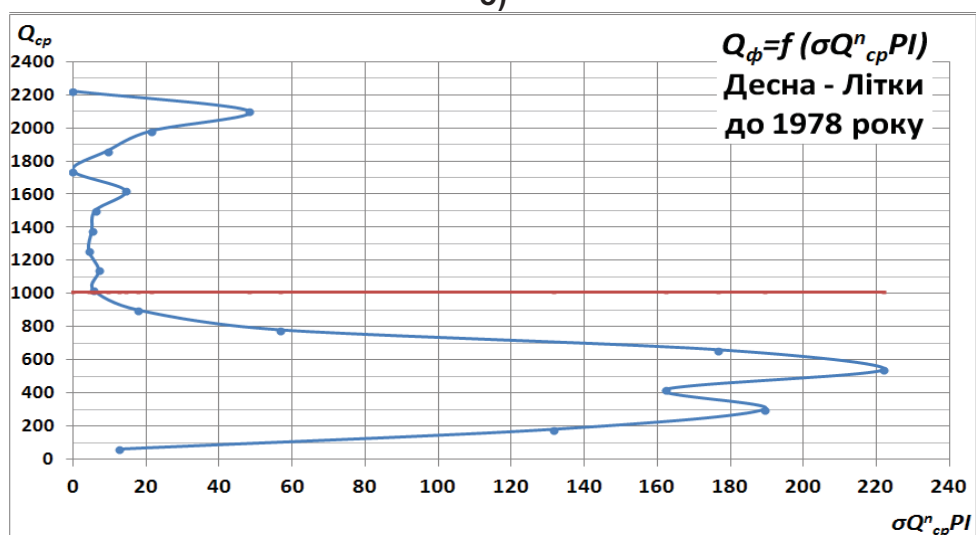
При порівнянні всіх трьох підходів до визначення Q_{ϕ} , то вони мають доволі схожі результати, які здебільшого, не перевищують похибку вимірювань витрат води (10%). Але найбільш обґрунтованим і об'єктивно відображаючим руслоформуючу діяльність річки на всіх її ієрархічних рівнях, є Q_{ϕ} , обраховані за методикою М.І.Маккавеева.



а)

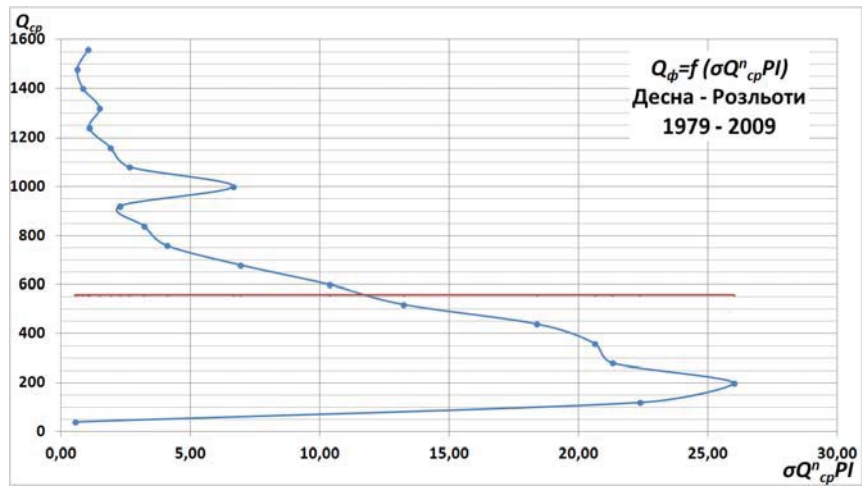


б)

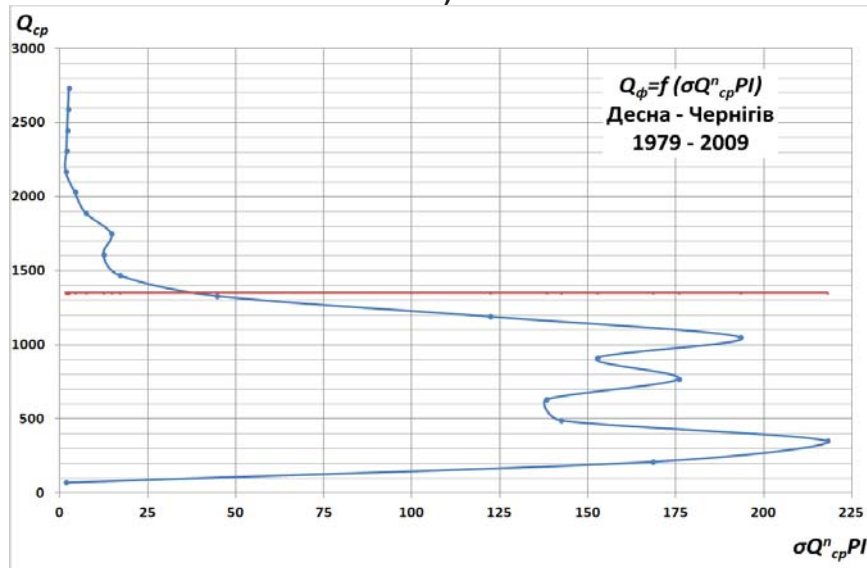


в)

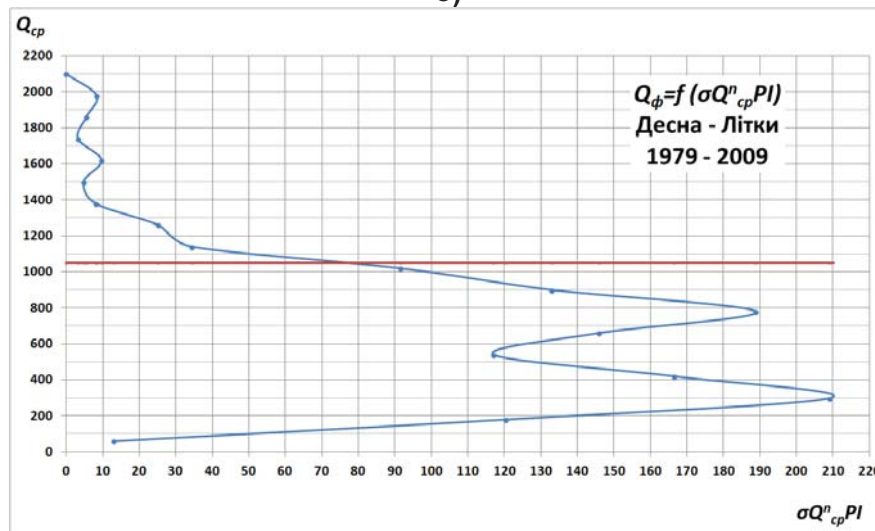
Рис. 2. Епюри залежностей $Q_{cp} = f(\sigma Q_{cp}^n PI)$ для гідрологічних постів на р. Десна с. Розльоти (а), м. Чернігів (б) та с. Літки (в) за період до 1978 р.



а)



б)



в)

Рис. 3. Епюри залежностей $Q_{\phi} = f(\sigma Q^{n} PI)$ для гідрологічних постів на р. Десна с. Розльоти (а), м. Чернігів (б) та с. Літки (в) за період після 1979р.

Насамкінець, необхідно відмітити, що для практичних потреб, особливо для встановлення стійкості русла Десни, слід використовувати саме сучасні дані про величини руслоформуєчих витрат. В якості основних прийняті руслоформуєчі витрати, які обраховані за методикою М. І. Маккавеева [6]. При цьому витрати при bankfull і за К. В. Гришаниним [4] є допоміжними, перевірочними значеннями при подальших руслових розрахунках і узагальненнях.

При проходженні середнього інтервалу Q_{ϕ} , який домірний до рівня bankfull, присутній найбільш вигідний гідравлічний профіль русла Десни, при якому найменшим є співвідношення V/h і W/h . Середні швидкості є чи не максимальними в руслі, і потік характеризується значною транспортуєчою здатністю.

Виникнення нижніх і середніх інтервалів Q_{ϕ} свідчить про загальне зростання середньої водності річки. Поряд з цим, максимальні показники витрат зменшуються, про що свідчить зникнення верхніх інтервалів руслоформуєчих витрат води р. Десна.

Висновки. Отримані результати по визначенню руслоформуєчих витрат води за різні фази водності, надали можливість точніше оцінити вплив багаторічного коливання стоку на руслові процеси. Встановлено, що методика М.І.Маккавеева краще підходить для оцінки впливу змін водності на формування руслоформуєчої витрати, вказує на перерозподіл руслоформуєчих інтервалів витрат. Крім того, дана методика через свою чутливість достатньо виразно відображає суттєві зміни водності і надає можливість пояснити вплив коливання водності на руслові деформації.

Список літератури

1. Leopold L. B. River channel patterns – braided, meandering and straight. / L. B. Leopold, M. G. Wolman // US Geol. Surv. Prof. Pap. – 1957. – 282-В. – Р. 1–85. 2. Rosgen D. Applied river morphology. / D. Rosgen. – Minneapolis, Minnesota: Printed Media Company, 1996. – 342 p. 3. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтний гідрологічний аналіз) / В. В. Гребінь. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с. 4. Гришанин К. В. Теорія руслового процесу / К. В. Гришанин. – М. : Транспорт, 1972. – 215 с. 5. Гришанин К. В. Устойчивость русел рек и каналов / К. В. Гришанин – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 223 с. 6. Маккавеев Н. И. Русловые процессы / Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 264 с. 7. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський. – К. : Ніка-Центр, 2001. – 274 с. 8. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. / Р. С. Чалов. – Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 608 с. 9. Чорноморець Ю. О. Багаторічна динаміка термінів проходження весняного водопілля на річках басейну Десни / Ю. О. Чорноморець, К. Т. Фріндт // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т. 2(19). – С. 94–105.

Просторово-часова динаміка руслоформуєчих витрат води річки Десна

Ободовський О. Г., Данько К. Ю.

Розглянуті основні підходи до визначення руслоформуєчих витрат води рівнинних річок. Проаналізовані особливості коливання водності, зокрема середнього та максимального стоку річки Десна. Виявлено тенденції багаторічних змін руслоформуєчих витрат води.

Ключові слова: руслові процеси, руслоформуєча витрата води; різницєва інтегральна крива; умови руслоформування; фаза та цикл водності; bankfull.

Пространственно-временная динамика руслоформирующих расходов воды реки Десна

Ободовский А. Г., Данько К. Ю.

Рассмотрены основные подходы к определению руслоформирующих расходов воды равнинных рек. Проанализированы особенности колебания водности, в частности среднего и максимального стока реки Десна. Выявлены тенденции многолетних изменений руслоформирующих расходов воды.

Ключевые слова: русловые процессы, руслоформирующий расход воды; разностная интегральная кривая; условия руслоформування; фаза и цикл водности; bankfull.

Spatiotemporal evolution of river bed formation discharges of Desna River

Obodovskiy O. G., Danko K. Y.

The main approaches of determination of river bed formation discharge of plain rivers were examined. The N.I.Makkaveev's and K.V.Grishanin's methods and principle «bankfull» for river bed formation discharge were used. Features of water content fluctuation such as average and maximum discharge of Desna River were assessed. The method of integral curve shows water content fluctuation. Based on analysis of integral curves were allocated the period of water content (1943–2009 years): the period of low-water content is fixed from 1943 to 1978 years and the high-water content is fixed from 1979 year till now. The river bed formation discharge of Desna River were estimated for two periods of water content. Moreover, trends of long-term changes of river bed formation discharge were revealed. The getting results of river bed formation discharge calculations for each of two water content periods give a chance to assess the influence of long-term water content fluctuation to the river bed processes.

Key words: river bed processes; river bed formation discharge; integral curve; river bed formation conditions; period of water content; bankfull.

Надійшла до редколегії 01.02.2013

УДК 556.16

Гопченко Є. Д., Овчарук В. А., Кічук Н. С.

Одеський державний екологічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕДУКЦІЙНИХ ФОРМУЛ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК

Ключові слова: максимальний стік, паводки, водопілля, нормування розрахункових характеристик

Вступ. При розрахунках максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль особливої актуальності набуває науково-методичне забезпечення нормативної бази. Вже на протязі десятиліть в Україні пріоритетним залишається використання редуційних формул, які від інших відрізняються простотою і забезпечені необхідною вихідною інформацією. Але значна генералізація параметрів зводить ці формули до рівня суто емпіричних, що негативно відбивається на здійсненні просторових узагальнень. Відсутність систематичних спостережень за гідрологічним режимом малих річок ускладнює визначення характеру редуції максимальних модулів стоку на невеликих за розмірами водозборах. Як правило, редуційними структурами не виокремлюються в ті чи інші категорії фактори схилового і руслового стоку. Відомо, що такі фактори стоку як залісеність і заболоченість на максимальні модулі (витрати води) впливають опосередковано – через шари стоку і тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі. У той же час, наявність озер, водосховищ, ставків проточного типу, широких заплавл підсилює трансформацію шляхом регулювання паводків і водопіль безпосередньо у русловій мережі.

Сучасний стан використання редуційних формул. Вперше структура редуційної формули була запропонована Д. І. Кочеріним (1928 р.) у вигляді

$$q_m = \frac{A}{(F + 1)^{n_1}} \quad (1)$$

де q_m - максимальний модуль паводка або водопілля; A – емпіричний параметр, який фізично дорівнює модулю схилового припливу q_m' при $F \rightarrow 0$.

Дещо пізніше Д. Л. Соколовський [1] у спрощеному варіанті надав теоретичне обґрунтування структури (1), виходячи з моделі одномодальних гідрографів схилового припливу і руслового стоку, причому

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.1(28)