

УДК 551.49

Ободовський Ю. О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

РУСЛОВІ ПРОЦЕСИ РІЧОК ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ ТИСИ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

***Ключові слова:** руслові процеси, руслоформувальні витрати води, криві залежностей, руслові деформації, стійкість русел*

Вступ. Еволюція будь-якого природного русла супроводжується постійною його зміною – деформацією. Деформації річкового русла та заплави відбуваються в результаті поєднання двох протилежних процесів – розмиву русла та акумуляції наносів.

Серед основних чинників, які могли б характеризувати інтенсивність і масштабність прояву руслових деформацій можуть бути зміни рівнів води (H), площ живого перерізу (w), середніх глибини ($h_{\text{сер}}$), ширин (B), середніх швидкостей потоку ($v_{\text{сер}}$) та показників розпластаності русла ($B/h_{\text{сер}}$).

Гідравлічна структура потоку найбільш яскраво виявляє взаємодію з русловими формами і вказаними показниками при проходженні русло формувальних витрат води. При цьому стані водотоку має місце динамічна рівновага гідродинамічної системи «русло-потік» ($\text{ГДС}_{\text{п-р}}$), яка визначає відповідний тип русла. Для оцінки такого стану $\text{ГДС}_{\text{п-р}}$ існує низка критеріїв – параметричних показників стійкості.

Таким чином, взаємодія динамічних показників потоку з певними типами русел обумовлює їхню стійкість, тобто здатність зберігати руслові форми в різних гідравлічних умовах руслоформування. Саме ці особливості такої взаємодії були розглянуті для річок, які знаходяться у верхній, гірській частині водозбору Тиси в межах України. До аналізу були включені активні динамічні показники як-то руслоформувальні витрати води, прояв їх дії у вигляді руслових деформацій та результат цієї взаємодії з руслом – його стійкість.

Оцінка стійкості ділянок річок вказаного водозбору виконувалася за декількома показниками, які мають шкали класифікацій за рівнями якісного і кількісного визначення гідроморфологічного стану при динамічній рівновазі $\text{ГДС}_{\text{п-р}}$.

Матеріали та методи. В 2010 та 2011 роках у складі наукових експедицій були проведені дослідження руслових процесів русел річок на території верхньої частини басейну Тиси. В якості вихідних даних при розрахунках використано: вихідні дані стосовно гідроморфологічних характеристик русел річок Чорної і Білої Тиси, Тиси, Косівської, Шопурки, які розраховані за даними 8 гідрологічних постів (рис.1). Ці матеріали були покладені в основу розрахунків руслоформувальних витрат води і характеру прояву руслових деформацій. Для встановлення показників стійкості русел були обрані репрезентативні ділянки 17 річок вказаної частини басейну (рис.1). Необхідні дані (зйомка поперечних перерізів, оцінка гранулометричного складу алювію, визначення поздовжніх похилів тощо) були зібрані під час проведення експедиційних робіт у 2010 і 2011 роках.

Слід зазначити, що на території верхньої частини басейну Тиси під час експедиційних досліджень було виділено 18 ділянок обстежень (ДО), які позначені кружечками на рис.1.

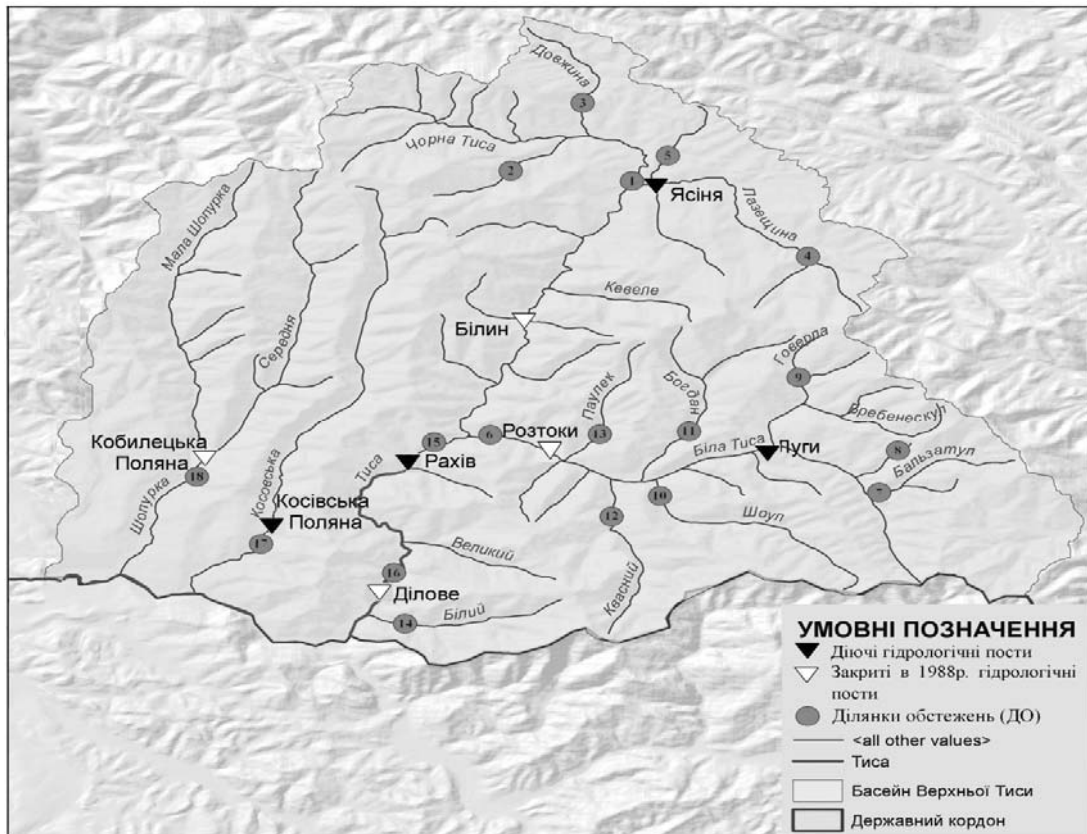


Рис. 1. Розташування гідрологічних постів та ділянок обстежень річок басейну Верхньої Тиси

Для аналізу отриманих результатів застосовані розрахункові методи та графічні побудови. Для цього застосовані методики, які опубліковані в [13, 15].

Методичні положення. Першим етапом комплексної оцінки руслових процесів є розрахунок руслоформувань витрат води.

Руслоформувальна витрата водотоку ($Q_{рф}$) – це така витрата, за якої надлишок енергії потоку витрачається на формування в руслі характерних (типових) гідроморфологічних структур і транзит наносів [14].

Розрахунки вказаних витрат виконанні для існуючих 8 гідрологічних постів (Чорна Тиса – Ясіня, Чорна Тиса - Білин, Біла Тиса – Луги, Біла Тиса – Розтоки, Тиса – Рахів, Тиса – Ділове, Косівська – Косівська Поляна, Шопурка – Кобилецька Поляна), які мають дані багаторічних спостережень.

Розрахунок русло формувальних витрат проводиться за рівнянням динамічної рівноваги ГДС_{п-р} (методика ІГІМ – КНУ [13,14])яке має наступний вигляд:

$$\frac{\omega_{рф} \cdot h_{рф}^{0,666}}{Q_{рф}} \sqrt{\frac{\Delta Z - \Delta(V_0^2 / 2g)}{\Delta l}} - \frac{f^{0,5} R_{рф}^{0,166}}{\sqrt{2g} (4 \lg \frac{h_{рф}}{D_{сер \cdot зв}} + 4,25)} = 0, \quad (1)$$

де $\omega_{рф}$ - площа поперечного перерізу водотоку (питома руслоформувальна ємність) при проходженні розрахункової русло формувальної витрати; $h_{рф}$ - середня глибина потоку при руслоформувальній витраті; $Q_{рф}$ - розрахункова руслоформувальна витрата водотоку ($Q_{рф} = h_{рф} \cdot B_{рф} \cdot V_{д \cdot р}$), де $B_{рф}$ – ширина потоку по

вільній поверхні при $Q_{pф}$, як правило, це ширина в брівках; $V_{д.р}$ – середня швидкість потоку при $Q_{pф}$, тобто швидкість течії при динамічній рівновазі ГДС_{п-р}); $\frac{\Delta z}{\Delta l}$ – гідравлічний похил водотоку при квазірівномірному гідравлічному режимі, який як правило, спостерігається при наповненні русла в брівках, тобто при проходженні паводків з витратою $Q_{pф}$; $\frac{\Delta z}{\Delta l} = J \approx i$ (i – похил водотоку при стійкій межені); $\frac{\Delta V_0^2 / 2g}{\Delta l}$ – градієнт питомої кінетичної енергії у створі при проходженні паводків з витратою $Q_{pф}$; f – коефіцієнт гідравлічного опору руслових форм, який змінюється в межах від 1 до 1,3 в залежності від типу русла [40]; $R_{pф} = (h_{pф} B_{pф}) / x_{pф}$ – гідравлічний радіус водотоку найвигідніший в умовах вільного прояву процесів руслоформування при проходженні паводку з витратою $Q_{pф}$; $D_{сер.зв}$ – середньозважений діаметр частинок наносів поверхневого шару ложа русла (шару самовимощення), який дорівнює середньозваженій абсолютній висоті виступів шорсткості ложа русла $D_{сер.зв} = \Delta_{сер.зв}$ [14].

Варто зазначити, що методика ІГМ – КНУ дає можливість визначити руслоформувальні витрати як для рівня bankfull, так і для стану динамічної рівноваги ГДС_{п-р}. При цьому необхідно мати достовірні дані вихідної інформації стосовно гідроморфодинамічних показників, зокрема відповідного визначення шорсткості русла. Шорсткість русла гірських річок, які мають шар само-вимощення дна, визначається крупністю наносів його поверхні під впливом режиму транспортування наносів [15].

Розрахунок русло формувальних витрат також може бути виконаний також за формулою К.В. Гришанина, яка має наступний вигляд:

$$Q_{pф} = 3,33 h_{pф}^2 (g B_{pф})^{0,5} \quad (2)$$

Варто відмітити, що формула (2) може бути базовою для розрахунку руслоформувальних витрат води для гірських водотоків.

Отримані величини руслоформувальних витрат будуть використані при оцінці умов стійкості русел розглядуваних річок.

Наступним етапом оцінки руслових процесів на річках басейну верхів'їв Тиси є встановлення руслових деформацій. Оцінка гідрологічних показників та гідравлічних і морфометричних зв'язків є важливою складовою аналізу гідрологічного режиму та руслових процесів.

Як правило, зворотні руслові деформації відбуваються при проходженні витрат води і наносів у межах русла. При цьому найбільш характерним є стан русла за умов динамічної рівноваги. Цей стан відповідає, за відсутності незворотних руслових деформацій, проходженню руслоформуальної витрати води в бровках (bankfull) [13].

Для річок даної частини басейну Тиси застосовані підходи, які наведені в роботі [15] і згідно них розглядались залежності, які характеризують основні морфодинамічні параметри водотоків, серед яких є зв'язки між витратою води та характерними рівнями вільної поверхні течії $Q = f(H)$; між витратою та площею поперечного перерізу $Q = f(\omega)$; між витратою і глибиною $Q = f(h_{сер})$; між витратою і шириною русла $Q = f(B)$; між витратою і швидкістю потоку $Q = f(V_{сер})$; між витратою і співвідношенням ширини та глибини $Q = f(B/h_{сер})$.

Слід відмітити, що за допомогою зв'язків між витратою води та характерними рівнями вільної поверхні течії $Q = f(H)$ можна оцінити прояв вертикальних руслових деформацій, а відповідно, зв'язків між витратою та

площею поперечного перерізу $Q = f(\omega)$ та витратою і шириною русла $Q = f(B)$ можна оцінити прояв горизонтальних руслових деформацій.

Опрацьований часовий відрізок спостережень за вказаними параметрами, сягає більше 50 років для чотирьох постів: Тиса – м. Рахів, Чорна Тиса – смт. Ясіня, Біла Тиса Луги, Косівська – Косівська Поляна. З кінця 1950-х років були обрані найбільш багатководні роки, що мають яскраво виражений паводковий характер. Серед таких 1957, 1962, 1968, 1974, 1980, 1985, 1988, 1992, 1998, 2001 та 2008 роки. А для постів Чорна Тиса – Білин, Біла Тиса – Розтоки, Тиса – Ділове, Шопурка – Кобилецька Поляна був опрацьований більш як 30 річний період (1957, 1962, 1968, 1974, 1980, 1988), тому що пости були закриті в 1988 році.

Для кожної залежності за вказані роки були відібрані морфодинамічні показники для «чистого» потоку, тобто за відсутності льодових явищ та наявності макрофітової рослинності в ньому.

За допомогою отриманих зв'язків можна оцінювати прояви вертикальних і горизонтальних руслових деформацій, які відбуваються на річках водозбору протягом тривалого часу, умови водопостачання і водовідведення, розміщення комунікацій тощо.

На рис.2 (А-Г) нанесена руслонаповнююча витрата води (bankfull) Q_{bankfull} , яка дає можливість прослідкувати умови виходу води на заплаву. Руслонаповнююча витрата води (bankfull) Q_{bankfull} дає можливість оцінити в часі одночасно розвиток як горизонтальних, так і вертикальних руслових деформацій в межах руслових брівок.

Завершальним етапом процесів руслоформування є оцінка стійкості русел річок. Будь-яка річка з часом змінює свої обриси, а тому її загальна стійкість завжди є відносною. Значні зміни морфології русла можуть відбуватися при проходженні катастрофічних паводків на гірських річках. Оскільки катастрофічні паводки проходять досить рідко (для річок даної території – це паводки 1998, 2001, 2006 рр.), то з урахуванням прояву властивостей самоорганізації ГДС_{п-р} цілком правомірно виконувати просторово-часову оцінку загальної стійкості русла [1]. При цьому основною одиницею при проведенні гідроморфологічних досліджень є ділянка обстеження (ДО) [4].

Найбільше практичне значення серед підходів щодо визначення показників стійкості русел отримали [14] ерозійний показник О. Г. Ободовського [11] показник відносної стійкості інваріантності К. В. Гришаніна [5] та ерозійно-морфологічний показник І.Ф. Карасьова [6].

Ерозійний показник непогано зарекомендував себе для рівнинних [15] і гірських річок [12] і визначається за наступною формулою:

$$L_o = \frac{d}{\Delta H_M} \frac{B}{h} A, \quad (3)$$

де d – середньозважений діаметр донних наносів, мм (для гірських річок береться діаметр наносів шару само вимощення $D_{\text{сер.зв}}$); ΔH_M – кілометричне падіння водної поверхні м; B – середня ширина русла, м; h – середня глибина потоку, м; A – коефіцієнт ерозії, який характеризує зональність річкових басейнів за ступенем еродованості ґрунтів. Для гальки з гравієм він має осереднене значення $A = 0,03$. Вираз (3) містить у своїй структурі не лише параметр, який характеризує умови транспортування наносів, а й показник форми русла, що робить його більш чутливим до оцінки стійкості. А введення в цей комплекс ерозійного коефіцієнта відображає умови прояву ерозійних процесів на водозборі [11].

На сьогоднішній день одним з найбільш теоретично обґрунтованим є показник відносної інваріантності К. В. Гришаніна [5].

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.4(31)

$$M_x = \frac{h_{p\phi} (gB_{p\phi})^{0,25}}{Q_{p\phi}^{0,5}} = const, \quad (4)$$

Для умов динамічної рівноваги ділянки гірської річки цей показник близький до середнього значення 0,54 межі змін цього показника для умов оптимального функціонування рівних річок дорівнюють $0,75 < M_x < 1,05$, а для гірських річок – від 0,45 до 0,64 відповідають прояву властивостей самоорганізації ГДС п-р, а це свідчить про те, що при $M_x < 0,45$ транспортувальна здатність потоку буде підвищена, що може призвести до розмиву руслової улоговини на ділянці річки. При $M_x > 0,64$ потік буде мати недостатню потужність для транспортування наносів.

Третім достатньо високоінформативним показником оцінки стійкості русел, в плані визначення типу структурних макроформ, є показник І.Ф. Карасьова [2, 6]

$$K_e = (\lambda)^{0,5} \frac{B}{h}, \quad (5)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного тертя, який дорівнює співвідношенню сил гравітації та сил інерції водних мас $\lambda = 1 / Fr$ ($Fr = V^2 / gh$ – число Фруда).

Варто зазначити, що показник $K_e > 9$ відповідає гідравлічній нестійкості; при $K_e < 4,5$ – відрив струмин потоку на крутих звивинах русла від його берегів в умовах формування розгалужень; в межах $4,5 < K_e < 9$ – меандруюче русло при відсутності дії обмежувального фактору.

Слід також відмітити, що всі вищенаведені методичні аспекти були апробовані на річках Лімниця і Латориця і дали об'єктивні оціночні результати [13, 15].

Результати досліджень. Як вже було сказано, першим кроком наших досліджень були розрахунки величин руслоформувальних витрат води. Користуючись матеріалами багаторічних спостережень на мережі Гідрометслужби України, зокрема для 8 гідрологічних постів на річках басейну Верхньої Тиси, були обчислені максимальні витрати води м³/с паводків при різних забезпеченостях (табл. 1) та русло формувальні витрати за розрахунковими формулами (1–3), які наведені в табл. 2. І виконаний порівняльний аналіз цих таблиць.

Аналіз табл. 1 дозволив виявити чітку закономірність, яка засвідчує, що найбільші абсолютні витрати води 1% забезпеченості характерні для річок з найбільшими площами водозборів (р. Тиса – Рахів, р. Тиса - Ділове), а найменші, відповідно для високогірних районів даного басейну (р. Косівська – Косівська Поляна) (табл. 1).

Таблиця 1. Максимальні витрати води м³/с паводків при різних забезпеченостях для річок верхньої частини басейну Тиси

Річка - гідропост	Забезпеченість (%)			
	0,1	1	5	10
р. Чорна Тиса - Ясіня	280	180	121	99
р. Чорна Тиса - Білин	816	533	370	305
р. Біла Тиса - Луги	224	150	97	77
р. Біла Тиса - Розтоки	679	472	326	261
р. Тиса - Рахів	1609	1077	718	556
р. Тиса - Ділове	1464	1012	696	557
р. Косівська – Косівська Поляна	240	161	107	83
р. Шопурка – Кобилецька Поляна	631	411	260	196

Згідно даних табл. 2. прослідковується чітка закономірність, яка свідчить, що відповідні витрати, які отримані за методикою УНіМ – КНУ формула 1 і формулою К.В. Гришаніна (2) майже не відрізняються між собою, що свідчить про адаптованість цих двох показників до гірських річок.

Таблиця 2. Розрахункові величини руслоформувальних витрат визначених за даними гідрологічних постів на річках басейну Верхньої Тиси

Річка - створ на гідрологічному посту	Руслоформуючі витрати, м ³ /с		Максимальні витрати води дощових паводків, м ³ /с (% забезпеченості)	Витрати при Bank-fullstage
	Методика УГіМ - КНУ	Формула Гришаніна		
	динамічна рівновага ГДС _{П-Р}			
Чорна Тиса - Ясіня	213	219	180 (1)	30
Чорна Тиса - Білин	173	246	235 (20)	70
Біла Тиса - Луги	136	195	150(1)	50
Біла Тиса - Розтоки	164	134	155(30)	30
Тиса - Рахів	423	322	404 (20)	80
Тиса - Ділове	589	474	557 (10)	160
Косівська – Косівська Поляна	76	79	83 (10)	80
Шопурка – Кобилецька Поляна	160	124	155 (20)	60

Як видно з табл. 2, ці два показники, які застосовані для розрахунку руслоформувальних витрат води тісно пов'язані з максимальними витратами води паводків. Для гідрологічних постів Чорна Тиса – Ясіня і Біла Тиса - Луги руслоформувальні витрати води наближаються до 1% (табл. 1) забезпеченості максимальних витрат води паводків, що свідчить про вкрай низьку частоту проходження цих витрат для вказаних постів. Що стосується інших 6 гідрологічних постів (Чорна Тиса – Білин, Біла Тиса – Розтоки, Тиса – Рахів, Тиса – Ділове, Косівська – Косівська Поляна, Шопурка – Кобилецька Поляна), то частота проходження руслоформувальних витрат води тут значно вища, що пояснюється 10-30% забезпеченістю проходження максимальних витрат води паводків (табл. 1).

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що руслоформувальні витрати води і максимальні витрати води паводків також пов'язані з рівнем виходу води на заплаву bankfull, але зазвичай останні є нижчими. Це можна пояснити тим, що розрахункові русло формувальні витрати – це витрати, які близькі до максимальних. Між тим, за наявності достатньо вузьких заплав або навіть їх відсутності, транспортувальна здатність потоку майже не «відчуває» «кінематичного ефекту»[3]. Її максимальні значення здебільшого відповідають максимальним витратам (див. табл.1- 2).

На завершення необхідно відмітити, що для оцінки руслоформувальних витрат для гірських річок найбільш практично застосованою може бути методика ІГіМ – КНУ (табл. 2), яка по-суті і розроблялась для Карпатських річок. Але оскільки кореляційний зв'язок між формулою (1) і формулою (2) (табл.2) дорівнює 0,91, то для перевірки розрахунків для умов стійкості річок басейну Верхньої Тиси можна застосовувати також формулу К.В. Гришаніна.

Наступним етапом оцінки процесів руслоформування є визначення деформацій русла річки за допомогою зв'язків між основними морфодинамічними параметрами русел деяких річок басейну.

Поверхня заплави, як правило, характеризується вкрай неоднорідною шорсткістю, шириною, висотою затоплення, гідравлічними умовами (швидкості, витрати і направленість заплавного потоку, похили, площі поперечного перерізу та ін.), ступенем інтенсивності господарської діяльності та може суттєво змінювати характер і спрямованість таких переформувань [15].

Крім того, витрата, за якої проводилась оцінка деформацій русел, відповідала руслонаповнювальній витраті (*bankfull*), тобто стану, коли паводковий потік проходить в руслі в межах руслових брівок [7].

У результаті аналізу виконаних побудов, і зв'язків між основними гідроморфодинамічними параметрами русел були отримані зміни всіх досліджуваних параметрів для кожного розрахункового гідрологічного поста. Усього було побудовано більше 370 кривих зв'язків для вищезгаданих постів. У якості приклада на рис. 2 наведені суміщені криві для річок верхньої частини басейну Тиси: а) $Q=f(H)$ для р. Чорна Тиса – Ясіня; б) $Q=f(V)$ для р. Тиса – Рахів; в) $Q=f(V/h)$ для р. Чорна Тиса – Білин; г) $Q=f(h)$ для р. Біла Тиса – Розтоки. Це дало змогу встановити загальне уявлення про руслові деформації для річок досліджуваного басейну (табл. 3) рис. 2 (А-Г).

За даними табл. 3 на основі кривих залежностей, річки басейну Тиси можна розділити на два види.

Перший вид складають ті річки, в яких верхньої частини не відбуваються значних змін (деформацій) в руслі завдяки антропогенному втручання (пучки кривих залежностей мають розсіяний характер). До першого виду можна віднести такі річки (за даними гідропостів): Біла Тиса – Луги; Косівська – Косівська Поляна, Тиса – Ділове, Чорна Тиса – Білин, Шопурка – Кобилецька Поляна. Щільність розташування кривих для основних морфодинамічних параметрів русла свідчить про певну сталість процесів, які відбуваються в руслах цих річок. Першопричиною є стійкі морфологічні умови, а антропогенний вплив на ці водотоки теж незначний, про що свідчить слабе розсіювання кривих залежностей (див. табл. 3, рис.2 (А-Г)).

Щодо другого виду кривих, в якому відбуваються досить суттєві зміни (деформації) в руслі, то до нього можна віднести такі річки (за даними гідропостів): Біла Тиса – Розтоки, Чорна Тиса – Ясіня, Тиса – Рахів (табл. 3, рис.2 (А-Г)). Розсіяність пучків кривих залежностей для основних морфодинамічних параметрів русла свідчать як природні умови їх руслоформування, так і значний антропогенний вплив на річки, а саме будівництво гідротехнічних споруд, мостів, ліній електропередач та інше.

Завдяки вищенаведеним чинникам та проходженню трьох катастрофічних паводків у 1998, 2001, 2008 роках в басейні відбулися певні часові зміни самих кривих та, як наслідок, морфодинамічних параметрів русла (див. табл. 3). Так, для річки Біла Тиса за даними гідропоста Луги прослідковується чітка тенденція до зростання показника середньої глибини потоку $Q = f(h_{\text{сеп}})$ і зменшення показника розпластаності потоку $Q = f(V/h_{\text{сеп}})$ в 1998, 2001, 2008 рр.

Для річки Біла Тиса за даними гідропосту Розтоки прослідковується значне відхилення кривих для показника розпластаності потоку $Q = f(V/h_{\text{сеп}})$ в період 1957, 1962 рр., що пояснюється значним антропогенним навантаженням на річку.

Таблиця 3. Результати оцінки зв'язків між основними морфодинамічними параметрами русел деяких річок басейну Верхньої Тиси

Річка - пункт	Період спостережень	Q_{pH} (bankfull, m^3/c)	Δ_{max}	Δ_{max} за рік	$\Delta_{сер}$ за рік
1	2	3	4	5	6
$Q = f(H) (cm)$					
Чорна Тиса - Ясіня	1956-2010	30	-82	-1,61	-0,58
Чорна Тиса - Білин	1946-1988	70	24	0,77	0,14
Біла Тиса - Луги	1955-2010	50	-45	-0,88	-0,42
Біла Тиса - Розтоки	1955-1988	30	21	0,68	0,06
Тиса - Рахів	1946-2010	80	-109	-2,14	-0,82
Тиса - Ділове	1945-1988	160	45	1,73	0,67
Косівська – Косівська Поляна	1963-2010	80	-79	-1,98	-0,87
Шопурка – Кобилецька Поляна	1954-2010	60	-28	-0,90	-0,14
$Q = f(\omega) (m^2)$					
Чорна Тиса - Ясіня	1956-2010	30	7,0	0,14	0,05
Чорна Тиса - Білин	1946-1988	70	-8,8	-0,28	-0,11
Біла Тиса - Луги	1955-2010	50	9,3	0,18	0,10
Біла Тиса - Розтоки	1955-1988	30	-5,2	-0,17	-0,05
Тиса - Рахів	1946-2010	80	-6,5	-0,13	-0,03
Тиса - Ділове	1945-1988	160	11	0,42	0,23
Косівська – Косівська Поляна	1963-2010	80	7,9	-0,03	0,06
Шопурка – Кобилецька Поляна	1954-2010	60	2,8	0,09	0,04
$Q = f(v_{сер})(m^2/c)$					
Чорна Тиса - Ясіня	1956-2010	30	0,29	0,01	≈ 0
Чорна Тиса - Білин	1946-1988	70	0,22	0,01	0,003
Біла Тиса - Луги	1955-2010	50	0,53	0,01	-0,001
Біла Тиса - Розтоки	1955-1988	30	0,38	0,01	0,002
Тиса - Рахів	1946-2010	80	0,15	0,003	0,001
Тиса - Ділове	1945-1988	160	-0,35	-0,01	-0,01
Косівська – Косівська Поляна	1963-2010	80	0,04	0,001	-0,011
Шопурка – Кобилецька Поляна	1954-2010	60	-0,22	-0,01	-0,003
$Q = f(B)(m)$					
Чорна Тиса - Ясіня	1956-2010	30	5,1	0,10	0,07
Чорна Тиса - Білин	1946-1988	70	-2,0	-0,06	-0,01
Біла Тиса - Луги	1955-2010	50	-8,6	-0,17	-0,09
Біла Тиса - Розтоки	1955-1988	30	8,3	0,27	0,14
Тиса - Рахів	1946-2010	80	-6,6	-0,13	-0,07
Тиса - Ділове	1945-1988	160	3,6	0,14	0,07
Косівська – Косівська Поляна	1963-2010	80	-1,2	-0,03	0,03
Шопурка – Кобилецька Поляна	1954-2010	60	1,4	0,05	0,02

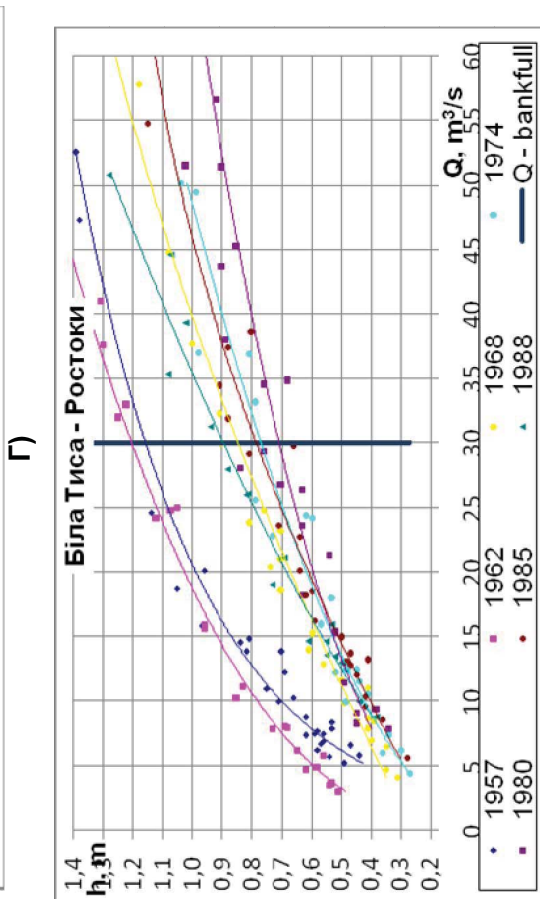
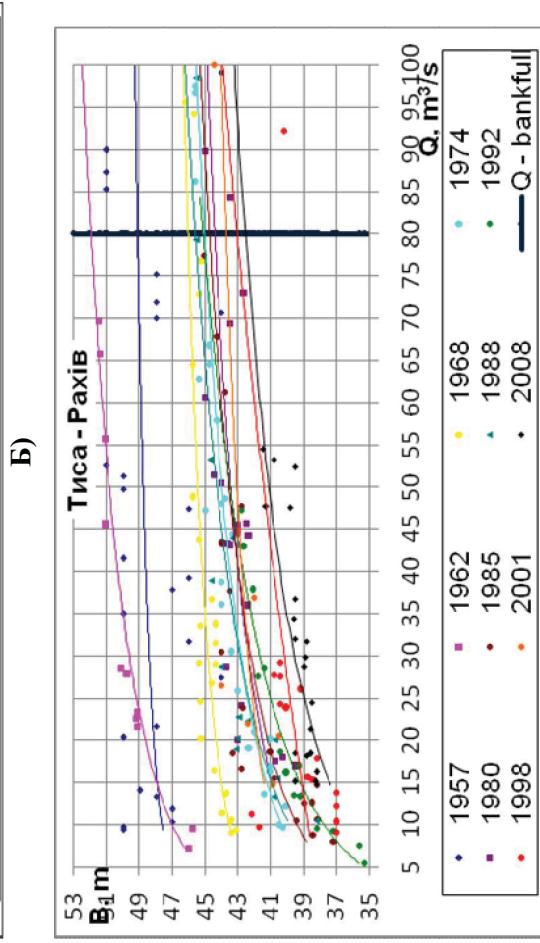
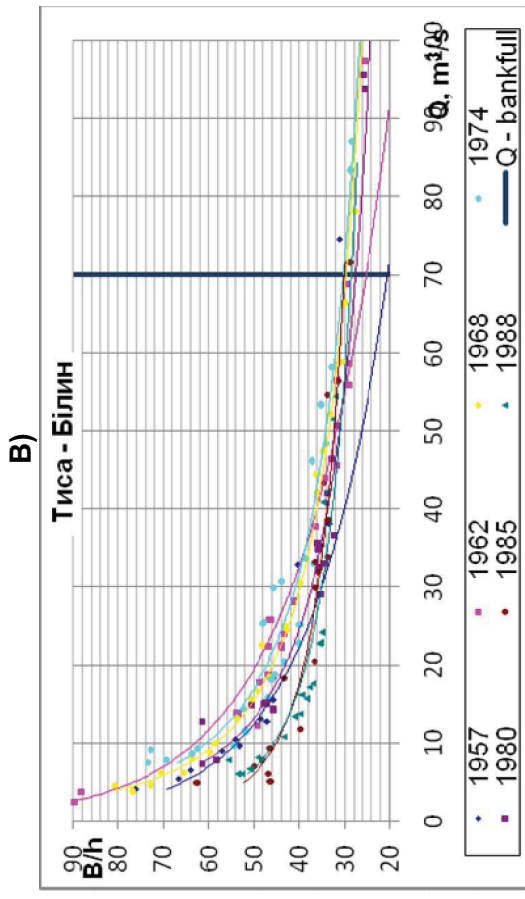
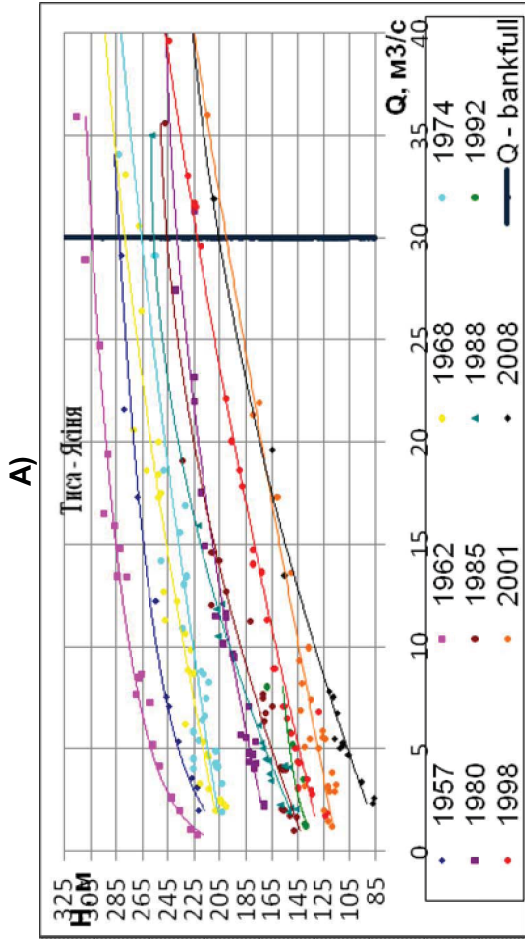


Рис. 2. Суміщені криві для річок верхньої частини басейну Тиси: а) $Q=f(H)$ для р. Чорна Тиса – Ясіня; б) $Q=f(H)$ для р. Тиса – Рахів; в) $Q=f(H)$ для р. Чорна Тиса – Білин; г) $Q=f(H)$ для р. Біла Тиса – Росток

Таблиця 4. Результати розрахунків основних показників оцінки загальної стійкості досліджуваних ділянок на річках в басейні Верхньої Тиси

№ ДО	Річка-пункт	Qрф м ³ /с	Vсер, м/с	Врф, м	hрф, м	Dсер. зв, мм	dсер. зв, мм	I	В/hрф	C	Л ₀	Mx	K _e
1	р. Чорна Тиса – с. Ясіня	213	5,8	28	1,30	145	75	0,06	21,54	1,2	15,62	0,36	3,25
2	р. Станіслав – с. Чорна Тиса	23	2,3	20	0,50	185	70	0,022	40,00	5,0	10,09	0,39	5,71
3	р. Довжина – с. Чорна Тиса	101	4,2	20	1,20	300	108	0,044	16,70	33,7	3,41	0,45	2,86
4	р. Лазещина – база Козмещик	131	7,8	12	1,40	210	78	0,022	8,57	38	1,80	0,40	0,60
5	р. Лазещина – с. Ясіня	237	5,9	22	1,80	150	63	0,006	12,20	42	9,17	0,45	0,67
6	р. Біла Тиса – с. Розтоки	202	2,6	40	1,40	165	80	0,012	20,57	33	8,32	0,44	4,46
7	р. Стоговець - с. Луги	42	4,8	11	0,80	240	95	0,048	13,75	29	2,06	0,40	1,76
8	р. Бальзатул - вище с. Луги	73	7,4	11	0,90	200	85	0,050	12,20	30	1,47	0,34	1,10
9	р. Говерла - с. Говерла	82	4,1	28	0,71	190	56	0,032	39,44	30	7,02	0,32	4,54
10	р. Шоул - с. Богдан	208	6,9	18	1,67	263	128	0,035	10,78	31	2,43	0,42	1,18
11	р. Богдан – с. Богдан	104	4,7	16	1,37	205	97	0,022	11,68	32	3,26	0,48	1,35
12	р. Квасний - с. Богдан	102	5,4	10	1,00	145	56	0,034	10,00	34	1,28	0,50	0,85
13	р. Паулек – с. Видричка	147	7,7	13	1,10	143	55	0,042	11,80	35	1,2	0,41	0,89
14	р. Білий- с. Ділове	96	4,8	20,5	0,98	282	165	0,034	20,92	28	5,20	0,38	2,49
15	р. Тиса – м. Рахів	423	4,9	48	1,80	230	115	0,055	20,87	40	33,45	0,47	5,36
16	р. Тиса – с. Ділове	589	5,6	53	2,00	190	110	0,013	21,20	47	11,89	0,39	2,36
17	р. Косівська – с. Косівська Поляна	76	3,77	20	1,30	250	100	0,008	15,40	30,2	14,42	0,56	1,30
18	р. Шопурка – с. Кобилецька Поляна	160	3,2	28	1,50	200	95	0,006	18,70	32,1	8,87	0,48	1,73

Стойкий

Відносно стійкий

Відносно нестійкий

Нестійкий

1	2	3	4	5	6
$Q = f(h_{\text{сеп}})(M)$					
Чорна Тиса - Ясіня	1956-2010	30	0,96	0,02	0,005
Чорна Тиса - Білин	1946-1988	70	-0,25	-0,01	-0,004
Біла Тиса - Луги	1955-2010	50	0,78	0,02	0,01
Біла Тиса - Розтоки	1955-1988	30	-0,44	-0,01	-0,01
Тиса - Рахів	1946-2010	80	0,14	0,003	0,001
Тиса - Ділове	1945-1988	160	0,12	0,005	0,003
Косівська – Косівська Поляна	1963-2010	80	0,39	0,01	≈ 0
Шопурка – Кобилецька Поляна	1954-2010	60	-0,1	-0,003	≈ 0
$Q = f(B/h_{\text{сеп}})$					
Чорна Тиса - Ясіня	1956-2010	30	13,5	0,26	0,07
Чорна Тиса - Білин	1946-1988	70	9,9	0,32	0,23
Біла Тиса - Луги	1955-2010	50	-28,3	0,55	-0,31
Біла Тиса - Розтоки	1955-1988	30	17,6	0,57	0,34
Тиса - Рахів	1946-2010	80	-18,8	-0,37	-0,13
Тиса - Ділове	1945-1988	160	2,1	0,08	0,006
Косівська – Косівська Поляна	1963-2010	80	2,8	0,07	0,003
Шопурка – Кобилецька Поляна	1954-2010	60	0,4	0,01	0,01

Щодо річки Косівська за даними гідропоста Косівська Поляна, то в 2008 р. тут активізувався прояв ерозійних процесів на водозборі, які чітко можна прослідкувати на зміні рівня води в бік зменшення, тобто просідання рівнів при однакових витратах води, що пояснюється будівництвом гідротехнічних споруд на водозборі.

Стосовно річки Шопурка за даними гідропоста Кобилецька Поляна, то протягом 1985, 1988 рр. мали місце значні ерозійні процеси на водозборі, які характеризують подібну з попереднім випадком тенденцію (див. табл. 3).

Таким чином, просторово-часовий аналіз всіх вищенаведених зв'язків засвідчує певну їх строкатість, з переважанням процесів поглиблення русла та зростання швидкостей. Врізані русла зазвичай мають більш тісні зв'язки, розпластані – значний розкид точок у цих зв'язках.

Завершальним етапом оцінки процесів руслоформування є оцінка стійкості русел.

За показником Lo до стійких русел належать ДО 1-2 (р. Чорна Тиса і Станіслав), ДО 5-6 (р. Лазещина і Біла Тиса), ДО 9 (р. Говерла), ДО 15-16 (р.Тиса) та ДО 17-18 (р. Косівська і Шопурка). Ці дані зафарбовані зеленим кольором у табл. 4, що характеризує найвищий рівень стійкості ГДС_{п-р}.

Що стосується показника M_x , то до відносно стійких русел належать ДО 3-6 (р.Чорна і Біла Тиса), ДО 11-12 (р. Квасний і Богдан), ДО 15-18 (р.Тиса, Косівська і Шопурка).

Стійкими руслами за показником K_e можна вважати ДО 1, 3-5, 7-8, 10-14, 16-18, що відповідають майже всім річкам басейну Верхньої Тиси, які помічені зеленим у табл. 4. Відносно стійкими руслами за показником Lo вважають ДО 3-4 (р. Довжина і Лазещина), ДО 13-14 (р. Паулек і Білий). які помічені салатовим кольором.

Що стосується показника K_e для відносно стійких русел, то до них належать ДО 2 (р. Станіслав), ДО 6 (р. Біла Тиса), ДО 9 (р. Говерла), ДО 15 (р. Тиса), які наведені салативим кольором в табл. 4.

Як слідує з табл. 4. за показником L_o до відносно нестійких русел відносяться ДО 8 (р. Бальзатул), ДО 10-12 (р. Шоул, Богдан, Квасний), вони позначені жовтим кольором.

Нестійкі русла притаманні лише для показника M_x , до них належать ДО 1-2 (р. Чорна Тиса, Станіслав), ДО 6-9 (р. Біла Тиса, Бальзатул, Говерла), ДО 13-14 (р. Паулек, Біли), які позначені оранжевим кольором в табл. 4. Для показника L_o притаманні 50% стійких русел, 22% до відносно стійких русел і 28% до відносно нестійких русел. Для показника M_x за даними табл. 4 характерні 50% відносно стійких русел, 5% невідносно стійких русел і 45% нестійких русел. Що стосується показника K_e , то для характерні 78% стійких русел, 22% відносно стійких русел.

Також слід зазначити, що для розрахунку стійкості русел також були використані показники М.І. Маккавеева і В.М. Лохтіна, але результати були на два порядки вищі ніж за показниками О. Г. Ободовського, К. В. Гришаніна і І. Ф. Карасьова, тому для гірських річок їх не застосовували [11].

Варто відмітити, що вищенаведена оцінка стійкості русел для річок верхньої частини басейну Тиси (табл. 4) досить вдало узгоджується з характером прояву руслових деформацій (див. табл. 3). Для стійких і відносно стійких русел характерні криві залежностей, які знаходяться в пучка, вони щільні - Чорна Тиса – Білин, Біла Тиса – Луги, Тиса – Ділове, Косівська – Косівська Поляна, Шопурка – Кобилецька Поляна. Що стосується відносно стійких і нестійких русел (табл. 4), то для них характерними є криві залежності, які мають розсіяний характер – Чорна Тиса – Ясіня, Біла Тиса – Розтоки, Тиса – Рахів.

У підсумку викладеного матеріалу можна зробити висновок, що оцінка стійкості річок в басейні Верхньої Тиси, яка виконана за показниками L_o , M_x та K_e дає однозначні відповіді на характер прояву процесів руслоформування під впливом природно-антропогенних чинників. За даними L_o і K_e більша частина ДО відноситься до стійких і відносно стійких русел. А для показника M_x , то більша частина ДО відноситься до відносно стійких і нестійких русел (табл. 4).

Висновки. Для оцінки руслоформувальних витрат води використовувалось рівняння динамічної рівноваги $ГДС_{п-р}$ та формула Гришаніна. Але для гірських річок найбільш практично застосованою пропонується методика ІГІМ–КНУ, яка має добру відповідність із забезпеченостями максимальних витрат води.

Що стосується руслових деформацій, то їх прояв є незначним, що встановлено для річок вказаного басейну за 6 морфодинамічними залежностями. Просторово-часовий аналіз цих зв'язків засвідчує певну їх строкатість, з переважанням процесів поглиблення русла та зростання швидкостей. Врізані русла зазвичай мають більш тісні зв'язки, розпластані – значний розкид точок у цих зв'язках.

Варто відзначити, що за показниками О. Г. Ободовського та І. Ф. Карасьова більша частина ДО для вказаного басейну відноситься до стійких і відносно стійких русел. А для показника К. В. Гришаніна більша частина ДО відноситься до відносно стійких і нестійких русел.

У підсумку викладеного матеріалу можна зробити висновок, що оцінка стійкості річок в басейні Верхньої Тиси, яка виконана за показниками L_o , M_x та K_e дає однозначні відповіді на характер прояву процесів руслоформування під впливом природно-антропогенних чинників.

Список літератури

1. Алтунин С. Т. Регулирование русел / С. Т. Алтунин. – М. : Сельхозгиз, 1962. – 350 с.
2. Базилевич В. А. Изменение состава взвешенных наносов в процессе деформации дна русла / В. А. Базилевич, В. В. Козицкий // Гидравлика и гидротехника. – 1986. – Вып. 43. – С. 41-46.
3. Влияние кинематического эффекта безнапорного потока на транспорт наносов / Баришников Н. Б., Железняков Г. В., Алтунин В. С. и др. // Движение наносов в открытых руслах. – М. : Наука, 1970. – С. 19-23.
4. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС: основ. терміни та їх визначення / [підгот. : Алієв К. та ін.]. – Вид. офіц. – К. : [б. в.], 2006. – 240 с.
5. Гришанин К. В. Устойчивость русел рек и каналов. / К. В. Гришанин. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 144 с.
6. Карасев И. Ф. Русловые процессы при переброске стока / И. Ф. Карасев. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 272 с.
7. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз / І. П. Ковальчук. - Львів: Ін-т країнознавства, 1997. – 440 с.
8. Маккавеев Н. И. Русловые процессы / Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 264 с.
9. Маринич О. М. Фізична географія України : підручник / О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – К. : Знання, 2003. – 479 с.
10. Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений. – М. : Колос, 1977. – 62 с.
11. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський. – К. : Ніка-Центр, 2001. – 274 с.
12. Ободовський О. Г. Руслові процеси / О. Г. Ободовський. – К.: ВПЦ «Київський університет», 1998. – 134 с.
13. Руслові процеси річки Лімниця / О. Г. Ободовський, В. В. Онищук, В. В. Гребінь [та ін.]. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 256 с.
14. Ободовський О. Г. Руслоформуючі витрати та класифікація паводків на гірських річках / Ободовський О. Г., Онищук В. В., Коноваленко О. С. // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Сер. Географія. – 2002. – Вип. 48. – С.42-47.
15. Латориця : гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси / Ободовський О. Г., Онищук В.В., Розлач З.В. та ін. ; [за ред. О. Г. Ободовського]. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2012. – 319 с.

Руслові процеси річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

Ободовський Ю. О.

Для детальної оцінки руслових процесів річок басейну Верхньої Тиси було проведено ряд досліджень: 1) оцінка русло формувальних витрат води; 2) оцінка деформацій русел річок за допомогою зв'язків між основними гідроморфодинамічними параметрами русел; 3) оцінка стійкості русел. Слід відмітити, що перші два дослідження проводились на основі матеріалів багаторічних спостережень на мережі Гідрометслужби України, зокрема для 8 гідрологічних постів, а оцінка стійкості русел, за допомогою 18 ділянок обстежень, які були виділені під час експедиційних досліджень 2010 і 2011 років.

Ключові слова: руслові процеси, руслоформувальні витрати води, криві залежностей, руслові деформації, стійкість русел.

Русловые процессы рек верхней части бассейна Тисы (в пределах Украины)

Ободовский Ю. А.

Для детальной оценки русловых процессов рек бассейна Верхней Тисы был проведен ряд исследований: 1) оценка руслоформирующих расходов воды; 2) оценка деформаций русел рек с помощью связей между основными гидроморфодинамическими параметрами русел; 3) оценка устойчивости русел. Следует отметить, что первые два исследования проводились на основе материалов многолетних наблюдений на сети Гидрометслужбы Украины, в частности для 8 гидрологических постов, а оценка устойчивости русел, с помощью 18 участков обследований, которые были выделены во время экспедиционных исследований 2010 и 2011 годов.

Ключевые слова: русловые процессы, руслоформирующие расхода воды, кривые зависимостей, русловые деформации, устойчивость русел.

The river-bed processes of the upper part of the Tisza basin (within Ukraine)

Obodovsky Y. A.

For a detailed assessment of river-bed processes of the upper part of the Tisza basin, a number of research was carried out: 1) assessment bed forming water consumption, 2) assessment of deformations of river-bed using relations hips between curves dependencies of hydromorphological river-beds, 3) assessment of the sustainability of river-beds. It should be noted that the first two researchs were conducted on the basis of materials of long-term observations on the network of Hydrometeorological

service of Ukraine, in particular for 8 hydrological posts, and the assessment of the sustain ability of river-beds, using 18 survey areas that were identified during research expeditions in 2010 and 2011 .

Keywords: river-bed processes, bed forming water consumption, river-bed deformation, curves dependencies, sustainability of the river-beds.

Надійшла до редколегії 31.09.2013

УДК 556.166

Баужа Т.О., Горбачова Л.О.

Український гідрометеорологічний інститут, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ЧАСОВОГО РОЗПОДІЛУ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДИ РІЧОК ТА СТРУМКІВ БАСЕЙНУ РІЧКИ РІКА

Ключові слова: гірські водозбори, мінімальний стік, циклічні коливання, стаціонарність

Вступ. Мінімальний стік є одним із основних понять, якими користуються в гідрології при аналізі й розрахунках стоку, а мінімальна витрата є однією з основних гідрологічних характеристик, яку потрібно розраховувати при проектуванні водозабірних споруд на річках для різних користувачів. Основним джерелом живлення річок у меженний період є природні ресурси підземних вод, які формуються в тій зоні інтенсивного водообміну, яка знаходиться під впливом постійно дреноючої дії річкової мережі. Вона охоплює верхній поверх порівняно неглибоких безнапірних ґрунтових вод і напірних підземних вод, що знаходяться в сфері дреноючого впливу річкових систем та значних западин рельєфу. Запаси ґрунтових вод у річковому басейні помітно змінюються у часі, протягом меженного періоду, а також із року в рік залежно від кількості опадів, особливо у зимовий період, та інших кліматичних і гідрогеологічних чинників, а також господарської діяльності людини [11].

В результаті різкого скорочення притоку поверхневих вод в річкову мережу настає маловодна фаза гідрологічного циклу і в цей період спостерігаються найменші витрати води в річках, які можуть знижуватись до нульових значень. Дана проблема становить значний практичний інтерес в раціональному регулюванні стоку, адже знання особливостей розподілу річкового стоку в межень (зимову та літньо-осінню) насамперед необхідне для безперебійного водопостачання міст та сільських населених пунктів, гідроелектростанцій, судноплавства, залізничного транспорту та ін. Тому дослідження тенденцій зміни мінімального стоку є актуальним та необхідним завданням. Особливого значення такі дослідження набувають в сучасний період, який характеризується підвищенням приземної температури повітря, і в який багато дослідників визначають суттєві зміни водного стоку річок.

Аналіз публікацій. Перші гідрологічні розрахунки для річок України щодо мінімального стоку були виконані К. А. Лисенко (1959). Також закономірності формування витрат води річок протягом меженного періоду детально розглянуті у працях Курдова А. Г. [5]; Лисенко К. А. [6]; Владимірова А. М. [2]; Лютика П.М. [15], Ромася І.М. [11, 12]; Ромася М.І., Шевчук І.О., Ромася І.М., Довгань Л.В. [13]; Соловей Т.В. [14]; Лободи Н.С. [16] та ін. Однак, не зважаючи на те, що за останнє десятиріччя все більше уваги приділяють вивченню процесу формування мінімального стоку річок України, все ж таки проблема залишається в тому, що не всі річки України охоплені детальним дослідженням меженного стоку. Крім того,

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.4(31)