

Obodovskyi Iurii, Obodovskiy Oleksandr, Onischuk Vasily. Hydro-morphodynamic assessment processes channel forming rivers in the upper part of the Tisza River Basin (in Ukraine). Journal of Education, Health and Sport. 2016;6(13):307-316. eISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.376656>
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/4316>

The journal has had 7 points in Ministry of Science and Higher Education parametric evaluation. Part B item 1223 (26.01.2017).
1223 Journal of Education, Health and Sport eISSN 2391-8306 7

© The Author (s) 2016;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received: 05.12.2016. Revised 21.12.2016. Accepted: 31.12.2016.

ГІДРОМОРФОДИНАМІЧНА ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ РУСЛОФОРМУВАННЯ РІЧОК ВЕРХНЬОЇ ЧАСТИНИ БАСЕЙНУ ТИСИ (В МЕЖАХ УКРАЇНИ)

HYDRO-MORPHODYNAMIC ASSESSMENT PROCESSES CHANNEL FORMING RIVERS IN THE UPPER PART OF THE TISZA RIVER BASIN (IN UKRAINE)

Ободовський Юрій, аспірант географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна

Iurii Obodovskyi, postgraduate, geography faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Ободовський Олександр, професор, доктор географічних наук, географічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна

Oleksandr Obodovskiy, professor, doctor of geography, geography faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Онищук Василь, кандидат технічних наук, географічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна

Vasily Onischuk, PhD, geography faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Анотація. На основі матеріалів натурних досліджень проведено гідроморфодинамічну оцінку процесів руслоформування річок верхньої частини Тиси (в межах України). Для стану динамічної рівноваги системи «потік-русло» визначено основні гідрометричні і гідродинамічні характеристики. За допомогою факторного аналізу чинників руслових процесів встановлені три визначальні групи факторів руслових процесів, що дало можливість здійснити комплексну критеріальну оцінку стану динамічної рівноваги гідродинамічної системи «потік-русло».

Abstract. Based on materials of field studies conducted hydro-morphodynamic assessment processes channel forming rivers in the upper part of the Tisza River Basin (in Ukraine). For the state of dynamic equilibrium system "flow-channel" the basic hydrometric and hydrodynamic characteristics. Using factor analysis, factors fluvial processes established three main groups of factors fluvial processes, making it possible to carry out a comprehensive assessment of the criteria for dynamic equilibrium hydrodynamic system "flow-channel."

Ключові слова: ділянка обстеження, морфометричні та морфодинамічні параметри русла, факторний аналіз процесів руслоформування, дискретна гідроморфодинамічна оцінка процесів руслоформування.

Key words: site survey and morphometric parameters morfodynamic bed, factor analysis channel processes, discrete hydro-morphodynamic assessment processes channel forming rivers.

Вступ. Річки верхньої частини басейну Тиси характеризуються високим паводковим режимом. Часті періодичні зміни руслової ситуації на річках Українських Карпат змусили науковців переглянути у методологічному плані руслоформувальні чинники і на основі їх аналізу розробити нові раціональні варіанти схем регулювання стоку води і наносів з метою підвищення надійності роботи (експлуатації) протипаводкового комплексу (інженерних споруд та природоохоронних заходів). При реалізації будь-якого варіанту таких схем визначальним є пропускна спроможність русла, яка обумовлює відповідну транспортувальну здатність водотоку, тобто відповідну витрату транспортувальних наносів [1,2]. Слід зауважити, що витрата (об'єм)

наносів є своєрідним індикатором гідроморфологічного стану як водозбору, так і самих річок відповідного басейну.

Регулярні спостереження за рівнями та стоком води на більшості постів Верхньої Тиси були розпочаті і відновлені після Другої світової війни, а регулярні спостереження за стоком наносів - у другій половині - 50-х років ХХ століття. У 60-ті - 70-ті роки минулого століття гідрологічні спостереження досягли найбільшого за свою історію розвитку. Мережа спостережень за гідрологічним режимом для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) є однією з найбільш розвинених в Україні, але з 1988р. гідрометеорологічна мережа вказаного басейну зазнала значних скорочень (біля 40%). З 8 постів, що здійснювали вимірювання витрат води залишилось лише 4 (Тиса – Рахів, Чорна Тиса – Ясіня, Біла Тиса – Луги, Косівська–Косівська Поляна). В 1988 році були закриті пости на р. Чорна Тиса – Білин, на р. Біла Тиса – Розтоки, на р. Тиса – Ділове, на р. Шопурка – Кобилецька Поляна [3].

Слід зазначити, що на водотоках верхньої частини басейну Тиси під час експедиційних досліджень у вересні 2010 року [4] було виділено 18 ділянок обстежень (ДО), які розміщені на 16 річках (рис.1). Тому для більш точної узагальнюючої оцінки процесів руслоформування ці ДО також були використані для оцінки цих

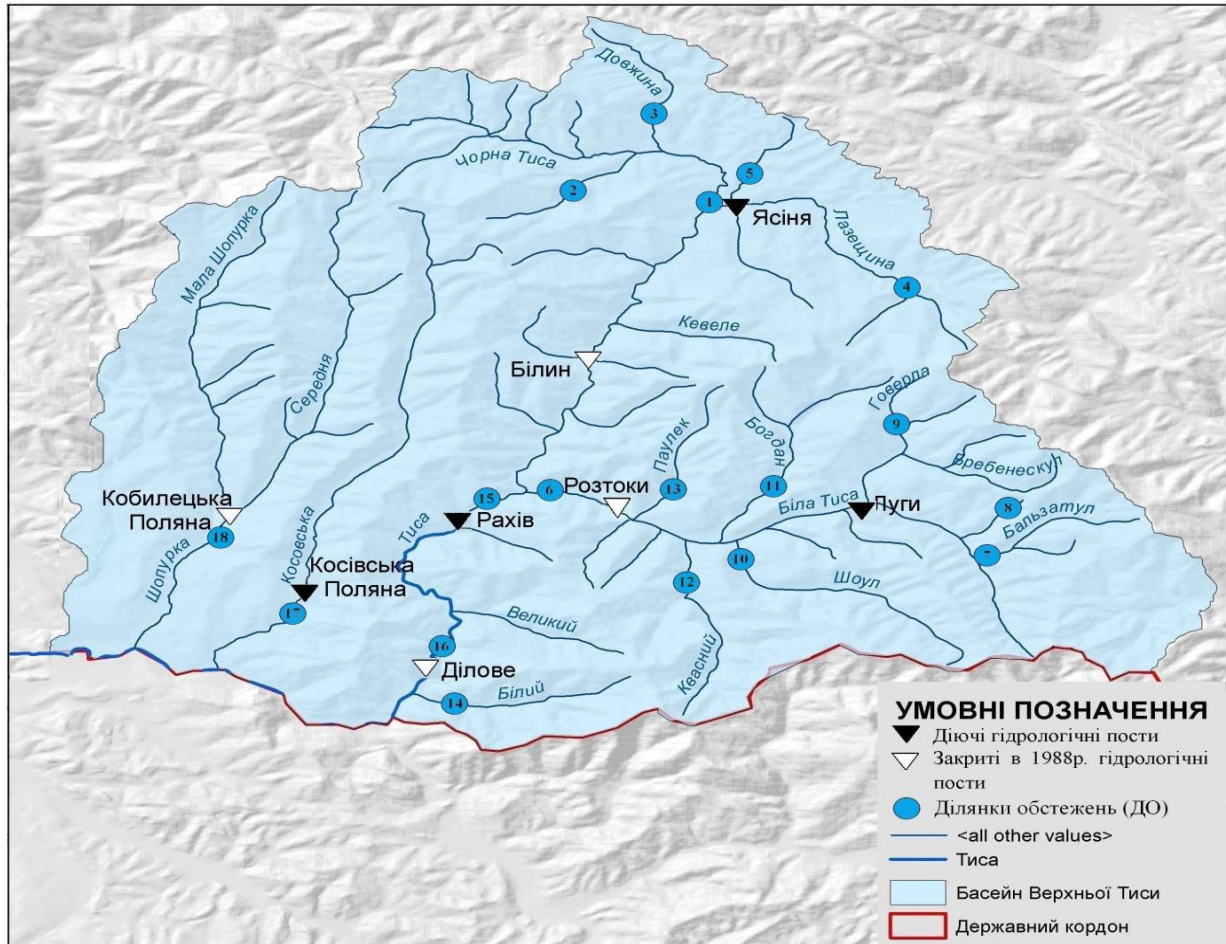


Рис. 1. Розташування гідрологічних постів та ділянок обстежень на річках басейну Верхньої Тиси [5]

процесів. Вказані ДО розташовані, як в середньогір'ї (Бальзатул, Говарда та інші), так і в низькогір'ї (Рахів, Шопурка, Косівська Поляна) (рис. 1) [5]. Це дає можливість в регіональному плані, з урахуванням висотної поясності, провести досить детальну оцінку процесів руслоформування.

Варто також відмітити, що загальна гідроморфологічна оцінка для річок Верхньої Тиси (в межах України) проводилась згідно алгоритму [5]. Оскільки за русловими процесами стаціонарний моніторинг відсутній, тому при проведенні гідроморфологічної оцінки була закладена система періодичного гідроморфологічного моніторингу, яка дозволяє оцінювати руслові процеси на вказаному водозборі. Моніторинг руслових процесів у структурному відношенні був проведений на найнижчому (реальному) рівні [6].

Моніторингова мережа у вигляді ділянок обстеження, запроваджена для річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України), дає змогу прослідкувати як якісні просторові зміни руслового режиму, так і кількісно оцінити основні гідроморфодинамічні показники відповідних ділянок русел.

Крім того, дискретна, оцінка морфодинамічних показників на репрезентативних створах дає можливість встановити певні закономірності змін форми русла (тип русла) і певним чином, спрогнозувати тенденцію розвитку руслових процесів [7].

Мета роботи. Полягає в тому, що на основі даних стаціонарних гідрометеорологічних спостережень і експедиційних досліджень для умов динамічної рівноваги гідродинамічної системи «потік-русло» виконати гідроморфодинамічну оцінку процесів руслоформування.

Методичні положення. Як було відмічено в роботі [5], зворотні планові руслові деформації найбільш яскраво проявляються, як правило, при проходженні витрат води і наносів у межах бровок русла. При цьому, найбільш характерним є стан русла при динамічній рівновазі ГДС_{п-р} [8]. Цей стан відповідає, при відсутності незворотних руслових деформацій, проходженню руслоформувальної витрати в бровках русла (bankfull- stage) [9].

Загальна форма русла для гірських річок може бути представлена на трьох структурних ієрархічних рівнях.

- мікрорусло – це меженне русло річки, яке працює у межах тальвегу при проходженні витрат води і наносів з найнижчим енергетичним потенціалом;
- мезорусло – це русло на деяких ділянках річок у межах внутрішніх бровок, і його можна ідентифікувати за рослинним покривом на бортах руслової улоговини (умови проходження bankfull);
- макрорусло – це загальна форма русла, як правило у межах бровок, яка адекватно відповідає проходженню руслоформувальних витрат води і наносів на ділянках зі стійким характером прояву процесів русло формування [9].

При дослідженні, аналізі та розробленні управлінських рішень стосовно оптимального функціонування процесів руслоформування, зокрема на гірських ділянках, необхідно мати наступну вихідну інформацію по таких параметрах системи ГДС_{п-р} «потік - русло»:

- *морфометричні:*

- ширина русла, B , м;
- середня глибина перерізу русла, $h_{сер}$, м;
- параметр розпластаності потоку, $B/h_{сер}$;
- площа поперечного перерізу русла, ω , м²;

- *динамічні:*

- похил водної поверхні I_0 ;
- середня швидкість потоку, $V_{сер}$, м/с;
- витрата води (власне bankfull), $Q_{рф}$, м³/с;
- число Фруда, $Fr = V/(gh)^{0.5}$;
- потужність потоку, $\rho g Q_p I_0$;
- питома потужність потоку, $\rho g q I_0$.

За методичними підходами, викладеними в роботах [6,8,9], під терміном руслоформувальна витрата рекомендується розуміти витрату водотоку ($Q_{рф}$), яка еквівалентна дії інтегрованої витрати за багаторічний період спостережень, спрямованої на формування відповідного типу русла. При цій витраті ГДС_{п-р} перебуває у динамічній рівновазі. Розрахунок руслоформувальної витрати може бути виконаний за рівнянням наступного вигляду [9]:

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

де $\omega_{рф}$ - площа поперечного перерізу водотоку при проходженні розрахункової витрати; $h_{рф}$ - середня глибина потоку при руслоформуючій витраті; $Q_{рф}$ - розрахункова руслоформувальна витрата водотоку ($Q_{рф} = h_{рф} B_{рф} V_{0 \cdot р}$), де $B_{рф}$ – ширина потоку по вільній поверхні при $Q_{рф}$, як правило, це ширина в брівках; V_0 – середня швидкість потоку при $Q_{рф}$, 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 $Q_{рф}$; $\frac{\Delta z}{\Delta l} = J \approx i$ (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 $Q_{рф}$; f - коефіцієнт гідравлічного опору руслових форм, який змінюється в межах від 1 до 1,3 в залежності від типу русла [27]; $R_{рф} = (h_{рф} B_{рф}) / x_{рф}$ – гідравлічний радіус водотоку найвигідніший в умовах вільного прояву процесів руслоформування при проходженні паводку з витратою $Q_{рф}$; $D_{сер \cdot зб}$ –

середньозважений діаметр частинок наносів поверхневого шару ложа русла (шару самовимощення), який дорівнює середньозваженій абсолютній висоті виступів шорсткості ложа русла - $D_{сер.зв} = \Delta_{сер.зв}$ [10].

Дане рівняння розв'язується шляхом підбору значень вихідних гідравлічних і руслових параметрів з визначенням $V_0 \approx V_{0,p}$, та використанням для корегування розрахункових даних гідроморфологічних зв'язків $Q = f(h)$, $Q = f(v)$, $Q = f(\omega)$, $V = f(h)$. Виходячи з положень центроструменевого руслоформування [11] ступінь стійкості русел річок, а також основні їх параметри можна визначити за допомогою наступного рівняння:

$$\left(\frac{B_0}{h_{p\phi}} \right)^{0,25} - \kappa_e \frac{I_0^{0,125}}{Fr_{uc}} = 0, \quad (2)$$

де κ_e - коефіцієнт ергодичності ерозійно-аккумулятивного процесу, який при відсутності незворотних руслових деформацій має змінюватись у межах саморозвитку ГДС_{п-р} від 3,14 до 5,1 ; $Fr_{uc} = V_{0p}^{0,5} / (gh_{p\phi})^{0,25}$ - число Фруда для центрального планового струменя.

На основі рівняння (2) величина руслоформувальної витрати визначається за формулою:

$$Q_{p\phi} = \left[\kappa_e h_{p\phi} (gB)^{0,25} I_0^{0,125} \right]^2, \quad (3)$$

Широке вживання для оцінки ступеня стійкості річкових русел має рівняння відносної локальної інваріантності К.В.Грішаніна [12] у наступному вигляді:

$$M_x = \frac{h(gB)^{0,25}}{Q^{0,5}} = const. \quad (4)$$

Дане рівняння для крупноалювіальних русел при проходженні руслоформувальних витрат (при динамічній рівновазі ГДС_{п-р}) має осереднене значення 0,55 [13], тобто вираз можна записати у такому вигляді:

$$\frac{h_{p\phi} (gB)^{0,25}}{Q_{p\phi}^{0,5}} \approx 0,55. \quad (5)$$

Межі змін цього показника зі збереженням відносної динамічної рівноваги ГДС_{п-р} по аналогії з M_x для рівнинних річок домірні величині $\sqrt{2} \approx 1,414$. Отже зміна меж для крупноалювіальних русел відповідно дорівнює $0,45 < M_x < 0,64$. За умовами відхилень від наведених значень мають відбуватися незворотні руслові деформації або ділянка річки відноситься до умов рівнини і її необхідно оцінювати за показником M_x при середньому значенні 0,9.

З рівняння (5) отримуємо:

$$Q_{p\phi} = 3,33 h_{p\phi}^2 (gB)^{0,5}. \quad (6)$$

Структура формули (6) вказує на лінійність зв'язку між руслоформуючою витратою і формою водопропусного коридору. Форма русла ділянки річки в свою чергу визначається типом прояву процесів руслоформування (типом русла).

Для контролю отриманих результатів розрахунків за рівняннями (1,3 і 6) використано також рівняння Шезі-Маннінга у наступній модифікації:

$$Q_{p\phi} = (2gI_0)^{0,5} \lambda_3^{-0,5} B h_{p\phi}^{1,5}, \quad (7)$$

де λ_3 - величина загального гідравлічного опору русла з відповідним проявом розвитку процесів руслоформування, яка повинна враховувати вплив шорсткості дна русла, опір руслових форм, реакцію берегів і ін. [14].

Встановлено, що форма русла у значній мірі є наслідком взаємодії прямих і зворотних силових зв'язків в процесі функціонування ГДС_{п-р} на фоні дії обмежувального чинника (який представлений вузьким водопропускним коридором заплави і долин гірських річок), стоку наносів та геологічної будови регіону. Обмежувальний фактор може мати прояв як з боку зовнішніх чинників, так і внутрішніх-самообмежень.

Найбільш впливовим чинником є морфологія місцевості, зокрема ширина долини. Слід зазначити, що показник $V/h_{рф}$ досить добре характеризує ступінь концентрації енергії у поперечному перерізі водотоку [6,7,9,14].

Оцінюючи гідроморфологічний стан річки за показником енергетичного потенціалу – $N = \rho g Q_{рф} I_0$ та показником форми русла – $B_{рф}/h_{рф}$ можна в процесі моніторингових гідроморфологічних досліджень прослідкувати динаміку руслових змін, а також опосередковано оцінити ступінь стійкості відповідного типу русла за довжиною річки [7].

Враховуючи вищевикладене, проведені розрахунки основних гідроморфодинамічних показників русел за даними вказаних ДО для умов проходження руслоформувальних витрат води і наносів при рівнях bankfull-stage, тобто для рівнів води які домірні брівкам русла. Результати цих розрахунків наведені в таблиці 1. Внутрішні обмеження характеризуються впливом на потік боковиків, осередків, порогів, розвитком меандр та найбільших валунів.

Дискретна гідроморфодинамічна оцінка процесів руслоформування. Головні морфометричні та гідроморфодинамічні характеристики річок верхньої Тиси (в межах України) на ділянках обстежень (ДО) мережі гідроморфологічного моніторингу наведені в табл. 1.

Аналіз даних табл. 1 засвідчив, що найбільш яскраво виражена бурхливість потоку притаманна

Таблиця 1. Головні морфометричні та гідродинамічні характеристики річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) на ділянках обстежень мережі гідроморфологічного моніторингу [4]

№ ДО	Річка-пункт	Повздовжній похил річки на ДО	Показники ГДС п-р при bankfull- stage												
			Ширина русла В, м	Середня глибина потоку h, м	$\omega = V \cdot h, \text{ м}^2$	$R = \omega / \chi, \text{ м}$	Середній діаметр само вимощення $D_{\text{сер.зв.}}$, мм	Коефіцієнт ШезіС	Витрага води $Q_{\text{рф.}}$, $\text{м}^3/\text{с}$	Середня швидкість потоку $V_{\text{сер.}}$, $\text{м}/\text{с}$	$Fr = V_{\text{сер.}} / (gh)^{0.5}$	В/h	Потужність потоку $\rho g Q_{\text{рф.}} h$, кгН	h/D	Тип русла ^{*/}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Чорна Тиса – с.Ясіня	0,0157	28	1,3	36,5	1,23	145	41,2	213	5,8	1,6	21,54	32,8	9	3
2	Тиса – с.Рахів	0,0085	48	1,8	86,4	1,70	200	40	423	4,9	1,2	20,87	35,3	9	3
3	Тиса – с.Ділове	0,007	53	2,0	106	1,90	120	47	589	5,6	1,3	21,20	40,4	17	3
4	Станіслав-вищес. Чорна Тиса	0,047	17	0,8	12,6	0,54	185	16,50	28	2,5	1,2	21,30	13,0	4,3	1
5	Довжина – с.Чорна Тиса	0,013	20	1,2	24	1,15	300	33,70	101	4,2	1,2	16,70	12,9	8	1
6	Лазещина – с.Кузмищук	0,03	12	1,4	16,8	1,30	210	38	131	7,8	2,1	8,57	38,5	6,7	1
7	Лазещина – с.Ясіня	0,011	22	1,8	40	1,70	150	42	237	5,9	1,4	12,20	25,6	12	3
8	Біла Тиса – с.Розтоки	0,0085	40	1,4	56	1,30	165	33	202	2,6	1,0	20,57	16,8	8,5	3
9	Стоговець – с.Луги	0,034	11	0,8	8,8	0,75	185	29	42	4,8	1,7	13,75	14,0	4,3	2
10	Бальзатул – вище с.Луги	0,067	11	0,9	9,9	0,86	200	30	73	7,4	2,5	12,20	48,0	4,5	1
11	Говерла – с.Говерла	0,026	28	0,71	20	0,70	190	30	82	4,10	1,6	39,44	20,9	3,7	2
12	Шоул – с.Богдан	0,03	18	1,67	30	1,58	263	31	208	6,90	1,7	10,78	61,2	6,3	2
13	Богдан – с.Богдан	0,016	16	1,37	22	1,30	205	32	104	4,70	1,3	11,68	16,3	6,8	2
14	Квасний – с.Богдан	0,022	10	1,60	16	1,45	145	34	102	5,40	1,4	6,25	22,0	11,0	2
15	Паулек- с.Видричка	0,033	13	1,48	19	1,40	120	35	147	7,70	2,0	8,78	47,6	12,3	2
16	Білий – с.Ділове	0,03	20,5	0,98	20	0,94	282	28	96	4,80	1,6	20,92	28,2	3,5	2
17	Косівська – Косівська Поляна	0,018	20	1,30	26	1,18	250	30,2	76	3,77	1,1	15,40	13,4	5,2	2
18	Шопурка – Кобилецька Поляна	0,011	28	1,50	42	1,30	200	32,1	160	3,20	0,83	18,70	17,3	7,5	3

*1 – поріжно-водоспадне русло; 2 – русло з нерозвинутими русловими формами; 3 – русло з розвинутими русловими формами

верхів'ям річок, та річкам які розташовані в середньогір'ї (ДО5 – ДО6, ДО9 – ДО10, ДО14 – ДО15) . Тут спостерігається найвиразніша концентрація потоку в руслових бровках, що характеризується найменшими показниками «розпластаності русла» (B/h_{cep}). В таких умовах, як правило, має місце безструктурний транспорт наносів на фоні відсутності добре виражених руслових форм (табл.1). Як уже відмічалось вище, потужність паводкового потоку тісно пов'язана з параметрами форми русла B/h , що фізично обумовлено дією обмежувального фактору на відповідній ділянці річки. Ці показники можуть слугувати чіткими індикаторами при встановленні спрямованості руслових процесів та утворенні відповідних типів русел річок.

Звертають на себе увагу також величини показників похилу I_0 на ДО і відповідні потужності потоку, які пропорційно зростають у гірській частині річок (до $I_0 = 0,067$ і до 61,2 кг Н). Разом з тим на цей процес значний вплив має і водність річки, яка виражається через $Q_{pф}$. Для передгірської частини річок аналогічне порівнювання провести складно, оскільки обмежена кількість відповідних ДО на цих ділянках.

Також з наукової і практичної точки зору цікавим є порівняння крупності шару самовимощення дна русел, які визначають його шорсткість в придонній області потоку, з відповідною потужністю потоку річки. Залежність між ними може бути зрозумілою при використанні для аналізу відносної гладкості русла $h_{cep}/D_{cep.зв}$. Дія показника $h_{cep}/D_{cep.зв}$ засвідчує певну структуру руслової улоговини і вплив на процеси руслоформування саме крупності наносів. Як правило це співвідношення зростає для однорукавних врізаних русел зі слабким проявом руслових форм в умовах середньогір'я. В цьому контексті варто відмітити, що за допомогою параметрів B/h_{cep} , $h_{cep}/D_{cep.зв}$ і потужності потоку N у вигляді комплексного функціонального аналізу можна оцінити прояв процесів руслоформування і встановити їх тенденції та закономірності для різних умов. Крім того, визначальними критеріями ГДС_{п-р} також є функціональні відношення між B/h і числом Фруда $Fr = V_{cep}/(gh)^{0,5}$ та між $(B_{\sigma}/h_{pф})^{0,25}$ і $I_0^{0,125}/Fr_{ч.с}$ (дивитись формулу 2).

За результатами гідроморфодинамічної оцінки процесів руслоформування можна окреслити як загальні тенденції прояву руслових деформацій, так і узагальнити її відповідність типам русел та їх відносної стійкості [4].

Оцінка взаємозв'язку морфометричних і гідродинамічних показників. При проведенні багатовекторного аналізу елементів ГДС_{п-р} (табл.1) був використаний факторний аналіз, який дозволив при суттєвих скороченнях вихідних даних виділити з них головні, тобто ті, які в значній мірі обумовлюють векторність (однонаправленість) цих зв'язків. Для оцінки взаємозв'язків морфометричних і гідродинамічних показників (табл. 2 і 3) застосований відмічений аналіз, який реалізований за допомогою програми «STATISTICA» в модульному блоці «FactorAnalysis» [15].

В основу факторного аналізу покладено гіпотезу про те, що дані спостережень є лише опосередкованими характеристиками досліджуваного процесу, який можна описати за допомогою певної кількості параметрів. Застосування факторного аналізу дозволяє виявити головні фактори формування типів русел і виконати статистичну оцінку внеску кожного з них у процеси руслоформування [16]

В результаті розрахунку були отримані статистичні характеристики факторів формування морфометричних та гідроморфодинамічних характеристик річок верхньої частини Тиси (в межах України), які наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Статистичні характеристики факторів формування морфометричних та гідроморфодинамічних характеристик річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

Фактори	Власні значення	Загальна дисперсія,%	Кумулятивні власні значення	Кумулятивні власні значення,%
1	6,382	49,093	6,382	49,093
2	3,556	27,354	9,938	76,448
3	1,362	10,477	11,300	86,926

За результатами розрахунків отримані кореляційні матриці, які відображають взаємозв'язки закладених параметрів, власні числа (λ), що характеризують внесок в дисперсію розподілення кожної змінної (тобто, який процент зв'язків описує кожна з них), і головні компоненти, за допомогою яких виявляються значущі фактори [16]. На основі проведених розрахунків (табл. 2) можна засвідчити, що 86,9% всіх зв'язків пояснюють виділені три фактори.

В таблиці 3 наведені основні фактори формування морфометричних та гідроморфодинамічних характеристик та їх кореляційні зв'язки між їх параметрами для ДО річок верхньої частини Тиси (в межах України).

Отже у формуванні морфометричних та гідроморфодинамічних характеристик річок верхньої частини Тиси (в межах України) за цими трьома факторами приймає участь ряд показників, що характеризують майже

87% загальної інформації про зв'язки. Інші 13% є «шумовими» і істотно не впливають на загальний процес оцінювання [17].

Результати факторного аналізу показують, що перший фактор представляє морфометричні показники до якого увійшли: 1) повздожній похил річки на ДО; 2) середня глибина потоку $h_{сер,м}$; 3) найвигідніший гідравлічний радіус $R=\omega/\chi,м$; 4) коефіцієнт Шезі C ; 5) параметр форми русла $B/h_{сер}$; 6) параметр відносної гладкості русла $h_{сер}/D_{сер,зб}$. Ці морфометричні показники тісно пов'язані з шорсткістю (гладкістю) русла, які забезпечують умови транспортування наносів (табл. 3).

До другого фактору можна віднести гідравлічні показники а саме: 1) повздожній похил річки на ДО I_0 ; 2) середня швидкість потоку $V_{сер}$, м/с; 3) число Фруда $Fr = V_{сер}/(gh)^{0.5}$ та 4) питома потужність потоку $\rho q Q_{рф} I_0$. Ці динамічні показники відтворюють гідравлічну структуру потоку, та вказують на її значимість у процесах руслоформування (табл. 3).

Таблиця 3. Основні фактори формування морфометричних та гідроморфодинамічних характеристик та кореляційні зв'язки між їх параметрами для ДО річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України)

№ п/п	Чинники	Фактори		
		1	2	3
1	Повздожній похил річки на ДО I_0	<u>-0,630</u>	<u>0,632</u>	-0,330
2	Ширина русла B , м	0,125	-0,372	<u>0,887</u>
3	Середня глибина потоку h , м	<u>0,905</u>	0,028	0,372
4	$\omega = B \times h$, м ²	0,414	-0,222	<u>0,849</u>
5	$R = \omega / \chi$, м	<u>0,895</u>	0,061	0,398
6	Середній діаметр самовимощення $D_{сер,зб}$, мм	-0,121	-0,223	-0,515
7	Коефіцієнт Шезі C	<u>0,753</u>	0,182	0,488
8	Витрата води і наносів Q , м ³ /с	0,486	0,018	<u>0,846</u>
9	Середня швидкість потоку $V_{сер}$, м/с	0,369	<u>0,910</u>	-0,054
10	$Fr = V_{сер} / (gh)^{0.5}$	-0,135	<u>0,945</u>	-0,179
11	B/h	<u>-0,760</u>	-0,394	0,432
12	Потужність потоку $\rho q Q_{рф} I_0$, кгН	0,241	<u>0,824</u>	0,272
13	h/D	<u>0,726</u>	0,090	0,527

До третього фактору (пропускна здатність русла) увійшли: 1) ширина русла B ; 2) площа поперечного перерізу $\omega = Bh$; 3) витрата води $Q_{рф}$. Перераховані чинники характеризують умови проходження витрат при «bankfull - stage» (табл. 4.7). Цей фактор також відноситься до «гідравлічних» і визначає роль потоку в перебігу руслових процесів

Таким чином, за результатами факторного аналізу було виділено 3 основні чинники процесів руслоформування для річок верхньої частини Тиси (в межах України). Два з них можна віднести до гідравлічних і один до морфометричних з урахуванням шорсткості русла. В цілому вони паритетні і пояснюють приблизно однакову кількість дисперсій. Крім того, взаємодія вказаних факторів дозволяє обґрунтувати певні критерії, за яких можуть формуватися різні типи русел гірських річок.

Висновки. На основі матеріалів натурних і теоретичних досліджень виконано гідроморфодинамічну оцінку процесів руслоформування річок верхньої частини Тиси (в межах України), що дає можливість сформулювати наступні науково – методичні положення: 1) розрахунки основних гідроморфодинамічних показників русел за даними 18 ДО (ділянок обстежень) для умов проходження витрат при рівнях bankfull-stage дозволили окреслити як загальні тенденції прояву руслових деформацій, так і узагальнити її відповідність типам русел та їх стійкості; 2) за результатами факторного аналізу встановлено, що 86,9% всіх зв'язків пояснюють виділені три фактори: перший фактор - це морфометричні показники; другий – гідродинамічні (гідравлічні) показники; третій - пропускна (транспортувальна) здатність русла. Комплексна критеріальна оцінка вказаних факторів дала можливість теоретично обґрунтувати особливості формування різних типів русел річок.

References

1. Onyshhuk V.V. Rehulyuvannya rusel ta shlyaxy polipshennya protypavodkovoho zaxystu urbanizovanyx zaplavnyx terytorij v basejni r.Tysy /V.V. Onyshhuk /// Hidrolohiya, hidroximiya i hidroekolohiya. Nauk. zbirnyk. T.3. – K.: Nika - centr, 2002. – S. 85-90.
2. Obodovs"kyj O. Pavodok 1998 r. na Zakarpatti: rekomendaciyi po vidnovlennyu hidromorfolohichnoho stanu /O.Obodovs"kyj, V. Hrebin", V. Onyshhuk, O. Kozyc"kyj // Vodne hospodarstvo Ukrayiny, 1999, - №3-4. – S.12-15.
3. Manivchuk V.V. Rozvytok merezhi hidrometeorolohichnyx sposterezhen" v Ukrayins"kij chastyni basejnu Tysy /V.V. Manivchuk // Hidrolohiya, hidroximiya i hidroekolohiya. Nauk. zbirnyk /Vidp. redaktor – V.K. Xil"chevs"kyj. – K.: VHL "Obriy", 2009. - T. 16. - S. 114 -119.
4. Vykonyty ocinku hidromorfolohichnoho stanu richok basejnu Verxn"oyi Tysy (do derzhkordonu z Rumuniyeyu) ta rozrobyty rekomendaciyi stosovno efektyvnoho upravlinnya ruslovymy procesamy v konteksti protypavodkovoho zaxystu vid shkidlyvoyi diyi vod: Zak. zvit. KNU imeni Tarasa Shevchenka K.: 2010. – 161 s. - № Derzhavnoyi reyestraciyi 0110U005517.
5. Obodovs"kyj Yu.O. Ruslovi procesy richok Verxn"oyi Tysy (v mezhax Ukrayiny) /Yu.O. Obodovs"kyj// Hidrolohiya, hidroximiya i hidroekolohiya. -2013. - T. 4 (31). -S. 25-36.
6. Obodovs"kyj O.H. Ruslovi procesy richky Limnycya /O.H. Obodovs"kyj, V.V. Onyshhuk, V.V. Hrebin", Z.V. Rozlach, O.S. Konovalenko, M.V. Yacyuk. - K.: Nika-Centr,2010. - 256s.
7. Onyshhuk V.V. Iyerarxichna budova hidrodinamichnoyi systemy «potik-ruslo « na yiyi najvyshhomu strukturnomu rivni samoorhanizaciyi /V.V. Onyshhuk //Hidrolohiya, hidroximiya i hidroekolohiya: Nauk. Zbirnyk / Hol. redaktor V.K. Xil"chevs"kyj, 2012. – T. 2(27). – S.17-23.
8. Onyshhuk V. V. Fyzycheskoe modelyrovanye ruslovых processov hornых rek / V.V. Onyshhuk, A.S. Byl"chuk, O.N. Kozyc"kyj // Melyoracyya y vodnoe khozyajstvo. –K.: "Urozhaj", 1989. – S. 60–65.
9. Latorycya : hidrolohiya, hidromorfolohiya, ruslovi procesy / Obodovs"kyj O. H., Onyshhuk V. V., Rozlach Z. V. ta in. ; za red. O. H. Obodovs"koho. – K. : VPC «Kyviv. un-t», 2012. – 319 s.
10. Bazylevych V.A. Ocenka sheroxovatosti lozha estestvennyx rusel, slozhennyx yz neodnorodnyx nesvyaznyx hruntov /V.A.Bazylevych, M.N. Buxyn, V.V. Onyshhuk. – K.: "Urozhaj", 1984. – Vyp. 52. – S.53-66.
11. Onyshhuk V.V. Rezul"taty doslidzhen" funkcional"nyx zv'yazkiv mizh osnovnymy hidravlichnymy j ruslovymy karakterystykamy richok Ukrayins"kyx Karpat / V.V. Onyshhuk // Hidrolohiya, hidroekolohiya i hidroximiya. - K.: VHL "Obriy", 2007. - T.12. - S. 58-71.
12. Hryshanyn K.V. Ustojchyvost" rusel rek y kanalov / K.V. Hryshanyn. – L.: Hydrometeoizdat, 1974. – 144 s.
13. Hryshanyn K.V. Hydravlicheskoe soprotivlenye halechnyx y halechno-valunnyx rusel / K.V. Hryshanyn // Doklady sekcyu ruslovых processov nauchnoho soveta HKNT, 1992. – Выр. 2. – S. 27-33.
14. Onyshhuk V.V. Analiz isnuyuchykh pidxodiv shhodo ocinky hidromorfodynamichnoyi stijkosti alyuvial"nyx rusel z pozycij systemnosti /V.V. Onyshhuk // Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya. Naukovyj zbirnyk, 2014. - Vyp..2 (74). - S. 29-45.
15. Romakin V.V. Komp'yuternyj analiz danyx: Navchal"nyj posibnyk /V.V. Romakin. - Mykolayiv: Vyd-vo MDHU im. Petra Mohyly, 2006. – 144 s.
16. Smyrnov N.P., Sklyarenko V.L. Metody mnohomernoho statystycheskoho analiza v hydrolohycheskyx yssledovanyax /N.P. Smyrnov, V.L. Sklyarenko – L.: Yzd-vo LHU,1986. – 192 s.
17. Yberla K. Faktornyj analiz /K. Yberla. – M. Statystyka, 1980. – 398 s.

References

1. Онищук В.В. Регулювання русел та шляхи поліпшення протипаводкового захисту урбанізованих заплавлених територій в басейні р.Тиси /В.В. Онищук /// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник. Т.3. – К.: Ніка - центр, 2002. – С. 85-90.
2. Ободовський О. Паводок 1998 р. на Закарпатті: рекомендації по відновленню гідроморфологічного стану /О.Ободовський, В. Гребінь, В. Онищук, О. Козицький // Водне господарство України, 1999, - №3-4. – С.12-15.
3. Манівчук В.В. Розвиток мережі гідрометеорологічних спостережень в Українській частині басейну Тиси /В.В. Манівчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. збірник /Відп. редактор – В.К. Хільчевський. – К.: ВГЛ "Обрій", 2009. - Т. 16. - С. 114 -119.

4. Виконати оцінку гідроморфологічного стану річок басейну Верхньої Тиси (до держкордону з Румунією) та розробити рекомендації стосовно ефективного управління русловими процесами в контексті протипаводкового захисту від шкідливої дії вод: Зак. звіт. КНУ імені Тараса Шевченка К.: 2010. – 161 с. - № Державної реєстрації 0110U005517.
5. Ободовський Ю.О. Руслові процеси річок Верхньої Тиси (в межах України) /Ю.О. Ободовський// Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. -2013. - Т. 4 (31). -С. 25-36.
6. Ободовський О.Г. Руслові процеси річки Лімниця /О.Г. Ободовський, В.В. Онищук, В.В. Гребінь, З.В. Розлач, О.С. Коноваленко, М.В. Яцюк. - К.: Ніка-Центр,2010. - 256с.
7. Онищук В.В. Ієрархічна будова гідродинамічної системи «потік-русло» на її найвищому структурному рівні самоорганізації /В.В. Онищук //Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: Наук. Збірник / Гол. редактор В.К. Хільчевський, 2012. – Т. 2(27). – С.17-23.
8. Онищук В. В. Физическое моделирование русловых процессов горных рек / В.В. Онищук, А.С. Бильчук, О.Н. Козицкий // Мелиорация и водное хозяйство. –К.: “Урожай”, 1989. – С. 60–65.
9. Латориця : гідрологія, гідроморфологія, руслові процеси / Ободовський О. Г., Онищук В. В., Розлач З. В. та ін. ; за ред. О. Г. Ободовського. – К. : ВПЦ «Київ. ун-т», 2012. – 319 с.
10. Базилевич В.А. Оценка шероховатости ложа естественных русел, сложенных из неоднородных несвязных грунтов /В.А.Базилевич, М.Н. Бухин, В.В. Онищук. – К.: “Урожай”, 1984. – Вып. 52. – С.53-66.
11. Онищук В.В. Результати досліджень функціональних зв'язків між основними гідравлічними й русловими характеристиками річок Українських Карпат / В.В. Онищук // Гідрологія, гідроекологія і гідрохімія. - К.: ВГЛ “Обрії”, 2007. - Т.12. - С. 58-71.
12. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов / К.В. Гришанин. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 144 с.
13. Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление галечных и галечно-валунных русел / К.В. Гришанин // Доклады секции русловых процессов научного совета ГКНТ, 1992. – Вып. 2. – С. 27-33.
14. Онищук В.В. Аналіз існуючих підходів щодо оцінки гідроморфодинамічної стійкості алювіальних русел з позицій системності /В.В. Онищук // Фізична географія та геоморфологія. Науковий збірник, 2014. - Вып..2 (74). - С. 29-45.
15. Ромакін В.В. Комп'ютерний аналіз даних: Навчальний посібник /В.В. Ромакін. - Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. – 144 с.
16. Смирнов Н.П., Скляренко В.Л. Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях /Н.П. Смирнов, В.Л. Скляренко – Л.: Изд-во ЛГУ,1986. – 192 с.
17. Иберла К. Факторный анализ /К. Иберла. – М. Статистика, 1980. – 398 с.