

Онищук В.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ІЕРАРХІЧНА БУДОВА ГІДРОДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ «ПОТІК-РУСЛО» НА ЇЇ НАЙВИЩОМУ СТРУКТУРНОМУ РІВНІ САМООРГАНІЗАЦІЇ

Ключові слова: відкрита гідродинамічна система «потік-русло»; потужність потоку; гідроморфологічні параметри; динамічна рівновага системи; меандрування русла; тип русла; експоненціальний закон розвитку системи

Актуальність проблеми. Вивчення принципових властивостей складної відкритої гідродинамічної системи «потік-русло» (далі ГДС_{п-р,}) має фундаментальне значення, оскільки цілий ряд процесів є спільними за своїм проявом в інших системах. У практичному відношенні регулювання русел, з метою протипаводкового захисту урбанізованих територій, є нагальною потребою сьогодення. На найвищому структурному рівні самоорганізації системи відбувається завершення процесу формування відповідного типу русла. Значні відхилення системи від стану динамічної рівноваги можуть викликати перебудову типу русла. Від типу русла і його стійкості залежить вибір варіанту комплексу конструкцій інженерних протипаводкових споруд і їх компонувальних рішень. Ці питання є найбільш важливими для гірських річок Українських Карпат, на яких спостерігається досить часте проходження катастрофічних паводків.

Аналіз попередніх досліджень. Вперше детальна типізація русел річок Українських Карпат була виконана на основі аналізу матеріалів натурних експедиційних досліджень колективом вчених Інституту гідромеханіки НАН України і УкрНДІГіМ (тепер Інститут водних проблем і меліорації НААН) [1]. Для русел річок Українських Карпат було виділено вісім гідроморфологічних типів, які відрізняються як русловими формами, так і ступенем прояву явища меандрування. В рамках гідроморфологічного підходу до оцінки особливостей формування алювіальних русел є найбільш доцільним використання критеріального показника оцінки транспорту транзитних наносів. При цьому важлива роль відводиться обмежувальному фактору, який у вигляді реакції берегів та інфраструктурної забудови впливає на русловий потік. Дещо пізніше дана типізація русел була підтверджена на основі функціональної залежності $V_{95\%}/V_{d,p} = f(\lambda BS_0/h_{p\phi} I^{0.5})$, але тоді було виділено лише шість типів русел [2]. Деякі уточнення вищезгаданої типізації були наведені в роботах [3-4]. В цих роботах типізація русел була проведена досить обмежено на основі аналізу гідроморфологічних залежностей з використанням потужності потоку при проходженні руслоформуючих витрат.

Склад робіт і методика досліджень. У даній статті поставлено завдання виконати типізацію русел Українських Карпат на основі використання графіків зв'язку між основними русловими і гідралічними параметрами з урахуванням попередніх результатів досліджень з цього питання. Слід зауважити, що у методичному плані ієархія типів русел підпорядкована величині енергетичного потенціалу водного потоку. При мінімальних потенціалах спостерігається розгалуження русла у межах достатньо широкого водопропускного коридору, а при максимальних – меандрування русла або руйнування малостійких руслових форм.

Для гідроморфологічного аналізу була відібрана вихідна інформація сімдесяти гідрологічних постів річок Передкарпаття і Закарпаття. Найвищий структурний рівень, як відомо, відповідає динамічній рівновазі ГДС_{п-р}, коли транспортувальна здатність потоку є максимальною при проходженні руслоформуючих витрат [5]. Величини руслоформуючих витрат $Q_{\text{рф}}$ наведені в роботі [6]. Характеристики $B_{\text{рф}}$, $h_{\text{рф}}$, $D_{\text{сер.зв}}$, $d_{\text{сер.зв}}$ і потужність потоку $\rho g Q_{\text{рф}} J_0$ об'єднані у вигляді гідроморфологічних залежностей (графіків зв'язку):

$$B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = f(\rho g Q_{\text{рф}} J_0), \quad (1)$$

$$D_{\text{сер.зв}} / d_{\text{сер.зв}} = f(\rho g Q_{\text{рф}} J_0), \quad (2)$$

де $B_{\text{рф}}$ – середня ширина русла в брівках при проходженні руслоформуючих витрат; $h_{\text{рф}}$ – середня глибина руслового потоку при проходженні руслоформуючих витрат; $\rho = \rho_{\text{сум}} / (\rho_{\text{сум}} - \rho)$ – віртуальна густина водного потоку (вода разом з транспортувальними наносами; ρ – питома густина води); J_0 – середньозважений поздовжній гідралічний похил, який при стані динамічної рівноваги ГДС_{п-р} дорівнює величині поздовжнього похилу дна русла; $D_{\text{сер.зв}}$ – середньозважений діаметр поверхневого шару русла (шару самовимощення дна русла); $d_{\text{сер.зв}}$ – середньозважений діаметр руслових відкладів активного шару без урахування його самовимощення.

Польові дослідження гранулометричного складу наносів були проведені УкрНДІГіМ з 1972 по 1986рр [7] та Київським національним університетом імені Тараса Шевченка з 1993 по 2010рр [8].

Виклад основного матеріалу. Завдання стосовно виділення типів русел гірських річок має принципове значення, оскільки безпосередньо з урахуванням їх особливостей ведеться розробка необхідних протипаводкових заходів, а також розробляються плани моніторингових досліджень, з метою визначення стійкості русел, та прийняття управлінських рішень щодо покращення гідроекологічного стану річкової системи. Гідроморфологічні функціональні залежності (1 і 2) досить повно охоплюють особливості розвитку ГДС_{п-р} на найвищому структурному рівні самоорганізації, оскільки враховують основні руслові і гідралічні параметри.

На рис. 1 наведено графіки зв'язку $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = f(\rho g Q_{\text{рф}} J_0)$ і $D_{\text{сер.зв}} / d_{\text{сер.зв}} = f(\rho g Q_{\text{рф}} J_0)$, які досить чітко виділяють типи русел річок Українських Карпат.

Як видно із наведених графіків, русла розділились на наступні типи: 1) поріжно-водоспадне русло; 2) русло з нерозвинутими алювіальними формами; 3) русло з розвинутими алювіальними формами; 4) гірське вільне меандрування русла; 5) обмежене меандрування русла; 6) руслова багаторукавність (осередкове русло); 7) каналізоване русло; 8) рівнинне вільне меандрування русла.

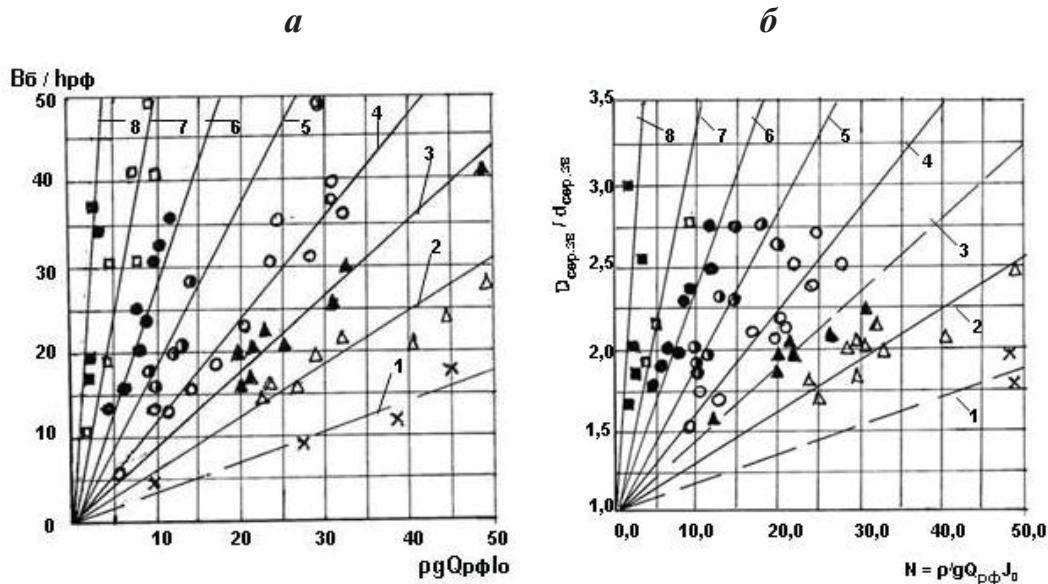


Рис.1. Графіки гідроморфологічних залежностей:

а) $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = f(\rho' g Q_{\text{рф}} J_0)$; б) $D_{\text{сеп.зв}} / d_{\text{сеп.зв}} = f(\rho' g Q_{\text{рф}} J_0)$, 1-8 - типи русел: 1) поріжно-водоспадне русло; 2) русло з нерозвинутими алювіальними формами; 3) русло з розвинутими алювіальними формами; 4) гірське вільне меандрування русла; 5) обмежене меандрування русла; 6) руслова багаторукавність; 7) каналізоване русло; 8) рівнинне вільне меандрування русла.

Цікавим в цьому контексті є також закономірність прояву опору дна русла за довжиною водотоків. Для реалізації цього завдання використано функціональну залежність $D_{\text{сеп.зв}} / d_{\text{сеп.зв}} = f(L/H)$. У правій частині цієї залежності використані наступні характеристики: L – відстань від витоку до розрахункового створу; H – абсолютна відмітка рівня води меженного русла. За допомогою цих параметрів ($D_{\text{сеп.зв}} / d_{\text{сеп.зв}}$ і L/H) отримана експоненціальна закономірність розвитку ГДС_{п-р}, яка наведена на рис.2. Область прояву саморозвитку системи на зовнішніх межах охоплюється віртуальною вировою оболонкою (наявність з кутом сходження 24°, а всередині (по дну русла) наявністю циклічного формування алювіальних структур у вигляді трикутників Фібоначчі [9]. Зміни величин трикутників вказують на подвоєння морфологічних структур, а їх співвідношення домірні числу Фібоначчі 1,62 [9, 10]. Ці трикутники також опосередковано виокремлюють відповідні типи русел.

На основі графіка зв'язку $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = f(\rho' g Q_{\text{рф}} J_0)$ отримані наступні рівняння: для виділених типів русла:

1 – поріжно-водоспадне русло – рівняння має вигляд, $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = 0,176(\rho' g Q_{\text{рф}} J_0)$; 2 – $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = 0,36(\rho' g Q_{\text{рф}} J_0)$; 3 – $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = 0,726\rho' g Q_{\text{рф}} J_0$; 4 – $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}}$

$= 1,07(\rho' g Q_{p\phi} J_0)$; $5 - B_{p\phi}/h_{p\phi} = 1,38(\rho' g Q_{p\phi} J_0)$; $6 - B_{p\phi}/h_{p\phi} = 3,08(\rho' g Q_{p\phi} J_0)$; $7 - B_{p\phi}/h_{p\phi} = 4,33(\rho' g Q_{p\phi} J_0)$; $8 - B_{p\phi}/h_{p\phi} = 11,43(\rho' g Q_{p\phi} J_0)$.

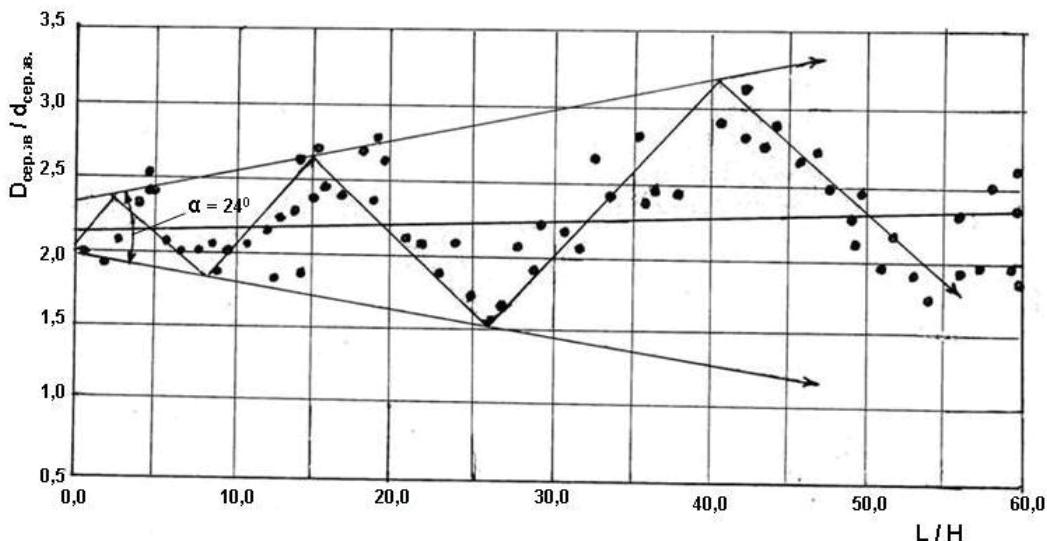


Рис.2. Графік зв'язку $D_{sep,zv}/d_{sep,zv} = f(L/H)$

Характеристика типів русел. Раніше в роботі [11] були розглянуті морфодинамічні особливості формування типів русел Українських Карпат. За основу була взята класифікація з роботи [1]. У даній статті є намагання уточнити ряд положень стосовно правомірності використання нової класифікації русел гірських річок. Типи русел будуть розглянуті під кутом зору розвитку явища меандрування. Формування русел тісно пов'язані з розвитком цього явища та дії обмежувального фактору, а тому їх конфігурація може бути досить складною.

Поріжно-водоспадне русло зустрічається у верхів'ях, де спостерігається вихід скельних порід. До цього типу можна віднести якісні характеристики перших двох типів русел згаданої класифікації – нерозмивне (скельне) русло з нечітко вираженими берегами і стиснене русло (тіснина) з урвистими берегами та з обмеженим надходженням наносів [1]. Логіка підказує, а результати досліджень підтверджують [1], що на цих ділянках річок прояв явища меандрування відбувається у вертикальній площині, створюючи перепади. Транспорт наносів тут спостерігається у безструктурній формі, оскільки енергетичний потенціал потоку досить значний.

Русло з нерозвинутими алювіальними формами переважно розташовані в гірській частині з вузькими долинами, де обмежене надходження пролювію, оскільки схили тут досить пологі і мають рослинний покрив та місцями закріплені окремими деревами або лісними насадженнями.

Русла з розвинутими алювіальними формами зустрічаються на досить протяжних гірських ділянках. Руслові форми представлені окремими осередками у місцях розширення долин. Звивистість русла характеризується середньою величиною коефіцієнта $f_s = 1,1$.

Гірське вільне меандрування русла має місце у значних розширеннях долин та при відносно малих поздовжніх похилах (на своєрідних гірських

плато). Русла, як правило, мілкі, мають шар самовимощення дна і надзвичайно екзотично вписуються в ландшафт місціни.

Обмежене меандрування русла приурочене до ділянок з помірною шириною долин в гірських ущелинах. Звивистість русла домірна величині $f_3 = 1,15$. Транзит наносів спостерігається у великих об'ємах з широким спектром їх гранулометричного складу. Заплави на цих ділянках густо заселені, а тому досить часто потерпають від проходження високих паводків. Найбільш адекватною за конструкцією і компонувальним рішенням слід вважати підпірні стінки. Необхідною компонувальною умовою для цих споруд є надійне примикання до берегів. Ширина поясу меандрування дорівнює ширині долини.

Руслова багаторукавність має прояв на ділянках виходу водотоків з гір, де спостерігається осередкове розгалуження течії, на пригирлових ділянках з широкими долинами, де відбувається блукання русла із-за значних поперечних похилів річища. При цьому, мають місце впливи деревної рослинності, скучення наносів тощо. Руслова ситуація на цих ділянках річки різко міняється при проходженні катастрофічних паводків, зокрема міняється водність рукавів. Регулювання русла/руслових деформацій рекомендується виконувати за допомогою дамб обвалування та комбінованих напівзагат, направлених за течією під кутом 120° . У місцях населених пунктів доцільне двійне обвалування з улаштуванням траверс, польдерів для акумуляції паводкових вод тощо [8].

Каналізоване русло – це окремі, відносно невеликі, з помірною звивистістю русла , ділянки річки у вигляді швидко токів, розміщених в широких долинах як в гірській, так і передгірській частинах, дно яких складене крупнозернистим аллювієм з яскраво вираженим самовимощенням, а береги закріплена деревною рослинністю. Це досить стійкий до розмиву тип русла.

Рівнинне вільне меандрування русла представлене досить рідко і на малих по довжині ділянках. Характерною ознакою цього типу русла є незгасаючий процес розвитку увігнутих берегів та відповідне одночасне нарощування випуклих берегів. Регулювання руслових деформацій на цих ділянках річки рекомендується виконувати шляхом обвалування з необхідною шириною водопропускного коридору [8].

Відомо, що природні умови не є єдиним носієм просторово-часових змін об'ємів стоку наносів і відповідно інтенсивності розвитку явища меандрування. Господарська діяльність на водозборах і в руслах річок призводить до суттєвих змін стоку наносів, що викликає трансформацію надбаніх типів. У нинішній час, при обстежені річок буває, що досить проблематично чітко визначити тип русла. На ряді ділянок річок, при дефіциті транспортувальних наносів, спостерігається вимив руслових відкладів з оголенням скельних структур, які місцями служать у якості регулюючих. При значному надходженні наносів на ділянки з малими похилами дна русла відповідно спостерігається замулення. Регулювання

русел на цих ділянках потребують значних матеріальних і фінансових затрат як на їх відновлення, так і на покращення гідроморфологічного стану.

Висновки. На основі викладеного матеріалу можна зробити наступні узагальнення: встановлено, що форма русла ($B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}}$) однозначно залежить від руслоформуючої потужності потоку ($\rho g Q_{\text{рф}J_0}$); гідроморфологічні зв'язки $B_{\text{рф}} / h_{\text{рф}} = f(\rho g Q_{\text{рф}J_0})$ і $D_{\text{сер.зв}} / d_{\text{сер.зв}} = f(\rho g Q_{\text{рф}J_0})$ дають можливість досить чітко виділити типи русел річок Українських Карпат. Виділено вісім типів, які вказують на прояв властивості самоорганізації ГДС_{п-р} стосовно формування русла на фоні розвитку явища меандрування; встановлено, що процеси руслоформування по довжині річки підпорядковані експоненціальному закону прогресивного розвитку відкритої гідродинамічної системи; наведений опис типів русел показує їх зв'язок з коефіцієнтом звивистості f_0 , що необхідно враховувати при проведенні математичного моделювання та в проектах щодо регулювання руслових деформацій на урбанізованих ділянках руслово-заплавного комплексу.

Список літератури

1. Русловые процессы на предгорных участках рек / И. Л. Розовский, В. А. Базилевич, В. М. Гайдученко и др. // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда. – 1976. – Т.10. – С. 115-121.
2. Онищук В. В. Физическое моделирование русловых процессов горных рек / Онищук В. В., Бильчук А. С., Козицкий О. Н. // Мелиорация и водное хозяйство. – К. : Урожай, 1989. – С. 60-65.
3. Кафтан О. Н. Гідродинамічні умови формування типів русел / Кафтан О. Н., Корбутяк В. М., Онищук В. В. // Вісник Укр. держ. ун-ту водного господарства та природокористування. – 2003. – Вип. 4 (23).– С. 10-16.
4. Кафтан О.Н. Гідроморфологічні аспекти пропускної здатності русел річок / Кафтан О. Н., Корбутяк М. В., Корбутяк В. М. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2006. – Т. 11. – С. 110–115.
5. 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.
6. Онищук В. В. Результати досліджень функціональних зв'язків між основними гідрравлічними й русловими характеристиками річок Українських Карпат / В. В. Онищук // Гідрологія, гідроекологія і гідрохімія. – 2007. – Т. 12. – С. 58–71.
7. Онищук В. В. Оценка гранулометрического состава русловых отложений горных рек / В. В. Онищук, А. Н. Кафтан // Вопросы гидротехники и мелиорации на Украине. – К. : УкрНИИГиМ, 1982. – С. 101-113.
8. Руслові процесси річки Лімниця / О. Г. Ободовський, В. В. Онищук, В. В. Гребінь та ін. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 256 с.
9. Чорноморець Ю. О. Закономірності в багаторічних коливаннях водності річок (на прикладі річок Українських Карпат) / Ю. О. Чорноморець, В. В. Онищук // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. – 2007. – Т. 13. – С. 40–46.
10. Знаменская Н. С. Единые закономерности формирования речных русел / Н. С. Знаменская – СПб. : НИИХ СПтГУ, 2002. – 61 с.
11. Ободовський О. Г. Морфодинамічні особливості різних типів русел гірських річок / Ободовський О. Г., Онищук В. В., Козицький О. М. // Фізична географія та геоморфологія. – 2003. – Вип. 44. – С.106-116.

Ієрархічна будова гідродинамічної системи «потік-русло» на її найвищому структурному рівні самоорганізації

Онищук В.В.

На основі матеріалів багаторічних лабораторних і польових експедиційних досліджень руслових процесів річок Українських Карпат виконано аналітичну оцінку типів русел та виявлено експоненціальний закон розвитку процесів руслоформування від витоку до гирла.

Ключові слова: відкрита гідродинамічна система «потік-руслом»; потужність потоку; гідроморфологічні параметри; динамічна рівновага системи; меандрування русла; тип русла; експоненціальний закон розвитку системи.

Иерархическое строение гидродинамической системы «поток-руслом» на ее наивысшем структурном уровне самоорганизации

Онищук В.В.

На основі матеріалів многолітніх лабораторних і полевих експедиційних досліджень руслових процесів рік Українських Карпат виконано аналітическу оценку типів русел і установлено експоненціальний закон розвиття процесів руслотворення від джерела до устя.

Ключевые слова: открытая гидродинамическая система «поток-руслом»; мощность потока; гидродинамические параметры; динамическое равновесие системы; меандрирование русла; тип русла; экспоненциальный закон развития системы.

Hierarchy structure of dynamic system «stream - channel» on highest structural level of self-organization

Onyschuk V.V.

Based on the materials for long-term period of laboratorial and field research of river channel processes of Ukrainian Carpathian rivers, the analysis of channel types was done. Exponential principle of channel forming processes from source to river mouth was determined.

Keywords: free dynamic system «stream - channel»; stream power; hydrodynamic parameters; dynamic balance of system; channel meandering; channel type; exponential principle of system evolution.

Надійшла до редколегії 02.09.2012

УДК 556.16.06+519.711.3

Москаленко С.О.

Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, м. Київ

ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДОУТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ ДЛЯ МАЛИХ ВОДОЗБОРІВ ПРАВОБЕРЕЖЖЯ ПРИП'ЯТІ

Ключові слова: дощовий паводок; процеси формування стоку; водоутворення; математична модель; оптимальні параметри моделі; гідрографічні та морфометричні характеристики водозборів

Вступ. Математичні моделі, що описують процеси формування стоку на водозборах річок, включають певну кількість параметрів, які відображають об'єктивні фізичні характеристики та особливості водозборів.

Практична реалізація будь-якої моделі неможлива без її ідентифікації. Структура концептуальних і фізико-математичних моделей часто задається априорі, а ідентифікація зводиться, по суті, до оцінювання параметрів [1-3].

Необхідність і важливість розгляду підходів до ідентифікації параметрів математичних моделей стоку, слід пояснити тими обставинами, що при їх

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2012. – Т.2(27)