

КОЕФІЦІЄНТИ ШОРСТКОСТІ ТА ОСОБЛИВОСТІ САМООРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОТІК-РУСЛО

Ющенко Ю.С., Настюк М.Г.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Проаналізовано характер режимних змін коефіцієнтів Шезі, шорсткості та пов'язано їх з особливостями функціонування системи потік-русло. Виявлено закономірні зміни коефіцієнтів шорсткості у зв'язку з особливостями ділянок річок. Узагальнено дані про коефіцієнти шорсткості і надані рекомендації по їх оцінці із врахуванням станів системи потік-русло.
Ключові слова: коефіцієнт Шезі, коефіцієнт шорсткості, гідравлічний опір, витрата води, руслоформуючі наноси, гідрологічні спостереження.

Актуальність дослідження. Відомо, що характер формування опорів у річках підкоряється закономірностям самоорганізації системи потік-русло [1, 2, 3, 4]. Реальна точність розрахунків не висока. Тим більше це стосується гірських річок з паводковим водним режимом. В таких умовах допустимо використовувати оціночні, дещо огрублено-генералізовані інструменти аналізу. Поняття про шорсткість твердого ложа історично ув'язують з виступами твердої поверхні. Також відомо, що вона з часом може трансформуватись. З іншого боку існують самоорганізаційні форми розмивного, рухомого ложа, загалом процеси морфогенезу, самоформування у системі потік-русло. Тут поняття шорсткості у традиційному розумінні ніби розмивається.

Для відображення особливостей потоку, швидкостей течії, оцінки шорсткості використовують коефіцієнт та формулу Шезі. Вона стосується рівномірного, або квазірівномірного руху. Тим не менше оцінки коефіцієнтів шорсткості відносять не лише до межні, але і до паводків, повеней. Імовірно у цей час можуть проявлятися такі самоорганізаційні процеси, котрі приводять до стрибкоподібних змін усталеного та неусталеного руху. А власне фази усталеного можуть розглядатись як квазірівномірні на відповідних ділянках течії. Також слід враховувати точність використовуваної інформації.

Таким чином важливо досліджувати значення коефіцієнтів Шезі та шорсткості в ув'язці з аналізом особливостей їх самоорганізації системи потік-русло [11]. Таке дослідження є актуальним. Актуальність також пов'язуємо із поглибленим аналізом якості вихідної інформації та охопленням нею різних фаз водності річок.

Аналіз попередніх досліджень. Основні результати дослідження коефіцієнтів шорсткості відображені у відповідних таблицях [4, 5, 9, 10]. Очевидно робиться наголос на відносній стабільності та систематичності даного показника. І.Ф. Карасьов [4, с. 205] писав, що застосування «натуральної шкали» для цього показника на

стільки ж правомірно, як і для інших (твердість матеріалів, хвилювання та ін.). «Але при цьому необхідно з достатньою визначеністю фіксувати опорні (реперні) значення і не допустити перекриття інтервалів шкали».

Оскільки нас цікавлять власне річки спробуємо звернути увагу на певні особливості шкал для них і порівняти зі шкалами для штучних об'єктів. За шкалами М.Ф. Срібного, І.Ф. Карасьова та наведеного у [4, с. 73] найнижчі «стартові» значення становлять 0,025. І.Ф. Карасьов значення 0,020 відповідно до прямолінійних каналізованих русел у щільних ґрунтах з рівним дном. Для штучних умов бувають і менші значення коефіцієнтів шорсткості. Таким чином річки проявляють певну власну специфіку.

Важливим реперним значенням, на нашу думку, є також 0,050. У шкалі М.Ф. Срібного перехід від 0,040 до 0,050 означає перехід від порівняно чистих звивистих русел з певними «неправильностями» у формах до русел великих і середніх річок значно засмічених, звивистих, частково зарослих, або кам'янистих, з неспокійною течією. У шкалі І.Ф. Карасьова – від порівняно чистих русел у сприятливих умовах – до значно засмічених, зарослих, кам'янистих з бурхливою течією.

Найбільш імовірно, що у діапазоні значень $n=0,020-0,050$ проявляються закономірні впливи самоорганізації системи потік-русло для достатньо вільних умов самоформування. Порівняно зі шкалами для штучних об'єктів також показує, що перехід до $n=0,045$ та вище означає дуже несприятливі умови протікання потоку.

Звертаємо також увагу на те, що у шкалах для річок враховують звивистість чи прямолінійність русел. За даними різних авторів [4, с. 208] такий вплив може досягати 30-40% від основного значення n при значному прояві звивистості.

Також важливою є методика побудови таблиць [4]. Зазначимо, що переважно використовують конкретні значення n . Але водночас

говорять про їх інтервали, кроки (у деяких випадках їх вказують у таблицях). На думку І.Ф. Карасьова крок повинен становити приблизно подвійну середню квадратичну похибку, котра виникає на основі вимірювань витрат води та поздовжніх похилів вільної поверхні (тобто 20 – 30% від середнього значення у кожному інтервалі). Очевидно для паводкових умов на гірських річках він може досягати 40%. Якщо порівняти це із даними про вплив звивистості річок, то можна стверджувати, що він становить один крок.

Також слід відмітити, що коефіцієнти шорсткості можуть змінюватись зі змінами фаз водності річок. Спрощено таке явище можна розглядати за аналогією до відносної шорсткості. Але в річках процеси розвиваються ще складніше. Нажаль такого роду дослідження, методичні підходи не відображаються у шкалах та поясненнях до них.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є виявлення закономірностей функціонування системи потік-русло через застосування комплексного аналізу значень коефіцієнтів шорсткості та інших параметрів на основі традиційних та руслознавчих підходів.

Основними завданнями дослідження є:

- сформулювати базу первинної інформації для значень коефіцієнтів Шезі та шорсткості;
- проаналізувати характер режимних змін цих коефіцієнтів та пов'язати їх з особливостями функціонування системи потік-русло;
- виявити закономірні зміни коефіцієнтів шорсткості у зв'язку з особливостями ділянок річок (умов функціонування системи потік-русло) та із врахуванням струменевої самоорганізації;
- узагальнити дані про коефіцієнти шорсткості і дати рекомендації по їх оцінці (запропонувати методику оцінки) через врахування станів системи потік-русло, виділення основних цілісних струменів та врахування інших чинників.

Об'єктом дослідження є ділянки річок у системах Верхнього Пруту та Сірету.

Основні результати дослідження. Спостереження за параметрами потоків та русел на річках Українських Карпат, особливо під час проходження великих паводків, стикаються із рядом складностей. У зв'язку із цим аналіз первинної інформації для проведення руслознавчих, гідрологічних досліджень набуває особливого значення. Нами проведено комплексний гео-гідроморфологічний та гідрологічний аналіз такої інформації через ув'язку та порівняння з метеорологічною (стосовно зливових опадів), між собою (між різними характеристиками для різних створів), у режимному відношенні та за багаторічний період, а також враховано умови та

організацію гідрологічних спостережень на конкретних ділянках річок. Аналіз змін характеристик системи потік-русло у режимному аспекті важливий не тільки для виявлення якості інформації, але і для вивчення закономірностей її функціонування.

Стосовно поздовжніх похилів вільної поверхні річок ми дотримувалися положення їх поділу на локальні, часткові та загальні [4]. На однорідних ділянках до яких відносять гідроствори осереднено вздовж них проявляються характерні часткові похили, котрі взаємопов'язані із довготривалим розвитком системи потік-русло. З іншого боку додаткові похили від хвиль паводків можуть становити 2-3 м на 100 км, тобто 0,02-0,03 м/км, при основних 1-5-10 м/км. Таким чином нами взято до розрахунку характерні для ділянки спостережень значення часткових поздовжніх похилів і ув'язані з репрезентативними (за характером гідростворів) значеннями швидкостей і глибин потоку.

Очевидно також, що така точність вихідної інформації не дозволяє вивчати деталі гідростворного режиму річок. Але дозволяє виявляти генералізовані залежності, характер зв'язків, закономірності, якщо вони ув'язані, що дає цілісну картину функціонування системи потік-русло.

Як уже зазначено у вступі, використовуємо формулу Шезі для визначення коефіцієнтів Шезі. Для визначення коефіцієнтів шорсткості використано формулу Г.В. Железнякова, яка вважається найбільш універсальною та ефективною для річок [6, 8]. В розрахунках враховано особливості ділянок гідростворів. Вони поділені на групи А та Б. До першої віднесено відносно прямолінійні ділянки з цілісноструменевим потоком. До групи Б віднесено ділянки з наявністю заплав, розгалужень, островів з корінною основою та інше, що призводить до ускладнень структури потоку. По групі Б проведено аналіз варіантів розрахунку з метою визначення параметрів, що відносяться власне до цілісноструменевого потоку. Також враховано багаторічні зміни умов функціонування системи потік-русло, особливо внаслідок дії антропогенного чинника.

На основі отриманих даних побудовано графіки зв'язків $C=f(Q)$ та $n=f(Q)$ у режимному відношенні по кожній ділянці спостережень. На графіках $C=f(Q)$ показано осереднені лінії зв'язку, а на $n=f(Q)$ нанесено тільки поля точок (Рис.1, Рис.2).

На всіх без винятку графіках чітко проявилися характерні особливості зв'язку. Для коефіцієнтів Шезі пряма залежність від витрат води. У нижній частині нелінійна, у верхній – лінійна. Для коефіцієнтів шорсткості – зворотня залежність від витрат води. У нижній частині

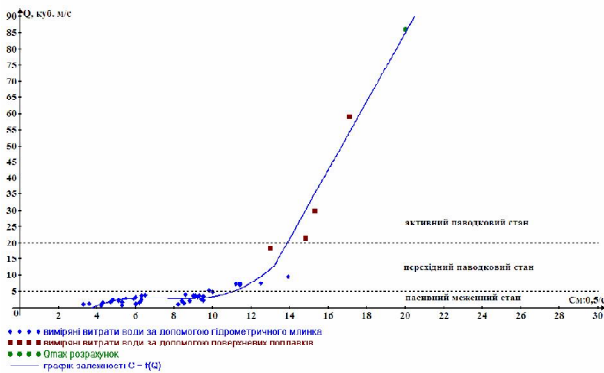


Рис.1.Графік залежності $C = f(Q)$, р. Прут – смт Ворохта

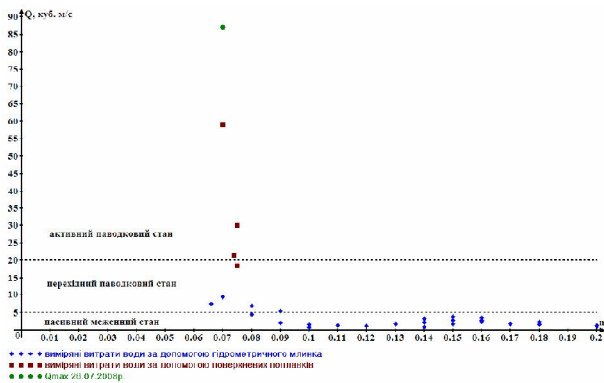


Рис.2. Залежність $n=f(Q)$, р. Прут – смт Ворохта

графіків точки розташовуються вздовж осі абсцис, а у верхній – у вигляді вузьких вертикальних смуг (вузького діапазону значень n). (Вибір положення осей пов'язаний із тим, щоби демонструвати зростання витрат води вгору). Прямолинійна частина зв'язку $C=f(Q)$ вказує на певну стабілізацію, упорядкування процесів саморегуляції у системах потік-русло. При цьому шорсткість стабілізується у вузькому діапазоні. Значить коефіцієнти Шезі переважно залежать від зростання глибини потоку. Для перерізів цілісноструменевих потоків воно є також лінійним. Найменші значення n при великих витратах води також вказують відповідну саморегуляцію, самоорганізацію системи. У таких умовах це вже не просто вплив виступів твердого ложа потоку, а певна загальна характеристика, що відображає особливості формування опорів у системі. Тобто можна говорити про комплексне “ n -відображення” опорів.

Другою характерною особливістю графіків є виділення трьох зон: 1) межений період; 2) перехідна; 3) при високій водності потоку. Вони також відображають характерні особливості самоорганізації та функціонування системи. Пропускна здатність при малих витратах різко падає, різноманіття умов протікання зростає. Залежність від витрат води слабо виражена. У зв'язку із цим пропонуємо виділяти відповідні

характерні стани системи потік-русло: 1) пасивний межений; 2) перехідний паводковий; 3) активний паводковий. Їх межі показані на графіках (горизонтальними лініями). Їх можна трактувати як генетичні (із позицій руслознавства), такі, що вироблені у відносно стабільних умовах за багаторічні періоди. Також це дає змогу більш обґрунтовано характеризувати фази водності річок. У даному відношенні нами проведено порівняння межі другого та третього станів системи із середніми багаторічними значеннями максимальних паводкових витрат (Рис. 3.). (Положення меж обиралися виключно за аналізом характеру зв'язків $C=f(Q)$ та $n=f(Q)$). Очевидно справедливим є припущення про адаптацію системи до паводкового режиму та умов ділянок за багаторічні періоди.

Основною закономірністю змін значень n (в активному паводковому стані системи) для різних ділянок є їх зменшення від стиснутих до більш вільних у улоговинах та вниз за течією. Подібним чином змінюється склад руслоформуєчих наносів та інші параметри системи. Очевидно це можна трактувати як різні умови формування опорів та пропускної здатності системи. Також руслознавчий аналіз показав, що значення $n > 0,050$ характерні для структурно-крупноалювіальних русел, а менші – для ділянок з розвинутим алювіальним середовищем. Власне у цьому інтервалі (0,050-0,025) на перший план виступає залежність n від складу алювію. Тут можна виділяти три характерних діапазони значень n . Це відповідає крокам шкали запропонованої І.Ф. Карасьовим [4], а також трьом першим підкласам крупноалювіальних русел (КАР 1-3) [7, 11]. Якщо припустити, що для відповідних умов у піщаних руслах значення n 0,020-0,024, то отримаємо нову шкалу, котра стосується прямолинійних чистих цілісноструменевих алювіальних русел, систем потік-русло та активних станів системи (табл.).

Вона має простий, генералізований, узагальнений характер. Відносно неї можна розглядати дію інших чинників, що призводять до змін значень n . Перш за все це вплив звивин. При достатньому їх розвитку він враховується збільшенням n на один крок – категорію. (Відмітимо, що кроки – категорії відповідають особливостям функціонування та організації системи потік-русло). Якісна характеристика крупності алювію є достатньою для опису основних його відмінностей. Очевидно можуть бути наведені і кількісні характеристики. Наші дослідження показали, що для четвертої категорії характерними є значення біля 100 мм, для третьої – 50-70 мм, для другої – 20-30 мм. При цьому фізичну, жорстку донну шорсткість створюють найбільш крупні фракції вмістом 20-30%. Їх можна

**Шкала коефіцієнтів шорсткості для струменевих, відносно прямолінійних русел
в залежності від домінантних фракцій руслоформуючих наносів**

Коефіцієнт шорсткості, n	Характеристика руслоформуючих наносів (домінантні фракції)
0,020 – 0,024 (середнє значення 0,022)	пісок (I категорія)
0,025 – 0,031 (середнє значення 0,028)	галька, гравій (II категорія)
0,032 – 0,040 (середнє значення 0,036)	валуни, галька (III категорія)
0,041 – 0,049 (середнє значення 0,045)	переважно валуни (IV категорія)

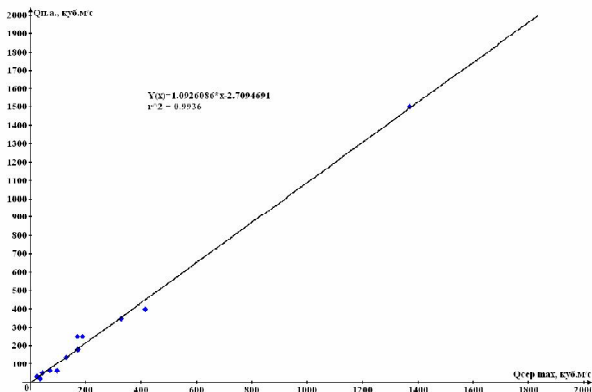


Рис. 3. Графік кореляції між витратами переходу до активного стану СПР та середніми багаторічними значеннями максимальних річних витрат води.

назвати домінантними.

Виділені категорії, за нашими даними, також співвідносяться зі значеннями поздовжніх похилів річок (II-1-1,5%, III-4-7%, IV- 7,5-9%). Це загалом відповідає шкалі І.Ф.Карасьова [4].

Для заплав та островів значення n прийняті на рівні 0,080 та більше. Це відповідає реальним глибинам і швидкостям течії. Розрахунок загальної витрати води ведеться по секторах із виділенням основного струменя. Перевірка розрахунків із застосуванням закономірної методики показала добру відповідність з даними спостережень. Відхилення становлять переважно ± 10 -18%.

Висновки:

- При створенні бази вихідної інформації проводять її комплексний геогідроморфологічний та гідрологічний аналіз з метою усунення грубих похибок та об'єктивної оцінки точності.

- Отримані дані про коефіцієнти Шезі та шорсткості дозволяє виявити важливі закономірності їх режимних змін та зв'язку з особливостями функціонування системи потік-русло. У режимному відношенні об'єктивно виділяються три стани системи: 1) пасивний меженний; 2) перехідний паводковий; 3) активний паводковий.

- Для активних цілісних струменів у розвинутому алювіальному середовищі характерна

залежність коефіцієнтів шорсткості від складу руслоформуючих наносів. Можна виділяти чотири відповідних категорії системи потік-русло. Такий підхід дозволяє розробляти руслознавчо обґрунтовану методику оцінок коефіцієнтів шорсткості у річках та розрахунків витрат води у них.

Література

1. Гришанин К.В. Динамика русловых потоков / К.В. Гришанин – Л. : Гидрометеоздат, 1979. – 311 с.
2. Гришанин К.В. Гидравлическое сопротивление естественных русел / К.В. Гришанин – С.-Пб. : Гидрометеоздат, 1992. – 181 с.
3. Знаменская Н.С. Гидравлическое моделирование русловых процессов / Знаменская Н.С. – С.-Пб. : Гидрометеоздат, 1992. – 240 с.
4. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов / И.Ф. Карасев -Л. : Гидрометеоздат, 1980. – 310 с.
5. Караушев А.В. Речная гидравлика / А.В. Караушев – Л. : Гидрометеоздат, 1969. – 418 с.
6. Лучшева А.А. Практическая гидрометрия /Александра Анатолиевна Лучшева – Л. : Гидрометеоздат, 1983. – 423 с.
7. Паланичко О.В. Закономірності руслоформування річок Передкарпаття : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук : спец. 11.00.07 „Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія” / О.В. Паланичко. – К., 2010. – 22 с.
8. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика / И.П. Спицын, В.А. Соколова - Л. : Гидрометеоздат, 1990. – 359 с.
9. Справочник по гидравлике. [Под редакцией Большакова В.А.] – Киев. Издательское объединение «Вища школа», 1977. – 280 с.
10. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев – Изд. 4-е, доп. и пер. – Л.: Энегрига, 1982. – 672 с.
11. Ющенко Ю.С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел / Юрій Сергійович Ющенко – Чернівці : Рута, 2005. – 320 с.

References

1. Hryshanyan K.V. Dynamyka ruslovykh potokov [Dynamics of riverbed flows]. L. : Hydrometeoyzdat, 1979. 311 p. [in Russian].

2. Hryshanyin K.V. Hydravlycheskoe soprotyvlenye estestvennykh rusel [Hydraulic resistance of natural riverbeds]. S.-Pb. : Hydrometeoizdat, 1992. 181 p. [in Russian].
3. Znamenskaia N.S. Hydravlycheskoe modelirovaniye ruslovykh protsessov [Hydraulic modeling of riverbed processes]. S.-Pb. :Hydrometeoizdat, 1992. 240 p. [in Russian].
4. Karasev Y.F. Rechnaia hydrometriya y uchet vodnykh resursov [River hydrometrics and assessment of water resources] L. Hydrometeoizdat, 1980. 310 p. [in Russian].
5. Karashev A.V. Rechnaia hydravlika [River hydraulics]. L. Hydrometeoizdat, 1969. 418 p. [in Russian].
6. Luchsheva A.A. Prakticheskaia hydrometriya [Practical hydrometrics] L. : Hydrometeoizdat, 1983. 423 p. [in Russian].
7. Palanychko O.V. Zakonomirnosti rusloformuvannia richok Peredkarpattia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. heohr. nauk : [Regularities of the riverbed formation of rivers of Precarpathia] spets. 11.00.07 "Hidrolohiiia sushi, vodni resursy, hidrokhimiiia" / O.V. Palanychko. K., 2010. 22 p. [in Ukrainian].
8. Spytyn Y.P., Sokolova V.A. Obshchaia y rechnaia hydravlika [General river hydraulics]. L. : Hydrometeoizdat, 1990. 359 p. [in Russian].
9. Spravochnyk po hydravlyke. [The reference book in hydraulics] [Pod redaktsiei Bolshakova V.A.] Kyev. Yzdatelskoe obedyneniye "Vyshcha shkola", 1977. 280 p. [in Russian].
10. Chuhaev R.R. Hydravlika [Hydraulics]. Yzd. 4-e, dop. y. per. L.: Enehryha, 1982. 672 p. [in Russian].
11. Iushchenko Yu.S. Neohidromorfolohichni zakonomirnosti rozvytku rusel. [Geohydromorphoic regularities of development of riverbeds]. Chernivtsi : Ruta, 2005. 320 p. [in Ukrainian].

Ющенко Ю.С., Настюк М.Г. Коэффициенты шероховатости и особенности самоорганизации системы поток-русло.

Проанализированы характер режимных изменений коэффициентов Шези, шероховатости и связано их с особенностями функционирования системы поток-русло. Выявлены закономерные изменения коэффициентов шероховатости в связи с особенностями участков рек. Обобщены данные о коэффициентах шероховатости и даны рекомендации по их оценке с учетом состояний системы поток-русло.

Ключевые слова: коэффициент Шези, коэффициент шероховатости, гидравлическое сопротивление, расход воды, руслоформирующие наносы, гидрологические наблюдения.

Yushchenko Y., Nastiuk M. The roughness code and features of system functioning stream-riverbed. In this study, analyzed the character of regime changes of Chezy's velocity factor, roughness code and link them with the features of the system stream – riverbed. The regularities of changes roughness code in connection with features sections of the rivers. Generalized data about roughness code and recommendations for their evaluation given the state of the system stream – riverbed.

Key words: Chezy's velocity factor, roughness code, hydraulic resistance, discharge of water, sediment-filled rivers, hydrological observations.