

Ecohydromorphological analysis of structural and functional features of flat reservoirs coastal zone

Dubnyak S.S.

The ecological and hydromorphological features of a coastal zone of flat reservoirs on an example of the Dnieper cascade are analysed. The role and place of coastal ecosystem as an ecotone between of reservoir ecosystem and adjoined land are shown. The structural and functional features of coastal ecosystem are briefly opened.

Key words: reservoir, coastal zone, ecotone, hydromorphological factors.

Надійшла до редколегії 08.06.11

УДК 556.535:627.142

Ободовський О.Г., Онищук В.В., Розлач З.В., Коноваленко О.С.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

РОЛЬ ТРАНСПОРТУ НАНОСІВ ПРИ ОЦІНЦІ ГІДРОМОРФОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧОК (НА ПРИКЛАДІ РІЧОК БАСЕЙНУ ЛАТОРИЦІ)

Ключові слова: транспорт наносів, гранулометричний склад руслоформуєчих наносів, витрата наносів, гідроморфологічний стан руслозаплавного комплексу

Актуальність дослідження. На сьогоднішній день все ще є відкритими питання стосовно адекватного визначення руслоформуєчих витрат води і наносів. Ці питання є особливо важливими на фоні впливу на річкові системи антропогенного фактору, який в останні десятиріччя інтенсивно зростає.

Природна та антропогенна зміна водності річок обумовлює на рівні зворотних зв'язків трансформацію русло-заплавного комплексу при проходженні паводків. В цьому контексті фактор наносів при оцінці гідроморфологічного стану водотоків є універсальним інтегруючим параметром тенденцій розвитку руслових процесів і еволюції річкових систем.

Аналіз попередніх досліджень. Особливості формування русел річок, транспорту наносів та методів оцінки гранулометричного складу наносів і розрахунку їх витрат й об'єму стоку у ретроспективному зрізі досить детально викладені в класичних монографіях Г.І. Шамова [1] і А.В. Караушева [2]. Значний внесок у розвиток проблеми формування русел, зокрема в аспекті виявлення закономірностей транспорту наносів, виконаний Н.С. Знаменською [3] і В.В. Романовським [4]. На основі матеріалів натурних і лабораторних досліджень В.В. Романовським і А.В. Караушевим розроблена методика розрахунку витрат донних наносів в процесі руслових переформовань.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.2(23)

Крім того, на основі даної методики науково обґрунтовано методологічне положення про транспортуючу здатність руслового потоку. За результатами власних досліджень та синтезу здобутків інших авторів Н.С. Знаменська обґрунтувала закономірності формування річкових русел [5].

Для регіону Українських Карпат дослідження гранулометричного складу шару само вимощення і руслових відкладів активного шару на мезофрмах дна русел були виконані В.В. Онищуком та О.Н. Кафтаном [6-7]. В останнє десятиріччя значний об'єм моніторингових натурних досліджень стосовно оцінки гідроморфологічного стану гірських річок і оцінки гранулометричного складу руслового алювію були проведені колективом науковців під керівництвом О.Г. Ободовського [8-11].

Методичні положення стосовно оцінки фактору наносів

Аналіз складу наносів на гірських річках. Одним з надзвичайно важливих чинників, які визначають гідроморфологічну оцінку річок є формування складу наносів. Це обумовлено, перш за все, наявністю в протокольних оцінках обов'язкової характеристики донних відкладів [12], інформація про які дуже обмежена. По-друге, аналіз складу наносів – це «кількісні» показники, які мають просторо-часову динаміку, що робить методику більш універсальною і об'єктивною. По-третє, дослідженню руслових наносів в річках приділяється на сучасному етапі вкрай недостатньо уваги. Разом з тим наноси (особливо донні) багато в чому визначають характер прояву руслових процесів на річкових водних об'єктах. На гірських та напівгірських річках вони утворюють захисний шар русла, який зберігає його форму під час проходження пасивних і частково активних паводків [13].

Фактор наносів регулює систему «потік-русло» через транспортуючу здатність потоку. В залежності від типу русла, який є стійким у часі, крупність наносів на конкретній ділянці річки виступає інтегруючою характеристикою гідроекологічного стану річки (розмивання або замулення). Для умов руслоформування гірських і передгірських річок особливо важливими є знання про донні руслові відклади, які характеризують як сучасний стан і тип русла, так і дають важливі відомості про ретроспективу процесів руслоформування.

У цьому контексті найбільш інформативними чинниками донних наносів в оцінці гідроморфологічного стану річок є гранулометричний склад донних відкладів. Його кількісний аналіз в просторово-часовому зрізі дозволяє удосконалювати типологію річок басейну та “об'єктизувати” методику гідроморфологічної оцінки стану річок. Гранулометричний склад донних відкладів визначається на ділянках обстеження (ДО) за відомими для гірських річок методиками відбору проб наносів [7, 8].

При виконанні комплексу натурних досліджень відбираються проби поверхневого шару русла на всіх ділянках обстеження (ДО) моніторингової мережі. Відбір проб наносів проводиться в характерних місцях на поверхні руслових форм (осередки, боковики тощо) або безпосередньо в руслі шляхом обмірювання самих крупних алювіальних відкладів (валунів).

Площа поверхні русла в місцях відбору проб наносів призначається здебільшого у межах від 1 м^2 [7].

Механічний аналіз проб наносів виконується на основі діючих стандартних методик та додаткових методичних положень згідно відомчих документів і практичних напрацювань, виконаних на базі результатів багаторічних досліджень [14-15]. Після проведення відповідних розрахунків і побудови на їх основі кумулятивних кривих розподілу складу донних наносів, постає питання щодо визначення середньозваженої крупності руслового алювію ($d_{\text{сер.зв.}}$).

Відомо, що крупність руслового алювію ($d_{\text{сер.}}$) є одним із вагомих незалежних параметрів, який характеризує відносну стійкість русла будь-якого водотоку і, відповідно, інтенсивність розвитку руслових процесів в екстремальних умовах (проходження активних паводків) функціонування водотоку. Для гірських річок такою однозначною характеристикою (визначальним незалежним параметром) є середньозважене значення поверхневого шару русла – шару самовимощення $D_{\text{сер.зв.}}$, який в природному стані залежить від $d_{\text{сер.зв.}}$ через значення ступеню неоднорідності руслових відкладів (підстилкової основи) [14, 16].

$$S_o = (d_{25}/d_{75})^{0,5} \approx 0-1. \quad (1)$$

Дослідженнями встановлено, що оптимальний склад поверхневого шару алювіальних русел річок Українських Карпат відповідає сортованості $S_o=0,7$.

Необхідно зазначити, що поверхневий шар русел гірських річок повною мірою забезпечує їх відносну гідродинамічну стійкість при проходженні паводків з витратами, близькими до руслоформуєчих (bankfull). Разом з тим, при проходженні катастрофічних (руслоформуєчих) паводків, які виходять за межі брівок русла, гранулометричний склад поверхневого шару руслової улоговини русла може різко змінюватися в результаті часткового та тимчасового змиву шару самовимощення і зміни його гранулометричного складу. У зв'язку з цим при проведенні гідроморфологічної оцінки гірських та напівгірських річок рекомендується оперувати показниками середньозваженого значення підстильної основи $d_{\text{сер.зв.}}$ [13]. Цей показник дає більш узагальнюючі результати стосовно оцінки гранулометричного складу наносів та репрезентативну характеристику для розрахунку об'єму стоку наносів. Особливо це стосується моніторингових досліджень гідроморфологічного стану річок після проходження активних паводків на гірських водотоках і, зокрема, на річках басейну Латориці.

При виконанні гідроморфологічної оцінки стану річок на всіх ДО розрахунки середньозваженого діаметра підстилкової основи (товщі руслових відкладів) слід виконувати за наступними емпіричними формулами:

$$d_{\text{сер.зв.}} = 1,25 D_{\text{сер.зв.}} \cdot S_o^{0,9} \quad (2)$$

або

$$d_{\text{ср.зв.}} = 0,87 d_{95} \cdot S_0^{0,9}, \quad (3)$$

де $D_{\text{ср.зв.}}$ – середньозважене значення діаметру наносів поверхневого шару руслової улоговини (шар самовивощення); d_{95} – крупність руслового алювію по кривій гранулометричного складу із забезпеченістю 95%; S_0 – коефіцієнт неоднорідності суміші наносів підстильної основи, який за відсутності фактичних даних про донні відклади орієнтовно можна визначати в діапазоні 0,25 – 0,35 для гірських ділянок (при похилі $(i) > 0,01$) та від 0,35 до 0,45 для передгірських ділянок русел (при $0,01 > i > 0,001$) [14].

Необхідно зазначити, що за формулою (2) $d_{\text{ср.зв.}}$ можна визначити за наявності яскраво вираженого шару самовимощення ($S_0 = 0,7$), а наступна залежність (3) може бути використана для будь-яких умов формування цього шару.

В умовах безструктурного транспорту наносів (місця виходу важко-розмивних корінних порід) визначення $d_{\text{ср.зв.}}$ недоречне і за основу, в даному випадку, приймають d_{95} .

Вищенаведені методичні положення стосовно аналізу складу наносів доцільно вводити складовою частиною в методику гідроморфологічної оцінки річок, що дасть можливість більш аргументовано і об'єктивно оцінити сучасний гідроморфологічний стан річкових водних об'єктів.

Аналіз складу наносів на рівнинних річках. Для визначення характеристик крупності донних відкладів рівнинних річок виконується відбір проб ґрунту в руслі з наступною лабораторною обробкою. Точки відбору проб визначаються на ДО річки в найбільш характерних місцях: на урізах води лівого і правого берегів, на фарватері, а також при необхідності на відмілинах, перекатах тощо. Як правило, в кожній точці відбирається, в середньому, по три проби наносів.

Гранулометричний аналіз складу алювію полягає у розчленуванні зразка ґрунту на фракції і визначення частки кожної фракції у відсотках за вагою. Прийнятий поділ на фракції, який найбільш часто зустрічається у науковій літературі [17].

При виконанні аналізу гранулометричного складу стандартними методами всі зразки висушуються і підлягають механічній обробці (подрібненню грудок).

Поділ проб наносів на фракції здебільшого здійснюється або безпосередньо за геометричними розмірами частинок (зерен) шляхом ситового аналізу, або за гідравлічною крупністю з виконанням фракціометра або піпетки.

На фракціометрі аналізуються наноси розміром $0,05 > d < 1,00$ мм, а найдрібніші наноси $d < 0,05$ мм розділяються методом піпетки.

Ситовий аналіз застосовується як самостійний для частинок від 0,25 до 10 мм або разом з іншими методами в тих випадках, коли діапазон крупності частинок виходить за вказані межі. Спеціально підготовлений зразок проби послідовно просіюється у повітряно-сухому стані крізь набір сит з отворами

10; 5; 1; 0,5; 0,25 мм. Залишок ґрунту на кожному ситі зважується на технічних вагах і становить частку відповідної фракції.

Величина зразка наносів, який підлягає гранулометричному аналізу встановлюється в залежності від вмісту частинок розміром $> 2\text{мм}$: $< 5\%$ - 100г; 5-10% - 200г; 10-20% - 500г; $> 20\%$ - 1000 г. Якщо порода більш дрібнозерниста, но досліджується зразок вагою 0,1-0,5 кг.

Вміст кожної виділеної фракції A визначається як відношення ваги фракції g_{ϕ} до ваги повітряно-сухого зразка, взятого для аналізу g_n і виражений у відсотках

$$A = \frac{g_{\phi}}{g_n} * 100\% . \quad (4)$$

Точність лабораторних методів визначення гранулометричного складу наносів за розглянутою вище методикою для усіх діапазонів розмірів частинок складає $\pm 1-5\%$.

Дані гранулометричного аналізу можуть бути представлені: 1) у вигляді таблиць, що характеризують відсотковий вміст за вагою наносів окремих фракцій; 2) у вигляді гісторгам, циклограм, діаграм; 3) у вигляді диференціальних і інтегральних кривих розподілу.

При використанні даних гранулометричного складу в різноманітних обчисленнях доцільно використовувати середньозважений діаметр наносів даної суміші

$$d_{\text{сеп.}} = \frac{\sum d_i p_i}{100} , \quad (5)$$

де d_i - середній діаметр частинок i -ої фракції; p_i - процентний вміст цієї фракції.

Досить інформативними і показовим є інтегральні криві гранулометричного складу наносів, за допомогою яких знаходять статистичні параметри, що характеризують склад наносів при будь-якій шкалі крупності. Інтегральні криві будуються, здебільшого в логарифмічному або натуральному масштабах. За цими кривими може бути визначений розмір частинок даного складу будь-якої забезпеченості: d_{10} , d_{25} , d_{50} , d_{75} , d_{95} . Індеси при d вказують, яка частка наносів у відсотках менше даного діаметру міститься у досліджуваній суміші відкладів.

За співвідношенням параметрів кривої розподілу, що характеризують крупнозернисту і дрібнозернисту частки наносів, отримують показники ступеню неоднорідності (сортованості):

$$\eta = \frac{d_{60\%}}{d_{10\%}} . \quad (6)$$

Коефіцієнт неоднорідності $\eta > 1$; чим ближче до значення 1, тим однорідніше зразок.

Для рівнинних річок застосовується також коефіцієнт неоднорідності Траска-Крумбейна за формулою (1). Згідно цієї формули чим більше значення S_o , тим однорідніше суміш наносів.

Загальні характеристики сортованості відкладів можна отримати також шляхом аналізу форми кривої розподілу. Породи з найбільшою сортованістю мають на графіку найбільш круту криву, погано відсортовані наноси - полого. Горизонтальний напрямок кривої свідчить про відсутність часток даного розміру. Вертикальний хід кривої відображає значну кількість частинок даної фракції.

Результати досліджень

Гранулометричний аналіз руслових відкладів на ділянках обстеження річок. З формами прояву руслових процесів тісно пов'язаний гранулометричний склад руслових наносів. Поверхневий шар дна русла визначає шорсткість змочуваної поверхні русла, тобто контакту між водним потоком і сформованим ним раніше водопропускним коридором.

Відомо, що середньозважена крупність руслового алювію ($d_{\text{сер.зв.}}$) є одним із важливих незалежних параметрів, які характеризують відносну стійкість (морфодинаміку) русла будь-якого водотоку та, відповідно, інтенсивність розвитку руслових процесів (руслових переформувань) в “екстремальних” умовах функціонування гідродинамічної системи “потік-русло” (ГДС п-р).

Для рівнинних річок вона може характеризувати стадії розвитку русел, зміну їх типу, ділянки ерозії та акумуляції [18].

Для русел гірських річок також однозначною та найбільш інформативною характеристикою (визначальним незалежним параметром) є середньозважена крупність наносів поверхневого шару ложа русла – шару самовимощення ($D_{\text{сер.зв.}}$). Цей шар у природному стані формується із руслового алювію та пролювію й достатньо тісно залежить від $d_{\text{сер.зв}}$ через значення сортованості (неоднорідності) руслових відкладів (підстилкової основи) $S_o = (d_{25}/d_{75})^{0,5}$ [14]. Детально методика відбору та аналізу гранулометричного складу руслових відкладів наведена в роботі [7].

При виконанні (вересень 2008 та вересень 2010 роках) комплексу натурних гідроморфологічних досліджень були відібрані проби поверхневого шару русел річок басейну Латориці та її приток на тринадцяти створах досліджуваної (моніторингової) мережі. Поверхневий шар наносів відбирався на боковиках та осередках, де відсутній відбір руслового алювію (який відбувається досить часто стихійним способом).

Аналіз даних засвідчив, що фактичні значення коефіцієнта сортованості S_o змінюються для гірських ділянок у досить вузькому діапазоні від 0,60 до 0,88, що вказує на наявність яскраво вираженого шару самовимощення дна досліджуваних ділянок річок. Встановлено, що оптимальний склад поверхневого шару крупноалювіальних русел (на прикладі річок Українських Карпат) відповідає $S_o = 0,7$ [16]. Це свідчить про те, що рівень самоорганізації гідродинамічної системи „потік-русло” для цих водотоків

повністю відповідає набутому типу русла в умовах проходження руслоформуючих паводків. Іншими словами, стійкість русла відповідає стану динамічної рівноваги ГДСп-р на фоні перебігу зворотних переформувань активного шару дна русла водотоку.

У свою чергу для ряду ділянок рівнинної частини річок коефіцієнт сортованості S_o змінюється у межах від 0,33 до 0,50, що свідчить про практичну або фактичну відсутність прояву явища самовимощення дна русла.

Слід зауважити, що при проходженні руслоруйнуючих паводків [19], які спостерігаються при затопленій заплаві, гранулометричний склад поверхневого шару дна русла може тимчасово змінюватися за рахунок локального зриву шару самовимощення. При цьому спостерігаються переформування товщі руслових відкладів, які домірні висоті мезоформ (боковиків та островів $h_m \approx 0,5$ м). У даному випадку необхідно оперувати значеннями середньозваженого показника підстилкової основи $d_{\text{сер.зв}}$ [7, 14], який дає більш узагальнюючі результати стосовно оцінки крупності наносів та репрезентативну величину для розрахунків стоку наносів за періоди руслових переформувань.

Розрахунки середньозваженого діаметра підстилкової основи (товщі руслових відкладів) виконані за формулами (2) і (3).

Для досліджуваних ділянок русел (тринадцять ДО, де відбирались проби наносів) за даними аналізу проб наносів отримані осереднені значення $d_{\text{сер.зв}}$.

Для інших сімнадцяти ділянок обстежень річок басейну Латориці параметри $D_{\text{сер.зв}}$ та $d_{\text{сер.зв}}$ обраховані за формулою (3) на основі використання даних замірів по трьох координатах самих крупних частинок наносів поверхневого шару. На ряді ділянок обстежень русел у верхів'ях річок не були зараховані в число контрольних замірів поодинокі валуни, оскільки вони є нехарактерними стосовно умов перебігу локальних руслових переформувань.

При оцінці гідроморфологічної стійкості даних ділянок річок необхідно мати на увазі наступне. По-перше при врахуванні в пробах наносів поодиноких валунів відповідно буде різко збільшуватись значення $D_{\text{сер.зв}}$ та $d_{\text{сер.зв}}$, що підвищить відносну стійкість русла у порівнянні з локальним рівнем стійкості руслової улоговини (місцевою стійкістю русла при проходженні руслоформуючої витрати). По-друге, наявність цих поодиноких валунів на ділянці русла, які за крупністю в 2-3 рази більші від характерної крупності частинок наносів у діапазоні значень $d_{(\text{макс})} - d_{95\%}$, при проходженні руслоформуючих витрат буде спостерігатися значно підвищений рівень турбулізації потоку та активізація місцевих розмивів біля аномальних руслових виступів шорсткості ложа русла (локального розмиву ложа русла біля валунів). Це навпаки буде значно зменшувати і ступінь стійкості ділянки русла річки [16]. На основі даних комплексу розрахунків, в табл. 1 наведені показники основних характеристик руслових відкладів для всіх ділянках обстеження досліджуваних річок.

Частинки наносів на рівнинних ділянках обстеження (ДО6, ДО7, ДО26, ДО29), які складені з глинисто-мулисто-піщаних та флішових порід, за формою переважно пластинчасті. Необхідно відмітити, що питома щільність наносів досліджуваних річок змінюється в досить широкому діапазоні $\rho_n = 1500\text{--}3000 \text{ кг/м}^3$ [20]. Величина більшої щільності притаманна крупному алювію (валуни).

Таблиця 1. Показники основних характеристик гранулометричного складу наносів на ДО річок басейну Латориці

№ ДО	Річка-пункт	d ₉₅ , мм	D _{сер.зв.} , мм	d _{сер.зв.} , мм	S ₀ пов. шару	S ₀ під. основи	d _{макс.} , мм
1	Латориця – с. Латірка	200	127	50	0,66	0,40	250
2	Латориця – с. Підполозз	400	280	120	-	0,29	430
3	Латориця – с. Ганьковиця	190	138	50	0,71	0,36	200
4	Латориця – сан. Карпати	230	165	70	-	0,42	300
5	Латориця – с. Нове-Давидково	70	50	20	-	0,45	100
6	Латориця – с. Малі Геївці	0,22	-	0,045*	-	0,15	0,27
7	Латориця – с. Соломоново	0,20	-	0,04*	-	0,13	0,25
8	Славка – с. Верхні Ворота	200	120	48	0,76	0,40	210
9	Жденівка – с. Розтока	300	210	85	-	0,4	500
10	Жденівка – с. Жденієво	350	250	100	-	0,40	400
11	Віча – смт. Воловець	100	70	25	-	0,35	120
12	Віча – нижче впадіння р. Ждимир	180	125	40	0,71	0,35	200
13	Ждимир – форелеве господарство	300	210	70	-	0,33	360
14	Свалявка – нижче с. Стройне	120	71	30	0,77	0,45	130
15	Свалявка – с. Стройне	80	56	25	0,74	0,35	85
16	Дусинка – с. Дусино	155	78	34	0,85	0,35	160
17	Пініє – с. Солочин	125	90	33	0,88	0,27	130
18	Велика Пініє – с. Плоске	160	98	36	0,66	0,30	190
19	Мала Пініє – перевал Уклін	80	56	27	0,70	0,38	85
20	Матекова – с. Чинадієве	95	67	22	0,70	0,25	105
21	Дубровиця – с. Бистриця	145	77	33	0,50	0,35	160
22	Візниця – с. Лісарня	66	50	23	0,65	0,10	70
23	Візниця – с. Верхня Візниця	380	223	80	0,55	0,24	400
24	Обава – с. Обава	90	63	24	0,72	0,30	100
25	Стара – с. Гайдош	150	94	35	0,71	0,27	160
26	Стара – с. Чабанів	0,26	-	0,04	-	0,15	0,27
27	Полуй – с. Бобовище	150	76	28	0,41	0,29	160
28	Веля – с. Анталовці	100	56	26	0,33	0,32	110
29	Солотвинський – с. Солотвино	0,24	-	0,035	-	0,16	0,25
30	Цигани – с. Циганівці	105	65	25	0,70	0,28	120

* В Чопсько-Мукачівській западині відклади неогенової системи перекриваються четвертинними відкладами, які безпосередньо в русло-заплавному комплексі Латориці характеризуються глинистими й суглинистим алювієм (дані механічного аналізу руслових ґрунтів згідно наступних фракцій: 0,25-0,05; 0,05-0,01; 0,005-0,001; > 0,001) [21].

Для передгірських та рівнинних річок (річки Дубровиця, Візниця, Веля, Полуй) величина коефіцієнта сортованості S_0 коливається в межах 0,33 - 0,55, що засвідчує практичну відсутність шару самовимощення в їх руслах. Разом з тим дані кумулятивних кривих цих водотоків засвідчують значну складову гравійно-галькових наносів в русловому алювії.

Верхів'я Латориці та майже всіх приток мають крупнозернисті фракції у вигляді суміші гравію гальки і валунів, які у значній мірі представлені в гранулометричному складі руслових відкладів.

Гранулометричний склад руслового алювію, при наявності шару самовимощення дна річища, визначає нелінійний характер розвитку руслових процесів і відповідно стійкість ГДС_{п-р}. Нелінійність впливу шорсткості русла виражається логарифмічною функцією $\lg(h_{рф}/D_{сер.зв})$. Якщо руслоформуєча глибина потоку $h_{рф}$ по довжині гірської річки змінюється у три рази, то середньозважений діаметр самовимощення у шість разів. При цьому $\lg(h_{рф}/D_{сер.зв})$ змінюється від 0,5 до 2, тобто у три рази. А це говорить про властивість вирівнювання транспортуєчої здатності водотоку. Цю особливість необхідно враховувати при розробці управлінських рішень.

Оцінка транспорту наносів. Оптимальний рівень функціонування ГДС_{п-р} відповідає проходженню руслоформуєчих паводків при стані динамічної рівноваги цієї системи, а витрата води і транспортувальних наносів – максимальній пропускній здатності водотоку на конкретній ділянці (створі) річки. Для детальних розрахунків стоку наносів необхідно мати банк даних (в тому числі інформацію про режим транспорту наносів) про морфометричні характеристики русла, гідравлічні показники потоку та гранулометричний склад поверхневого й підстильного шарів донних наносів. Таку інформацію можна отримати на базі багаторічних спостережень на семи діючих гідрологічних постах, які розташовані на річках у басейні Латориці.

Слід зазначити, що завдяки проявам властивостей самоорганізації ГДС_{п-р} транспортувальна здатність потоку вирівнюється за довжиною річки. Там, де спостерігається дефіцит транспортувальних наносів відбувається місцевий розмив дна і берегів, а де має місце їх надлишок (надходження наносів із бокових приток)

будуть превалювати акумулятивні процеси (формування осередків, рукавів тощо). Транспортувальна здатність водотоку одночасно охоплює витрати завислих і донних рухомих наносів.

Попередніми дослідженнями підтверджено [9], що при оцінці транспортувальної здатності як рівнинних, так і гірських річок можна скористатися рівнянням Ю.Г. Іваненка [23]

$$G[(\rho_n - \rho)\omega C^2] = \rho_n \zeta \rho V^4 B_{рф} [1 - (V_{пвн}/V)^{2+2a}], \quad (7)$$

де G – витрата транспортувальних наносів за масою (завислих і донних рухомих разом), т/с; ρ_n, ρ – відповідно питома щільність частинок наносів та питома густина води; $\zeta = 0,057$ – коефіцієнт, який визначає частку витрати енергії потоку на транспорт наносів ($\approx 6\%$); при цьому частина енергії

витрачається на підтримку відповідного рівня турбулентності потоку; V – середня швидкість потоку, при якій ведеться оцінка витрат наносів (у нашому випадку для стану динамічної рівноваги ГДС_{п-р} – $V = V_{д.р.}$, що відповідає проходженню руслоформуєчих витрат води), м/с; $V_{пвн}$ – середня швидкість потоку, яка відповідає початку зриву частинок наносів поверхневого шару ложа русла $d < D_{сер.зв.}$ при $h_{рф.}$; $B_{рф.}$ – ширина руслового потоку при $Q_{рф.}$; a – коефіцієнт режиму транспорту наносів, який дорівнює 0,5 при квадратичному режимі обтікання частинок наносів (відповідає автотельній області опору русла, яка має місце при крупності руслового алювію $d \leq 5$ мм); ω – середнє значення гідравлічної крупності транспортувальних наносів, м/с; C – коефіцієнт Шезі-Манінга, який для гірських річок правомірно можна визначити через відносну гладкість русла $h_{рф.}/D_{сер.зв.}$. Нижче у якості прикладу наведено хід розрахунків за формулою (7)

Розрахунок транспортувальної здатності потоку р.Латориця для г/п Підполоззя.

Вихідні дані для розрахунків: $Q_{рф.} = 36,4 \text{ м}^3/\text{с}$; $h_{рф.} = 0,7 \text{ м}$; $B_{рф.} = 20,5$; $V_{д.р.} = 2,53 \text{ м/с}$; $d_{сер.зв.} = 120 \text{ мм}$; $D_{сер.зв.} = 280 \text{ мм}$; $S_0 = 0,29$

Згідно формули (7) обчислюються за емпіричними формулами ряд показників, які рекомендуються для гірських річок, а саме [19-20,23-26].

Середня швидкість початку безупинного відриву частинок наносів $V_{пвн}$ рекомендується визначати за такою формулою [23]

$$V_{п.в.н} = V_{п.в.о} (0,4 S_0 + 0,6), \quad (8)$$

де $V_{п.в.н}$ – середня швидкість потоку щодо початку безперервного зриву частинок наносів від дна русла розрахункового діаметру у суміші однорідного складу поверхневого шару руслової улоговини при його початковому помірному переформуванні [25]; $S_0 = (d_{25}/d_{75})^{0,5}$ коефіцієнт неоднорідності суміші наносів поверхневого шару дна русла при стані початкового помірного руслоформування.

У свою чергу значення $V_{п.в.о}$ для розрахункового діаметру однорідних наносів $d_{сер} = 200 \text{ мм}$ ($d_{сер}$ – середній діаметр транспортувальних донних рухомих наносів між $d_{сер.зв.} = 120 \text{ мм}$ і $D_{сер.зв.} = 280 \text{ мм}$) визначається за формулою [26]

$$V_{п.в.о} = 2 \frac{m-1,5}{m+1} \left(\frac{h}{d_{сер}} \right)^{1/m} \sqrt{g \frac{\rho_n - \rho}{\rho} d_{сер}}, \quad (9)$$

$$\text{де } m = 2,24 \lg \frac{h}{d_{сер}} - 0,21 \left(\lg \frac{h}{d_{сер}} \right)^2 + 2,2.$$

При значеннях показників $\rho_n = 2650 \text{ кг/м}^3$; $m = 3,4$; $V_{п.в.о.} = 2,22 \text{ м/с}$; $S_0 \approx 0,4$, отримаємо $V_{п.в.н.} = 1,69 \text{ м/с}$.

➤ Середню гідравлічну крупність транспортувальних наносів рекомендується обчислювати за формулою [20].

$$\bar{\omega} = (2,4\theta - 0,7) \sqrt{g \frac{\rho_n - \rho}{\rho} d_{cep}}, \quad (10)$$

де $\theta = d_{cep}^2 / l \cdot b$ – коефіцієнт форми частинок наносів (l і b – відповідно довжина і ширина частинок наносів);

При $\theta = 0,62$ для $d_{cep} = 200$ мм; $l = 200 \times 1,5 = 300$ мм; $b = 200 \times 1,1 = 220$ мм (де 1,5 і 1,1 – кореляційні співвідношення) отримано величину $\omega = 1,42$ м/с);

➤ Величину коефіцієнта Шезі для русел гірських річок можна визначити за формулою [2]

$$C = 23 \left(h_{pф} / D_{cep.зв} \right)^{1/6}. \quad (11)$$

При $h_{pф} = 0,7$ м і $D_{cep.зв} = 0,28$ м значення $C = 26,8$.

За підрахованими вище параметрами витрата транспортувальних наносів для р. Латориця за даними г/п Підполоззя при рівні води у межах брівок за формулою (7) становить $G = 0,023$ т/с. У цьому контексті слід зауважити, що при даній витраті наносів в руслі середня швидкість потоку $V_{дон}$ не перевищує величину середньої допустимої нерозмивної швидкості $V_{невн}$, знаходиться у співвідношенні: $V_{д.н.} / V_{н.в.н.} = 1,2$ ($V_{д.н.} = 1,2$ $V_{н.в.н.} = 1,2 * 2,25 = 2,7$ м/с). При цьому середня швидкість потоку при динамічній рівновазі ГДС_{п-р} відповідає співвідношенню $V_{д.р.} / V_{н.в.н.} = 1,3$ ($V_{д.р.} = 1,3 * 2,25 = 2,93$ м/с). При швидкості потоку $V_{д.р.}$ витрата транспортувальних наносів буде відповідно зростати (майже у три рази).

Встановити окремо витрати завислих й донних рухомих наносів можна на основі даних натурних спостережень. Але таку інформацію більш-менш достовірно можна отриманих для завислих наносів.

Якщо для першої складової (витрата завислих наносів) розрахунки можна виконати на основі даних мутності потоку, то для другої (витрата донних наносів) – натурні дані практично відсутні.

На даний період для визначення витрати донних наносів рекомендується використати ряд методик та розрахункових емпіричних формул [16, 20, 24, 27].

За результатами досліджень Н.С. Знаменської серед емпіричних залежностей найбільш обґрунтованою для гірських річок є формула В.М. Гончарова [27]

$$G_{д.р.} = 3 (1 + \varphi) B_{бр} V_{н.н} d_p \left(\frac{V_{д.р.}^3}{V_{н.н.}^3} - 1 \right) \left(\frac{V_{д.р.}}{V_{н.н.}} - 1 \right), \text{ кг/с}, \quad (12)$$

де φ - коефіцієнт, який враховує поведінку наносів у придонній області потоку для крупноалювіальних русел водотоків $\varphi \approx 1$; d_p - розрахунковий діаметр суміші транспортувальних наносів.

За формулою (12) з урахуванням умов суцільного безструктурного транспорту наносів при проходженні витрати $Q = 36,4 \text{ м}^3/\text{с}$ маємо витрату донних рухомих

наносів на г/п Підполоззя рівною $G_{d,p} = 2,88 \text{ кг/с}$ або $G_{d,p} = 0,003 \text{ т/с}$.

Таким чином, якщо витрату донних рухомих наносів $G_{d,p} = 0,003 \text{ т/с}$. відняти від загальної витрати транспортувальних наносів $G = 0,023 \text{ т/с}$, то відповідно отримуємо витрату завислих наносів $G_R = 0,02 \text{ т/с}$.

За вище наведеним алгоритмом були обраховані витрати наносів за даними всіх гідрологічних створів, які функціонують у басейні Латориці. Результати цих розрахунків наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Величини витрат наносів для гідрологічних постів на річках басейну Латориці

Розрахункова формула	Витрата завислих наносів, т/с	Витрата донних наносів, т/с	Загальна витрата транспортувальних наносів т/с
Для г/п Латориця - Підполоззя			
Ю.Г.Іваненка (3.7)	-	-	0,023
В.М.Гончарова (3.12)	-	0,003	-
Результуючі дані	0,02	0,003	0,023
Для г/п Латориця - Свалява			
Ю.Г.Іваненка (3.7)	-	-	0,042
В.М.Гончарова (3.12)	-	0,0064	-
Результуючі дані	0,0356	0,0064	0,042
Для г/п Латориця – Мукачеве			
Ю.Г.Іваненка (3.7)	-	-	0,063
В.М.Гончарова (3.12)	-	0,02	-
Результуючі дані	0,043	0,02	0,063
Для г/п Латориця - Чоп			
Ю.Г. Іваненка (3.7)	-	-	0,14
Л. ван Рейна (3.13)	-	0,021	-
Результуючі дані	0,119	0,021	0,14
Для г/п Віча - Неліпино			
Ю.Г.Іваненка (3.7)	-	-	0,02
В.М.Гончарова (3.12)	-	0,003	-
Результуючі дані	0,017	0,003	0,02
Для г/п Пініє - Поляна			
Ю.Г.Іваненка (3.7)	-	-	0,025
В.М.Гончарова (3.12)	-	0,005	-
Результуючі дані	0,02	0,005	0,025
Для г/п Стара - Зняцьово			
Ю.Г. Іваненка (3.7)	-	-	0,021
Л. ван Рейна (3.13)	-	0,0029	0,021
Результуючі дані	0,0181	0,0029	0,021

Конкретизуючи дані, наведені в табл. 2, необхідно відмітити особливості виконання розрахунків щодо визначення витрат транспортувальних наносів р.Латориця для гідрологічного поста Чоп. Оскільки у даному створі русло складене з мілких супіщаних ґрунтів подекуди вкритих по дну гравієм, то

використання для розрахунків витрати донних рухомих наносів формули В.М. Гончарова є не зовсім коректними. Для цих обчислень можна використати методику Л. ван Рейна [16]. В ній є ряд модифікацій залежностей, які дають можливість виконати пофракційний розрахунок витрат наносів. При наявності вимощення дна русла гравієм для оцінки витрати донних рухомих наносів можна застосувати таку залежність:

$$G_{д.р.} = B_{\sigma} V_{рф} \left(\frac{V_{рф} - V_{н.н}}{\sqrt{\frac{\rho_n - \rho}{\rho} g}} \right)^{2,4} \left(\frac{0,005}{h_{рф}^{0,62}} + \frac{0,012}{d_p^{0,2} d_{ш}^{0,6}} \right), \quad (13)$$

де $D = d_p \left(\frac{g(\rho_n - \rho / \rho)}{V^2} \right)^{0,333}$, - безрозмірний діаметр частинок наносів (V - кінематичний коефіцієнт в'язкості води).

Для гідрологічних постів Чоп і Зняцьово витрати донних рухомих наносів були обраховані за формулою Л. ван Рейна.

Аналіз результатів наведених в табл. 3 засвідчує, що за даними діючих гідрологічних постів в загальному транспорті наносів превалює їх зависла складова, на яку припадає в середньому 80% загального стоку наносів.

Витрата транспортувальних наносів в руслі р. Латориця зростає від верхньої до середньої її частини річки (від низькогір'я до низовини).

У загальному плані витрати і об'єми стоку транспортувальних наносів необхідні для прогнозування руслових деформацій. На ділянках річок зі значними похилами майже всі наноси транспортуються на нижні ділянки руслової мережі.

Оцінюючи русловий режим річок Закарпаття за обставинами проходження паводку у листопаді 1998 року варто відзначити незначну долю селевої компоненти в загальному об'ємі стоку наносів р.Латориця. Більшість аварійних ситуацій спостерігалися на річках басейнів Боржави, Ріки, Тересви, Щопурки, Чорної Тиси, Тиси. Нижні ділянки цих річок були більш небезпечні за паводковим режимом, ніж на Латориці.

Витрата завислих наносів на Латориці в гірській частині різко зростає. При перетині Вулканічного хребта майже залишається без змін, а на рівнині знову збільшується. Від с.Підполоззя до м. Чоп витрата мілко зернистого алювію зростає у шість разів.

Що стосується витрат донних рухомих наносів, то від с. Підполоззя до м. Чинадієве вони зростають у шість разів. Загальна витрата транспортувальних наносів на цій ділянці річки збільшується у три рази. На рівнинній ділянці витрата донних рухомих наносів залишається майже незмінною. Зростання загальної витрати транспортувальних наносів відбувається за рахунок другої складової - завислих наносів.

На притоках Латориці, судячи за даними витрат трансформувальних наносів на трьох гідрологічних постах, превалюючою складовою є витрата

завислих наносів. Якщо ці дані порівнювати з витратами наносів у верхів'ї Латориці, то можна стверджувати про їх певну тотожність.

Висновки.

1. Фактор наносів в річковому руслі виступає інтегруючим компонентом гідродинамічної системи «потік - русло». Через цей компонент проявляється дія флювіальної складової басейну річкової мережі у процесах руслоформування.

2. Результати досліджень гранулометричного складу руслового алювію за даними відбору проб поверхневого шару наносів на ділянках обстежень дозволити установити наступне: для передгірська - рівнинних ділянок річок величина коефіцієнта сортованості S_0 коливається у межах від 0,33 до 0,55, що засвідчує практичну відсутність шару самовимощення в їх руслах, але разом з тим дані кумулятивних кривих складу наносів цих водотоків засвідчують значну складову гравійно-галькових наносів в товщі і на поверхні дна русла; верхів'я Латориці та майже всіх приток мають у значній мірі частку крупнозернистої фракції у вигляді суміші гравію, гальки і валунів, а величина S_0 змінюється у межах від 0,65 до 0,75.

3. За даними крупності розрахункового середньозваженого діаметра наносів на ділянках спостережень була проведена оцінка витрати наносів руслоформуючого потоку, яка відповідає його транспортуючій здатності. Достовірність розрахунку цієї витрати тестувалась за допомогою окремо визначених величин витрати завислих і донних наносів. Витрати завислих наносів доцільно визначати за даними багаторічних спостережень на гідрологічних постах. За відсутності таких даних це можливо виконати орієнтовно лише за емпіричними формами. Витрата донних наносів через відсутність достовірної інформації на гідрологічних постах також осереднено може бути визначена за рядом існуючих і достатньо апробованих методів розрахунку. Найбільш достовірною і легкодоступною для практичного використання є методика В.Н. Гончарова. Розрахунки витрати наносів на ділянках річок з гідрологічними постами дозволили підтвердити, що з існуючих методик найбільш застосованими є методики/емпіричні формули Ю.Г. Іваненка і В.Н. Гончарова.

4. Витрата завислих наносів на Латориці в гірській частині різко зростає. При перетині Вулканічного хребта майже залишається без змін, а на рівнині знову збільшується. Від с. Підполоззя до м. Чоп витрата дрібнозернистого алювію зростає у шість разів. Що стосується витрати донних наносів, то від с. Підполоззя до м. Чинадієве вони зростають у шість разів. Загальна витрата транспортувальних наносів тут збільшується у три рази.

Список літератури

1. *Шамов Г.И.* Речные наносы. Режим, расчёты и методы измерений / Г.И. Шамов. – Л. : Гидрометиздат, 1959, – 378 с. 2. *Караушев А.В.* Теория и методы расчёта речных наносов / А.В. Караушев. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 272 с. 3. *Знаменская Н.С.* Единые закономерности формирования речных русел / Н.С. Знаменская. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – 240 с. 4. *Романовский В.В.* Экспериментальное исследование гидравлической крупности наносов / В.В. Романовский // Труды ГТИ. – 1972. – Вып. 191.

– С. 111–136. **5.** *Знаменская Н.С.* Грядовое движение наносов / Н.С. Знаменская. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 188 с. **6.** *Онищук В.В.* Результаты досліджень функціональних зв'язків між основними гідравлічними 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 : сб. науч. тр. – К. : УкрНИИГиМ, 1982. – С. 101-113. **8.** Руслові процеси річки Лімниця / Ободовський О.Г., Онищук В.В., Гребінь В.В. та ін. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 256 с. **9.** *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. **10.** *Ободовський О.Г.* Гідроморфологічний аналіз руслових процесів р.Тересва / Ободовський О.Г., Онищук В.В., Цайтц Є.С. та ін. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2001. – Т.2. – С. 343–351. **11.** *Ободовський О.Г.* Динаміка руслових деформацій річок Закарпаття // Екологічні та соціально-економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у Карпатському регіоні (повені, селі, зсуви) / Ободовський О.Г., Цайтц Є.С., Гребінь В.В. та ін. – Рахів, 1999. – С. 252-256. **12.** *Ободовський О. Г.* Гідроморфологічна оцінка якості річок басейну Верхньої Тиси / О.Г.Ободовський, О.Є.Ярошевич. – К. : Інтертехнодрук, 2006. – 70 с. **13.** *Рыбкин С.И.* К вопросу о закономерностях движения воды в реках и каналах / С.И. Рыбкин // Инженерный сб. – 1952. – Т. XIII. – С. 27-35. **14.** *Бухин М.Н.* Экспериментальные исследования самоотмостки русел предгорных участков рек / М.Н. Бухин, В.В. Онищук // Мелиорация и водное хозяйство. – 1976. – Вып. 38. – С.44-50. **15.** Комплексна програма захисту від шкідливої дії вод сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь в Україні у 2001-2005 роках та прогноз до 2010 року (схвалена постановою КМУ від 26 липня 2000 року №1173). – К. : ДВГУУкраїни, 2000. – 36 с. **16.** Впровадження методики гідроморфологічної оцінки якості річок басейну Латориці для прийняття оптимальних водогосподарських управлінських рішень: Зак. звіт. КНУ ім. Т. Шевченка. – К, 2008. – 163 с. – № ДР. 0108U007524. **17.** Державна регіональна програма комплексного протипаводкового захисту в басейні р.Тиси у Закарпатській області на 2002-2006 роки та прогноз до 2015 року (схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 24 жовтня 2001 №1388 // Голос України. – 2001. **18.** *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел / Р. С. Чалов. – М. : Изд-во ЛКИ, 2008. – 608 с. **19.** *Базилевич В.А.* Оценка шероховатости ложа естественных русел, сложенных из неоднородных несвязных грунтов / В.А. Базилевич, М.Н. Бухин, В.В. Онищук // Мелиорация и водное хозяйство. – 1984. – Вып. 52. – С.53–66. **20.** Рекомендации по прогнозу деформаций речных русел на участках размещения карьеров и в нижних бьефах гидроузлов. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 127 с. **21.** *Маринич О.М.* Фізична географія України : підручник /О.М. Маринич, П.Г. Шищенко. — К. : Знання, 2003. – 479 с. **22.** *Иваненко Ю.Г.* Обобщенное уравнение транспортирования потоком руслоформирующих наносов / Ю.Г.Иваненко // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – №12. – С.22–23. **23.** *Бухин М.Н.* Исследование начальных скоростей влечения частиц неоднородных несвязных грунтов / М.Н. Бухин, В.В. Онищук // Мелиорация и водное хозяйство. – 1977. – Вып.41. – С. 41–48. **24.** Методические указания по расчету деформаций русел и выбору защитно-регуляционных мероприятий на реках Украинских Карпат. – К. : Наук. думка, 1989. – 176 с. **25.** Методические указания по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений. – М. : Колос, 1977. – 62 с. **26.** *Талмаза В.Д.* Гидроморфометрические характеристики горных рек / В.Д. Талмаза, А.Н. Крошкин. – Фрунзе : Киргизстан, 1968. – 204 с. **27.** *Гончаров В.Н.* Динамика русловых потоков / В.Н. Гончаров – Л. : Гидрометеиздат, 1962. – 373 с. 28.

Роль транспорту наносів при оцінці гідроморфологічного стану гірських річок (на прикладі річок басейну Латориці)

Ободовський О.Г., Онищук В.В., Розлач З.В., Коноваленко О.С.

На основі матеріалів детальних натурних обстежень та моніторингових досліджень репрезентативних ділянок річок басейну Латориці з урахуванням основних положень Водної Рамкової Директиви ЄС та відповідного комплексу розрахунків надається кількісна характеристика витрати транспортуючих наносів.

Ключові слова: транспорт наносів, гранулометричний склад руслоформуючих наносів, витрата наносів, гідроморфологічний стан руслозаплавного комплексу.

Роль транспорта наносов в оценке гидроморфологического состояния горных рек (на примере рек бассейна Латорицы)

Ободовский А.Г., Онищук В.В., Розлач З.В., Коноваленко О.С.

На основе материалов детальных натурных наблюдений и мониторинговых исследований репрезентативных участков рек бассейна Латорицы с учётом основных положений Водной Рамочной Директивы ЕС, а также соответствующего комплекса расчётов приведена количественная характеристика расхода транспортируемых наносов.

Ключевые слова: транспорт наносов, гранулометрический состав руслоформирующих наносов, расход наносов, гидроморфологическое состояние руслопойменного комплекса.

Sediment transportation part in hydromorphological state assessment of mountain rivers (Latorica Basin Rivers as an example)

Obodovskiy O.G., Onyschuk V.V., Rozlach Z.V., Konovalenko O.S.

Based on detailed field surveys and monitoring researches of the representative reaches of Latorica Basin Rivers and necessary complex of estimation quantitative characteristics of transportable sediment discharge are given. All assessment was done in accordance with the main statements of Water Framework Directive EU.

Keywords: sediment transportation, granulometric composition of river channel forming sediment, sediment discharge, hydromorphological state of river channel-floodplain complex.

Надійшла до редколегії 25.03.11

УДК [(556.114: 546.62) 550.461] 001.891

Линник П.М., Жежеря В.А.

Институт гідробіології НАН України, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ МІГРАЦІЇ АЛЮМІНІЮ В СИСТЕМІ “ДОННІ ВІДКЛАДИ – ВОДА” ЗАЛЕЖНО ВІД ВЕЛИЧИНИ рН ВОДИ І ВМІСТУ В НІЙ ФУЛЬВОКИСЛОТ (ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ)

Ключові слова: алюміній; донні відклади; форми міграції; рН; фульвокислоти

Постановка та актуальність проблеми. До найпоширеніших хімічних елементів земної кори належать кисень, кремній і алюміній, кларки яких становлять відповідно 47,0, 29,5 і 8,05%. Особливість алюмінію полягає в тому, що за вмістом у мінералах він відноситься до макроелементів, а у живих організмах і воді – до мікроелементів.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.2(23)