

УДК 532.5:519.63

Стефанишин Д.В., д.т.н., проф., Корбутяк В.М., к.т.н., ст. викл.,
Щодро О.Є., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне).

АНАЛІЗ ХОДУ РУСЛОВОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕДГІРСЬКИХ ДІЛЯНОК КАРПАТСЬКИХ РІЧОК З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК

В роботі проаналізовано гідравлічні умови формування мезоформ та розвитку розмивів на ділянках меандруючих русел. Розглядається вплив донних гряд русла на кінематичну структуру потоку і його деформації.

Hydraulic conditions for river-bed mezoforms appearance were examined, and prognosis for the further dynamics of the river-bed process was given.

Відомо, що паводки і водна ерозія суттєво впливають на господарську діяльність у гірських та передгірських районах Українських Карпат, оскільки орні землі, населені пункти, промислові підприємства та різні комунікаційні споруди переважно сконцентровані в долинах річок. Збитки, яких завдають паводки західним областям, нараховуються мільйонами гривень. Тому серед багатьох технічних аспектів використання водних та земельних ресурсів Карпат вирішальне значення має всебічне наукове обґрунтування рішень, які пов'язані з розробкою надійних протипаводкових заходів.

Оцінка ролі визначальних факторів руслових деформацій можлива лише на основі диференційованого підходу у дослідженні всього комплексу природних та антропогенних факторів динаміки руслоформування.

Для виконання прогнозу розвитку руслових деформацій ефективним є поєднання гідроморфологічного аналізу та розрахунків локальних розмивів, що протікають на фоні розвитку характерного для ділянки руслового процесу.

Метою роботи є встановлення закономірностей деформації русел передгірських ділянок річок з метою виявлення небезпечних ділянок, апробація алгоритму для визначення руслових деформацій меандруючих річок.

Об'єктом досліджень є процес деформації річкового русла, пов'язаний з гідравлічною структурою потоку в ньому.

Предметом досліджень є вплив донних гряд та геометрії русла на кінематичну структуру потоку і його деформації.

При оцінці руслових переформувань нами використано типізацію річок за [1]. Натурні обстеження русел річок, а також аналіз картографічних матеріалів дозволили встановити протяжність ділянок різних типів русел Найпоши-

ренішим типом руслового процесу на річках Українських Карпат є стиснуті русла з обривистими берегами (20,8%), далі незавершене меандрування (17,9%), стиснуті русла з нечітко вираженими берегами (13,2%), обмежене меандрування (12,6%), осередковий тип (12,2%), каналізоване русло (10,2%), вільне меандрування (8,5%), стиснуті русла з необмеженим надходженням наносів (4,6%).

На річках Карпат чергування ділянок русел з різними типами руслового процесу в значній мірі визначається послідовною зміною по довжині річки характеру транспортованих нею наносів. При цьому характерне розташування типів руслового процесу в гірській зоні Карпат наступне:

- стиснуті русла;
- русла обмеженого меандрування;
- руслова багаторукавність (осередковий тип).

Після виходу річок з гір спостерігається тенденція до послідовного зменшення витрати та крупності транспортованих наносів. Тут спостерігаються наступні типи русел:

- руслова багаторукавність (осередковий тип);
- незавершене меандрування;
- вільне меандрування;
- каналізовані русла (різновид стиснутих русел з обмеженим надходженням наносів).

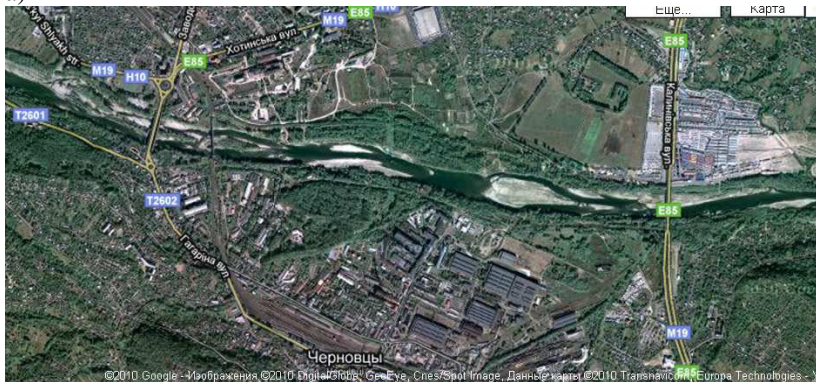
На багатьох Карпатських річках при виході з гір осередковий тип русел відсутній, їх змінює незавершене меандрування.

Меандруючі русла широко представлені в передгірській зоні Карпат і починаються безпосередньо в районі виходу цих річок з гір або нижче ділянок русла з осередковим типом (рис. 1).

Характерною особливістю незавершеного меандрування є наявність крупних, чітко окреслених звивин на різній стадії їх розвитку, які у більшості випадків мають відносно пологої форму з чітко сформованим пляжем, протяжність яких приблизно рівна кроку звивин. Цей тип русла формується на відносно широкій, слабко залісненій заплаві, яка на значну (до 8-10 м) глибину складена із річкових гравійно-галькових відкладів. На незавершеність розвитку звивин, поряд із вказаними І.В. Поповим [2] важкорозвивними схилами долини і раннім утворенням спрямляючого потоку, значною мірою впливає переважання прямолінійності течії при проходженні руслоформуючих паводків, які легко затоплюють, як правило, невисоку, плоску і слабо заліснену заплаву, яка притаманна цьому типу руслового процесу. За цих умов мілини руслових звивин розвиваються і переміщуються вниз по течії за тією ж схемою, яка властива боковиковому типу, що відповідно повинно обмежувати зосереджений розмив увігнутих берегів звивин. З одного боку, цей розмив переважно має місце лише за менш інтенсивних паводків, до виходу води на заплаву, а з іншого – переміщення мілин під час інтенсивних

паводків також зміщує і місце розмиву увігнутих берегів звивини вниз за течією, ліквідуючи подальшу можливість зосередженого розмиву. Значну роль у цьому процесі відіграють послідовність проходження паводків різної інтенсивності та їх тривалість.

а)



б)



Рис. 1. Меандруючі ділянки русла річки Прут нижче м. Чернівці

Русла обмеженого меандрування, як правило, зустрічаються на річках Карпат до виходу їх з гір на розширених ділянках гірських долин. В результаті стійкого процесу акумуляції наносів утворилися відокремлені заплавні масиви, які чергуються по обох берегах, в межах яких звивистий потік річки підмиває увігнуті заплавні береги. Руслові утворення таких річок, як правило, представлені чітко вираженими мілинами, які утворилися біля опуклих берегів. Характерною особливістю цього типу є обмеження розмиву увігнутих берегів, завдяки чому звивини русла залишаються відносно пологими і поступово зміщуються вниз за течією в межах ширини поєсу меандрування. В більшості випадків межею розмиву берега є важкорозмивні схили долин, а

тому ширина поясу меандрування часто дорівнює ширині дна гірської долини. Обмеженому розмиву увігнутих берегів в ряді випадків може сприяти та обставина, що руслоформуєчі паводки, які затоплюють заплавні масиви, характеризуються прямолінійним напрямком течії потоку, що у більшості випадків зумовлює переміщення мілин і заплавних масивів униз по гірській долині (за аналогією з переміщенням боковиків).

Аналіз натурних руслових макро- і мезоформ свідчить про те, що в русловому потоці виникають крупні гряди, косо розташовані відносно потоку, які примикають до берега, або розташовані в центральній частині русла. Зазначені руслові форми утворюються, як правило, на спаді паводків, коли потік несе багато донних наносів, але вже має місце зниження рівнів і швидкостей, починається масове випадіння наносів на дно і формування мезоформ.

Руслові форми, які примикають до берега (боковики або гряди), обтікаються потоком і набувають ще більш гострого розташування відносно потоку. Кут між гребенем такої гряди і потоком, як правило, становить близько 40-20 градусів. Схема утворення класичного перекату є аналогічною до описаної. При достатньо високому рівні води потік, який обтікає гряду по верху, утворює за нею вихоровий валець. Течія у вальці має велику наносотранспортуючу спроможність і виносить велику кількість ґрунту з початкової зони такого вальця. При цьому в зоні примикання руслової форми берега має місце інтенсивний розмив русла.

При розташуванні мезоформ в центрі русла вони також приймають положення під кутом до осі потоку (в межах 0-20 градусів). Потік, який обходить такі гряди з двох сторін, як правило, зумовлює транзит наносів, оскільки з фронтальної сторони гряди наноси активно змиваються, а з підвального боку їх зносить вниз вихорова течія.

Відомою є також класична схема утворення крупної гряди наносів на початку різкого заокруглення русла. Накопичення виникає внаслідок гальмування потоку самим його поворотом і випадінням наносів. Зазначене накопичення приймає форму гряди з гребенем, який є наближено горизонтальним і поступово відходить від увігнутого берега русла до протилежного. У підваллі такої гряди функціонує досить потужна гвинтоподібна течія, яка зумовлює глибокий розмив поблизу увігнутого берега біля початку повороту русла. Це явище було досліджено в лабораторних умовах [3].

На рис. 2 а) чітко прослідковується характер розмиву берега біля косо розташованої гряди – острова, а також формування мезоформи нижче такого острова з продуктів вимиву ґрунту, а також транзитних наносів. Більш виражені деформації русла р. Прут бачимо на рис. 2 б) та 2 в).

За методикою [5-7] нами виконано розрахунки руслових деформацій на модельному фрагменті русла р. Стрий, розташованому біля села Луги в Стрийському районі Львівської області на відстані 28 км від місця впадіння ріки в р. Дністер. На цій ділянці русло р. Стрий характеризується середнім



Рис. 2. а), б), в) – фрагменти ділянки русла річки Прут нижче м. Чернівці

похилом 0,0022, середньозваженим діаметром наносів 4,85 см та коефіцієнтом шорсткості русла 0,038. Характерним для ділянки, що досліджується, є рух донних наносів у структурній формі, який спостерігається під час проходження руслоформуючих паводків. Для даної ділянки руслоформуюча витрата $Q_{p.ф}$ становить $1250 \text{ м}^3/\text{с}$.

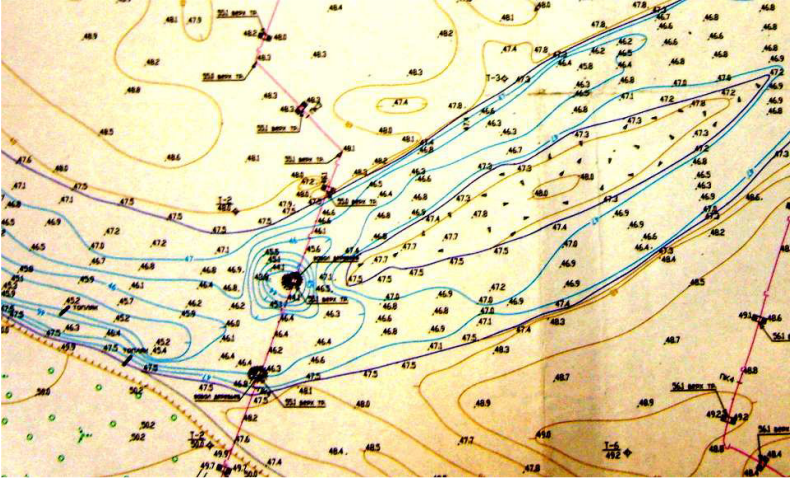


Рис. 3. Фрагмент ділянки русла р. Стрий біля с. Луги

На рис. 3. в центрі зображено острів – залишок крупної гряди, яка була намита піз час проходження максимальних витрат. За грядою (верхня протока) глибини розмивів 1-1,5 м. На початку розмив 3,0-3,5 метра, зумовлений структурою потоку за грядою і посилений обтіканням перешкоди – опори газопровода. Внаслідок наявності такої перешкоди була змита і верхня частина самої гряди. Нижня протока розмита на 0,5-1,0 м внаслідок циркуляції на повороті потоку, яка відносить наноси від увігнутого берега до острова-гряди.

Розрахунки виконано за даними про стан русла перед травневою повінню 1991 року, для витрат різної забезпеченості, встановлених за кривою трипараметричного гама-розподілу Крицького-Менкеля при коефіцієнті варіації $C_v = 0,83$ та коефіцієнті асиметрії $C_s = 2 C_v$.

Значення глибин розмивів і планових переміщень бровки русла модельної ділянки р. Стрий за грядою наносів, що були отримані з використанням чисельних методів розрахунків для витрат різної забезпеченості, наведено в таблиці.

Розраховані значення порівнювалися з натурними даними, зокрема було

встановлено, що правий берег після проходження травневої повені 1991 року (максимальна витрата $1250 \text{ м}^3/\text{с}$) змістився на 3 м.

Таблиця

Розрахункові гідрологічні характеристики р. Стрий біля с. Луги

Забезпеченості витрат повеней, %	1	3	5	10	20	30	50	70
Витрати, $\text{м}^3/\text{с}$	2625	2066	1793	1425	1057	832	538	320
Глибини водного потоку, м	4,83	4,29	3,98	3,62	3,15	2,8	2,62	2,53
Глибини розмивів біля берега, м	3,2 ÷ 3,3	2,9 ÷ 3,2	2,5 ÷ 2,8	2,5 ÷ 2,7	2,4 ÷ 2,5	2,2 ÷ 2,4	2,0 ÷ 2,3	1,7 ÷ 2,1
Зміщення берегової кромки, м	4,2 ÷ 4,8	4,0 ÷ 4,5	3,7 ÷ 3,9	3,5 ÷ 3,7	2,9 ÷ 3,2	2,7 ÷ 3,0	2,4 ÷ 2,9	2,0 ÷ 2,5

Максимальні місцеві розмиви русла за грядю склали $3,2 \div 3,5$ м. Отже, результати чисельних розрахунків зміщення берегової лінії та глибин розмивів русла, є близькими до натурними даними. Це свідчить про правильність прийнятої гіпотези впливу крупних руслових форм на характер деформацій русла.

1. Річки гірські. Регулювання русел та догляд: ВНД 33-5.5-14-03. – Затверджено наказом Держводгоспу № 14 від 21.01.2003р. **2.** Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство / Игорь Владимирович Попов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1960. – 363 с. **3.** Щодро О.Є., Шинкарук Л.А., Корбутяк В.М., Шитов В.М. Катастрофічні розмиви, пов'язані зі звальними течіями, та їх зв'язок з геоморфологією. // Науково-технічний збірник НТУ Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 72. – К., 2004. – С. 186-193. **4.** Кафтан О.Н., Корбутяк М.В. Залишковий вплив закритих кар'єрів на хід руслових деформацій// Автомобільні дороги та дорожнє будівництво: Міжвідом. науково-технічний збірник.– Вип. 63. – К.: НТУ, 2001. – С.170-172. **5.** Щодро О.Є., Ходневич Я.В. Розрахунки трьохвимірних турбулентних течій у відрильних зонах за регулюючими спорудами // 36. наукових праць «Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво». – Вип. 4 (40). – Рівне: НУВГП, 2007. – С. 213-218. **6.** Щодро О.Є., Ходневич Я.В., Мокляк М.М. Дослідження динаміки потоку зі змінною масою за донними уступами та річковими грядами // 36. наукових праць «Вісник Національного університету водного господарства та природокористування». – Вип. 1(45). – Рівне: НУВГП, 2009. – С. 74-82. **7.** Ходневич Я.В. Математичне моделювання просторових течій з врахуванням інтегральної умови нерозривності // 36. наукових праць «Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво». – Вип. 31. – Рівне: НУВГП, 2007. – С. 287-292.

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М.М. (НУВГП)