

## ГЕОДЕЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ДОЛИННО-РУСЛОВИХ МОРФОУТВОРЕНЬ РІК КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

### *Постановка проблеми*

Спорудження і функціонування ряду важливих інженерних об'єктів (гідроелектростанцій, водозаборів, гребель, мостових переходів, переходів трубопроводів тощо) пов'язано із водотоками. Проектування таких інженерних споруд передбачає детальні дослідження режиму стоку рік, вивчення їх морфометричних та гідрологічних характеристик з метою прогнозу можливих руслових процесів, переформування долинно-руслового рельєфу, деформації русел і берегів.

При проходженні паводків з екстремально високими рівнями та витратами вод, крім руслоперетворювальних процесів, відбуваються серйозні порушення функціонування та руйнування господарських об'єктів, підтоплення значних територій, що призводить до погіршення земельних ресурсів, втрат сільськогосподарської продукції, руйнування мостів, доріг, будівель, споруд тощо.

Переформування долинно-руслового рельєфу відбувається як під впливом природних факторів – екстремальних паводків і повеней, так і під дією техногенних причин – розробки руслових кар'єрів, вирубування лісів, меліорації, які підсилюють дію природних явищ, а також як наслідок надзвичайних ситуацій: прориви гребель, аварійні скидання промислових та дренажних стоків тощо. Такі процеси можуть призводити до значних пошкоджень та аварій інженерних споруд, пов'язаних з водотоками та руйнувань прибережних ділянок.

Для вивчення характеристичних даних про режим стоку, гідрологічних параметрів водотоків та змін морфометричних характеристик проводять роботи з моніторингу основних водних артерій Карпатського регіону.

Оскільки наслідки проявів водної стихії відображаються в зміні морфометричних параметрів русла і рельєфу річкової долини, то основними методами визначення елементів деформації руслових формувань є геодезичні вимірювання, оскільки вони забезпечують відповідну точність вимірювань і можливість оцінки точності досліджень.

Забезпечення надійного функціонування об'єктів господарського комплексу розташованих на водотоках неможливе без прогнозних оцінок, які можна зробити, виходячи із закономірностей розвитку долинно-руслових геоморфосистем і загальних змін стану довкілля.

### *Аналіз досліджень і публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми*

Процеси, пов'язані з переформуваннями долинно-руслового рельєфу та деформаціями руслових утворень досліджувались багатьма вченими, зокрема гідрологічні питання широко представлені в [5], геоморфологічні процеси досконально розглянуті в [6], там же наведено значний бібліографічний огляд і аналіз стану питання. Деякі аспекти проблеми розглянемо нижче.

Значні переформування руслових утворень на ріках Передкарпаття і Закарпаття відбуваються під час екстремальних паводків, які підсилюються антропогенними впливами: суцільними вирубуваннями лісів на схилах гір, розробками руслових кар'єрів, меліорацією в долинах рік. Катастрофічні паводки в Карпатському регіоні обумовлюються взаємодією природних та антропогенних факторів. Дослідження змін долинно-руслового рельєфу багатьох рік Передкарпаття і Закарпаття [6] після проходження катастрофічних паводків свідчать про значні горизонтальні переформування, величини яких досягли від 1,5 м до 40 м, а вертикальні деформації, зокрема акумуляція гравійно-галькових відкладів досягла 0,2 – 0,5 м і більше.

Крім безпосередніх причин, таких як паводки і повені, на деформацію русел рік і переформування долинно-річкових утворень впливають антропогенні фактори, зокрема: регуляційні заходи та будівництво різних споруд на заплавах і в руслі рік; водозабір поверхневих і підземних вод, скидання промислових і дренажних стоків; розробка руслових кар'єрів з видобутку гравійно-галькових відкладів; меліоративні роботи в заплавах рік; будівництво водосховищ, ставків, каналів тощо.

Видобування значних об'ємів гравійно-галькових відкладів в руслових кар'єрах призвело до значних деформацій русел рік Карпатського регіону. Так видобуток мільйонів кубометрів цих відкладів в руслі р. Стрий протягом багатьох років призвело до розмивання русла і пониження висот дна в нижній частині ріки на 0,25 – 0,4 м в рік [6]. Як наслідок відбулось руйнування захисно-регулювальних споруд на річці, пошкодження під час паводків багатьох мостів, переходів трубопроводів, підмивання берегоукріплень.

Аналогічні прояви деформацій відбулись на р. Лімниця, де з тих же причин розширення русла і пониження дна становило 3 м, на р. Прут



ухил дна збільшився в 1,5 рази [6]. Такі ж закономірності спостерігаються і на інших ріках Карпатського регіону. Прикладом такого розвитку незворотних деформацій руслових утворень може бути профіль ріки Бистриця Надвірнянська [5], де поглиблення русла досягло 2 м і більше. Значні зміни долинно-руслового рельєфу спостерігались на цій річці в межах Івано-Франківська [6], де відбувались розмиви дна ріки і горизонтальні переформування рельєфу в межах заплави, величини яких досягли декількох метрів.

Крім переформувань руслових форм, пов'язаних з ерозією (розмиванням), значний вплив на зміну долинно-руслового рельєфу здійснюється внаслідок акумуляції наносів. Акумуляція наносів відбувається внаслідок винесення малими притоками рік матеріалу, змитого із схилів та ярів і результатів ерозії розораних полів.

**Постановка завдання**

Дослідження руслових процесів та деформацій долинно-руслового рельєфу рік Карпатського регіону [4, 5, 6], зокрема після катастрофічних паводків, свідчать про значні горизонтальні переформування, величини яких за період одного паводка досягли метрових значень, а вертикальні зміни, зокрема акумуляція гравійно-галькових відкладів досягла 0,2 – 0,5 м і більше.

Для визначення величин деформацій долинно-руслового рельєфу необхідно проводити періодичні геодезичні спостереження – моніторинг просторового положення морфоутворень у фіксованій системі вимірювань. Для одержання відповідних результатів виникає необхідність аналізу методики геодезичних вимірювань та опрацювання результатів із застосуванням комп'ютерних технологій.

З метою визначення величин переформувань руслових утворень в р. Бистриця були проведені геодезичні вимірювання в фіксованій системі спостережень біля м. Підбуж [4]. Польові вимірювання були проведені до і після паводка 5.07.1984 р., що дало можливість оцінити розміри руслових деформацій, спричинених цим паводком. Промірні роботи і опорна мережа створювались за методикою, що відповідає нормативним вимогам [1].

Система спостережень складалась із магістрального планово-висотного ходу, закріпленого постійними знаками на лівому, обвалованому березі і промірних створів, ув'язаних із знаками магістрального ходу. Координати точок магістрального ходу визначались за програмою теодолітного ходу

підвищеної точності ( $m_{\beta} = 1/3000$  ;

$m_{\beta} = 30''$ ), висоти одержано із нівелювання IV класу.

Промірні роботи проводились вздовж фіксованих створів, закріплених по нормалі до осі потоку і віддалених один від одного в середньому на 50 м. Довжина ділянки спостережень становила понад 2 км. Промірні створи були прокладені між берегами в межах ліній затоплення високими водами і закріплені на двох берегах. Довжина створів не перевищувала 100 м. Віддалі від опорних точок магістрального ходу до поточних точок створів вимірювались рулеткою або оптичним далекоміром з точністю до 1-2 см, перевищення визначались з точністю до 1 см. Граничні похибки лінійних вимірювань не перевищували 5 см, висотних – 2 см.

За даними польових вимірювань були побудовані поперечні профілі вздовж всіх промірних створів і поздовжній профіль по лінії найбільших глибин. Із порівняння висот на поперечниках і на поздовжніх профілях визначено зміни висот у фіксованих промірних точках.

Таблиця 1

Деформації русла р. Бистриця на лінії найбільших глибин

L, м	H <sup>I</sup> , м	H <sup>II</sup> , м	ΔH = H <sup>II</sup> – H <sup>I</sup> , м
100	95,30	95,00	- 0,30
150	96,80	96,60	- 0,20
200	97,40	97,50	+ 0,10
250	98,35	98,35	0,00
300	98,55	98,55	0,00
350	98,75	98,65	- 0,10
400	98,90	98,50	- 0,40
450	98,85	98,50	- 0,35
500	99,15	99,10	- 0,05
550	99,25	99,50	+ 0,25
600	99,35	99,90	+ 0,55
650	99,75	100,10	+ 0,35
700	100,70	110,75	+ 0,05
750	101,25	101,30	+ 0,05
800	101,15	101,40	+ 0,25
850	101,50	101,77	+ 0,27
900	102,30	102,30	0,00
950	102,55	102,55	0,00
1000	102,75	102,70	- 0,20
1050	103,05	102,85	- 0,20
1100	103,95	103,60	- 0,30

У таблицях 2, 3 наведені висоти точок рельєфу дна та заплави ріки Бистриця і величини деформацій на двох характерних поперечних профілях. У таблиці 1 наведено висоти точок дна ріки на поздовжньому профілі зафіксовані до і після паводка, та величини



деформацій. Величини деформацій  $\Delta H_i$  для  $i$ -ї точки визначались із виразу

$$\Delta H_i = H_i^{\text{II}} - H_i^{\text{I}}, \quad (1)$$

де  $H_i^{\text{I}}$  і  $H_i^{\text{II}}$  – висоти відповідних точок на профілі, визначені до і після паводка.

Таблиця 2

Деформації долини р. Бистриця створ 7

L, м	H <sup>II</sup> , м	H <sup>I</sup> , м	$\Delta H = H^{\text{II}} - H^{\text{I}}$ , м
1	2	3	4
30,0	98,70	98,50	+ 0,20
32,5	98,60	98,40	+ 0,20
35,0	98,50	98,25	+ 0,25
37,5	98,35	98,10	+ 0,25
40,0	98,15	97,90	+ 0,25
42,5	98,15	97,90	+ 0,25
45,0	98,20	97,80	+ 0,40
47,5	98,20	97,80	+ 0,40
50,0	98,30	98,00	+ 0,30
52,5	98,50	98,35	+ 0,15
55,0	98,70	98,95	- 0,25
57,5	99,00	99,10	- 0,10
60,0	99,80	100,00	- 0,20
62,5	100,20	100,10	0,00
65,0	100,20	100,10	+ 0,10
67,5	100,20	100,10	+ 0,10
70,0	100,20	100,05	+ 0,15
72,5	100,20	100,05	+ 0,15
75,0	100,20	100,00	+ 0,20

Із аналізу результатів можна зробити висновки про значні деформації русла і долинно-заплавних форм рельєфу, які відбулися внаслідок проходження паводка. Спостерігається розмивання дна на поперечниках до 0,7 м, середні значення 0,3 – 0,4 м, акумуляція наносів складає в середньому 0,3 – 0,4 м і досягає величини 0,6 м. На поздовжньому профілі дна ріки виділяються ділянки розмивання дна з амплітудою до 0,4 м і акумуляція наносів до 0,55 м. Довжини ділянок розмивання і акумуляції, які чергуються, складають в середньому 300 м.

Для масових моніторингових спостережень з метою визначення величин деформацій необхідна методика, яка дозволила б використати комп'ютерні технології. Для систем спостережень, що складаються із закріпленого магістрального ходу і поперечних створів для обчислення величин деформацій можна використовувати цифрову модель рельєфу піврегулярного типу [1, 3]; коли зміни висот в загальному вигляді можна визначити із формули:

Таблиця 3

Деформації долини р. Бистриця створ 14

L, м	H <sup>II</sup> , м	H <sup>I</sup> , м	$\Delta H = H^{\text{II}} - H^{\text{I}}$ , м
1	2	3	4
0,0	104,41	104,41	0,00
2,5	103,50	103,30	+ 0,20
5,0	102,70	102,60	+ 0,10
7,5	101,10	102,10	- 1,00
10,0	100,20	101,30	- 1,10
12,5	100,00	99,90	+ 0,10
15,0	100,10	99,70	+ 0,40
17,5	100,30	99,70	+ 0,60
20,0	100,70	100,30	+ 0,40
22,5	100,70	100,30	+ 0,40
25,0	100,90	100,60	+ 0,30
27,5	101,00	100,90	+ 0,10
30,0	101,00	100,90	+ 0,10
32,5	101,00	100,90	+ 0,10
35,0	101,70	100,90	+ 0,10
37,5	101,30	101,00	+ 0,30
40,0	101,70	101,70	0,00
42,5	101,00	101,70	- 0,70
45,0	100,70	101,00	- 0,30

/В таблиці 3 наведено дані для частини профіля/

$$\Delta H^{j,j+1}(x_i, y_i) = H^{j+1}(x_i, y_i) - H^j(x_i, y_i), \quad (2)$$

де  $\Delta H^{j,j+1}(x_i, y_i)$  - деформація  $i$ -ї точки за період спостережень  $j, j+1$ ;  $H^j(x_i, y_i), H^{j+1}(x_i, y_i)$  висоти  $i$ -ї точки в періоди спостережень  $j, j+1$ .

Більшість рік гірської і передгірської частини Карпатського регіону є притоками Дністра і Тиси, і в межений період стоку мають відносно невеликі глибини (1 – 2 м), для вимірювання яких не потрібні ехолоти.

Для створення моделі рельєфу необхідні вимірювання віддалей, горизонтальних кутів і перевишень з похибками, що забезпечують точність  $m_s = 2\text{см}$ ,  $t_b = 10''$ ,  $t_h = 1\text{см}$ .

Такі вимірювання можна виконати з використанням електронного тахеометра середньої точності. Створення бази даних дасть можливість визначити величини деформацій з використанням цифрової моделі рельєфу.

### Література

1. Волосецький Б. Інженерна геодезія. Львів, НУЛП, 2003, с. 143.



2. Волосецький Б.І. Деякі аспекти геодезичного забезпечення моніторингу руслового режиму рік Карпатського регіону. // Геодезія, картографія та аерофотознімання: Міжвід. наук.-техн. зб. Львів, 2004, вип. 65 с. 24-28.
3. Волосецький Б.І. Использование цифровой модели рельефа для определения русловых переформирований. // Геодезія, картографія та аерофотознімання: Міжвід. наук.-техн. зб. Львів, 1992, вип. 53 с. 3-7.
4. Волосецькеий Б.І., Каганов Я.І. Использование морфометрических зависимос-

- тей, определяемых из геодезических наблюдений для прогноза русловых деформаций. // Геодезія, картографія та аерофотознімання: Міжвід. наук.-техн. зб. Львів, 1986, вип. 43, с. 10-15.
5. Каганов Я.І. Русловые переформирования при регулировании рек горно-передгорной зоны. – Львів, Вища школа, 1981.
6. Ковальчук І.П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. – Львів, НАН України, 1997.

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДОЛИННО-РУСЛОВЫХ МОРФООБРАЗОВАНИЙ РЕК КАРПАТСКОГО РЕГИОНА

**Б. Волосецький**

Для проектирования инженерных сооружений, связанных с водотоками, необходимы характеристики русловых процессов и режима стока рек, а также данные об их влиянии на динамику морфообразований руслового рельефа и прогнозные оценки стабильности инженерных объектов.

Анализируются результаты определения величин деформаций форм под влиянием паводка и рассматривается методика геодезических работ по мониторингу переформирований элементов долинно-руслового рельефа.

## GEODETIC METHODS FOR INVESTIGATION OF DYNAMICS OF RIVER VALLEY-BED MORPHOLOGICAL FORMATIONS OF RIVERS IN CARPATHIAN REGION.

**B. Volosetsky**

In order to design water-flow related civil engineering constructions it is necessary to know the characteristics of river bed processes and mode of river flows, and data on their effect on the river bed relief morphology dynamics and predictable estimations of the stability of civil engineering objects.

The results of determination of the values of river bed deformations under the influence of flood are analyzed, and methods of geodetic works concerning the monitoring of reformations of river valley- bed relief elements are considered.