

Національний університет «Львівська політехніка»

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця

на правах рукопису

ТРЕТЯК СОФІЯ КОРНИЛІВНА

УДК 528.92

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МОНІТОРИНГ ГІДРОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ  
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

05.24.01 — Геодезія, фотограмметрія та картографія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів, текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

/Третяк С.К./

Науковий керівник – Бурштинська Христина Василівна д. т. н., професор

*Ідентичність всіх примірників дисертації*

**ЗАСВІДЧУЮ:**

*Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради /Б. Б. Паляниця*

Львів 2018

## ЗМІСТ

	<b>стор.</b>
АНОТАЦІЯ.....	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1. РУСЛОВІ ПРОЦЕСИ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДЗЗ ТА ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	24
1.1 Суть руслових процесів.....	24
1.1.1. Класифікація річок та їх морфометричні характеристики .....	29
1.1.2. Типи меандрування .....	31
1.1.3. Основні чинники, які впливають на руслові процеси.....	34
1.1.4. Звивистість і стійкість річок.....	38
1.2 Горизонтальні руслові деформації та методи їх визначення.....	42
1.3 Завдання дисертаційної роботи.....	57
ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ.....	58
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІЩЕНЬ РІЧКИ ДНІСТЕР .....	59
2.1 Дослідження річки Дністер .....	59
2.2 Вплив геологічних структур на руслові процеси.....	62
2.3 Методика досліджень горизонтальних зміщень річки Дністер. Характеристика космічних зображень.....	65
2.4 Дослідження точності трансформації топографічних карт Галичини австрійського та радянського періодів .....	72
2.5 Дослідження русел річок та аналіз їх горизонтальних зміщень.....	94
2.5.1. Аналіз зміщень гірської частини річки Дністер.....	94
2.5.2. Аналіз зміщень горбисто - рівнинної частини річки Дністер.....	98

2.5.3.	Аналіз зміщень болотисто-рівнинної частини річки Дністер.....	101
2.5.4.	Аналіз зміщень рівнинної частини річки Дністер.....	106
2.5.5.	Аналіз зміщень каньйонної частини річки Дністер.....	114
2.6.	Дослідження стійкості та звивистості русла річки Дністер.....	119
2.7.	Використання БПЛА для побудови ЦМР в ділянках значних деформацій русла річки Дністер.....	123
	ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ.....	131
	РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗМІЩЕНЬ РУСЕЛ ПРИТОК РІЧКИ ДНІСТЕР.....	133
3.1	Дослідження русел правобережних приток.....	133
3.1.1.	Дослідження зміщень річки Стрий.....	133
3.1.2.	Аналіз зміщень річки Бистриця.....	140
3.1.3.	Дослідження зміщень річки Лімниця.....	146
3.2.	Аналіз зміщень лівобережних приток.....	153
3.3	Стійкість та звивистість правобережних та лівобережних приток Дністра.....	159
3.3.1.	Дослідження стійкості та звивистості правобережних приток річки Дністер.....	159
3.3.2.	Дослідження стійкості та звивистості лівобережних приток річки Дністер.....	162
	ВИСНОВКИ ДО 3 РОЗДІЛУ.....	165
	ВИСНОВКИ.....	167
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	169
	ДОДАТОК А.....	209
	ДОДАТОК Б.....	211
	ДОДАТОК В.....	212

## АНОТАЦІЯ

*Третяк С.К.* Моніторинг гідрографічних об'єктів засобами дистанційного зондування Землі та геоінформаційних технологій.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія». – Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2018.

Моніторинг русел річок та визначення їх характеристик проводять з метою розв'язання конкретних завдань гідротехнічного будівництва, проектування ліній електропередач, газо- та трубопроводів при переході через річки, визначення меж охоронних зон в земельному кадастрі, врахування деформацій русел в рекреаційній діяльності та в оцінці екологічних порушень. Особливу роль вивченню руслових процесів відводять транскордонним магістралям по фарватеру річок.

Сучасні технології отримання та опрацювання інформації з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем відкрили нові можливості розв'язання цих завдань.

В дисертаційній роботі опрацьовано методику дослідження деформацій русел річки Дністер та її правобережних і лівобережних приток за топографічними картами, космічними зображеннями та спеціальними картами з опрацюванням всіх матеріалів в програмному середовищі ArcGIS.

В першому розділі розглянуто суть руслових процесів та методи їх дослідження, основні морфометричні характеристики, методи визначення стійкості і звивистості русел річок. Аналіз літературних джерел стосується як теоретичних підходів, так і експериментальних робіт, пов'язаних з русловими процесами, зокрема методикою дослідження зміщень русел, чинниками, які на них впливають та їх значення для розв'язання конкретних завдань природокористування.

В другому розділі подано технологічну схему опрацьованої методики визначення горизонтальних зміщень річки Дністер за топографічними картами різних періодів, космічними зображеннями та картами четвертинних відкладів, а

також ґрунтовими картами з опрацюванням матеріалів у програмному середовищі ArcGIS, що дає можливості здійснити аналіз зміщень та отримати їх метричні значення.

Проаналізовано вплив геологічних структур на зміщення русла річки Дністер та його приток від витоків річки до м. Заліщики, де річка Дністер протікає в каньйоні. Оскільки частина річки Дністер та його правобережні притоки протікають в межах Передкарпатського прогину, а інша частина річки Дністер та лівобережні притоки в межах Волино-Подільської плити, то така зміна геологічних структур домінантно впливає на характер річок.

На основі спрощених формул Молоденського визначено вплив похибок параметрів переходу на точність трансформації при переході від однієї системи координат до іншої. Цей метод дозволяє визначити точність трансформації історичних карт до сучасних топографічних карт.

В теорії руслових процесів значну увагу надано визначенню коефіцієнту стійкості річок, який слугує для оцінювання стану річки в певних ділянках і має значення під час попереднього проектування гідротехнічних робіт. Подано оцінку стійкості русла досліджуваної ділянки Дністра від витоків до м. Заліщики з використанням поданих різними авторами математичних виразів та проведено їх аналіз із врахуванням визначених горизонтальних зміщень річки Дністер. Встановлено, що деякі вирази не відповідають визначеними авторами критеріям стійкості. Запропоновано вираз для визначення стійкості, в який входить ширина заплави та ширина русла річки.

В цьому ж розділі розглянуто питання застосування БПЛА для побудови цифрової моделі рельєфу з метою гідрологічного моделювання та її використання в місцях складної конфігурації русла та значного меандрування річки.

В третьому розділі проаналізовано характер русел правобережних та лівобережних приток та визначено горизонтальні зміщення русел цих річок. Складним є характер правобережних річок, які умовно поділено на 3 частини :

гірську, порівняно стабільну, горбисту із значною та змінною в різні часові періоди багаторукавністю та рівнинну із значними горизонтальними зміщеннями русел. Лівобережні притоки є значно стабільніші за характером зміщень, однак відрізняються більшою звивистістю, особливо в каньйонній частині. Головною відмінністю характеру правобережних та лівобережних приток річки Дністер, на наш погляд, є вплив геологічних структур. Проведено аналіз коефіцієнтів стійкості та звивистості із застосуванням різних математичних виразів.

Вказано, в яких проектних організаціях, фірмах, муніципальних структурах можуть бути використані результати досліджень.

**Ключові слова:** моніторинг, руслові процеси, зміщення русла, річка Дністер, топографічні карти, космічні зображення, карти четвертинних відкладів, карти ґрунтів, алювіальні та делювіальні відклади, геологічна структура, повені, багаторукавність.

## **ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у наукових фахових виданнях України**

1. Бурштинська Х. Дослідження меандрування ріки Дністер з використанням геоінформаційних технологій / Х. Бурштинська, С. Третяк, В. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2017. - Випуск I (33). - С. 131-138.
2. Бурштинська Х.В. Моніторинг змін русла річки Стрий з використанням ГІС-технологій / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк, В.М. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - випуск I (35). – 2018. - С. 138-146.
3. Третяк С.К. Моніторинг планових зміщень русел правобережних приток річки Дністер / С.К. Третяк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. - Вип. II(36). - С. 77-86.
4. Заяць І. Дослідження зміщень русла ріки Дністер засобами ГІС-технологій / І. Заяць, С. Третяк, І. Радзій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. - Вип. II (36). - С. 106-114.

### **Статті у науковому періодичному виданні України, яке включене до міжнародної наукометричної бази**

1. Бурштинська Х. В. Дослідження горизонтальних зміщень частини річки Дністер з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технології / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк, М. К. Галочкін // Геодинаміка (входить до наукометричної бази Web of Science). – 2017. - Випуск 2(23). - С. 14-24.

### **Статті у науковому періодичному виданні іншої держави**

1. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbed of river Dniester using remote sensing data and GIS technologies / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, A. Babushka, S. Tretyak, M. Halochkin // 25th Anniversary Conference Geographic Information Systems Conference and Exhibition “GIS ODYSSEY 2018”. - p. 64-73.

### **Статті у науковому періодичному виданні іншої держави, яке включено до міжнародних наукометричних баз**

1. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbeds of rivers Dniester and Tisza of the Carpathian region / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, S. Tretyak, V. Vekliuk // XXIII ISPRS Congress, Commission VII (Vol. XLIB7) 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. - p. 177–182, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B7-177- 2016, (“Scopus”).
2. Burshtynska Kh., Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies / Kh. Burshtynska, I. Zayac, S. Tretyak, M. Halochkin //

Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji (Index Copernicus). – 2017. - vol. 29. - pp. 25-36.

### Тези конференцій

1. Шевчук В.М. Дослідження планових зміщень ріки Дністер за космічними зображеннями / В. М. Шевчук, С. К. Третяк // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, 6 – 8 жовтня 2016 р., Ужгород – Синеvir, Україна. - С. 161 – 166.
2. Бурштинська Х.В. Дослідження зміщень русла ріки Тиса за космічними зображеннями / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк // Матеріали VII науково-практичної конференції ‘Національне картографування: картографічні твори у пізнанні розвитку регіону’ (м. Київ, 11 листопада 2016 р.). – К.: ДНВП «Картографія». - 2016. – С. 142-147 .
3. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies / Kh. Burshtynska, I. Zayac, S. Tretyak, M. Halochkin // Materialy z VIII Miedzynarodowej konferencji naukowej «Innowacyjne technologie geodezyjne, zastosowanie w roznych dziedzinach gospodarki». - Rzeszow, Polska, 7-9 czerwca 2017 r. - str. 27.
4. Третяк С.К., Шевчук В.М. Моніторинг гірської частини русла ріки Дністер / В.М. Шевчук, С.К. Третяк // Матеріали 8-мої міжнародної науково-технічної конференції: «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку», (14 - 16 вересня 2017, Львів-Східниця). - С. 121-124.



## ANNOTATION

*Tretyak S.K.* Monitoring of hydrographic objects using means of Earth remote sensing and geoinformation technologies.

Thesis for obtaining a science degree of a Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.24.01 "Geodesy, photogrammetry, and cartography". – Lviv Polytechnic National University. Lviv, 2018.

River channel monitoring and determination of the characteristics of river channels are performed for the purpose of solving specific tasks of hydraulic engineering, designing power lines, gas pipes, and pipelines when crossing rivers, defining the boundaries of protected lands in the land registry, taking into account deformations of river channels in recreational activities and in environmental disturbance assessment. A key role in the study of river channel processes is given to cross-border highways along river fairways.

Modern technologies for obtaining and processing information using data from Earth remote sensing and geoinformation systems opened up new possibilities for solving these tasks.

The thesis deals with the method of studying deformations of the Dniester river channels and its right-bank and left-bank tributaries based on topographic maps, space images, and special maps, with further processing of materials in the ArcGIS software environment.

In the first chapter, the essence of river channel processes and methods used for their study, as well as the main morphometric characteristics and methods of determining stability and sinuosity of river channels, are considered. The analysis of literary sources includes both theoretical approaches and experimental works related to river channel processes, in particular to the methods of studying river channel shifts, factors influencing them, and their importance for solving particular tasks of environmental management.

The second chapter contains a technological scheme of the method which was used for determining horizontal shifts of the Dniester river channels according to topographic

maps of different periods, space images, and maps of quaternary sediments, as well as soil maps, with further processing of materials in the ArcGIS software environment, which provides an opportunity to analyze shifts and obtain their metric values.

The influence of geological structures on shifts of the Dniester river channels and its tributaries, from the riverhead to the town of Zalishchyky, where the Dniester river flows through a canyon, was analyzed. Since part of the Dniester river and its right-bank tributaries flow within the Precarpathian Trough, while the rest of the Dniester river and its left-bank tributaries flow within the Volyn-Podilia platform, such a change in geological structures has a dominant impact on the nature of rivers.

Based on the simplified Molodensky transformations, the influence of errors in the transition parameters on the accuracy of transformation when switching from one coordinate system to another was determined. This method allows one to determine the accuracy of the transformation of historical maps into modern topographic maps.

In the theory of river channel processes, considerable attention is paid to determining river channel stability coefficient, which is used when assessing river condition in certain areas and is important during preliminary hydraulic engineering works. Stability of the river channel of the examined section of the Dniester river, from the riverbed to the town of Zalishchyky, was assessed using various mathematical expressions presented by different authors, which were analyzed taking into account measured horizontal shifts of the Dniester river channels. It was found that some expressions do not meet stability criteria determined by the authors. An expression which can be used for determining stability was suggested, which includes floodplain width and river channel width.

This chapter also deals with the use of UAVs when building digital elevation models for hydrological modeling and its use under the conditions of complex river channel configuration and significant river meandering.

The nature of streams of right-bank and left-bank tributaries are analyzed in the third chapter, horizontal river channel shifts of these rivers are also determined. The

nature of the right-bank rivers is complex, and they are conventionally divided into 3 parts: a mountainous part, which is relatively stable, a hilly part with a large number of river branches which varied in different time periods, and a plain part with significant horizontal river channel shifts. Left-bank tributaries are much more stable in terms of the nature of shifts, but they are more sinuous, especially in the canyon. The main difference in the nature of the right-bank and left-bank tributaries of the Dniester River, in our opinion, lies in the impact of geological structures. Stability and sinuosity coefficients were analyzed using different mathematical expressions.

Design organizations, agencies, and municipal structures in which the results of the study can be used were indicated.

**Key words:** monitoring, river channel processes, channel displacement, Dniester river, topographic maps, space images, maps of quaternary sediments, soil maps, alluvial and diluvial deposits, geological structure, floods, large number of river branches.

## **LIST OF PUBLICATIONS BY THE THEME OF DISSERTATION**

### **Publications in scientific professional editions of Ukraine**

1. Burshtynska Kh. Research of meandering of river Dniester using geoinformation technologies / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, S. Tretyak // Modern achievements of geodesic science and industry. - Lviv. – 2017. - Issue 1 (33). – P. 131–138.
2. Burshtynska Kh. Monitoring of changes in the Stryi riverbed using GIS technologies / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, S. Tretyak // Modern achievements of geodesic science and industry. - Lviv. – 2018. - Issue 1 (35). – P. 138–146.
3. Tretyak S. Monitoring of planned channel shifts of the right-bank tributaries of the Dniester river / S. Tretyak // Modern achievements of geodesic science and industry. - Lviv. – 2018. - Issue 2 (36). – P. 77–86.
4. Zayats I. Research of the displacements of the Dniester riverbed by means of GIS technologies / I. Zayats, S. Tretyak, I. Radziy // Modern achievements of geodesic science and industry. - Lviv. – 2018. - Issue 2 (36). – P. 106–114.

### **Publications in scientific editions of Ukraine, which are included in international science-computer databases**

1. Burshtynska Kh. Study of horizontal displacements of the channel of Dniester river using remote sensing data and gis technologies / Kh. Burshtynska, S. Tretyak, M. Halochkin // Journal of Geodynamics (included in international science-computer databases Web of Science). – 2017. Issue 2 (23). – P. 14–24.

### **Publications in scientific editions of other countries**

1. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbed of river Dniester using remote sensing data and GIS technologies / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, A. Babushka, S. Tretyak, M. Halochkin // 25th Anniversary Conference Geographic Information Systems Conference and Exhibition “GIS ODYSSEY 2018”. - p. 64-73.

### **Publications in scientific editions of other countries, which are included in international science-computer databases**

1. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbeds of rivers Dniester and Tisza of the Carpathian region / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, S. Tretyak, V. Vekliuk // XXIII

ISPRS Congress, Commission VII (Vol. XLIB7) 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, p. 177–182, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B7-177-2016, (“Scopus”).

2. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies / Kh. Burshtynska, I. Zayac, S. Tretyak, M. Halochkin // Archives of photogrammetry, cartography and remote sensing (Index Copernicus). - vol. 29. - p. 25-36.

### **Proceedings that certify an improvement of thesis materials**

1. Shevchuk V. Research of plane riverbed shifts of the river Dniester using space images / V. Shevchuk, S. Tretyak // New Technologies in Geodesy, Land Management: Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference, October 6 - 8, 2016, Uzhorod - Synevyr, Ukraine. - pp. 161 - 166.

2. Burshtynska Kh. Investigation of displacement of the channel of the Tisza River along the space images / Kh. Burshtynska, S. Tretyak // Materials of VII scientific and practical conference 'National mapping: cartographic works in the knowledge of the region's development' (Kyiv, November 11, 2016). - "Cartography", 2016. - p. 142-147.

3. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies / Kh. Burshtynska, I. Zayac, S. Tretyak, M. Halochkin // Materials from the 8th International Scientific Conference «Innovative geodetic technologies, application in various fields of economy». Rzeszow, Poland, 7-9 June 2017. - p. 27.

4. Shevchuk V. Monitoring of the mountainous part of the riverbed of river Dniester / V. Shevchuk, S. Tretyak // Materials of the 8th international scientific and technical conference: "Environmental monitoring, photogrammetry, geoinformatics - modern technologies and prospects of development" (September 14-16, 2017, Lviv-Skhidnytsia). - p. 121-124.

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ДЗЗ – Дистанційне зондування Землі

ГІС – Геоінформаційні системи

WWF - World Wildlife Fund (Всесвітній фонд природи)

ООН – Організація об'єднаних націй

НАН – Національна академія наук

УкрНДГМІ - Український гідрометеорологічний інститут

УААН - Національна академія аграрних наук України

ІГІМ – Інститут гідротехніки і меліорації

УНДІВЕП - Український науково-дослідний інститут водогосподарсько-екологічних проблем

КЛА – Космічні літальні апарати

ЛЕП – Лінія електропередач

ГНСС – Глобальна навігаційна супутникова система

RTK - Real Time Kinematic (Кінематика реального часу)

БПЛА – Безпілотні літальні апарати

ЦМР – Цифрова модель рельєфу

UTM - Universal Transverse Mercator (Система координат універсальної поперечної проекції Меркатора)

WGS - World Geodetic System (Світова геодезична система)

ГЕС - Гідроелектростанція

## ВСТУП

### *Актуальність теми.*

З числа гідрографічних об'єктів на стан довкілля та життєдіяльності людини важливу роль відіграють річки та руслові процеси. Саме вони є предметом багатосторонніх досліджень, які тривають вже доволі давно. Річки відіграють велику роль в житті природи і людини, тому їх дослідженнями займаються в таких галузях науки і техніки : гідрологія, гідродинаміка та в останні десятиліття геоматика. Взаємодія води і природного середовища відбувається в руслі, яке формує режим і стан річки. З часом русла річок змінюють своє горизонтальне і висотне положення. За 30-50 років річка може зміститись на відстань, що дорівнює ширині русла або й більше, можуть з'явитись нові протоки, рукави тощо. Зазвичай такі зміщення є результатом повеневих та паводкових явищ. Основними причинами таких явищ є кліматичні, фізико-географічні та антропогенні чинники, зокрема часті повені, слабостійкі породи та ґрунти, вирубка лісів та забір гравійно-піщаних матеріалів з русла ріки. Крім того, збільшення кількості сезонних опадів, повторюваність аномальних сезонів обумовлюють не лише зростання рівня води в руслі, але і збільшення рукавів річки, обводнених стариць та заплави, зміну місцеположення русла, зростання підмивів та акумуляції матеріалу. Зміни русла значною мірою впливають на природні і культурні ландшафти та на господарську діяльність людини. З іншого боку, антропогенна діяльність, зокрема, гірничодобувні та будівельні роботи у долинах ріки теж зумовлюють зміну русла річки. [22] Русла річок є перешкодою при будівництві доріг, прокладання нафто- і газопроводів, ліній зв'язку та електропередач. Змілілі ділянки русел стоять на заваді для лісосплаву і судноплавства, а розмиви берегів створюють небезпеку знищення освоєних продуктивних територій, а також руйнування будівель і споруд. Все це пояснює великий науковий і практичний інтерес дослідження русел річок.

Результати моніторингу деформаційних процесів русел річок необхідно враховувати при розв'язанні низки завдань, пов'язаних з русловими процесами, зокрема:

- проектуванням та спорудженням гідротехнічних об'єктів;
- проектуванням ліній електропередач при переході через річки;
- вибором переходів газотранспортних мереж;
- визначенням зон затоплення та масштабів руйнацій після паводкових чи повеневих явищ;
- встановленням меж охоронних зон;
- здійсненням рекреаційної діяльності;
- вивченням стану прикордонних земель за встановлення кордону по фарватеру річок;
- впливом зміщень русла на екологічні процеси.

Значний вплив в теорії руслових процесів зробили багато вчених. Одними з перших таких вчених є : Чалов Р.С., Маккавєєв Н.І., Лохтін В.М., Попов І.В., Баришніков Н.Б., Беркович К.М., Великанов М.А., Кондратьєв Н.Е.. Вони заклали основи розвитку вчення про руслові процеси як науки. Ними досліджено вплив чинників на руслові процеси, формування русел, морфологічні особливості та аналіз руслових зміщень річок. Дослідженням руслових процесів займалися : Ковальчук І.П., Ободовський О.Г., Байрак Г.Р., Яцик А.В., Дубіс Л.Ф., Ющенко Ю.С., Паланичко О.В., Горішний П.М., Бухін М.Н., Кирилук М.І., Шуляренко І.П. В їх дослідження входили питання гідроморфологічного аналізу, розгляду формування поздовжніх профілів та розвитку заплав річок, а також подано аналіз горизонтальних зміщень русла та типи русел річок. Починаючи з 2002 року на кафедрі фотограмметрії та геоінформатики Національного університету «Львівська політехніка» питання зміщень та зміни конфігурації русел річок Дністра та Тиси стали предметом досліджень Бурштинської Х.В., Шевчука В.М. та ін.. На кафедрі кадастру територій Національного університету «Львівська



політехніка» дисертаційна робота Сай В.М. була пов'язана з питаннями охорони приберегових зон, зокрема : недотриманням режиму в прибережних смугах та водоохоронних зонах, необґрунтованої забудови в заплавах річок та розорюванням земель у межах прибережних захисних смуг. Щодо закордонних вчених зазначимо, що вагомий внесок у дослідження руслових процесів належить передусім : Blackwell W., Bridge J.S., Buffington, J. M, Crosato A., Friend, P. F., Grenfell, M.C., Hooke, J.M., Korpak J., Krzemiń K., Nawieśniak M., Parker G., Piégay, H., Wohl E. У їх наукових статтях розглянуто дослідження проблем руслових процесів, аналіз зміни русел річок, дослідження зміщень русел річок за допомогою різних методів, аналіз впливу чинників на руслові деформації та інше.

Через недостатню вивченість питань руслових процесів трапляються затоплення населених пунктів, аварії різних споруд і комунікацій, що виникають, зокрема через відсутність або нестачу даних про морфодинамічну характеристику русел річок, руслового режиму та їхнього зв'язку з гідрологічними особливостями річок. В Україні в умовах зниження можливостей проведення натурних досліджень, погіршення якості або недоступності гідрометеорологічної мережевої інформації останнім часом гостро постало питання про додаткове дослідження річок з урахуванням гідролого-морфологічного аналізу і оцінки інтенсивності руслових переформувань.

Проблема визначення змін русел річок та проведення їх моніторингу є актуальною, про що свідчить ряд державних та адміністративних постанов і рекомендацій, а також численні науково-дослідницькі праці.

В Україні у 1995 р. прийнято Водний кодекс; у 2001 р. - Земельний кодекс; постанови Кабінету Міністрів України різного типу, які стосувалися водоохоронної діяльності, прийнято у 1996 та 2009 рр.

В Земельному кадастрі дослідження руслових процесів пов'язане з визначенням меж охоронних зон та у встановленні нормативних обмежень.

Прийнята у 2000 році Водна Рамкова Директива ЄС, яка визначає головні принципи управління водними ресурсами та шляхи досягнення доброї якості води і безпечного стану річок і водойм.

Одним із головних принципів, викладених у Водній Рамковій Директиві ЄС є інтегрована басейнова модель управління водними ресурсами, що передбачає спільні дії усіх держав, що знаходяться у басейнах річок.

Директива № 2007/60/ЄС Європейського парламенту і Ради ЄС про оцінку і управління ризиками, пов'язаними з повеннями розробляє план заходів з оцінки та управління ризиками повеней, спрямованого на скорочення негативних наслідків для здоров'я людей, довкілля, культурної спадщини та економічної діяльності, викликаних повеннями.

Розробленням плану з протипаводкового захисту займається Експертна група з протипаводкового захисту МКЗД (Міжнародна комісія із захисту р. Дунай).

В Польщі опрацьовано проект ISOK "Програмна система захисту країни від надзвичайних загроз", який спрямований на створення системи, що покращить захист економіки, навколишнього середовища та суспільства від надзвичайних загроз, зокрема від повеней. Проект визначає сфери, де існує загроза життю та майну, що в кінцевому підсумку призведе до обмеження економічної експансії у цих сферах. Кінцевим результатом також є електронна інформаційна платформа з необхідними реєстровими довідниками, яка є важливим інструментом для врегулювання криз.

В рекреаційних зонах з розвиненими туристичними маршрутами при спорудженні водоймищ для відпочинку слід враховувати зміщення русла річки. Серед інших проблемних питань значну увагу дослідженням руслових процесів надає Всесвітній фонд природи WWF. Вирішенням проблеми деградації річок та руслових процесів займається спеціальна водна комісія Water & Rivers commission.

Зважаючи на періодичність виникнення паводків в Україні та їх негативний вплив на антропогенні системи, можна стверджувати, що безперервний моніторинг

водних об'єктів має важливе значення для розв'язання прикладних задач і є необхідним.

Такі спостереження базуються на використанні методів дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій, що уможлиблює регулярне відстеження стану територій, забезпечує широку оглядовість, повторюваність, високу оперативність одержання та опрацювання інформації. Крім того, використання даних ДЗЗ та ГІС-технологій відкриває нові можливості для отримання оперативного прогнозу зон можливого затоплення, попередньої оцінки масштабів повеней, моделювання географічних об'єктів, визначення найдоцільніших місць для розташування захисних споруд, а також контролю зони прибережних територій.

Сьогодні постає необхідність детального опрацювання методів організації моніторингу зміщення русел річок, дослідження процесів їх меандрування, що пов'язане із зміною водоохоронних зон та також визначенням затоплених земель. Сучасні геоінформаційні системи, зокрема спеціальні модулі, дозволяють за певними гідрологічними моделями визначати зони затоплення та проводити прогнозування таких зон, а також складати тематичні карти, пов'язані з підтопленням та затопленням земель.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*

Виконані дослідження відповідають науковому напрямку кафедри фотограмметрії та геоінформатики інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка» «Розробка та дослідження методів фотограмметрії, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій для кількісної та якісної оцінки явищ, об'єктів і процесів».

Тематика наукового дослідження пов'язана з проектом «Транскордонне співробітництво в басейні річки Дністер» підготовленому в рамках компоненту «Зміна клімату і безпека в басейні річки Дністер», проекту «Зміна клімату і безпека у Східній Європі, Центральній Азії та Південному Кавказі», який реалізується

Європейською економічною комісією ООН та організацією з безпеки та співробітництва в Європі.

Тематика відповідає питанням, які вирішуються у Водному кодексі України.

*Мета і завдання досліджень.*

Метою роботи є опрацювання методики моніторингу горизонтальних зміщень русла річки Дністер від витоків до м. Заліщики та лівобережних і правобережних приток за різночасовими топографічними картами, спеціальними картами та космічними знімками. Такий комплексний підхід до використання різних матеріалів для отримання вхідної інформації про русло річки з її опрацюванням за допомогою геоінформаційних систем дає можливість проводити моніторинг зміщень русла, визначати причини та величини горизонтальних зміщень за значний часовий період. Серед різних чинників особливу увагу надано дослідженню впливу геолого-геоморфологічних структур на характер зміщень річки Дністер та його правобережних і лівобережних приток. Карти ґрунтів та четвертинних відкладів є підставою для встановлення суттєвих причин зміщень русла річки Дністер.

*Завдання дослідження:*

1. Проаналізувати основні чинники змін руслових процесів, методи їх виявлення та фіксації.
2. Оцінити вплив похибок вхідних матеріалів на точність горизонтальних зміщень річок за перехід від однієї картографічної проекції до іншої.
3. Опрацювати методику дослідження горизонтальних зміщень русла річки Дністер за довготривалий період на підставі топографічних карт, даних ДЗЗ з використанням геоінформаційних технологій.
4. Здійснити аналіз горизонтальних зміщень річки Дністер та її лівобережних та правобережних приток за 100-140 літній період. Виявити вплив зміщень річки Дністер та її приток залежно від геолого-геоморфологічних структур.

5. Проаналізувати математичні вирази визначення стійкості річок, подані в спеціальній літературі та опрацювати математичний вираз та критерії визначення стійкості із урахуванням ширини заплави.

6. Застосувати методику побудови цифрової моделі рельєфу з використанням БПЛА для ділянки річки із ускладненим меандруванням.

*Об'єктом дослідження є руслові процеси, зокрема горизонтальні зміщення русла річки Дністер та її лівобережних і правобережних приток.*

*Предметом дослідження є методи і технології моніторингу горизонтальних зміщень русла річки Дністер та русел його основних приток на підставі топографічних карт, космічних зображень, спеціальних карт за різні часові періоди.*

*Методи дослідження.* Для розв'язання комплексу питань, які сформовано в дисертаційній роботі стосовно зміщень русла річки Дністер та його лівобережних і правобережних приток застосовано методи математичної обробки даних, аналізу зміщень русла річки Дністер та його приток, а також статистичні підходи до вивчення питань, пов'язаних із стійкістю русел річок.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

1. Вперше запропоновано визначати горизонтальні зміщення річок на підставі концептуальної моделі з використанням за різні часові періоди топографічних карт різних масштабів, космічних зображень, знімків, отриманих з БПЛА, спеціальних карт з їх опрацюванням за допомогою геоінформаційних систем.

2. Визначено параметри переходу для різних картографічних проекцій та точність трансформації топографічних карт Галичини австрійського та радянського періодів за допомогою спрощених формул Молоденського.

3. Здійснено аналіз горизонтальних зміщень русла річки Дністер та його лівобережних і правобережних приток за 100-140 річний період, що дозволило виділити основні характерні ділянки русла річки Дністер та його приток.

4. Вперше досліджено вплив геологічних структур на руслові процеси річки Дністер і його лівобережних та правобережних приток, виявлено суттєву залежність їх від основних геологічних структур, а саме Передкарпатського прогину та Волино-Подільської плити.

5. Вперше проаналізовано математичні вирази щодо стійкості річок, запропоновані різними авторами, здійснено порівняльний аналіз критеріїв стійкості з визначеними горизонтальними зміщеннями річки Дністер та його приток. Запропоновано вираз для визначення стійкості річок із урахуванням ширини заплави.

Для виконання дисертаційної роботи використано матеріали, надані такими науковими інституціями та підприємствами, за що автор виражає їм вдячність:

1. Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі НАН України (космічні знімки із супутників Landsat 7 (2000 р.) та Landsat 8 (2014р.)).

2. Державне підприємство «Західгеодезкартографія» (топографічні карти масштабів 1:100000 річок Дністер та Стрий).

3. Львівська геологорозвідувальна експедиція (геологічні, четвертинних відкладів та ґрунтові карти на річки Стрий і Дністер).

4. Архівний відділ Львівського обласного управління земельних ресурсів (карти ґрунтового покриття р. Дністер).

*Практичне значення одержаних результатів.* Методика та результати досліджень можуть бути використані в гідротехнічних службах, організаціях і відомствах, що займаються проектуванням будівництва річкових переходів, обласних та районних управліннях водного господарства, в науково-дослідних установах – Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті (УкрНДГМІ, м. Київ), Інституті гідротехніки і меліорації УААН (ІГІМ, м. Київ), Українському науково-дослідному інституті водогосподарсько-екологічних проблем (УНДІВЕП, м. Київ).

*Основні положення, що виносяться на захист.*

1. Методика моніторингу горизонтальних зміщень русел річок за концептуальною моделлю, підставою якої слугують топографічні карти, матеріали ДЗЗ з їх опрацюванням за допомогою геоінформаційних систем.
2. Дослідження впливу геологічних структур на характер руслових процесів річки Дністер та її приток.
3. Аналіз горизонтальних зміщень річки Дністер та її приток за 100-140 років.
4. Аналіз стійкості русел річки Дністер та її приток на підставі визначених горизонтальних зміщень. Вираз стійкості із врахуванням ширини заплави річки.

*Особистий внесок здобувача.* Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковано у співавторстві у працях [22, 23, 24, 29, 67, 198, 200, 230, 231, 232] та одноосібно у [183]. У роботах [22, 24, 29, 183, 231] проведено аналіз загальної проблеми руслових деформацій; розроблено загальну технологічну схему опрацювання матеріалів; зроблено прив'язку топографічних карт та синтезацію космічних зображень; зроблено векторизацію русел річок; визначено коефіцієнти звивистості русел та виконано вимірювання максимальних зміщень русла річки Дністер та його приток; обчислено коефіцієнт стійкості русла річки Дністер та його приток; здійснено вимірювання площі островів та стариць; проаналізовано геологічну структуру за допомогою спеціальних карт. У роботах [23, 198, 230, 232] проаналізовано різні чинники, які впливають на розвиток руслових процесів; аналіз зміщення русла річки Дністер за різночасовий період, створення синтезованих зображень із КЛІА Landsat 7 та Landsat 8.

*Апробація результатів роботи.*

Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- 1) XXIII ISPRS Congress, Commission VII 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic;

2) VII міжнародно науково-практична конференція «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні» (Ужгород- Синеvir), 6-8 жовтня 2016 р.;

3) XXII Міжнародній науково-технічній конференції Геофорум-2017, Львів - Брюховичі - Яворів, 24-27 квітня 2017 року;

4) VIII Miedzynarodowa konferencja naukowa «Innowacyjne technologie geodezyjne, zastosowanie w roznych dziedzinach gospodarki». Rzeszow, Polska, 7-9 czerwca 2017 r.;

5) 8-а міжнародно науково-технічна конференція: «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» 2017 р., ( Львів – Східниця);

6) XXIII Науково-технічна конференція «Геофорум – 2018», 18–20 квітня 2018 року, Львів - Брюховичі – Яворів;

7) VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa “Gromadzenie i przetwarzanie danych geodezyjnych i gospodarczych”, 25-26 października (Jaroslaw).

*Публікації.* За результатами дисертації опубліковано 12 наукових праць. П’ять статей видано у наукових фахових виданнях з переліку ВАК України, одна з них входить до наукометричної бази Web of Science. У закордонних виданнях опубліковано три наукові статті, дві з них включені в наукометричні бази, одна з них входить до наукометричної бази Scopus, а інша до наукометричної бази Index Copernicus. Чотири публікації надруковано у збірниках тез наукових конференцій.

*Структура і обсяг дисертації.* Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел ( 334 найменування) та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 212 сторінок, ілюстрації складають : 91 рисунок, 52 таблиці, додатки А-В.



# РОЗДІЛ 1 РУСЛОВІ ПРОЦЕСИ ТА ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДЗЗ ТА ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

## 1.1 Суть руслових процесів

Під терміном русловий процес розуміють постійну зміну морфологічної будови річкового русла і заплави, зумовлену дією потоку води [ 1, 6, 122]. Однак, згідно [224, 220, 228, 229] - це геоморфологічний процес, який передбачає горизонтальне зміщення алювіального річкового русла через заплаву. У вітчизняній літературі [15, 37, 54, 220] вказано, що гідролого-морфологічний напрям теорії руслових процесів базується на узагальнені руслових форм і утворень та на визначенні швидкостей їх переміщення з метою розробки прогнозів руслових процесів. Як було відмічено в роботі [11], руслові процеси залежать від природніх та антропогенних чинників, фізичних умов і середовища, що характеризує ландшафт водозбору. Вивчення руслових процесів обумовлює заходи, які дозволяють запобігти катастрофічним стратам та уникнути значних економічних втрат.

За декілька століть, відповідно до запитів практики, річкові русла стали предметом досліджень природніх дисциплін (гідрології та геоморфології) і технічних (гідротехніки і гідродинаміки), на підставі яких отримано вирішення багатьох проблем руслових процесів. Вивчення руслових процесів має велике значення для розв'язання завдань, висунутих численними запитамі практики.

Одними з перших вчених, які ввели основи вчення про динаміку природніх водних потоків і руслових процесів є: Чалов Р.С., який встановив, що руслові процеси тісно пов'язані з навколишнім середовищем, автором розглянуто форми проявів руслових процесів, проаналізовано морфологію русла та заплав [188, 191, 192, 193]; Маккавеев Н.І., яким досліджено проблеми ерозії ґрунтів і руслових процесів, флювіальної і динамічної геоморфології, пов'язані з переформуванням русел на судноплавних річках. [108, 110, 111]; Лохтін В.М., яким розглянуто умови

формування русел малих річок, запропоновано показники стійкості русел річок, проаналізовано вплив гідрологічного режиму річок [102, 103]; Резніков П.Н., яким розглянуто коло питань, пов'язаних з вивченням річкових наносів [155]; Попов І.В., яким досліджено морфологію річкових русел і розроблено методи їх раціонального використання, засновано гідроморфологічну теорію, проаналізовано ерозійно-аккумулятивні процеси і створення ними форм рельєфу. [145, 146]

Однак, на даний час існує значна кількість новітніх матеріалів, методик та технологій при вивченні ерозійних та руслових процесів річок і їх басейнів. Тому методика перших вчених з дослідження руслових та ерозійних процесів на даний час є досить неповною.

Перш за все, природні меандруючі річки знаходяться загалом у великих родючих долинах, найбільш цінних зонах для сільського господарства та населених пунктів, які часто зазнають демографічного і економічного тиску. Повноводні річки впливають на населені пункти та промисловість [289]. Це свідчить про необхідність систематичного проведення захисних заходів від повеней та посилення контролю над ерозією берегів і мінералізацією меандру. Будь-яка галузь народного господарства повинна враховувати діяльність річки. Зокрема, будівництво мостових переходів, водозаборів, набережних та інших споруд не можуть обійтися без урахування руслових процесів. Крім того, ці споруди змінюють умови протікання річкового потоку і викликають цілий ряд нових явищ в руслоформуючій діяльності, які необхідно передбачити, щоб забезпечити збереження і функціонування самої споруди. Важлива сфера застосування теорії руслових процесів - сільське господарство, оскільки найбагатші лугові угіддя розташовуються на річкових заплавах; діяльність річок необхідно враховувати при розробці проектів їх меліорації. Проектування робіт з регулювання русел, різного будівництва на берегах і в руслах річок повинні обґрунтовуватися прогнозами руслових зміщень, що спираються на знання умов та закономірностей формування річкових русел. Інженерні розрахунки тільки тоді можуть бути достатньо

обґрунтовуваними, якщо вони враховують напрям та інтенсивність руслових процесів, їх можливі зміни та специфіку проявлення у різних умовах, як в природному їх розвитку, так і через вплив на них господарських заходів. Господарське використання річок призводить до суттєвих змін їхнього гідрологічного режиму, аж до виникнення якісно нових русел. Також важливим є обґрунтування співвідношень між горизонтальними зміщеннями і режимом глибин на перекатах та перекатних ділянках, виявлення багаторічних, сезонних та річних зміщень. [122]

Відомі випадки, коли розорювання заплавної землі призводило до змиву ґрунтів і перетворенню луґів на тривалий термін в непродуктивні території. [107] Ці проблеми виникають не тільки на території України, а і у багатьох європейських країнах, наприклад, Нідерландах, Італії та Франції. Окремі муніципалітети вирішили планувати населені пункти без координації цих заходів з активністю русла річок, що створило у майбутньому значні витрати на протипаводкові заходи і підкреслило необхідність та вагомість врахування стійкості русла у довгостроковій перспективі. Подальше освоєння заплави призводить до ще вищих рівнів повені. Тому пріоритетом нової політики у сфері землекористування є встановлення максимальних охоронних меж з урахуванням майбутнього меандрування річок.

Останні десятиріччя в Україні відзначаються різким збільшенням катастрофічних повеней і пов'язаних з ними соціальних та економічних втрат. У XX столітті катастрофічні регіональні паводки на північно-східному макросхилі Карпат спостерігалися в теплу пору року в 1911, 1927, 1941, 1955, 1969, 1980, 1984, 1989, 1997 рр., а на південно-західному – в холодний період року у 1926, 1947, 1957, 1970, 1998 рр. Особливо значної екологічної шкоди й економічних втрат завдали паводки у 1998, 2001 та 2008 рр. Локальні катастрофічні паводки спостерігаються майже через кожні 2-3 роки або й щорічно. Судячи з частоти виникнення паводків в Карпатському регіоні України, можна стверджувати, що моніторинг за водними

об'єктами є вкрай необхідним. Улітку 2008 року на заході України стався паводок через інтенсивні грозові дощі і, як результат, - різке підняття рівня води в річках. Пік повені припав на липень, вона вважається найбільшою в історії Західної України за останні 60 років. Втрати від цієї повені : зруйновані мости (рис. 1.1), транспортні комунікації, берегоукріплення, житлові будівлі. Стихійні природні явища в поєднанні з антропогенними чинниками у Карпатах завдають великої шкоди економіці і природі регіону. Щорічні збитки на площах, порушених водною стихією, становлять понад 4,5 млрд грн , а у 2008 р., за попередніми розрахунками, ці збитки оцінено вже на суму 7 млрд грн. Вказана шкода певною мірою є наслідком природніх стихійних явищ і розбалансованості територіальної природно-ресурсної системи Карпатського регіону. [203]



Рис. 1.1 Зруйнований міст в результаті повені в селі Миртюки (Стрийський район) [70]

У Карпатському регіоні у липні 2018 року відбулася катастрофічна повінь, яка призвела до суттєвих економічних та господарських втрат. На рис. 1.2 показано наслідок повені, а саме розмивання ґрунту річкою Сукіль на значній території, що спричинило утворення нового рукава русла поблизу дороги (рис. 1.2) та руйнування мостів (рис. 1.3). Це відбулось через масову вирубку лісу. За останні десятиліття зникла велика частина лісового покриву, і тому Українські Карпати не спроможні утримувати вологу. Вода, що дуже швидко стікає у долини спричиняє значні екологічні збитки. [176] В Україні ліс вирубується від початку 60-х років минулого століття. Кілька років тому, після катастрофічних повеней на Закарпатті

Верховна Рада так і не спромоглася затвердити законопроект про заборону вирубки лісу. Це доказує актуальність, своєчасність та необхідність моніторингу руслових процесів.



Рис. 1.2 Наслідок повені 2018 року (р. Сукіль)



Рис. 1.3 Зруйнований міст біля села Устеріки Верховинського району (2018 р.) [69]

Затоплення, каналізація та видобуток піску та гравію з русел річок є основними причинами трансформації русел річок [165, 234, 321, 302].

Крім цього, у деяких Європейських країнах через відновлення первісного стану сільських та гірських районів, що сприяє зростанню лісових масивів, зменшується постачання осадів до річок та зростання швидкості течії річок. [301]

Вивчення закономірностей руслового процесу дозволяє своєчасно вживати заходи (пристрій струмененапрямних дамб, захисних споруд та ін.), щодо поліпшення експлуатації інженерних споруд на річках (водозаборів, мостів, причалів, переходів через річки, трубопроводів та ін.), передбачити майбутнє переформування русел річок при регулюванні їх стоку водосховищами і покращувати судноплавні умови.[ 248]

### 1.1.1 Класифікація річок та їх морфометричні характеристики

Класифікацію річок та їх морфометричні характеристики використовують для визначення кількісних характеристик стійкості та звивистості русла річки необхідних при розв'язанні гідрологічних завдань. Також класифікація подається для опрацювання рекомендацій щодо водоохоронних зон прибережних територій, оскільки на сьогодні недотримуються межі будівництва на приберегових територіях.

В даній таблиці подано класифікацію річок за розміром басейну та довжиною річок. [40]

Таблиця 1.1

#### Класифікація річок за розміром басейну та довжиною річки [40]

Великі	річки з площею басейну понад 50 000 км <sup>2</sup>	Понад 500 км
Середні	річки з площею басейну в межах 2 000-50 000 км <sup>2</sup>	100 - 500 км
Малі	річки з площею басейну менше 2 000 км <sup>2</sup> .	10 - 100 км
Струмки	малі річки з площею басейну до 50 км <sup>2</sup> .	До 10 км

У межах водоохоронних зон виділяють прибережні захисні смуги шириною : для малих річок і струмків - 25 метрів; для середніх річок - 50 метрів; для великих річок - 100 метрів. [40]

У закордонній літературі [145, 111, 228] проводять класифікацію річок за такими ознаками: характером перебігу, типом живлення і режиму. (рис. 1.4)

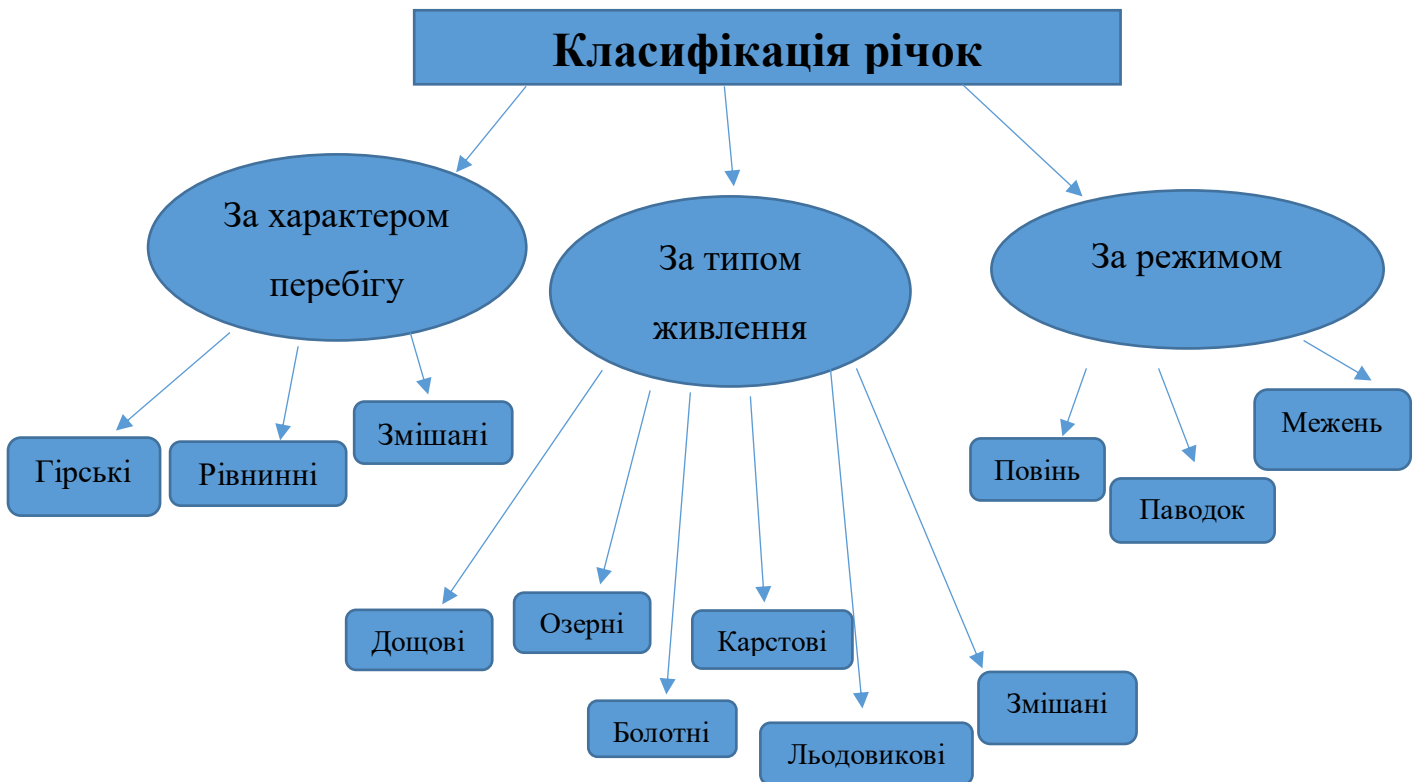


Рис. 1.4 Блок-схема класифікації річок

Досліджувана річка Дністер проходить по різних геологічних та геоморфологічних структурах, тому за характером перебігу входить в усі 3 категорії. Живлення Дністра є переважно змішаним. Дністер характерний весняною повінню та літніми паводками. Його притоки мають подібну характеристику.

Для того щоб в'яснити причини та хід горизонтальних зміщень річок необхідно мати інформацію про *основні морфометричні характеристики* досліджуваної річки, які використовують для визначення стійкості русел. [97, 299, 306]

До цих характеристик входять :

- довжина річки  $L$  (км);
- глибина річки  $h$  (м);
- ширина річки  $B$  (м);
- падіння річки  $\Delta H$  (м);
- ухил річки  $I$  (м/км);
- звивистість русла річки  $K$ .

### 1.1.2. Типи меандрування

Питання типізації річкових русел неодноразово розглядалися у вітчизняній і зарубіжній літературі. У розробці існуючих вітчизняних класифікацій річкових русел, що спираються на різні ознаки, брали участь такі вчені, як Маккавєєв Н.І., Алтунін С.Т., Крошкін А.Н., Россинський К.І., Попов І.В., Кондратьєв Н.Є., Ржаніцин Н.А., Чалов Р.С., Crosato A., Rust B.R., Kellerhals R., Brice J.C., Snishchenko V.F. & Kopalani Z.D., Rosgen D.L., Mosley M.P., Ferguson R.I. та інші.

Типізацію річок потрібно робити для того, щоб проаналізувати характер русла річки. Адже величини зміщень залежні від типу русла річки.

Класифікація річок, заснована на плановій формі річок. У її основі закладено дві мети:

- визначення термінології для опису морфологічних ситуацій природніх річок;
- ідентифікація морфологічної ситуації, що ґрунтується на регулюванні чинника.

У першому випадку класифікаційні схеми обмежуються геометричним описом річки і можуть містити також опис деяких явищ, але без виявлення їх причин. У другому випадку вже визначена геометричним способом планова форма пов'язується з комбінацією морфодинамічних параметрів. Ці параметри є незалежними чинниками, що регулюють процеси формування горизонтальних форм. [227]

Накопичення інформації про форми русел, особливості їх зміщень, застосування нових методів вивчення руслових процесів призвели до удосконалення раніше запропонованих класифікацій, їх доповнення, розроблення нових класифікаційних схем. Велике значення морфології русла присвячувалось в геоморфологічній літературі. Так, автор [99] більше 100 років тому розрізнув два типи вигинів русла - звивини, що формуються і врізані меандри, що відповідають вільним і врізаним вигинам в сучасній термінології. Пізніше автор [207] виділив



первинні вигини річки, пов'язані з особливостями рельєфу земної поверхні, і вторинні, що формуються в результаті роботи самого водного потоку. В окрему групу він відніс річки, розділені островами на рукавах.

Одна з перших класифікацій по стійкості русла була розроблена в роботі [106], в якій русло річки розділено на стійке та нестійке. Далі було запропоновано кілька модифікацій цієї класифікації. Наприклад, в роботах [34, 35] виділено чотири типи русла по стійкості: річки підвищеної стійкості; річки нормальної стійкості; рівнинні річки меншої стійкості; нестійкі річки.

Автор [1] обґрунтував необхідність виділення трьох класів річкових русел - гірських, передгірських і рівнинних річок, що відрізняються кінетичністю водних потоків, морфологією русел та форм руслового рельєфу і принциповою відмінністю руслової діяльності потоків.

Врахування умов транспортування наносів і транспортної здатності потоку призвело до того, що в другій половині ХХ ст. з'явилися нові підходи до класифікації річкових русел. До них відноситься класифікація, розроблена в роботах [90, 145], в якій типи русла (руслових процесів) розташовані в певній послідовності : 1) стрічково-грядовий тип руслового процесу; 2) побічний тип руслового процесу; 3) обмежене меандрування; 4) вільне меандрування; 5) незавершене меандрування; 6) заплавна багатуруканість; 7) осередковий тип руслових процесів. (рис. 1.5)

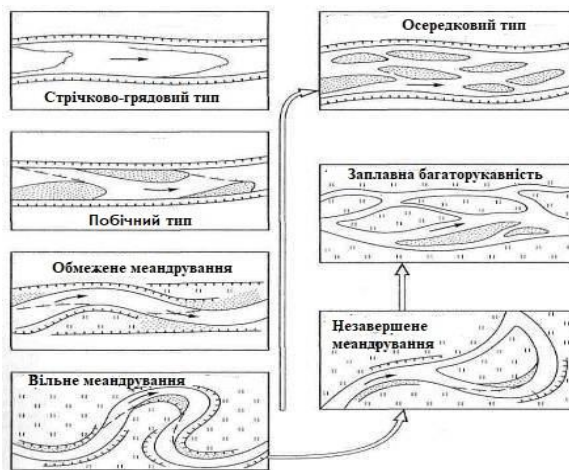


Рис. 1.5 Класифікація типів русел за [90, 145]

Кілька класифікацій, що базуються на геометричних ознаках та явищах містяться в іноземній літературі. Автор [233] класифікував річки за звивистістю та осередкованим параметром. В іншій роботі [268] запропонована класифікація на основі : планової форми (прямої, звивистої, нерегулярного меандрування, регулярного меандрування); островів (відсутність островів, випадкові острови, часті острови); основні форми руслових ліній (бічні межі русел, тальвег русла) і активність бокових рукавів річки (не виявляється, прогресують вниз по течії, прогресують на окремих відрізках). В роботі [226] класифікація річки виконана за допомогою : звивистості, точок вигину, осередків та багаторукавності. В роботі [320] класифікували річки за зростанням звивистості. Вони ввели у класифікацію річки кут нахилу та напрям зміни русла. У статті [311] річки розділені по категоріях, заснованих на: нахилі русла, звивистості, відношенні ширини до глибини та змоченому периметрі. Внаслідок значної кількості класифікацій термінологія опису типів за характеристикою в плані річки не є ще стандартизована.

Деякі відомі вчені [64, 273, 267, 250] вважають, що русло річки потрібно вивчати детальніше. Не тільки саму форму русла, а і морфологічні елементи його (рис. 1.6). Адже кожен елемент впливає на форму та характер русла. І при дослідженні руслових горизонтальних зміщень потрібно спочатку проаналізувати і вивчити саме русло. Дубіс Л. та Кузьо Н. [64] вказують, що від морфологічних особливостей і морфометричних параметрів русел значно залежить висота підняття рівня води під час повеней та паводків; вони впливають на швидкість проходження паводкових хвиль, самі є наслідком та водночас створюють передумови розвитку горизонтальних і вертикальних руслових зміщень. З урахуванням морфодинамічного типу русла прогнозують підняття рівня води, аналізують морфологічні зміни русла і можливість їхнього впливу на господарські об'єкти, розташовані вздовж чи поблизу русла.

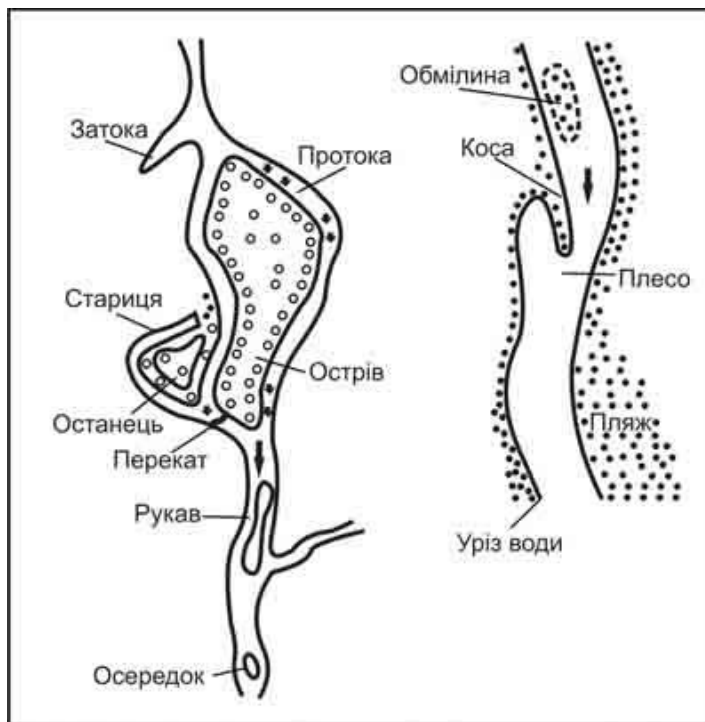


Рис. 1. 6 Форми руслових утворень [74]

Характеристики та класифікацію русел річок часто досліджують за допомогою аерофотознімків, топографічних карт, геологічних та гідрологічних матеріалів. Такий дослідницький підхід обов'язково повинен бути доповнений дослідженнями на місцевості [268]. Хоча в літературі вказують на вплив геологічної будови території, однак цей вплив розглядають узагальнено без конкретизації дії на зміщення русел [95, 96, 122].

### 1.1.3. Основні чинники, які впливають на руслові процеси

З роботи [122] відомо, що кожна річка має свої особливості, і їх необхідно досліджувати окремо. Чинники, які впливають на деформаційні процеси русел річок, розділяють на дві групи: природні і антропогенні, з них можна виокремити безпосередні та опосередковані чинники.

В різних джерелах [98, 10, 271] подають різну класифікацію чинників, що впливають на руслові процеси.

На підставі аналізу літератури, яка стосується вивчення основних чинників, що впливають на руслові процеси для середньоєвропейських річок різної структури подано класифікацію в табл. 1.2.

### Класифікація основних чинників, які впливають на зміщення русел річок [122]

Природні		Антропогенні		
Безпосередні		Опосередковані	Безпосередні	Опосередковані
Стік води	Зсуви і осипи берегів	Характер випадіння опадів	Гідротехнічне будівництво	Розьорювання водозбору
Стік наносів	Вітрова ерозія берегів	Інтенсивність ерозії на водозборі	Зарегульованість стоку	Зведення лісів на водозборі
Геолого-геоморфологічна будова	Хвилювання на річках	Водозахисна здатність ґрунтів	Руслові та заплавні карери	Меліоративні заходи на водозборі
	Льодові явища	Рослинність на водозборі	Комунікації через річки	Гідротехнічні та меліоративні заходи на заплавах
	Рослинність в річці і на заплаві	Ландшафтна структура водозбору	Меліоративні роботи в руслі	Селітебне навантаження на водозбір
			Населені пункти на берегах річки	

Щодо *природніх чинників*, то вчені стверджують [10, 11, 263, 193], що природні руслові потоки характеризуються в конкретних природніх умовах певним водним режимом і залежать від особливостей клімату (в першу чергу розподілу на рік опадів), зсувами та осипами берегів і різними умовами стоку наносів, які залежать від геологічної будови та від рельєфу, а також ландшафтної структури водозбору. Стік наносів розглядається як фактор руслоформування. З одного боку, кількість і склад наносів, що надходять з площі річкового басейну, не залежить від стану руслової системи і є по відношенню до неї зовнішнім фактором. З іншого боку, надходження наносів в потік можливо і безпосередньо з руслових відкладень, які є результатом попередніх станів руслової системи, або від розмиву заплави та корінних порід, що складають дно і береги річки. В цьому відношенні стік наносів є функцією водного стоку і руслового режиму річки [155]. На думку Чалова Р.С. [193] залишаються невирішеними питання визначення транспортування потоків стосовно донних наносів, що вимагає подальшої розробки методики розрахунку

стоку. У статті [209] вказано, що через винос з гір значної кількості наносів і паводковому режиму річок Передкарпаття їх русла активно змінюються, деформуються. Маккавеев Н.І. [108] вважає, що інтенсивність ерозії і руслових процесів знаходиться в прямій залежності від обсягу стоку води, від ухилу поверхні території, від піддатливості покривних порід ерозії і вивітрювання. Випадання опадів є дуже важливим чинником, який впливає на руслові зміщення [251, 265, 326]. В різних умовах на потік впливають льодові явища в холодну частину року, особливості розвитку рослинності в самому руслі, що визначає його шорсткість, вітер, який впливає на поверхню води та швидкість течії, геолого-геоморфологічна будова обумовлює вільні або обмежені умови розвитку руслових зміщень. Від них залежить ширина дна долини, самого русла і заплави. Одним з головних чинників є стік наносів [110]. Його величина, режим, крупність частинок, визначаються особливостями формування стоку води і геолого-геоморфологічної будови. Стік води і геолого-геоморфологічна будова є провідними чинниками руслових процесів : активним (стік води) і пасивним (геолого-геоморфологічна будова) [190]. Таким чином, вони відіграють визначну роль у формуванні самого русла і стоку наносів, як чинника формування русла. [89] Згідно В. М. Лохтіна, при дослідженні руслового режиму річок необхідний облік якомога більшого числа чинників. [103] Автор вважає, що найдетальніше потрібно розглядати вплив геолого-геоморфологічного чинника.

Перераховані чинники є головними у процесі руслоформування і характерні для усіх річок. Від їх взаємодії і взаємообумовленості найбільше залежить інтенсивність проявів і характер проходження цих процесів у річках [145].

На нашу думку, розглядати тільки природні чинники руслових процесів було б меншою мірою “некоректно”, так як на річки та на проявлення у них руслових процесів мають вплив антропогенні чинники.

Криленко І.В. [98] стверджує, що подальше зростання чисельності людей промислового й сільськогосподарського виробництва викликало посилення впливу *антропогенних чинників* на річкові системи. Одним з перших цю проблему сформулював автор [170], який вказав на ефективність системного підходу при оцінці впливу на руслові процеси чинників урбанізації та інженерних споруд, що зводяться в руслах річок, а також розробив методологію прогнозування руслових процесів на урбанізованих ділянках річок. До активних зазвичай відносять чинники, які здатні внести істотні зміни в природній хід зміщень русла і заплави (греблі, мостові переходи, дамби і т.д.). До пасивних відносять гідротехнічні об'єкти, що знаходяться в руслі і піддані впливу самих заплавно-руслових і басейнових процесів, спроможні призвести тільки до місцевих змін в руслі, не впливаючи в цілому на процеси руслоформування (водозабори, різні види переходів через річки : трубопроводи, кабельні лінії зв'язку, ЛЕП та ін.). [10] вважає цю класифікацію недосконалою через обмеженість впливу вагомих чинників на руслові процеси. [16] навпаки взяв цю класифікацію за основу, виділивши з широкого спектру антропогенних чинників лише ті, які істотно змінюють динаміку річкових потоків і хід руслових процесів, і не розглядає ті чинники, які впливають тільки на якість води та загальний санітарний стан водотоку.

[271] вважають, що найбільші зміни русла викликані видобутком гравію або піску з річки та гідротехнічними роботами. Їх застосування завжди було синхронним з швидким прискоренням змін морфології гірських русел [275, 321, 272].

Застосовані для захисту від розмиву і руйнування берегів (біля доріг, мостів, різних інженерних споруд і господарських об'єктів) стінки, габіони і інші споруди обмежують або навіть припиняють горизонтальні зміщення русла [98]. Інтенсивний видобуток валунно-гальково-гравійно-піщаних сумішей (як правило, алювіальних) з русел може викликати ряд негативних наслідків: зниження рівня води, підмив мостових переходів, опір трубопроводів і ЛЕП, порушення стійкості

споруд. Природній стік наносів не завжди або не повністю може компенсувати видобуток алювіальних наносів (для цього іноді можуть знадобитися багато років).

Подана структура чинників руслових процесів може в майбутньому доповнюватись і модернізуватись. Вона в основному показує і розвиває методичні методи і підходи до оцінки ролі чинників щодо руслових процесів, які розроблені в ерозійно-акумулятивній теорії руслових процесів [193].

#### 1.1.4. Звивистість і стійкість річок

При дослідженні зміщення русла річки потрібно враховувати *звивистість русла річки*. Адже, чим більша звивистість, тим річка більше меандрує. Але є винятки коли, наприклад, розраховується коефіцієнт звивистості каньйонної частини, яка є дуже звивистою, але не меандруючою, через види порід, які утворюють каньйон і невелику ширину заплави.

Однією з визначальних характеристик річок є звивистість їх русел. Коефіцієнт звивистості русла визначають із залежності [62] :

$$K'_i = \frac{L'_i}{L}; \quad (1.1)$$

де  $L'_i$  – довжина русла,  $L$  – відстань між крайніми точками русла, вимірними по прямій.

Типи звивистості русла визначають згідно таблиці 1.3 :

Таблиця 1.3

Типи звивистості русла [62]

Тип звивистості русел річок	Значення коефіцієнта звивистості
Відносно прямолінійні	<1.1
Дуже слабо звивисті	1.10-1.20
Слабо звивисті	1.21-1.40
Помірно звивисті	1.41-1.60
Звивисті	1.61-1.80
Сильно звивисті	1.81-2.00
Надзвичайно звивисті	>2.00

Важливою характеристикою русел річок є їх *стійкість* - як ступінь їх протидії розмиву. Згідно Маккавєєву Н.І. і Чалову Р.С. [192] поняття "стійкість русла" може бути застосовано для порівняння річок за швидкістю розвитку руслових зміщень. Оцінюють як кількісну характеристику руслових зміщень, так і якісну, які спираються на залежність форми русла від ступеню його рухливості. При інших рівних умовах річки з нестійкими руслами характерні діленням на рукави і відсутністю типових закрутів. Є ділянки річок, де переформується тільки дно, на інших переважають горизонтальні зміни при відносній незмінності дна. Тому, треба враховувати стійкість не тільки ложа, але і берегів, рухливість яких залежить від міцності корінних порід, від крупності і цементації відкладень, від наявності і стану рослинного покриву і тощо.

Стойкість русла визначає інтенсивність руслових зміщень, а її зниження сприяє найповнішому розвитку руслових зміщень через взаємодію заплавної та руслових потоків [122].

Ободовський О.В. [122] вказує на те, що динамічно стійкі алювіальні ділянки русел знаходяться там, де русловий процес визначений трьома основними гідроморфологічними чинниками: витрата води, крупність наносів і ухил русла, а при порушеному режимі додається четвертий чинник - витрата донних наносів. Починаючи від В.М.Лохтіна [103], різні автори по-різному класифікували ділянки русел з їх стійкості. Автори [182] відзначили, що в умовах гірських річок стійкість скельних і перехідних ділянок русел відрізняється від алювіальної стійкості, якщо перші в період паводку піддаються незначній деформації, то другі при тих же умовах можуть змінювати як поздовжні, так і горизонтальні форми.

Основні коефіцієнти стабільності, виходячи із типу місцевості та основних русел річок, визначають із математичних виразів.

Широко вживане число (показник) Лохтіна. [97, 103]

$$L = \frac{d}{I}, \quad (1.2)$$



де:  $d$  – середній діаметр наносів;

$I$  – ухил водної поверхні на відрітку русла.

Одним з найпростіших коефіцієнтів стійкості є модифікований коефіцієнт (показник) Лохтіна : [103]

$$L_o = \frac{d}{\Delta H} * \frac{B}{h} * A, \quad (1.3)$$

де:  $\Delta H$  – перепад висот ріки;

$B$  – середня ширина русла в межень;

$h$  – середня глибина водної поверхні при меженному рівні води;

$A$  – коефіцієнт ерозії залежно від еродованості ґрунтів.

Макавєєв Н.І. [126] змінив коефіцієнт Лохтіна, запропонувавши додати до виразу середню ширину русла ( $B$ ) :

$$K_s = \frac{d}{I * B} * 1000, \quad (1.4)$$

[35] доповнив число Лохтіна середньою глибиною водної поверхні ( $h$ ).

Коефіцієнт стійкості Великанова :

$$\Psi = \frac{d}{h * I}, \quad (1.5)$$

Глушков В. Г. [97] на підставі обробки великого гідрометричного матеріалу, встановив співвідношення між шириною і середньою глибиною русла такого вигляду:

$$G = \frac{\sqrt{B}}{h}, \quad (1.6)$$

Крошкін А.Н. доповнив математичний вираз Глушкова середнім діаметром наносів :

$$K_u = \sqrt{\frac{B * d}{H}}, \quad (1.7)$$

Ржаніцин Н.А. [160] вважав за потрібне додати до математичного виразу ухил водної поверхні на відрізьку русла :

$$K_r = \frac{d * B}{h * I} \quad (1,8)$$

Чаловим Р.С. [192] зроблено класифікацію ділянок русел за ступенем стійкості (табл. 1.4) :

Таблиця 1.4

### Класифікація ділянок русла за ступенем стійкості [192]

<i>Характеристики стійкості</i>	<i>Показники стійкості</i>	
	<i>L</i>	<i>Kc</i>
<i>Нестійкі</i>	<2	<6
<i>Слабко стійкі</i>	2-5	6-15
<i>Відносно стійкі</i>	5-10	15-20
<i>Стійкі</i>	>10	>20
<i>Абсолютно стійкі</i>	>50	>100

У табл. 1.5 подано класифікацію гальково-валунних русел за ступенем їх умовної стійкості за показниками Шатаєвої та Маккавєєва [74]. Однак характеристики стійкості певною мірою і умовні, оскільки в загальній системі русел гальково-валунні абсолютно стійкі.

Таблиця 1.5

### Класифікація гальково-валунних русел за ступенем їх умовної стійкості

<i>Характеристика умовної стійкості</i>		<i>Показники стійкості</i>		
<i>A</i>		<i>Kc</i>		
		<i>Звивини</i>	<i>Прямолінійні ділянки</i>	<i>Розгалуження</i>
<i>Нестійкі</i>	<1,4	<610	-	<310
<i>Слабко стійкі</i>	1,4-7	610-780	<110	310-330
<i>Відносно стійкі</i>	1,7-2,0	780-950	110-230	330-350
<i>Стійкі</i>	>2,0	>950	>230	>350

Подані різними авторами залежності не враховують всіх чинників, які впливають на руслові процеси. Тому, питання залишається відкритим з метою детального врахування чинників, зокрема таких як характер заплави, ерозійні особливості, зміна ландшафту та інші.

Критерії стійкості є значною мірою умовними через брак даних для визначення деформаційних процесів в певних ділянках русла.

## **1.2. Горизонтальні руслові деформації та методи їх визначення**

*Деформація русла* – конкретне проявлення руслових процесів на зміну положення і розмірів русла, заплави і окремих руслових утворень, а також на розмив або намив дна і берегів.

Руслові деформації поділяють також на вертикальні, якщо відбуваються зміни позначок дна русла, і горизонтальні, якщо спостерігаються поперечні зміщення русла. Зазвичай ці два види руслових деформацій відбуваються одночасно, але в деяких випадках переважають перші, в деяких - другі. [107]. В нашій роботі розглядаються тільки горизонтальні деформації русел річок.

Горизонтальні руслові деформації є горизонтальними переміщеннями, які спричиняють розмиви берегів та утворення заплави. Основними визначальними умовами для цих процесів слугують кінематична структура потоку та геолого-геоморфологічні умови формування русел. Саме ці два чинники обумовлюють утворення і розвиток різних типів та форм русел, їхні деформації, які супроводжуються розмивами берегів чи акумуляцією наносів. Разом із направленими змінами, які призводять до розширення дна долини і формування заплави впродовж тривалих відрізків часу, для горизонтальних зміщень більш характерні періодичні зміни, що пов'язане з виправленням (проривами) звивин та подальшим їх розвитком. Безпосереднє проявлення направлених горизонтальних зміщень виявляється тільки при “сприятливій” сукупності геолого-геоморфологічних умов формування русла і характеру загальних руслових деформацій. Ними виступають врізані звивини, які є типовими для розвитку річок

в умовах обмеженого руслоформування, тобто в регіонах поширення важкорозмивних порід. Геоморфологічною умовою направленою зміщення прямолінійного русла в бік одного з берегів з утворенням односторонньої заплави є наявність вирівняного в плані корінного берега. На меандруючих річках направлений характер формування може приймати зміщення в бік одного з берегів поясу меандрування, на розгалужених - поясу розгалуження. Інтенсивність горизонтальних руслових зміщень зазвичай більша, ніж вертикальних і коливається від кількох сантиметрів до десятків метрів за рік. Швидшими темпами горизонтальні переформування русел розвиваються на меандруючих річках і повільніше на відносно прямолінійних і врізаних руслах.

Кожний із видів руслових деформацій може проявлятися по всій довжині річки або на ділянках значної протяжності, тоді вони є загальними деформаціями, або на обмежених за довжиною ділянках русла, що відповідає місцевим або локальним їх проявам.

Дослідження зміщень русел річок є предметом різних дисциплін, у тому числі гідротехніки, математики, фізичної географії, геології, геоморфології та біології, водного землеустрою та річкового менеджменту [302, 238, 298, 308, 307].

Найбільший прогрес був досягнутий в останні десятиліття в розумінні процесів потоку, транспортування осадів, формування поперечних перерізів і горизонтальних змін русел [218]. З польових спостережень важливими внесками є ті, які зробили автори [281, 226, 254, 256, 257]. Важливим внеском є лабораторні експерименти, проведені в роботах [244, 280, 285, 246, 319, 322, 315], які надали значний прогрес у дослідження зміщень русел річок.

До оперативних методів здійснення державного моніторингу водних об'єктів в частині спостережень за станом дна, берегів, станом і режимом використання водоохоронних зон і змінами морфометричних особливостей водних об'єктів або їх частин відносяться такі методи : маршрутні морфологічні обстеження (зйомки), геодезичні, гідрометричний, дистанційного зондування Землі та картометричний.

Огляд методів, що використовуються для вимірювання темпів горизонтального зміщення русел, наведено [278]. Методи класифікуються відповідно до тривалості досліджуваних часових періодів (довгі, середні та короткі). До методів відносяться седиментологічні виміри, ботанічні вишукування, історичні джерела, ретроспективне відновлення русла, повторне нівелювання поперечних профілів русла та наземні фотограмметричні виміри. Довгострокові зміщення русла (100 та більше років) пропонується оцінювати за допомогою картографічних джерел [257]. Для середньострокових досліджень (10-50 років) рекомендується застосування аерофотограмметрії [256, 254], а короткострокових (в межах 10 років) супутникових знімків [305]. Найвища ефективність довгострокових, середньострокових та короткострокових досліджень русел є у поєднанні з маршрутними морфологічними обстеженнями.

Аналіз руслового процесу річки доцільно поділити на три основних етапи: попереднє вивчення руслового процесу; маршрутні дослідження руслового процесу; узагальнення даних попередніх камеральних і польових робіт, проведення остаточних розрахунків деформацій русла і заплави, складання прогнозів розвитку руслового процесу.

***Маршрутні морфологічні обстеження (зйомки).*** Маршрутні морфологічні обстеження (зйомки) передують (або служать в якості обґрунтування для подальшого застосування) методам геодезичного моніторингу або дистанційного зондування. Вони проводяться з метою отримання якісних і кількісних показників і характеристик русла річки, оцінки причин зміни берегової лінії, горизонтальних і висотних деформацій дна, впливу руслових процесів на гідрологічний режим річки, виявлення в межах водойм та річкових русел і заплав сторонніх об'єктів та їх потенційної небезпеки. Їх проводять в меженний період, коли на річці встановлюється низький рівень води. На річках з весняною повинню морфологічні зйомки плануються на осінній період, а на річках з паводковим режимом - на ранню

весну. Маршрутні морфологічні обстеження (зйомки) проводяться візуальними та інструментальними методами. [151]

При маршрутному дослідженні руслового процесу по наявних картографічних матеріалах можна :

- виявити схему деформацій русла і заплави річки, властиву досліджуваній ділянці, визначити межі морфологічно однорідних ділянок;
- отримати основні розміри макроформ та на цій основі виявити їх характеристики;
- уточнити необхідність проведення і завдання польових робіт.

Основну увагу при проведенні маршрутних робіт має бути звернено на такі основні питання:

- отримання кількісних характеристик руслових і заплавних деформацій;
- оцінка впливу цих деформацій на умови господарського використання річки;
- виявлення ділянок, що вимагають за своїми природними особливостями, або господарському значенню постановки особливо детальних маршрутних спостережень;
- отримання матеріалів для складання програми детальних стаціонарних досліджень руслового процесу.

Завершальним етапом попередніх камеральних робіт і маршрутних досліджень є отримання остаточної схеми розвитку руслового процесу на досліджуваній ділянці річки, кількісних його характеристик, основних закономірностей і зв'язків з визначальними чинниками. При цьому з'являється можливість проведення інженерних розрахунків і прогнозу зміщень русла річки.

Візуальні спостереження при проведенні робіт починаються з аналізу картографічних і супутникових матеріалів, дешифрування аерофотознімків. Після прив'язки супутникових знімків до топографічної основи виявляються ділянки розвитку небезпечних ерозійних процесів, положення берегової лінії водотоку, можливого знаходження сторонніх об'єктів на дні водотоку. Перед початком

проведення робіт намічається маршрут обстеження. При проведенні обстеження використовуються супутниковий знімок з високою роздільною здатністю і топографічною картою місцевості, на яку наносяться результати обстеження. В ході обстеження на робочі комплекти карт наносяться виявлені природні і антропогенні об'єкти, описи яких робляться в журналах спостережень (щоденниках). При цьому за допомогою супутникового навігатора визначаються координати ділянок з ознаками активної ерозії, гідротехнічних споруд, мостів і колекторів, інших природних і антропогенних об'єктів. Для цих ділянок складається відомість ерозійних процесів, де відзначаються ерозійно-акумулятивні форми, характер горизонтального і вертикального розвитку, наявність площинного змиву, характеристика русла річки, місцезрештування, вид і розміри сторонніх об'єктів на дні. Визначається візуально історія формування та антропогенних змін русла і берегів річки, а також ложа водойм. Відзначаються особливості руслового та гідрологічного режиму в період маршрутних обстежень - водність, рівень води і швидкості течії, типи берегів, морфометричні характеристики русла річки або ложа водойми. Виявляються місцеві чинники та переважаючі процеси на берегах і в руслах, що впливають на характер морфологічного вигляду русла і заплави і на особливості їх деформацій. Встановлюється гідроморфологічний тип річкового русла і тип руслового процесу на ділянці. Відзначаються ділянки розмивів або акумуляції руслових наносів, а також стійкі ділянки. При можливості встановлюються причини спостережуваних деформацій (розмивів і акумуляції).

У результаті виконання маршрутних морфологічних обстежень складаються загальні описи, абрисы, карти, що характеризують стан берегової лінії, руслових процесів водотоків і водоохоронних зон. Результатом таких обстежень є рекомендації щодо проведення більш детальних досліджень з використанням інших методів і технічних засобів, а також рекомендації щодо проведення водоохоронних заходів. [151]

Маршрутні морфологічні обстеження були використані для дослідження і аналізу сучасних еколого-геоморфологічних та гідроекологічних проблем річкових систем Закарпатської області [45] у післяпаводковий період з використанням матеріалів Закарпатського облводгоспу за період 1998-2003 років. Однак, виконані дослідження носять описовий характер, без приведення результатів деталізованих обмірів руслових зміщень.

Маршрутні польові дослідження застосовані в роботі [64] для дослідження русла річки Бистриця – Надвірнянська. Власне на підставі проведених польових, картографічних і дистанційних досліджень виокремлено та охарактеризовано головні типи русел річки Бистриця Надвірнянська від витоків (потік Гропинець) до с. Пасічна (Надвірнянський район Івано-Франківської області). Встановлено, що горизонтальні руслові зміщення найхарактерніші для частини русла Бистриці Надвірнянської з розвинутими акумулятивними формами. Аналогічний метод досліджень застосований автором [273] для вивчення структури і динаміки русел Карпатських річок. Перевага цього методу полягає у можливості одночасно досліджувати горизонтальні зміщення русла та визначати його тип. Однак цей метод був би ефективнішим у комплексі з геологічними дослідженнями і геодезичними вимірами руслових зміщень.

Маршрутні дослідження річки Дністер виконані у роботі [80], яка присвячена проблемі встановлення впливу антропогенних заходів на гідрологічний та гідрохімічний режими на ділянках середнього і нижнього Дністра. На основі маршрутних досліджень розроблено методику дослідження коливань полів швидкості і мутності в широкому діапазоні періодів та встановлені причини цих коливань. Виявлено динамічні та кінематичні умови транспорту наносів на ділянках річки з русловиправними спорудами та русловими кар'єрами. Досліджено особливості гідрохімічного режиму на ділянках річки з активними інженерними спорудами.



Необхідно зауважити, що маршрутні методи в поєднанні з еколого-геоморфологічними, гідро-геологічними та гідро-хімічними дослідженнями дозволяють оцінити вплив інженерних споруд на донні відклади, якість води, прогнозування зміщень русел річок, затоплення угідь і використовуються при управлінні територіями.

**Геодезичні методи.** Для вивчення динаміки річкових русел широко використовуються геодезичні методи. Умовно геодезичні методи можна поділити на дві групи: стаціонарні та мобільні.

Стаціонарні здійснюються протягом тривалого часу, але охоплюють лише порівняно невелику ділянку або кілька ділянок в найбільш характерних місцях. Ці ділянки вибираються з аеровізуальних обстежень, або по великомасштабних картах. [142]. Основними критеріями вибору ділянок є яскравий прояв руслових процесів на даній території; типовість розвитку руслових процесів з сусідніми територіями. На цих ділянках встановлюються геодезичні прилади для постійного моніторингу - це як правило ділянки мостових переходів, або розміщення гідротехнічних споруд. Візирними цілями є геодезичні кутникові відбивачі, або марки з нанесеним відбиваючим покриттям.

Мобільні геодезичні методи проводяться як правило в літній період, а на окремих ділянках у весняно-осінній час, та охоплюють значну частину русла річки.

Наступний поділ геодезичних методів - це методи дослідження вертикальних, горизонтальних та просторових деформацій.

Для дослідження вертикальних деформацій використовуються повторні методи геометричного та тригонометричного нівелювання. Відомі випадки застосування гідростатичного нівелювання для визначення руслових зміщень та передачі відміток, у великих заплавах, з малою швидкістю течії.

Визначення горизонтальних зміщень русел річок виконується за допомогою повторних тахеометричних знімань та лінійно-кутових вимірів на гідромережах. У роботі для вивчення динаміки рельєфу застосовано метод стрижнів і марок [142].

Сутність його полягає в проведенні повторних замірів відстаней до нерухомих стрижневих реперів або марок.

Просторові зміщення визначаються методами наземного лазерного сканування, наземної фотограмметрії.

Необхідно зауважити, що з економічної точки зору, оперативності та високої точності найефективнішим є методи ГНСС вимірів, у статичному, кінематичному та RTK режимах.

Геодезичні та інженерні роботи виконують у великих масштабах (1:500, 1:2000, 1:5000) [203]. Методика передбачає побудову поперечних та поздовжніх профілів річок, особливо в місцях суттєвих змін їх русел, для того щоб отримати чисельні дані про динаміку цих змін з високою точністю.

Широке застосування геодезичні методи отримали при дослідженні руслових процесів р. Тиса [63]. Геодезичні вимірювання виконано на відрізьку річки завдовжки понад 20 км, де розмічено 41 поперечний профіль. Основою для моніторингових досліджень слугували опорні планово-висотні ходи. Планову основу створено ходами полігонометрії першого розряду згідно з вимогами. Висоти реперів визначено нівелюванням IV класу.

Перевага геодезичних методів у порівнянні з іншими методами полягає у високій точності отриманих результатів (мм, см), що дозволяє достовірно визначити реальну швидкість протікання руслових процесів. Однак, ці методи дають обмежену інформацію про руслові процеси, яка охоплює тільки період між повторними спостереженнями, вони вимагають значних економічних та часових затрат, використання дороговартісного обладнання. Крім цього, параметри зміщень русла мають точкову привязку до місць встановлення геодезичних реперів, пунктів, пікетів. Цього недоліку позбавлені наземні методи лазерного сканування та цифрової фотограмметрії. Недоліком мобільних геодезичних методів є суб'єктивність в оцінці руслових процесів між епохами спостережень внаслідок інтерполяції результатів вимірювань.

*Гідрометричний метод.* Результатом гідрометричного метода вимірювань є дані про морфометричні характеристики русел річок, динаміки дна водоймищ, дані про гранулометричний склад донних наносів, дані про параметри мікроформ річкового русла і дані про швидкості течій та ухили водної поверхні в різні пори року.

Для вимірювання та довготривалого прогнозу зміщень річкових русел використовуються дані стандартних гідрометричних вимірювань. Гідрометричний створ зазвичай встановлюється на найменш деформуючій і найбільш прямолінійній ділянці річки. З огляду на це, значення руслової деформації можуть розглядатися як максимальні для найбільш стійких ділянок, що цілком відповідає завданням проектування, орієнтованим на пошук граничних значень гідрологічних характеристик і будівництво водогосподарських споруд, проектування переходів доріг, високовольтних ліній і трубопроводів через ріки саме в найменш деформуючих ділянках.

Виконання гідрометричних робіт проводять в два етапи - на початку повені, та у період повені. Гідрометричні роботи передбачають вибір, розбивку, закріплення, зйомку гідрометричних профілів, геодезичну прив'язку водомірних постів, проведення підводної зйомки дна річки, виміри товщини льоду та при необхідності облаштування канатної перетяжки.

У період паводку виконують: водомірні спостереження на водомірних постах, вимірювання миттєвих ухилів вільної поверхні потоку, вимір швидкостей течії, вимірювання поверхневих швидкостей і напрямків течії поплавками, спостереження за траєкторіями руху крижин.

При проведенні гідрометричних робіт використовують сучасне цифрове обладнання, багатопроменеві та одно і двочастотні ехолоти, гідролокатори бокового огляду, профілографи, датчики швидкості течії, та ін..

Сучасне застосування автоматизованих гідрометричних методів для дослідження руслових процесів річки Дністер подано у статті [86]. У статті

представлено гідрометеорологічний автоматизований пост та автоматична система для гідрометеорологічного моніторингу з мобільним вимірювачем витрат води. Застосування цього комплексу покращить ефективність прогнозування неочікуваних паводків у гірських річках.

У статті [141] на основі гідрометричних даних зосереджено основну увагу прогнозуванню паводків на р. Дністер. Прогнозування опрацьовано на підставі результатів щомісячних стоків води р. Дністер на протязі з 1995 р. по 2007р. на гідропості р. Галич (Івано-Франківська обл.). Оцінено похибку прогнозування, яка не перевищує 25%.

У статті А. Михновича [113] проаналізовано структуру мережі моніторингу поверхневих вод Держкомгідромету України на території Львівської обл. Оцінено оптимальне розташування гідропостів в окремих річкових басейнах, ландшафтах та геоморфологічних районах, а також придатність наявної мережі для вирішення гідроекологічних проблем Львівщини. На підставі виконаного аналізу структури мережі моніторингу поверхневих вод встановлено, що гідрологічні пости розташовані нерівномірно, що ускладнює вивчення особливостей гідрологічного режиму на певних територіях, що підтверджує необхідність створення автоматизованої системи гідропостів.

На основі гідрометричних вимірів [175] на різних ділянках річки Дністер визначено площу перетину русла у створі, розхід води, максимальну та середню швидкість течії.

Гідрометричний метод - це єдиний метод отримання гідрометричних характеристик річки. Недоліком гідрологічних вимірювань є неможливість їх проведення при великій швидкості і глибині річки. Ефективність цього методу зростає при автоматизації процесу запису даних.

*Дослідження руслових процесів методами дистанційного зондування Землі.* Методи ДЗЗ поділяють на супутникові та авіаційні, і розділяються за типом використаної апаратури. Методи ДЗЗ використовують цифрові оптичні,

спектральні та гіперспектральні, та інфрачервоні камери, лазерні і радіолокаційні системи, мікрохвильові радіометри. Діапазон електромагнітного спектру цих камер є у межах від 0,4 мкм до кількох метрів. Використання тих чи інших камер залежить від поставленої мети та завдання. Перевагою оптичних камер є можливість отримання зображень у різних спектрах, однак їх використання обмежене погодніми умовами. Незалежними від погодніх умов є радіолокаційні системи. Для дослідження горизонтальних зміщень русел використовуються оптичні та багатоспектральні камери, радіолокаційні знімки та результати повітряного лазерного сканування. Для дослідження водної поверхні великих річок використовують методи супутникової альтиметрії. Авіаційні методи знімання мають вищу точність визначення зміщень русел, яка сягає кількох сантиметрів. Однак, авіаційні методи охоплюють менші площі знімання в порівнянні з супутниковими. Найбільш ефективним є застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що дозволяє у порівнянні із супутниковим методом оперативно провести високоточне знімання невеликих територій річок. Результати знімання територій з високою точністю відображення рельєфу отримуються при оснащенні БПЛА лазерними сканерами типу LIDAR.

За допомогою даних ДЗЗ і програмних комплексів з їх обробки можна вирішувати багато важливих завдань пов'язаних з дослідженням руслових процесів, таких як :

- прогнозування і оперативний моніторинг повеней, а саме моделювання затопленої території;
- моніторинг стану водоохоронних зон, несанкціонованого будівництва на прибережних територіях та вирубки лісу;
- моніторинг горизонтальних руслових зміщень.

Застосування оптичних систем не завжди є ефективним для дослідження руслових процесів, оскільки в районах повеней практично завжди присутня щільна хмарність. Тому для вирішення цих завдань краще використовувати дані з

космічних апаратів, оснащених радіолокаційною апаратурою, незалежною від хмарності. До них відносяться супутники TerraSAR-X, RADARSAT-2, COSMO-SkyMed-1-3 [120]. Вони обладнані сучасними радарми з синтезованою апаратурою, які дозволяють виконувати знімання земної поверхні з високою просторовою роздільною здатністю. Радіолокаційні дані дозволяють не тільки вирішити завдання моніторингу повеней, а частково і їх прогнозу.

Знімання, виконані в оптичному і гіперспектральному діапазонах дозволяють проводити моніторинг стану водозбору і водоохоронної зони. Що стосується, рослинного та лісового покриву, ерозійних процесів, забруднення територій, техногенних та антропогенних впливів. Це дозволяє здійснювати прогнози впливу різноманітних чинників на руслові процеси і планувати природоохоронні заходи.

Супутникові знімки та аерознімання, зроблене в різний час, дозволяють оцінити динаміку зміщення русел річок за останні десятиліття і зробити прогноз їх подальшого розвитку, що важливо для проектування і експлуатації гідротехнічних об'єктів. Своєчасне виявлення небезпечного гідрологічного явища дозволяє застосувати систему заходів підтримки безперебійного функціонування лінійних споруд, які перетинають водні об'єкти. За даними ДЗЗ встановлено, що швидкість горизонтальних зміщень може становити навіть до 1 км на рік [17].

На підставі опрацювання аерокосмічної та наземної інформації проведено дослідження змін зміщень русел річок Прикарпатського регіону [201]. Ефективним для дослідження деформаційних процесів є накладання знімків на ЦМР. Кінцевою метою запропонованої методики є оцінка та розгляд заходів протидії повеневим та деформаційним явищам деформації русла.

У статті [63] наведено зміни русла річки Тиса неподалік м. Виноградова. Використано космічні знімки середньої розрізненості із американських супутників Landsat-5 та Landsat-7. У роботі розглянуто принципи синтезації каналів космічних знімків Landsat-5 (7) з метою оптимального розпізнання берегової лінії річки Тиса. Програмним середовищем слугував ArcGis 9.3. У результаті проведеного

моніторингу за даними космічного- та аерофотознімання вивчено зміну русла річки в період з 1992 по 2008 роки. Зміна русла в окремих місцях досягає 701 м, що становить загрозу розмивання дамб.

Американські дослідники Альберто Камачо і Патрісіо Кордова [240] займаються питанням моніторингу річок з допомогою безпілотних літальних апаратів. Ними зроблено моніторинг річок і розроблено проект «River Drone». Система проекту «River Drone» складається з автоматизованого центру обробки викликів, датчики розміщені систематично уздовж річки і ряду безпілотних літальних апаратів, що працюють на сонячній енергії, які можуть виконувати найрізноманітніші завдання моніторингу. Представниками Університету Вустера зроблено дослідження по безпілотниках. В своїх дослідженнях вони використовували безпілотник Draganflyer X6. З допомогою безпілотника вони отримали цифрову модель рельєфу. Об'єктом дослідження була річка Сан Педро в Чилі [ 239].

У статті [53] проаналізовано систему спостереження за станом території під час весняних повеней в Україні. Досліджено використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для організації щодобового повітряного спостереження за станом територій. Для прикладу розглянуто порядок моніторингу басейну річки Дніпро з допомогою БПЛА «Стрепет-С». Доведено, що застосування БПЛА для моніторингу території України під час весняних повеней доцільно проводити вздовж берегової лінії найбільш небезпечних з точки зору повені річок.

У статті [39] представлено метод моніторингу і прогнозування паводку за даними дистанційного зондування рельєфу місцевості з космічного супутника. Цей метод не вимагає високопродуктивних обчислювальних засобів, дозволяє коректно моделювати поширення води по складному рельєфу місцевості і може використовуватися в розподілених обчислювальних мережах.

Перевага супутникових методів полягає в одночасному дослідженні цілих річкових систем, що неможливо виконати методами аерознімання. Однак,

максимальна точність супутникових методів відповідає величинам 0,5 – 1 м. у порівнянні з сантиметровою точністю аерознімання.

**Картографічний метод.** Картографічний метод знайшов широке застосування в галузі вивчення річкових систем. Вихідними даними для картографічного методу слугують історичні карти, топографічні карти, аерофотознімки та супутникові знімки. Цей метод полягає у порівнянні геометричних параметрів русла річки визначених з історичних та топографічних карт із сучасними картографічними матеріалами, аерофото та супутниковими знімками. Картографічні архівні матеріали є важливим джерелом знань про навколишнє географічне середовище та земельний розвиток. Інформація що міститься на документальних картах і планах надає додаткову цінність, якщо ми можемо зв'язати її із сучасним простором. Це дає вченим можливість повністю аналізувати зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі в певний час.

За даними, наявними на топографічних картах можна визначити важливі гідрологічні характеристики річки. Так, наприклад, можна виділити водозбірну поверхню і визначити її площу, зробити вимірювання ширини русла на певній ділянці, виміряти величину утворення піщаної гряди, розрахувати параметри вигину і виявити старе русло. За різночасним картами можна виявляти горизонтальні зміщення русла, зіставивши ці карти і виконавши вимірювання. Цей метод трудомісткий і займає велику кількість часу, тому виникла необхідність автоматизувати ці методи. Для цього важливим є використання ГІС технологій, що дозволяє оперативно автоматизувати комплексний аналіз і інтерпретацію матеріалів, підготовлювати пропозиції для прийняття рішень.

Умовою використання потенціалу історичних карт є максимально точна адаптація до сучасних картографічних матеріалів. Таку можливість дають різні види програмного забезпечення, як геодезичні, так і з поля геоінформаційних систем (ГІС) [331, 329, 333].



У статтях [55, 201] використано картометричний метод для дослідження русел рік Карпатського регіону. Вихідними даними були топографічні карти і космозображення різних років. Аналогічні дослідження на річці Тиса проведено у статті [7]. Використано топографічні карти (1880, 1938, 1976 рр.) та космічний знімок 2000 р..

Картометричний метод для дослідження зміщень русел річок застосовувався зарубіжними вченими. Наприклад, у роботі [249] для дослідження зміщень русел річки Бразос у Техасі за період 1910-2010 років, де використані топографічні карти та супутникові знімки різних років. Подібне дослідження є у статті [279]. Об'єктом дослідження є річка західного Вашингтону. У роботі [292] представлені зміни русла річки Кшивозеки у селі Вишневе (Польща). Для аналізу були використані історичні топографічні карти (1907, 1934 рр.), які порівнювалися з ортофотопланом (2002, 2006 рр.).

З аналізу літератури видно, що картометричний метод широко застосовується для визначення горизонтальних зміщень русел річок. Його перевага в порівнянні з іншими методами полягає в отриманні результатів деформацій річкових систем за значні періоди часу, що дозволяє виконувати довгострокові прогнози зміни русел річок. Цей метод можна використовувати для планування інженерної інфраструктури та для управління земельними ресурсами. Однак, цей метод не є ефективний при вивченні впливу інженерних споруд, сучасних техногенних процесів на деформації русел. Визначенні картометричним методом параметри зміщень є усереднені за значні періоди часу, що є важливим прогностичним матеріалом, але ці результати можуть мати суттєві розбіжності з сучасними (миттєвими) деформаційними процесами, викликаними техногенним навантаженням територій.

### 1.3 Завдання дисертаційної роботи

Із аналізу різних підходів до характеристик руслових процесів, а також з опрацюванням літературних джерел, які стосуються методики їх дослідження, можна зробити висновок про пріоритетність дослідження русел річок на підставі матеріалів ДЗЗ та геоінформаційних технологій. Встановлено, що більшість авторів, в роботах яких використано матеріали ДЗЗ, аналіз горизонтальних зміщень річок виконують на підставі візуальних порівняльних характеристик без визначення метричних характеристик. Що стосується досліджень руслових процесів за значний період часу з конкретизацією горизонтальних зміщень річок та аналізом домінантних чинників на русловий процес, то таких подібних досліджень не виявлено. Тому запропоновано методику досліджень руслових процесів, а зокрема горизонтальних зміщень, яка опирається на використання різночасових топографічних та спеціальних карт, новітні технології отримання даних ДЗЗ, з опрацюванням всіх матеріалів в програмних геоінформаційних середовищах. Аналіз руслових процесів, які впливають на різні сфери економіки та життєдіяльності людини свідчить про актуальність досліджень руслових процесів з метою їх використання в гідротехнічному будівництві, земельному кадастрі, рекреаційній діяльності, транскордонному співробітництві держав за проходження кордону по фарватеру річки.

Тому в дисертаційній роботі поставлено такі завдання :

1. Проаналізувати основні чинники змін руслових процесів, методи їх виявлення та фіксації.
2. Оцінити вплив похибок вхідних матеріалів на точність горизонтальних зміщень річок за перехід від однієї картографічної проекції до іншої.
3. Опрацювати методику дослідження горизонтальних зміщень русла річки Дністер за довготривалий період на підставі топографічних карт, даних ДЗЗ з використанням геоінформаційних технологій.

4. Здійснити аналіз горизонтальних зміщень річки Дністер та її лівобережних та правобережних приток за 100-140 літній період. Виявити вплив зміщень річки Дністер та її приток залежно від геолого-геоморфологічних структур.

5. Проаналізувати математичні вирази визначення стійкості річок, подані в спеціальній літературі та опрацювати математичний вираз та критерії визначення стійкості із урахуванням ширини заплави.

6. Застосувати методику побудови цифрової моделі рельєфу з використанням БПЛА для ділянки річки із ускладненим меандруванням.

Запропонована методика дослідження руслових процесів дозволяє визначити зміни стану русла з похибками 10-20 м.

### **ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ**

1. Розглянуто суть руслових процесів та їх основні характеристики, зокрема : основні морфометричні характеристики та класифікацію річок.

2. Проаналізовано основні чинники, які впливають на руслові зміщення. Встановлено, що серед різних чинників на характер зміщень річки Дністер та його правобережних і лівобережних приток значний вплив мають геолого-геоморфологічні структури.

3. Зроблено висновок, що більшість авторів, в роботах яких використано матеріали ДЗЗ, аналіз горизонтальних зміщень річок здійснюють на підставі візуальних порівняльних характеристик без метричних даних. Що стосується досліджень руслових процесів за значний період часу з конкретизацією горизонтальних зміщень річок та аналізом домінантних чинників на русловий процес, то таких повних досліджень не виявлено.

4. Розглянуто подані різними авторами вирази розрахунку коефіцієнта стійкості русла річок та коефіцієнт звивистості. Зроблено висновок, що подані залежності не враховують всіх чинників, які впливають на руслові процеси. Тому, питання залишається відкритим з метою детального врахування чинників, таких як характер заплави, ерозійні особливості, зміна ландшафту та інші.

## 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІЩЕНЬ РІЧКИ ДНІСТЕР

Кожна річка має свої морфометричні характеристики, протікає в певних ландшафтних та природних умовах, на певних геологічних структурах та ґрунтах. Для визначення характеристик кожну річку та її басейн досліджують окремо.

### 2.1. Дослідження річки Дністер

Дністер є найбільшою річкою Західної України та Молдови, і разом з Дунаєм, Дніпром і Південним Бугом належить до великих річок водозбірного басейну Чорного моря. Загальна довжина річки 1 380 км, в межах України вона становить 925 км, відповідно в межах Молдови довжина Дністра становить 652 км. Площа басейну Дністра становить 72,1 тис. км<sup>2</sup>, з них в межах України знаходиться 52,7 тис. км<sup>2</sup>, відповідно в межах Молдови - 19,4 тис. км<sup>2</sup>. [8]



Рис. 2.1 Басейн річки Дністер в межах України

#### *Гідрографічна характеристика*

Довжина басейну Дністра - близько 700 км, середня ширина близько 100 км. Середній ухил становить 56 см/км. Із заходу Дністер обмежений Карпатами, з північного заходу - Сано- Дністровським вододілом, з півночі - Розточчям, з південного сходу - Дністровсько-Бузьким і з заходу - Дністровсько-Прутським і Дністровсько-Чорноморським вододілами. У басейні Дністра переважають малі річки довжиною до 10 км, загальною кількістю понад 14 тисяч. [153]

## *Гідрологія*

Дністер належить до тих річок, стік яких вивчений досить добре. Спостереження за рівнем річки почалися ще у 1850 р.. Спостереження за стоком, включені в довідкові джерела, почалися на водопості Бендери у 1881 р.. З кінця XIX століття спостереження проводяться ще на кількох водопостах, в більшості розташованих у верхній течії: Журавне, Галич, Заліщики.

### *Стік*

По водності середній стік Дністра в рік складає 8,4 млрд. м<sup>3</sup> (витрата 274 м<sup>3</sup> /с). [153, 8]

Основна ділянка формування стоку Дністра - верхня частина басейну (20,4 тис. км<sup>2</sup>, 28% всієї водозбірної площі), водотоки якої характеризуються паводковим режимом протягом усього року. Верхня частина басейну формує близько 2/3 річного стоку Дністра. Облік безповоротного водоспоживання дає можливість оцінити природний стік річки на в/п Заліщики в розмірі 226 м<sup>3</sup>/с, або 7,13 км<sup>3</sup> за рік. Стік річки в нижній течії можна оцінити за даними спостережень на в/п Бендери. За фактичними даними середній багаторічний стік річки на цьому водопості становить 311 м<sup>3</sup>/с.

### *Рівні води і паводки*

Характерною особливістю Дністра є паводковий режим. Щороку на річці спостерігається до п'яти паводків. Рівні води при цьому можуть зростати на 3-4 м, а іноді і більше. Для Дністра максимальні паводкові витрати значно більші, ніж повеневі. Збереженню значних підйомів рівня, які формуються в Карпатах, сприяє порівняно мала руслова ємність річки [153].

Береги Дністра пологі в рівнинній частині та круті в каньйонній частині. Слід зазначити і той факт, що зарегульованість стоку Дністра дуже мала. На карпатських притоках створено лише одне (Чечвинське) водосховище, яке до того ж мале за розмірами (його повний обсяг - 12,1 млн. м<sup>3</sup>).

За наявний період спостережень найбільший паводок на річці мав місце в вересні 1941 року. На в/п Заліщики його значення, знайдене за рівнями високих вод, становить 8 040 м<sup>3</sup>/с. Пам'ятним виявився і паводок, який трапився в червні

1969 року. При його проходженні максимальні витрати становили: Заліщики - 5 450 м<sup>3</sup>/с, Могилів Подільський 4 800 м<sup>3</sup>/с. Основними чинниками, які визначають паводковий режим долин річок Передкарпаття, особливо Дністра, є: тектонічні, кліматичні, геоморфологічні, біотичні. Річкова мережа верхів'я Дністра має виражену асиметричність: більшість її приток течуть від Карпат. При інтенсивних дощах або сніготаненні ці притоки можуть швидко змінювати свій рівень і рівень води в Дністрі.

### ***Стік твердих наносів***

Важливою особливістю Дністра є великий стік наносів, які транспортує річка. Перш за все, це обумовлено гірським характером живлення. Певний вплив має і антропогенний чинник, зокрема, вирубка лісу. За даними спостережень, середній багаторічний стік наносів на в/п Заліщики становить 2,6 млн. т., каламутність - 390 г/м<sup>3</sup> [80, 158].

### ***Річкова мережа Дністра***

В межах України в басейні Дністра серед його приток налічується 14 886 малих річок (загальна довжина - 32,3 тис. км), 6 середніх (1,0 тис. км). Дністер має 386 приток. Головними є : праві - Стрий, Свіча, Лімниця, Бистриця; ліві - Золота Липа, Стрипа, Серет, Збруч, Смотрич [153].

### ***Лівобережні та правобережні притоки***

Праві притоки Дністра : Тисмениця (49 км), Стрий (232 км), Свіча (107 км), Сівка (79 км), Лімниця (122 км), Луква (72 км), Бистриця (17 км), Тлумач (35 км), Бик (155 км), Реут (286 км).

Ліві притоки Дністра, що беруть початок на Волино-Подільській височині, течуть в низьких берегах. Наближаючись до Дністра, вони розмивають тверді породи, в зв'язку з чим береги стають крутими та високими. Найбільшими з цих приток є : Збруч (довжина - 244 км), Серет (242 км), Смотрич (169 км), Мурафа (162 км), Стрипа (147 км), Ушиця (122 км), Жванчик (106 км), Коропець та Русава (по 78 км).

## 2.2 Вплив геологічних структур на руслові процеси

Досліджувані річки знаходяться на таких двох структурах першого порядку: платформі та орогені. До платформної частини належать Східно-Європейська та Західно-Європейська, до орогенної – Українські Карпати. На ці дві структури накладений Передкарпатський передовий прогин. [19]

У західних областях України перед Карпатським орогеном виділяють платформи: давню Східно-Європейську та молоду Західно-Європейську. Основою їхнього розділення є час консолідації фундаменту.

Давні платформи творилися в дорифейський час консолідації фундаменту, а молоді – у рифейський та палеозойський.

Давня Східно-Європейська платформа у перерізі складається із кристалічного фундаменту та осадового чохла. Осадовий чохол виповнює так звану Волино-Подільську плиту.

Фундамент складений метаморфізованими (зміненими) осадовими, осадово-вулканогенними та інтрузивними (глибинними магматичними) породами. Вік цих утворень від архею до нижнього протерозою. На території дисертаційного дослідження вони не відслонені, а за даними буріння та геофізичних досліджень ступінчато занурюються в південно-західному напрямі досягаючи глибини 20 км.

Неметаморфізований та недеформований осадовий чохол складається з порід пізньопротерозойського, палеозойського, мезозойського та кайнозойського віків. Вказані структури в досліджуваному районі є основою Зовнішньої зони Передкарпатського прогину. Палеозойсько-мезозойські породи утворюють плитний комплекс Волино-Азовської плити. [19]

Породи рифею та венду відносять до катаплатформного доплитного комплексу, який відображає розвиток території на байкальському етапі. Палеозойські та мезозойські відклади складають чохол Східно-Європейської платформи. Юрські відклади утворюють Стрийський прогин, а крейдові відклади виповнюють Львівсько-Люблінський.

Аналізуючи наявну інформацію Бубняк І. М. [19] висловив припущення, що юрські відклади в минулому мали значно більше поширення, ніж сьогодні. Було показано, що територія сучасного Стрийського прогину, автохтон Внутрішньої зони Передкарпатського прогину та Карпат упродовж юрського часу розвивались за типом пасивної континентальної окраїни.

Крейдові відклади в досліджуваному регіоні формувались у двох різко відмінних тектонічних та палеогеографічних умовах – платформних та геосинклінальних [46].

### ***Українські Карпати***

В цьому районі протікають досліджувані праві притоки ріки Дністер. Карпати тектонічно поділяють на Внутрішні та Зовнішні. Підставою для такого поділу є час завершальної (головної) складчастості. Для Внутрішніх Карпат головними були крейдові, а для Зовнішніх – кайнозойські. Ці два тектонічні регіони розділені вузькою Пенінською зоною (рис. 2.2) [31].

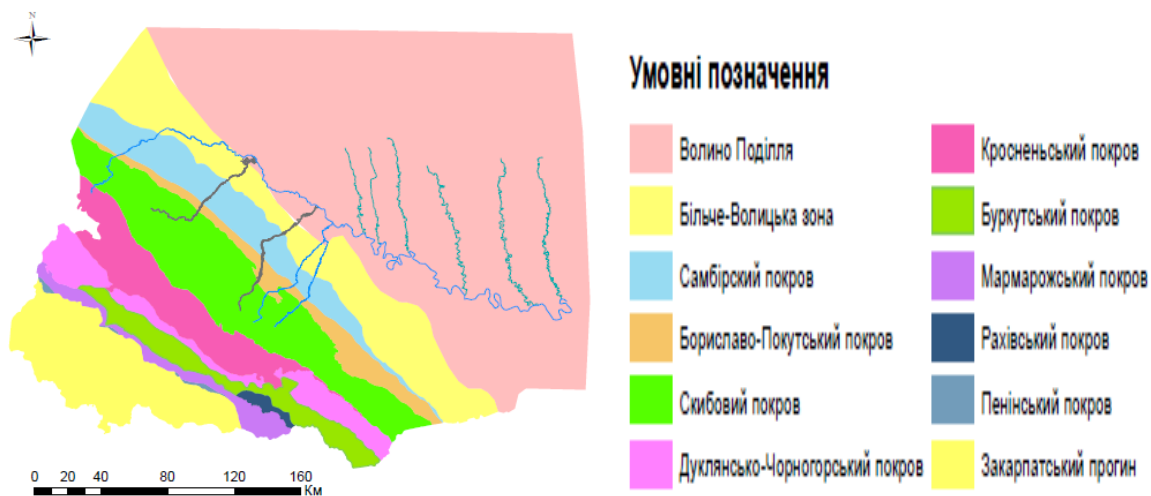


Рис. 2.2 Досліджувані річки накладені на тектонічні структури заходу України

На тектонічних схемах виділені покриви, насунуті в північно-західному напрямі. Товщина насунутого комплексу в межах Українських Карпат місцями становить 12 км.

На основі детальних геологічних досліджень, даних буріння, аналізу співвідношення наймолодших перекритих насувами відкладів та наймолодших



відкладів, що захоплені насувами, виявлено фази складчастості в Карпатах та Внутрішній зоні Передкарпатського прогину. Вважають, що стратиграфічний розріз Зовнішніх Карпат (флішових) від крейди до кінця олігоцену (у деяких місцях до низів міоцену) є безперервним і що протягом означеного часу не було суттєвих тектонічних подій. Лише на межі менілітового та поляницького часів зафіксовано перерви та кутові незгідності. Це є результат прояву першої карпатської фази складчастості (межа олігоцен–ранній міоцен). Ця фаза зумовила складчастість флішових товщ і формування насувів [41], тоді ж відновились відносні переміщення по площинах великих розломів, почалось загальне підняття території та її насування на північний схід. Для всієї Карпатської дуги ця фаза складчастості названа ранньоштирійською, або внутрішньобурдигальською, в абсолютній геохронології вона має вік 18–20 Ма. З цього часу можемо говорити про формування річкової мережі досліджуваного регіону.

Описувані ріки перетинають Скибову зону (покрив) Українських Карпат та Внутрішню зону Передкарпатського прогину. Напряму русел більшості рік зумовлений тектонічними чинниками, а саме поперечними до Карпат регіональними розломами. Хоча є винятки, наприклад меандр річки Стрий в районі с. Рибник може бути зумовлений складом та механічними властивостями гірських порід. Також важливу роль відіграє тріщинуватість (орієнтація тріщин, їх розмір) гірських порід у формуванні русел рік.

### ***Передкарпатський передовий прогин***

Передовий прогин Українських Карпат виповнений моласовими утвореннями віком від егенбургію до сармату міоценового віку (рис. 2.2). Частина молас (нижні моласи, що мають вік егенбургій–карпатій) захоплені останніми складчато-насувними процесами. Верхні моласи (баден–сармат) залягають автохтонно, вони також частково перекриті нижніми моласами. Товщина моласових утворень в Передкарпатському прогині складає 5-6 км. На захід від складчастих молас ороген Українських Карпат складається із потужного насувного комплексу, що є наслідком розвитку крейдових та кайнозойських тектонічних процесів.

Крім неогенових відкладів в Передкарпатті широко розвинуті плейстоценові. Вони тут поділені на еоплейстоценові та плейстоценові. Еоплейстоценовими відкладами складені водороздільні ділянки на всіх основних міжріччях. Вони представлені алювіальними відкладами різного літологічного складу. Плейстоценові відклади описуваної території розділені на нижні, середні і верхні. Вони складаються з різноманітних генетичних типів порід – долинних морен, льодовикових і водно-льодовикових відкладів, флювіогляціальних пісків. Літологічно вони складені такими породами: валунно-галечними, супіщано-глинистими. Грубоуламковий матеріал складений переважно пісковиками, алевролітами, роговиками, кварцом і незначною домішкою інших порід.

Торфовища описані на поверхні заплави та перших надзаплавних терас річок (верхньодністровські болота), древніх долинах стоку талих льодовикових вод, рідше на водорозділах і в заглибленнях карів. Товщина їх становить 2-3 м. [19]

### *Територія лівих приток Дністра*

Геморфологічно район лівих приток Дністра відноситься до Подільської структурно-денудаційної височини Волино-Подільської зони пластово-денудаційних височин і пластово-аккумулятивних підвищених рівнин Східноєвропейської полігенної рівнини (рис. 2.2).

У будові осадового чохла досліджуваної ділянки, як і всієї південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи, беруть участь породи від протерозойського до четвертинного віку.

На поверхню виходять мезозойські відклади, а в нижній частині досліджуваної ділянки – відклади нижнього девону. Загальна потужність вивченої частини осадового чохла складає 6,5–7,5 км. Плейстоценові відклади поширені по всій території лівобережжя Дністра. В їх складі виділяють нижньо-, середньо-, верхньоплейстоценові та сучасні утворення. Рельєф території хвилястий з переважаючими абсолютними висотами 340–380 м. Він сприятливий для активного розвитку ерозійно-аккумулятивних, локально-карстових і гравітаційних процесів.

Гідрографічна мережа лівих приток Дністра успадкувала напрямки основних субмеридіональних тектонічних розломів.

Напряг головних річок – приток Дністра контролюється тектонічними особливостями окремих ділянок. Так, в Карпатській частині напрям правих приток Дністра контролюється поперечними розломами південно-західного та північно – східного напрямів. Виключенням є ріка Стрий, в якій частина русла контролюється літологічними особливостями молодих утворень (четвертинними та сучасними), утворюючи меандри. Переважаючим фактором, що контролює форму русел в Передкарпатському прогині є склад моласових відкладів та їх фізичні властивості (порівняно м'якші з флішовими утвореннями Карпат).

Для лівих приток, як і для Карпат головним чинником, що впливає на їх напрям є тектонічний, а саме субмеридіональний та північно-східний напрям розломів Волино-Подільської плити.

### **2.3 Методика досліджень горизонтальних зміщень річки Дністер.**

#### **Характер космічних зображень**

Дослідження стосується другої найбільшої в Україні за розміром річки Дністер від верхів'їв до частини каньйону (місто Заліщики) (рис. 2.3). Невипадково ця річка була підібрана для дослідження, оскільки вона протікає уздовж кордону двох геологічних споруд - Передкарпатського прогину і Волино-Подільської височини, структури якої впливають на формування характеру русла річки. Довжина досліджуваної частини річки становить 440 км. Градієнт потоку - 4,5 м/км у верхів'ях і до 0,3 м/км у нижній течії. Ширина русла річки досягає 10-15 метрів у верхів'ях і до 200 метрів у нижній течії. Середня глибина від 0,5 до 1,0 м, максимальна глибина русла річки 2,5-2,8 м. Річка Дністер має дуже звивистий річковий рубіж у певних його ділянках з найцікавішими смугами навколо села Кружики. Моніторинг проводився за період 100 років та більше. Аналіз зміщень дає підстави розділити річку на 5 частин : 1) гірська; 2) горбисто-рівнинна; 3) болотисто-рівнинна; 4) рівнинна; 5) каньйонна.

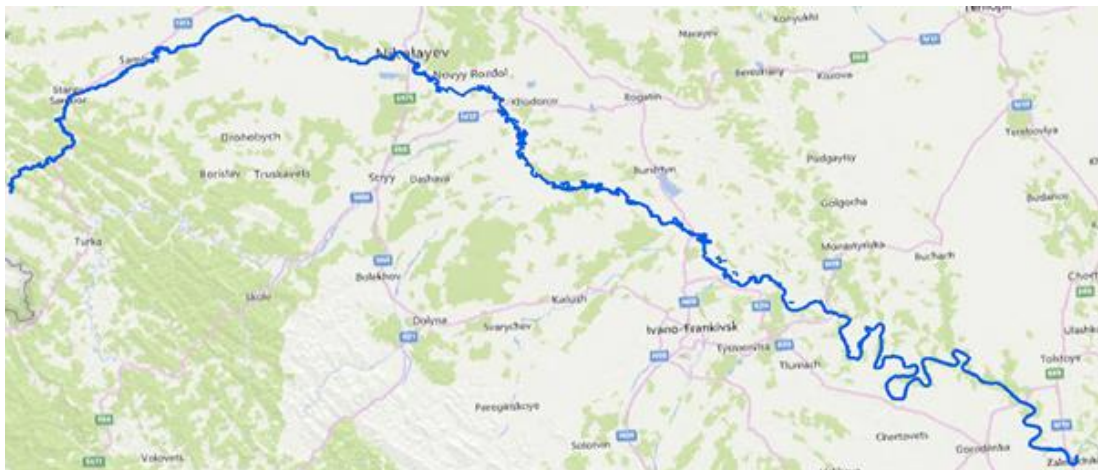


Рис. 2.3 Загальний вигляд досліджуваної частини річки Дністер

Опрацьовано концептуальну модель дослідження горизонтальних зміщень річки Дністер та її приток за топографічними картами різних масштабів, космічними зображеннями, знімками, отриманими з БПЛА, спеціальними картами за різний часовий період і подано її схему на рис. 2.4.

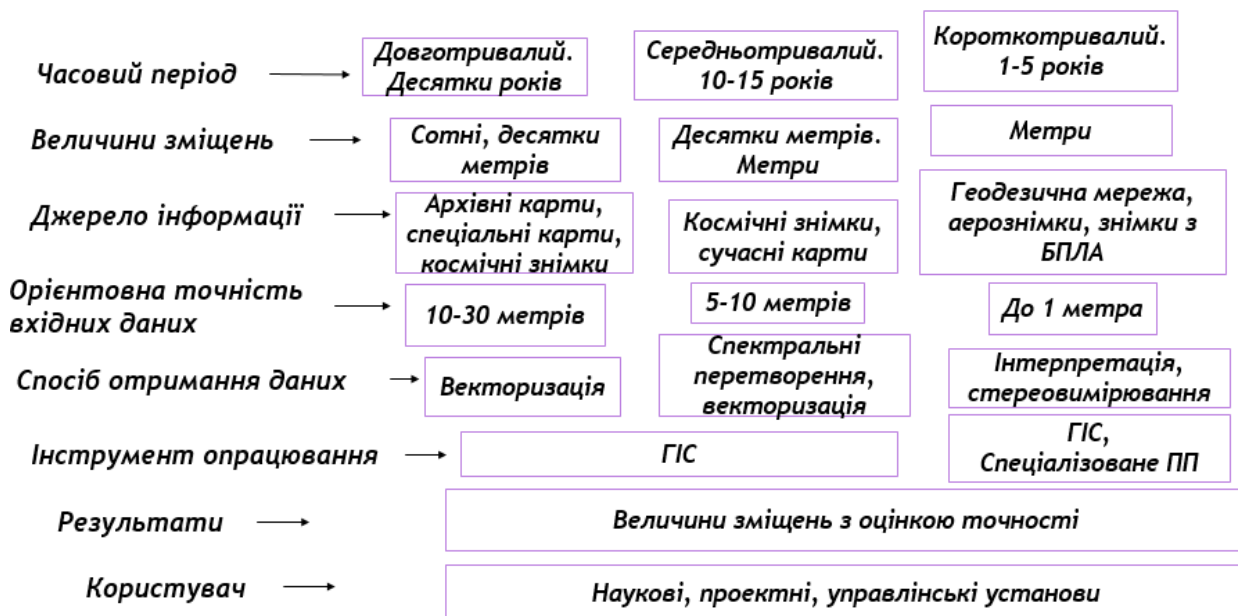


Рис. 2.4 Концептуальна модель дослідження горизонтальних зміщень річок

Методологія дослідження базується на використанні топографічних карт, супутникових знімків та спеціальних карт різного часового періоду.

Для моніторингу зміщень русла річки Дністер довжиною 440 км було використано : топографічні карти в масштабі 1:75000, 1:200000 та 1:100000 (австрійський період – (1879-1910 рр.), польський період – (1928-1930 рр.), радянський період – (1976-1989 рр.); супутникові знімки Landsat 5 (1986 р.), Landsat

7 (2000 р.), Landsat 8 (2014 р.) та Sentinel 2 (2016-2017 рр.); карти четвертинних відкладів та карти ґрунтів у масштабі 1: 200000. Загальна кількість матеріалів використаних для дослідження річки Дністер : австрійських карт – 9, польських карт – 8, радянських карт – 14, космічних знімків – 7, карт четвертинних відкладів та ґрунтів – 9. Для правобережних приток : австрійських карт – 4, радянських карт – 8, космічних знімків – 5, карт четвертинних відкладів та ґрунтів – 6. Для лівобережних приток : австрійських карт – 2, польських карт – 14, радянських карт – 12, космічних знімків – 3, карт четвертинних відкладів та ґрунтів – 2. (додаток А, Б, В)

Матеріали, використані в дослідженні річки Дністер подано на рис. 2.5. Вихідні матеріали для дослідження приток Дністра відрізняються лише різним часом їх створення. Візуалізація та вивчення змін у річці Дністра та його приток здійснювалася за допомогою програмного забезпечення ArcGIS 10.1.

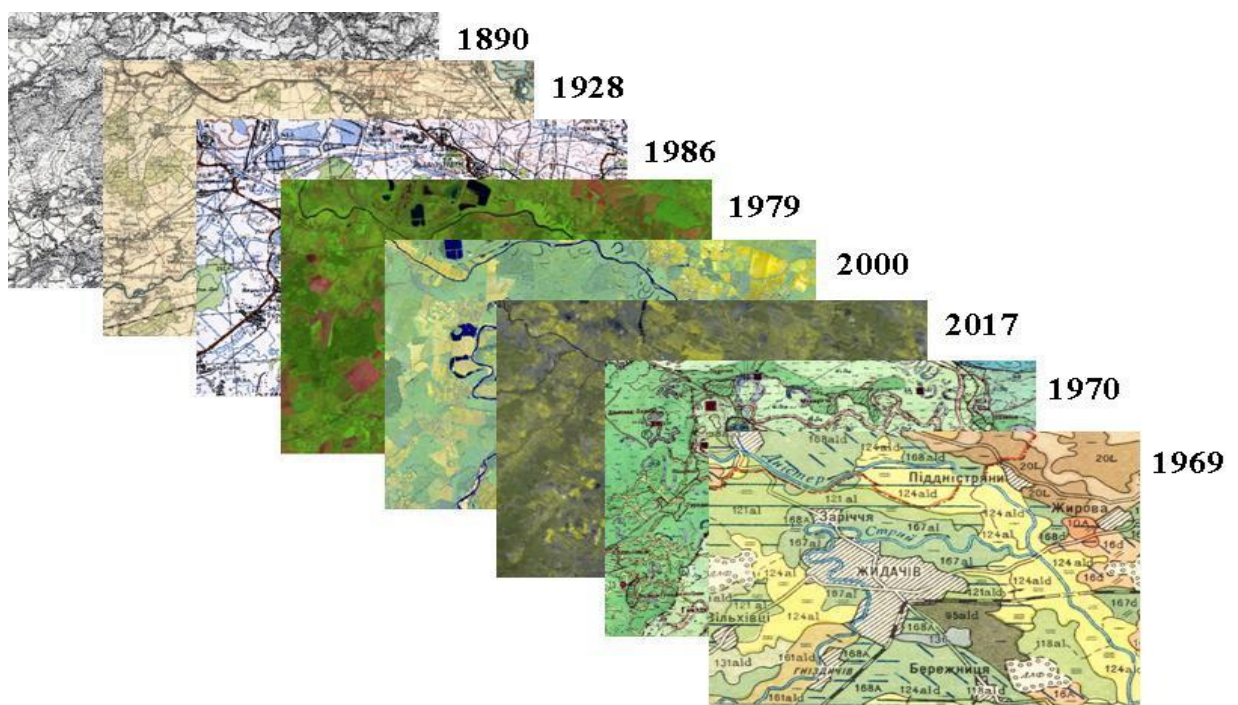


Рис. 2.5 Матеріали дослідження

На рис. 2.6. подано загальну технологічну схему проведення досліджень зміщень річки Дністер.



Рис. 2.6 Структурна схема аналізу горизонтальних зміщень русла річки Дністер

Стосовно досліджень загальних зміщень русла річки, пов'язаних із горизонтальними зміщеннями русел річок доцільно використовувати космічні зображення середнього розрізнення, на яких добре проглядається структура гідромережі. Для досліджень, пов'язаних з високою точністю визначення деформаційних процесів, особливо на урбанізованих територіях, використовують космічні зображення високого розрізнення. Визначення деформаційних процесів русел рік з високою точністю, зокрема змін рельєфу дна, можливе за допомогою проведення наземних інженерно-геодезичних робіт або натурних спостережень. Аналіз геологічних та ґрунтових карт дає можливість визначити породи, відклади та ґрунти, які знаходяться в місцях значних зміщень річок [198].

Основними складовими структурної схеми є : отримання синтезованого зображення з максимальним контрастом річки від прибережної місцевості; прив'язка топографічних карт та космічних знімків; цифрування русел річок на матеріалах різного часового періоду та аналіз зміщень.

### *Аналіз космічних зображень*

Застосування космічних знімків базується на врахуванні спектральних властивостей космічних знімків. [20] У табл. 2.1, 2.2 подано ці числові характеристики. Характеристики зображень, отриманих знімальною системою із супутника Sentinel, подано в [172]. Розрізнявальна здатність зображень для трьох ділянок спектра (синій, зелений, червоний) становить 10 м, ближні інфрачервоні – 20 м, дальні інфрачервоні – 60 м.

*Таблиця 2.1*

#### **Характеристика спектральних каналів для Landsat-7 [20]**

<b>Канали</b>	<b>Спектральні діапазони</b>	<b>Назва</b>
Канал 1	0.45-0.52мкм	Синій
Канал 2	0.52-0.60мкм	Зелений
Канал 3	0.63-0.69мкм	Червоний
Канал 4	0.77-0.90мкм	Ближня інфрачервона ділянка
Канал 5	1.55-1.75 мкм	Посунена інфрачервона ділянка
Канал 6	10.40-12.50 мкм	Середня інфрачервона ділянка
Канал 7	2.09-2.35 мкм	Дальня інфрачервона ділянка
Канал 8	0.52-.90 мкм	Панхроматична ділянка

*Таблиця 2.2*

#### **Характеристика спектральних каналів для Landsat-8 [20]**

<b>Канали</b>	<b>Спектральні діапазони</b>	<b>Назва</b>
Канал 1	0.43 - 0.45 мкм	Аерозолі
Канал 2	0.45 - 0.51 мкм	Синій
Канал 3	0.53 - 0.59 мкм	Зелений
Канал 4	0.64 - 0.67 мкм	Червоний
Канал 5	0.85 - 0.88 мкм	Ближня інфрачервона ділянка
Канал 6	1.57 - 1.65 мкм	SWIR 1
Канал 7	2.11 - 2.29 мкм	SWIR 2
Канал 8	0.50 - 0.68 мкм	Панхроматична ділянка
Канал 9	1.36 - 1.38 мкм	Cirrus
Канал 10	10.60 - 11.19 мкм	Теплова інфрачервона (TIRS) 1
Канал 11	11.50 - 12.51 мкм	Теплова інфрачервона (TIRS) 2

Космічні знімки різних років дозволяють оцінити стан річкового русла значної території з оцінкою його глобальних змін. Оскільки ефективна інтерпретація багатоспектральних даних дистанційного зондування ріки Дністер залежить від спектральних характеристик об'єктів поверхні Землі [30], вибрано спектральні канали для створення композитних зображень за космічним знімком Landsat 5 – 1,3,4; Landsat 7 та Landsat 8 – 2,5,7.

Методика Pan-sharpening дозволяє отримати просторове розрізнення зображень 15 м замість 30 м, заданих для спектральних каналів. Методика Pan-sharpening полягає у об'єднанні панхроматичного каналу знімка з мультиспектральними каналами нижчої розрізняювальної здатності. В результаті отримуємо мультиспектральне кольорове зображення з розрізненням панхроматичного каналу.

Об'єднання з панхроматичним каналом є радіометричною трансформацією. Ряд компаній постачають знімки у вигляді багатоканальних растрів з низьким розрізненням разом з панхроматичним растром з високою розрізненістю. Об'єднання з панхроматичним каналом використовується для збільшення просторового розрізнення і покращення візуалізації багатоканального зображення.

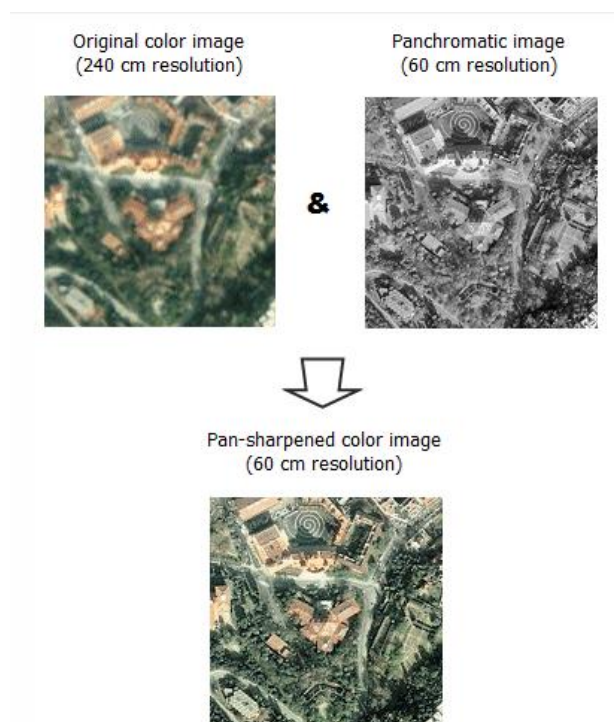


Рис. 2.7 Приклад панхроматичного перетворення



### *Методи панхроматичного перетворення:*

Для створення зображень з підвищеним розрізненням найчастіше використовують такі методи PanSharpening:

- Brovey;
- IHS;
- Esri;
- Simple Mean;
- Gram-Schmidt.

Кожен з цих методів використовує власну модель збільшення просторового розрізнення при обробці кольору і кожен з них дозволяє використовувати ваги для включення четвертого каналу даних. При використанні ваг і включення інфрачервоного каналу візуальна якість вихідних кольорів поліпшується. За результатами досліджень найкраще за інтерпритаційними можливостями зображення отримано за використанням методи IHS.

## **2.4. Дослідження точності трансформації топографічних карт Галичини австрійського та радянського періодів**

### ***Перетворення проєкцій за степеневими поліномами***

Використані для досліджень матеріали різних часових періодів вимагають оцінки точності їх трансформації. Ці дослідження виконано двома методами. Безпосередній метод степеневих поліномів з використанням програмного продукту ArcGIS 10.1. та метод визначення параметрів перетворень між різними системами координат з використанням спрощених формул Молоденського з оцінкою точності трансформації [214].

Оскільки використовувані топографічні карти створені в різні часові періоди та в різних картографічних проєкціях, а космічні зображення в проєкції UTM (табл. 2.3 ), необхідно всі матеріали привести до універсальної топографічної проєкції Меркатора UTM.

Для перетворення однієї картографічної проєкції в іншу використано степеневий поліном. Вираз перетворення однієї картографічної проєкції в іншу за допомогою степеневих поліномів має вигляд:

$$\begin{aligned}
 X &= X_0 + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \\
 Y &= Y_0 + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n b_{ij} x^i y^j,
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

де:  $x^i, y^j$  – координати першої проекції з урахуванням середнього значення;  
 $X, Y$  – координати другої проекції;  
 $X_0, Y_0$  – координати середнього значення другої проекції;  
 $a_{ij}, b_{ij}$  – коефіцієнти функції перетворення.

Для перетворення  $n$ -го степеня необхідно мати щонайменше  $p_n$  спільних точок:

$$p_n = p_1 + \sum_{i=2}^n (i+1), \tag{2.2}$$

де:  $p_1$  – кількість спільних точок для перетворення першого степеня.

Таблиця 2.3

### Основні матеріали для дослідження горизонтальних зміщень русла річки Дністер

№ п/п	Вхідні матеріали	Рік видання/ знімання	Еліпсоїд	Тип проекції	Система координат
1.	Топографічна карта (Австро-Угорщина, Польща)	1879-1930	Австрійський еліпсоїд 1810 р.	Зольднера - Кассіні	Система координат Галичини
2.	Топографічна карта (СРСР)	1976-1989	Красовського	Гаусса - Крюгера	СК-42
3.	Космічний знімок Landsat 7	2000	WGS-84	UTM	WGS-84
4.	Космічні знімки Landsat 8	2014	WGS-84	UTM	WGS-84

Для прив'язки використано спільні точки, які ідентифіковано на двох зображеннях : ними слугували мости, точки переїздів на залізничних коліях, культові споруди тощо.

Перетворення здійснено за поліномом 2-го степеня з використанням 10 спільних точок. Космічні знімки перетворювались із використанням методики Pan-sharpening, таким чином розрізнення становить 15 м. Вказана точність дозволяє оцінювати глобальний характер руслових процесів річок. Особливо слід звертати увагу на місця значних горизонтальних зміщень русла річки, і за потреби технічних вимірювань зміщень застосовувати інші методики визначення їх величин [29].

Результати перетворень проєкцій з використанням 10 зазначених ототожнених на двох картах точок за поліномним перетворенням 1 та 2 степеня подано на рис. 2.8-2.19.

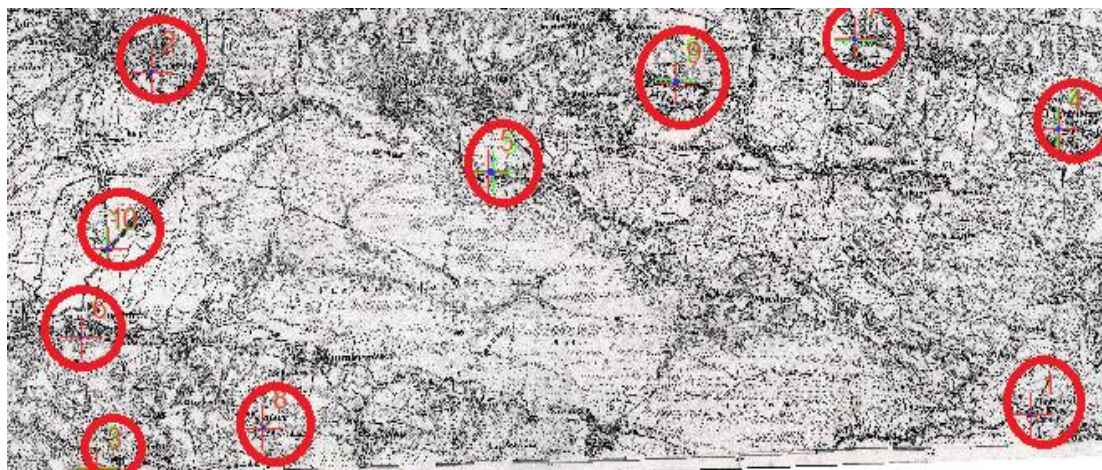


Рис. 2.8 Австрійська топографічна карта з нанесеними точками (р. Дністер)

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/> 1	5792,052079	-2331,399726	702119,981333	5487415,551783	-1,80175	5,58253	5,86609
<input checked="" type="checkbox"/> 2	1104,883911	-430,190489	674208,995258	5497724,130526	1,93852	-5,34754	5,68806
<input checked="" type="checkbox"/> 3	724,553428	-2425,225573	672470,002252	5485772,376619	16,8582	-1,42979	16,9187
<input checked="" type="checkbox"/> 4	5994,455426	-889,818961	703003,251003	5495988,286488	3,10163	-15,428	15,7366
<input checked="" type="checkbox"/> 5	2900,571907	-1000,477139	684908,151951	5494735,482846	33,6325	18,0205	38,156
<input checked="" type="checkbox"/> 6	673,431416	-1764,484924	671999,554868	5489718,457187	-30,4466	13,4109	33,2694
<input checked="" type="checkbox"/> 7	4920,287388	-400,715516	696563,583375	5498711,615054	13,3744	30,0518	32,8935
<input checked="" type="checkbox"/> 8	1636,029952	-2256,131901	677741,881268	5486968,529508	-8,09944	-11,4238	14,0037
<input checked="" type="checkbox"/> 9	3950,970223	-580,692094	690873,863462	5497390,443526	-41,1315	-30,6444	51,2921
<input checked="" type="checkbox"/> 10	826,413475	-1319,757485	672835,230779	5492383,315724	12,5741	-2,79225	12,8804

Link  
Total RMS Error: Forward: 26,904

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial  
 Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.9 Результат перетворення проєкції Зольднера-Кассіні за поліномом 2-го степеня (австрійська карта, р. Дністер)

Link								
Total RMS Error: Forward:32,4714								
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	5792,052079	-2331,399726	702119,981333	5487415,551783	-7,68724	16,7555	18,4347
<input checked="" type="checkbox"/>	2	1104,883911	-430,190489	674208,995258	5497724,130526	-11,4915	-0,309732	11,4957
<input checked="" type="checkbox"/>	3	724,553428	-2425,225573	672470,002252	5485772,376619	5,32726	-15,2355	16,1401
<input checked="" type="checkbox"/>	4	5994,455426	-889,818961	703003,251003	5495988,286488	31,079	-20,8174	37,4068
<input checked="" type="checkbox"/>	5	2900,571907	-1000,477139	684908,151951	5494735,482846	33,6338	27,2997	43,3186
<input checked="" type="checkbox"/>	6	673,431416	-1764,484924	671999,554868	5489718,457187	-9,27742	14,2725	17,0228
<input checked="" type="checkbox"/>	7	4920,287388	-400,715516	696563,583375	5498711,615054	-0,40434	18,7755	18,7799
<input checked="" type="checkbox"/>	8	1636,029952	-2256,131901	677741,881268	5486968,529508	-22,1677	-13,6068	26,0106
<input checked="" type="checkbox"/>	9	3950,970223	-580,692094	690873,863462	5497390,443526	-54,4978	-31,163	62,7785
<input checked="" type="checkbox"/>	10	826,413475	-1319,757485	672835,230779	5492383,315724	35,4859	4,02935	35,7139

Auto Adjust      Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)   
 Degrees Minutes Seconds      Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.10 Результат перетворення проєкції Зольднера-Кассіні за поліномом 1-го степеня (австрійська карта, р. Дністер)

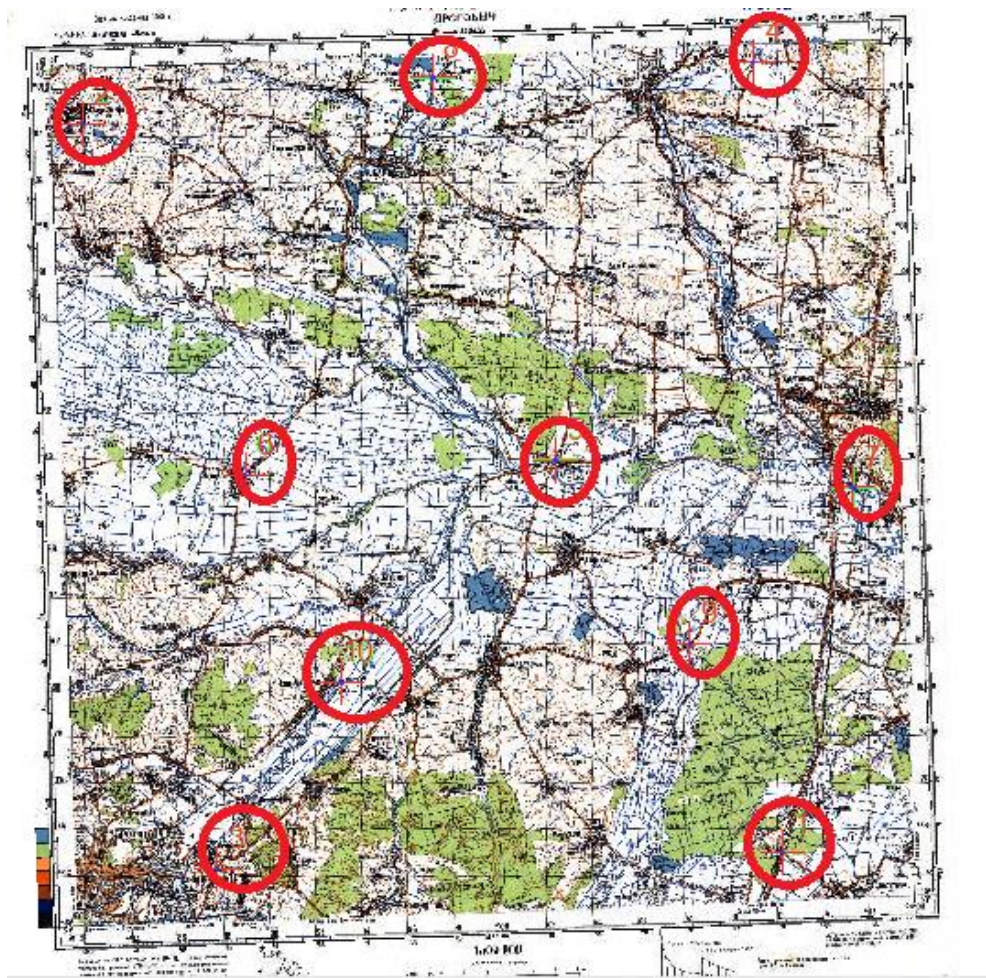


Рис. 2.11 Нанесені точки на радянську топографічну карту (р. Дністер)

Link								
		Total RMS Error:			Forward:20,0716			
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1910,867344	-2213,312111	712036,085356	5470609,987662	9,59951	-4,07818	10,4299
<input checked="" type="checkbox"/>	2	185,628425	-285,708430	681708,508548	5502189,696099	7,03253	-22,0139	23,1099
<input checked="" type="checkbox"/>	3	460,368873	-2199,806649	687525,795665	5469952,596478	15,7678	12,4258	20,0755
<input checked="" type="checkbox"/>	4	1911,731872	-189,956191	710814,552406	5504909,079982	6,46156	0,0992317	6,46232
<input checked="" type="checkbox"/>	5	1365,309878	-1190,070336	702203,815181	5487614,377057	18,8442	-3,31561	19,1336
<input checked="" type="checkbox"/>	6	575,149475	-1196,450843	688808,442666	5487014,523915	-29,5363	-3,2213	29,7115
<input checked="" type="checkbox"/>	7	2125,318678	-1285,207959	715081,807944	5486464,780392	-2,56461	-13,4364	13,6789
<input checked="" type="checkbox"/>	8	1085,244866	-199,600273	696849,383996	5504260,250863	0,0858458	29,1427	29,1428
<input checked="" type="checkbox"/>	9	1695,097320	-1670,368756	708025,199115	5479688,680134	-24,6848	6,42566	25,5075
<input checked="" type="checkbox"/>	10	795,765983	-1735,153204	692892,879055	5478022,426709	-1,00566	-2,02806	2,26371

Auto Adjust      Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)   
 Degrees Minutes Seconds      Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.12 Результат перетворення проекції Зольднера-Кассіні за поліномом 1-го степеня (радянська карта, р. Дністер)

Link								
		Total RMS Error:			Forward:14,7625			
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1910,867344	-2213,312111	712036,085356	5470609,987662	1,29537	-4,51203	4,6943
<input checked="" type="checkbox"/>	2	185,628425	-285,708430	681708,508548	5502189,696099	6,13106	-3,70086	7,16144
<input checked="" type="checkbox"/>	3	460,368873	-2199,806649	687525,795665	5469952,596478	4,60446	5,25537	6,98712
<input checked="" type="checkbox"/>	4	1911,731872	-189,956191	710814,552406	5504909,079982	-3,0222	-7,62417	8,20132
<input checked="" type="checkbox"/>	5	1365,309878	-1190,070336	702203,815181	5487614,377057	28,398	-8,18706	29,5546
<input checked="" type="checkbox"/>	6	575,149475	-1196,450843	688808,442666	5487014,523915	-20,077	2,40789	20,2209
<input checked="" type="checkbox"/>	7	2125,318678	-1285,207959	715081,807944	5486464,780392	4,17274	6,97137	8,12476
<input checked="" type="checkbox"/>	8	1085,244866	-199,600273	696849,383996	5504260,250863	-4,38033	11,0993	11,9324
<input checked="" type="checkbox"/>	9	1695,097320	-1670,368756	708025,199115	5479688,680134	-19,6477	6,40096	20,6641
<input checked="" type="checkbox"/>	10	795,765983	-1735,153204	692892,879055	5478022,426709	2,52562	-8,11076	8,49489

Auto Adjust      Transformation: 2nd Order Polynomial   
 Degrees Minutes Seconds      Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.13 Результат перетворення проекції Зольднера-Кассіні за поліномом 2-го степеня (радянська карта, р. Дністер)

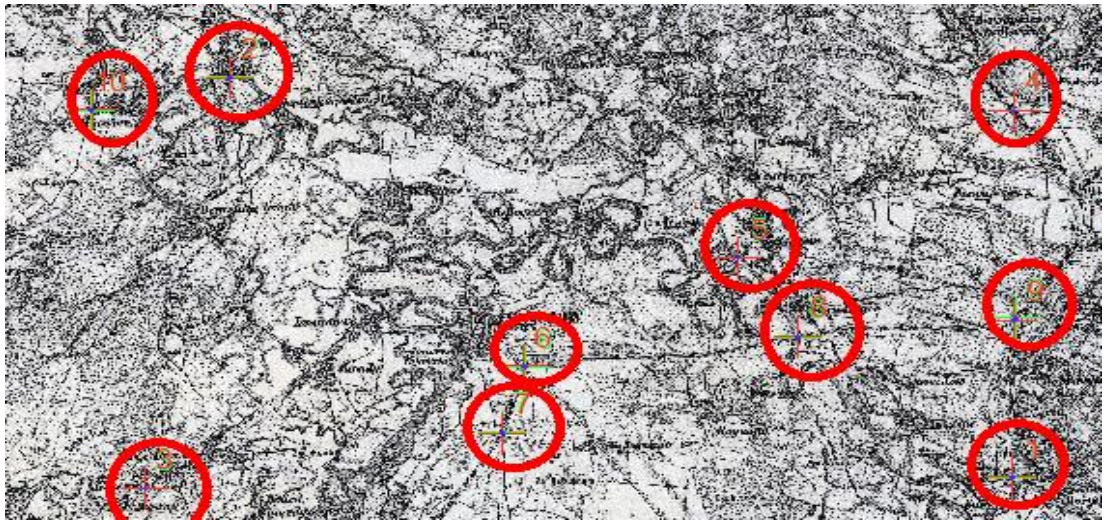


Рис. 2.14 Австрійська топографічна карта з нанесеними точками (р. Стрий)

Link									
Total RMS Error: Forward:20,7834									
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	6199,700804	-3342,289190	738659,763643	5471487,607690	5,72426	10,0174	11,5376	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	3333,675488	-1551,210781	722549,402588	5480768,218404	-14,8142	-16,2719	22,0054	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	2952,542434	-3262,295787	720803,156561	5471222,226522	-0,686266	2,48632	2,57929	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	6274,666672	-1807,361254	738669,952883	5480007,124786	5,91407	7,97462	9,92828	
<input checked="" type="checkbox"/>	5	5215,485656	-2376,588629	733020,998347	5476578,721109	3,72443	0,553377	3,76532	
<input checked="" type="checkbox"/>	6	4390,885234	-2800,015675	728590,312712	5474071,528178	-1,72214	8,46308	8,63652	
<input checked="" type="checkbox"/>	7	6237,714229	-2667,238853	738693,244906	5475131,330270	-21,0593	-32,6163	38,8242	
<input checked="" type="checkbox"/>	8	2802,584459	-1660,927205	719738,236322	5480024,461566	12,131	12,4143	17,3573	
<input checked="" type="checkbox"/>	9	4305,059579	-3080,682174	728164,058110	5472495,291927	-5,22684	-22,8868	23,476	
<input checked="" type="checkbox"/>	10	5420,986092	-2715,709284	734241,710688	5474772,872119	16,015	29,866	33,8889	

Auto Adjust      Transformation: 2nd Order Polynomial  
 Degrees Minutes Seconds      Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.15 Результат перетворення проєкції Зольднера-Кассіні за поліномом 2-го степеня (австрійська карта, р. Стрий)

Link									
Total RMS Error: Forward:34,2074									
	Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	6199,700804	-3342,289190	738659,763643	5471487,607690	41,8095	36,7422	55,6599	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	3333,675488	-1551,210781	722549,402588	5480768,218404	3,39309	-12,4973	12,9497	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	2952,542434	-3262,295787	720803,156561	5471222,226522	-19,8345	6,6922	20,933	
<input checked="" type="checkbox"/>	4	6274,666672	-1807,361254	738669,952883	5480007,124786	-32,2149	31,6167	45,1377	
<input checked="" type="checkbox"/>	5	5215,485656	-2376,588629	733020,998347	5476578,721109	-3,20663	-19,8292	20,0868	
<input checked="" type="checkbox"/>	6	4390,885234	-2800,015675	728590,312712	5474071,528178	-9,25458	-7,35414	11,8208	
<input checked="" type="checkbox"/>	7	6240,714229	-2670,238853	738693,244906	5475131,330270	-6,42356	-53,6629	54,046	
<input checked="" type="checkbox"/>	8	2810,584459	-1670,927205	719738,236322	5480024,461566	30,6697	16,7476	34,9444	
<input checked="" type="checkbox"/>	9	4305,059579	-3080,682174	728164,058110	5472495,291927	-25,27	-9,75674	27,0882	
<input checked="" type="checkbox"/>	10	5420,986092	-2715,709284	734241,710688	5474772,872119	20,3318	11,3016	23,2618	

Auto Adjust      Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)  
 Degrees Minutes Seconds      Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.16 Результат перетворення проєкції Зольднера-Кассіні за поліномом 1-го степеня (австрійська карта, р. Стрий)

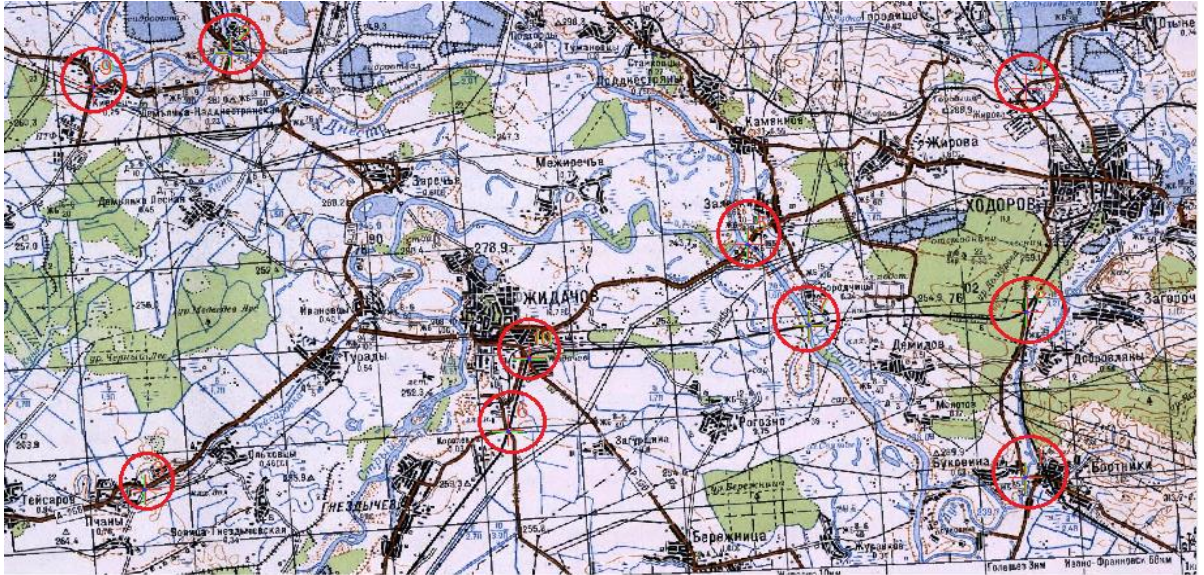


Рис. 2.17 Нанесені точки на радянську топографічну карту (р. Стрий)

Link

Total RMS Error: Forward: 15,2932

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	1327,507367	-2225,512597	738652,556321	5471481,416630	-1,95746	-0,865961	2,14045
2	394,529546	-1635,159853	722550,660995	5480771,980802	12,3449	-6,20385	13,8161
3	266,388274	-2197,777593	720798,422838	5471209,356601	5,02813	-6,69464	8,37259
4	1349,976049	-1720,116409	738655,347091	5479999,681600	-9,23406	3,48662	9,87038
5	1003,417211	-1909,313434	733018,488217	5476580,779269	20,563	-2,01168	20,6611
6	706,335013	-2139,899653	728165,392478	5472497,203186	2,17306	13,4526	13,627
7	1074,659562	-2018,192399	734253,421797	5474782,343215	-20,1679	-18,6496	27,4691
8	1336,763138	-2012,583883	738685,696218	5475096,047506	14,9797	5,46837	15,9466
9	226,849082	-1675,609875	719739,690199	5480013,387089	-11,373	5,73129	12,7355
10	735,202716	-2047,235620	728575,827382	5474079,892394	-12,3564	6,28682	13,8638

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial

Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.18 Результат перетворення проекції Зольднера-Кассіні за поліномом 2-го степеня (радянська карта, р. Стрий)

Link

Total RMS Error: Forward: 20,5824

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	1327,507367	-2225,512597	738652,556321	5471481,416630	-16,8136	2,63395	17,0187
2	394,529546	-1635,159853	722550,660995	5480771,980802	7,70488	-14,4757	16,3985
3	266,388274	-2197,777593	720798,422838	5471209,356601	-4,36594	-9,36268	10,3306
4	1349,976049	-1720,116409	738655,347091	5479999,681600	-19,168	-10,239	21,7313
5	1003,417211	-1909,313434	733018,488217	5476580,779269	32,9374	-3,67955	33,1423
6	706,335013	-2139,899653	728165,392478	5472497,203186	6,17199	1,68275	6,39727
7	1074,659562	-2018,192399	734253,421797	5474782,343215	-10,590	-16,302	19,5112
8	1336,763138	-2012,583883	738685,696218	5475096,047506	17,6992	23,1513	29,1417
9	226,849082	-1675,609875	719739,690199	5480013,387089	-13,0128	23,4417	26,8113
10	735,202716	-2047,235620	728575,827382	5474079,892394	-0,555024	3,22926	3,27661

Auto Adjust Transformation: 1st Order Polynomial (Affine)

Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Рис. 2.19 Результат перетворення проекції Зольднера-Кассіні за поліномом 1-го степеня (радянська карта, р. Стрий)

Загалом перетворення здійснено для всіх карт. Із аналізу точності перетворень, яка визначається за середньою квадратичною помилкою, для різних матеріалів становить: між картою австрійського періоду та космічним знімком – 20-25 м; між радянською картою та космічним знімком – 10-15 м. (табл. 2.4)

Таблиця 2.4

### Оцінка точності перетворення проєкцій карт

Річка	Карта	Поліном 2 степеня (м)	Поліном 1 степеня (м)
Дністер	Австрійського періоду	26	32
	Радянського періоду	14	20
Стрий	Австрійського періоду	20	34
	Радянського періоду	15	20

### *Перетворення між системами координат*

Наступний крок наших досліджень полягав у визначенні параметрів перетворень між різними системами координат з використанням спрощених формул Молоденського з оцінкою точності трансформації.

Вихідними даними слугували карти II військового-топографічного знімання Австро-Угорської імперії, виконаного в 1806-1869 рр. в масштабі 1:28 800 та радянські топографічні карти 1980-1990 р в масштабі 1:25000. Фрагмент оглядової схеми розташування листів австрійських карт представлено на рис. 2.20.





Рис. 2.20 Фрагмент оглядової схеми розташування листів австрійських карт масштабу 1:28 800.

Кожен лист австрійської карти в масштабі 1:25 000. з них охоплює ¼ аркуша карти в масштабі 1:75 000, а нумерація відповідає нумерації в тій же шкалі, наприклад, карта в масштабі 1:25 000 з номером "4573/SO", є правий нижній аркуш карти в масштабі 1:75 000, № 4573. Оглядова схема аркушів австрійських карт масштабу 1:75 000 представлено на рис 2.21 і 2.22.

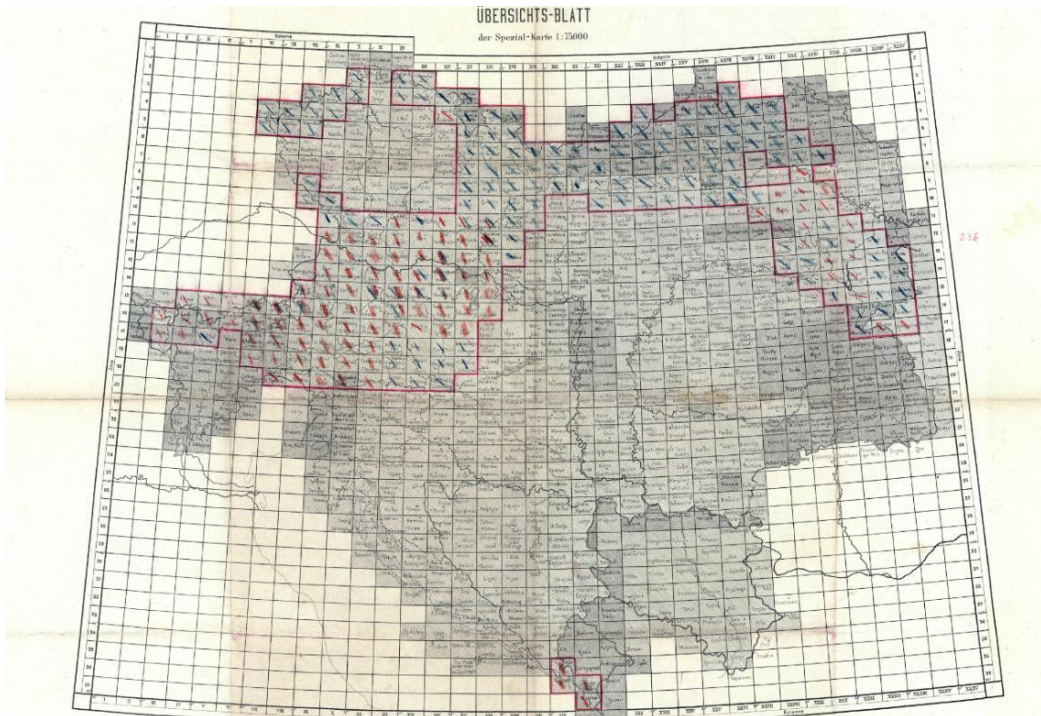


Рис. 2.21 Оглядова схема розташування листів австрійських карт масштабу 1:75000.



Рис. 2.22 Фрагмент оглядової схеми розташування листів австрійських карт масштабу 1:75000.

На рис. 2.23 представлено лист карти 4573/SO у масштабі 1:25 000 з збільшеним фрагментом.

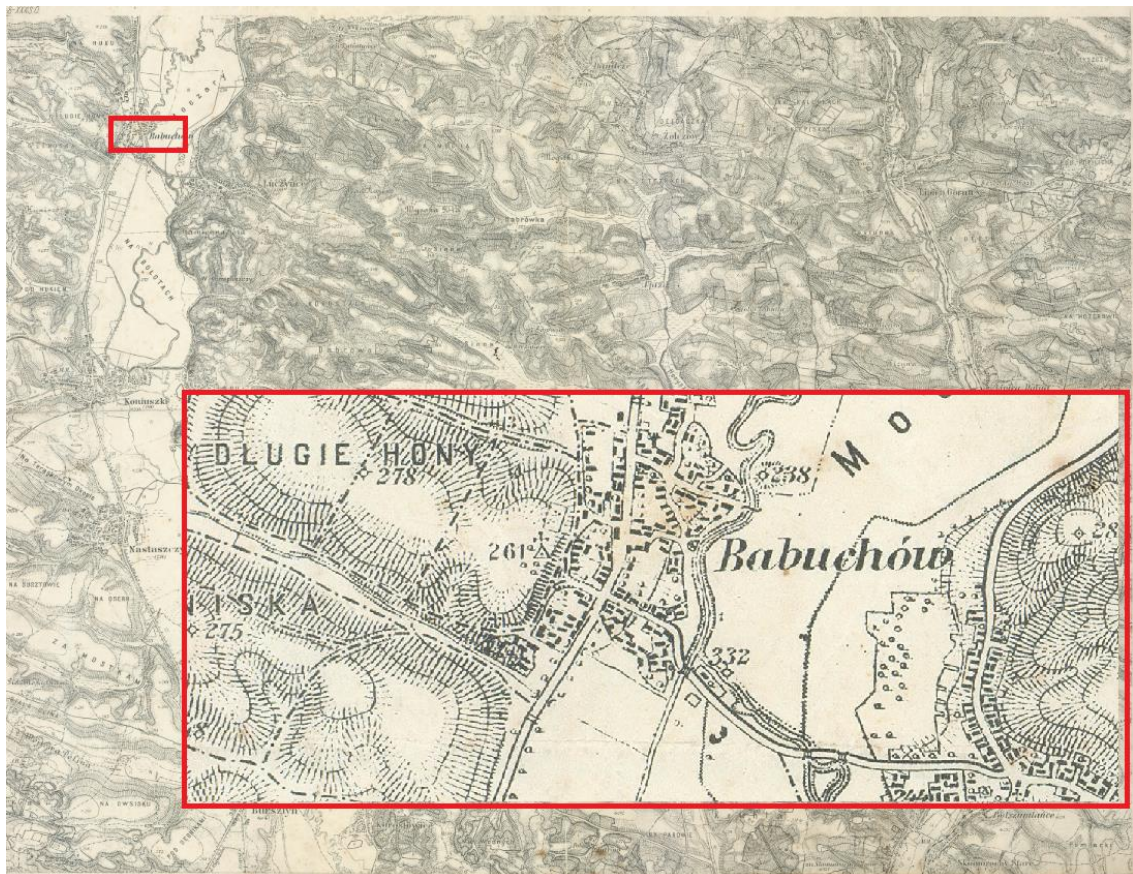


Рис. 2.23 Лист карти 4573/SO у масштабі 1:25 000 з збільшеним фрагментом.

Для правильної оцінки точності трансформації карт на основі геодезичної мережі необхідно знати математичну проекцію та використану геодезичну основу. Карти австрійського періоду для провінції Галичина створені у Львівській системі координат [290].

За початкову точку Львівської системи координат було прийнято геодезичний пункт на г. Високий замок м. Львова, карти створені у рівнопрямій проекції Кассіні-Зольднера [318]. Топографічні карти радянського періоду створені у рівнокутовій поперечно - циліндричній проекції Гаусса –Крюгера.

Для оцінки точності трансформації історичних карт до сучасних топографічних карт створених на геодезичній основі важливою є інформація про їх системи відліку. При створенні карт австрійського періоду використовувався Австрійський еліпсоїд (1810), параметри якого представлено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

### Параметри системи відліку III військового топографічного знімання Австро-Угорської імперії [214]

Параметр		Значення	Джерело
Нульовий меридіан	Австрійське Ферро	17° 39' 37.5'' W Від Грінвіча (Bradley'a)	[260]
Австрійський еліпсоїд (1810)	Велика піввісь (a)	6 376 033 м	[318]
	Мала піввісь (b)	6 356 354 м	
	Обернене стиснення (1/f)	324	

\* Нульовий меридіан Грінвіча, встановлений Bradley'a в середині XVIII століття, зміщений по довготі на 5,61'' на захід від сучасного меридіана Грінвіча, що використовується в системі WGS84.

Повний опис австрійської системи відліку, представлено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

### Параметри системи відліку III військового топографічного зображення Галичини та Буковини

Параметр	Значення
Географічна широта початкової точки	49° 50' 57'' N
Географічна довгота початкової точки	41° 42' 32,19'' E від Ферро Австр.
Одиниця відстані (Віденський сажень)	1,896315 м

Топографічні карти радянського періоду створені у системі координат СК-42, параметри якої наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

### Параметри системи відліку СК-42.

Параметр		Значення
Нульовий меридіан	Гринвіцький меридіан	
Еліпсоїд Красовського (1810)	Велика піввісь (a)	6 378 245 м
	Мала піввісь (b)	6356863,019 м
	Обернене стиснення (1/f)	298,3

Для визначення параметрів трансформації та їх оцінки точності на листах австрійських карт і карт радянського періоду ідентифікувались спільні точки (геодезичні пункти, перехрестя доріг, церкви, костели та інші). Для визначення координат цих об'єктів на картах австрійського періоду визначались координати вершин аркуша карти на якому ідентифікований об'єкт. Для території Галичини та Буковини внутрішня рамка аркушів має форму квадрата зі стороною 20 віденських дюймів (52,7 см), що відповідає на місцевості 8000 віденських сажнів. Кожному аркушу відповідає певний стовпець і ряд, що дозволяє розрахувати широти та довготи вершин кутів кожного аркушу. На листах карт відсутня координатна сітка. Для визначення координат ідентифікованих точок необхідно використовувати інтерполяційний метод з визначенням плоских прямокутних координат в умовній системі вершин кутів аркуша і ідентифікованих точок, з використанням векторизатора. Для цього використовувався векторизатор програмного

забезпечення ArcGIS. З метою підвищення точності інтерполяції геодезичні координати вершин аркушів були перетворені за допомогою виразів проєкції Кассіні – Зольднера на площину у прямокутну систему координат.

$$x = S - S_p + N \tan B \left[ \frac{A^2}{2} + \frac{(5-T+6C)A^4}{24} \right]; \quad (2.3)$$

$$y = N \left[ \frac{A-TA^3}{6} - \frac{(8-T+8C)TA^5}{120} \right]; \quad (2.4)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}}; \quad (2.5)$$

$$A = (L - L_0) \cos B; \quad (2.6)$$

$$C = \frac{e^2 \cos^2 B}{1-e^2}; \quad (2.7)$$

$$T = \tan^2 B; \quad (2.8)$$

$$S = a \left[ \left( 1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right) \sin B - \left( \frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) \sin 2B + \left( \frac{15e^4}{256} + \frac{45e^6}{1024} + \dots \right) \sin 4B - \left( \frac{35e^6}{3072} + \dots \right) \sin 6B + \dots \right] \quad (2.9)$$

де:  $S$  – довжина дуги меридіана від екватора до точки з широтою  $B$ ;

$S_p$  – довжина дуги меридіана від екватора до початкової точки системи відліку (пункт «Високий замок»);

$e = 0.07850655$  - ексцентриситет австрійського еліпсоїда 1810 р.;

$N$  – радіус кривини вертикала;

$A, C, T$  – проміжні параметри;

$x, y$  – прямокутні координати.

В табл. 2.8 представлено координати вершин аркушів карт австрійського періоду, які зазначені сірим відтінком, а також координати точок, які відповідають ідентифікованим об'єктам на цих картах. Прямокутні координати цих точок в проєкції Кассіні-Зольднера визначались методом інтерполяції за наступними виразами.

$$x_j = \frac{\sum_i^{i+3} x_i}{\sum_i^{i+3} \frac{1}{S_{ij}}}; \quad y_j = \frac{\sum_i^{i+3} y_i}{\sum_i^{i+3} \frac{1}{S_{ij}}}, \quad (2.10)$$

Де:  $S_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$  - відстань між кутовою  $i$  -ю точкою та  $j$  -им ідентифікованим об'єктом.

Таблиця 2.8

### Координати вершин аркушів карт австрійського періоду.

Назва карти	Номер точки	Геодезичні координати австрійський еліпсоїд (1810)						Прямокутні координати в проекції Кассіні-Зольднера		Прямокутні координати визначені дигітайзером	
		B			L від меридіана Ферро			X(м)	Y(м)	X(м)	Y(м)
		0	,	"	0	,	"				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Zone 8 XXVIII	1	49	15	0.00	40	30	0.00	-65919.2	-87970.6	5456766.5	633287.0
	2	49	30	0.00	40	30	0.00	-38123.0	-87525.4	5484567.8	632629.8
	3	49	30	0.00	41	0	0.00	-38583.7	-51327.7	5485530.5	668823.2
	4	49	15	0.00	41	0	0.00	-66380.5	-51588.7	5457693.4	669575.0
nw	5	49	24	59.60	40	32	26.53	-47447.4	-84722.6	5474345.3	642340.8
nw	6	49	27	47.35	40	28	30.24	-42190.7	-89397.4	5479013.4	638356.7
ne	7	49	26	57.64	40	53	23.17	-44135.1	-59369.4	5475812.5	658145.5
ne	8	49	29	48.75	40	53	0.53	-38845.2	-59767.2	5477433.6	658647.1
sw	9	49	14	21.53	40	31	56.40	-67144.5	-85636.4	5460262.9	637237.7
sw	10	49	16	34.33	40	34	18.06	-63086.8	-82711.0	5463762.5	640967.6
Zone7 XXVIII	11	49	30	0.00	40	30	0.00	-38123.0	-87525.4	5484513.8	632544.4
	12	49	40	0.00	40	30	0.00	-19591.6	-87227.7	5502956.6	632111.9
	13	49	40	0.00	41	0	0.00	-20051.9	-51153.1	5503942.6	668271.0
	14	49	30	0.00	41	0	0.00	-38583.7	-51327.7	5485486.3	668708.1
sw	15	49	31	49.88	40	30	12.84	-34733.5	-87213.0	5488734.2	637120.8
sw	16	49	33	11.95	40	30	16.77	-32199.9	-87093.4	5491150.7	638853.9
nw	17	49	36	9.01	40	33	24.84	-26790.3	-83231.9	5495357.0	640504.8
se	18	49	31	26.98	40	51	52.40	-35796.1	-61103.3	5492335.6	657114.0
se	19	49	34	12.53	40	47	56.81	-30627.9	-65777.2	5493968.5	653215.6
se	20	49	34	20.17	40	50	0.93	-30421.5	-63281.8	5494013.3	655119.6
Zone 7 XXIX	21	49	30	0.00	41	0	0.00	-38583.7	-51327.7	5485464.6	668768.5
	22	49	35	0.00	41	0	0.00	-29317.9	-51240.4	5494710.0	668445.5
	23	49	35	0.00	41	30	0.00	-29538.3	-15102.0	5495945.0	704592.7
	24	49	30	0.00	41	30	0.00	-38804.2	-15127.7	5486679.2	704928.1
sw	25	49	32	13.95	40	58	39.65	-34431.2	-52903.3	5489834.9	672716.7
sw	26	49	34	11.75	41	0	4.67	-30809.0	-51160.8	5493101.4	670827.2
sw	27	49	36	3.49	41	3	30.71	-27395.1	-46993.1	5492007.8	674679.0
se	28	49	32	6.49	41	22	23.55	-34864.3	-24290.2	5490866.9	694896.9
se	29	49	30	7.37	41	18	42.75	-38521.7	-28747.0	5490513.9	690736.1
se	30	49	33	25.29	41	21	32.40	-32425.8	-25306.8	5491164.3	693946.9
Zone 8 XXX	31	49	15	0.00	41	30	0.00	-66601.3	-15204.6	5459007.8	705942.8
	32	49	30	0.00	41	30	0.00	-38804.2	-15127.7	5486673.3	704934.2
	33	49	30	0.00	42	0	0.00	-38784.5	21073.0	5488238.8	741021.4
	34	49	15	0.00	42	0	0.00	-66581.6	21180.2	5460288.2	742431.3

Прод. табл. 2.8

Nw	35	49	23	58.83	41	32	43.63	-49967.5	-11861.1	5475218.6	715451.7
nw	36	49	27	52.63	41	29	48.88	-42737.4	-15362.4	5481697.1	710387.5
ne	37	49	26	2.53	41	49	58.90	-46152.3	8996.1	5476497.5	727545.0
ne	38	49	27	22.61	41	48	54.53	-43681.0	7696.3	5477106.3	726832.8
se	39	49	14	35.36	41	46	14.90	-67381.6	4502.4	5469373.9	724903.9
se	40	49	13	39.39	41	53	16.38	-69096.5	13027.3	5467404.1	731695.2
Zone 9 XXXI	41	49	0	0.00	42	0	0.00	-94377.5	21287.0	5432641.5	743524.0
	42	49	15	0.00	42	0	0.00	-66581.6	21180.2	5460383.5	742385.3
	43	49	15	0.00	42	30	0.00	-66321.3	57564.0	5462148.4	778697.3
	44	49	0	0.00	42	30	0.00	-94116.9	57854.2	5434388.1	780204.3
sw	45	49	6	39.35	41	59	19.20	-82047.2	20412.7	5445761.4	752368.5
nw	46	49	8	58.51	41	59	50.88	-77746.7	21038.4	5449084.0	752134.2
nw	47	49	11	25.11	41	57	33.42	-73229.0	18239.2	5452467.0	750183.6
se	48	49	4	53.53	42	16	46.16	-85196.1	41659.2	5445704.5	762715.0
ne	49	49	8	49.16	42	23	36.19	-77850.0	49909.8	5449089.0	767351.2
ne	50	49	12	39.68	42	19	26.10	-70774.2	44786.2	5451235.5	764959.3

Геодезичні координати ідентифікованих точок подано у таблиці 2.8. Їх визначено на основі наступних виразів перетворення прямокутних координат проекції Кассіні-Зольднера.

$$B = B_0 - \left( \frac{N_0 \tan B_0}{M_0} \right) \left[ \frac{D^2}{2} - (1 + 3T_0) \frac{D^4}{24} \right]; \quad (2.11)$$

$$L = L_0 + \frac{\left[ D - \frac{T_0 D^3}{3} + (1 + 3T_0) \frac{T_0 D^5}{15} \right]}{\cos B_0}; \quad (2.12)$$

$$B_0 = t_0 + \left( \frac{3e_1}{2} - \frac{27e_1^3}{32} + \dots \right) \sin 2t_0 + \left( \frac{21e_1^2}{16} - \frac{55e_1^4}{32} + \dots \right) \sin 4t_0 + \left( \frac{151e_1^3}{96} + \dots \right) \sin 6t_0 + \left( \frac{1097e_1^4}{512} - \dots \right) \sin 8t_0 + \dots; \quad (2.13)$$

$$e_1 = \frac{1 - \sqrt{1 - e^2}}{1 + \sqrt{1 - e^2}}; \quad (2.14)$$

$$t_0 = \frac{S_0}{a \left( 1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} - \dots \right)}; \quad (2.15)$$

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_0}}; \quad (2.16)$$

$$M_0 = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B_0)^{\frac{3}{2}}}; \quad (2.17)$$

$$S_0 = S_p + x; \quad (2.18)$$

$$T_0 = \tan^2 B_0; \quad (2.19)$$

$$D = \frac{x}{N_0}. \quad (2.20)$$

Де :  $Sp$  - довжина дуги меридіана від екватора до початкової точки системи відліку (пункт «Високий замок»);

$a = 6376033\text{м}$ ,  $e = 0.07850655$  - велика піввісь та ексцентриситет австрійського еліпсоїда 1810 р.;

$B_0, N_0, M_0$  – широта і радіуси кривини вертикала і меридіана у проміжній точці,  $D_0$ ,  $T_0, t_0, e_1$  – проміжні параметри;

$x, y$  – прямокутні координати проекції Кассіні-Зольднера.

Аналогічний спосіб визначення геодезичних координат ідентифікованих точок використано для карт радянського періоду. З метою підвищення точності інтерполяції геодезичні координати вершин аркушів карт радянського періоду перетворено за допомогою виразів проекції Гауса - Крюгера на площину у прямокутну систему координат.

$$x = 6367558,4969 \frac{B''}{p''} - \{a_0 - [0,5 + (a_4 + a_6 l^2) l^2] l^2 N\} \sin B \cos B;$$

$$y = [1 + (a_3 + a_5 l^2) l^2] l N \cos B. \quad (2.21)$$

$$l = \frac{(L-L_0)''}{p''}; \quad (2.22)$$

$$N = 6399698,902 - [21562,267 - (108,973 - 0,612 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B; \quad (2.23)$$

$$a_0 = 32140,404 - [135,3302 - (0,7092 - 0,0040 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B; \quad (2.24)$$

$$a_4 = (0,25 + 0,00252 \cos^2 B) \cos^2 B - 0,04166; \quad (2.25)$$

$$a_6 = (0,166 \cos^2 B - 0,084) \cos^2 B; \quad (2.26)$$

$$a_3 = (0,3333333 + 0,001123 \cos^2 B) \cos^2 B - 0,1666667; \quad (2.27)$$

$$a_5 = 0,0083 - [0,1667 - (0,1968 + 0,0040 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B. \quad (2.28)$$

Де :  $a_0, a_3, a_4, a_5, a_6$  – проміжні коефіцієнти;

$N$  – радіус кривини вертикалу;

$L_0$  - довгота осьового меридіана.



Після інтерполяції за виразом (2.9) визначено координати ідентифікованих точок в системі прямокутних координат Гауса – Крюгера. За допомогою виразів 2.29-2.37 за цими координатами визначено геодезичні координати ідентифікованих точок на еліпсоїді Красовського.

$$B = B_x - [1 - (b_4 - 0,12z^2)z^2]z^2b_2p'';$$

$$L = L_0 + l;$$

$$l = [1 - (b_3 - b_5z^2)z^2]zp''.$$
 (2.29)

$$B_x = \beta + \{50221746 + [293622 + (2350 + 22\cos^2\beta)\cos^2\beta]\cos^2\beta\}10^{-10} \sin \beta \cos \beta p'';$$
 (2.30)

$$\beta = \left(\frac{x}{6367558,4969}\right)p'';$$
 (2.31)

$$z = y/(N_x \cos B_x);$$
 (2.32)

$$N_x = 6399698,902 - [21562,267 - (108,973 - 0,612\cos^2B_x)\cos^2B_x]\cos^2B_x;$$
 (2.33)

$$b_2 = (0,5 + 0,003369 2\cos^2B_x) \sin B_x \cos B_x;$$
 (2.34)

$$b_3 = 0,333333 - (0,166667 - 0,001123\cos^2B_x)\cos^2B_x;$$
 (2.35)

$$b_4 = 0,25 + (0,16161 + 0,00562\cos^2B_x)\cos^2B_x;$$
 (2.36)

$$b_5 = 0,2 - (0,1667 - 0,0088\cos^2B_x)\cos^2B_x.$$
 (2.37)

В табл. 2.9 представлено координати вершин аркушів карт радянського періоду, які зазначені сірим відтінком, а також координати точок, які відповідають ідентифікованим об'єктам на цих картах.

Таблиця 2.9

### Координати вершин аркушів карт радянського періоду.

Назва карти	Номер точки	Геодезичні координати (еліпсоїд Красовського)						Прямокутні координати в проекції Гауса Крюгера		Прямокутні координати визначені діджитайзером	
		B			L			X(м)	Y(м)	X(м)	Y(м)
		0	,	''	0	,	''				
M-34-106	100	49	0	0	22	30	0	5430807.588	609757.788	5428526.340	609661.777
	101	49	20	0	22	30	0	5467877.381	609023.337	5465584.155	608886.479
	102	49	20	0	23	0	0	5468719.536	645362.515	5466310.935	645155.568
	103	49	0	0	23	0	0	5431651.167	646341.920	5429297.963	646157.208
	9	49	14	24.000	22	52	40.090	5458112.030	636739.486	5457892.423	644413.049
	10	49	16	36.673	22	55	1.201	5462282.050	639489.728	5462230.540	643224.142
M-34-94	106	49	20	0	22	30	0	5467877.381	609023.337	5465558.344	608752.701
	107	49	40	0	22	30	0	5504949.177	608285.166	5502669.097	608042.734
	108	49	40	0	23	0	0	5505789.792	644378.153	5503502.536	644252.359
	109	49	20	0	23	0	0	5468719.536	645362.515	5466411.426	645141.096

Прод. табл. 2.9

	5	49	25	2.438	22	53	8.274	5477848.460	636817.081	5473480.864	643112.245
	6	49	27	52.277	22	49	11.864	5482978.090	631925.849	5478425.672	636484.507
	15	49	31	51.872	22	50	55.693	5490430.615	633834.730	5489442.979	643996.850
	16	49	33	13.604	22	50	57.728	5492956.521	633813.609	5493049.783	639980.486
	17	49	36	13.024	22	54	5.420	5498593.252	637445.730	5500163.094	640023.371
M-34-95	115	49	20	0	23	0	0	5468719.536	645362.515	5466365.354	645174.175
	116	49	40	0	23	0	0	5505789.792	644378.153	5503450.503	644213.489
	117	49	40	0	23	30	0	5506870.751	680469.361	5504623.096	680327.752
	118	49	20	0	23	30	0	5469802.477	681700.031	5467465.743	681522.877
	7	49	27	0.983	23	14	6.498	5482203.261	662066.091	5473309.368	661552.467
	8	49	29	50.889	23	13	44.945	5487438.982	661476.731	5484728.511	659733.082
	18	49	31	29.338	23	12	33.781	5490438.001	659955.653	5490198.516	656951.635
	19	49	34	16.612	23	8	40.285	5495469.578	655113.012	5496751.131	650816.221
	20	49	34	21.741	23	10	41.896	5495698.228	657551.599	5501888.008	655557.995
	25	49	32	17.977	23	19	23.398	5492188.464	668146.255	5492375.641	672869.051
	26	49	34	13.097	23	20	46.427	5495796.404	669704.521	5498227.399	672670.754
	27	49	36	5.507	23	24	13.855	5499400.440	673760.760	5499839.623	677756.271
M-34-96	127	49	20	0	23	30	0	5469802.477	681700.031	5467487.044	681517.833
	128	49	40	0	23	30	0	5506870.751	680469.361	5504579.985	680284.630
	129	49	40	0	24	0	0	5508192.178	716558.342	5505921.899	716349.436
	130	49	20	0	24	0	0	5471126.334	718035.463	5468792.399	717769.775
	28	49	32	9.956	23	43	6.914	5492899.270	696771.879	5494229.712	694708.751
	29	49	30	10.892	23	39	24.593	5489061.792	692432.307	5486444.523	680983.770
	30	49	33	27.584	23	42	14.251	5495259.015	695627.014	5499552.281	693705.671
	35	49	23	59.832	23	53	29.086	5478226.284	709860.575	5470575.667	712037.141
	36	49	27	56.033	23	50	34.346	5485388.276	706062.814	5482006.484	714151.722
M-35-085	136	49	20	0.000	24	0	0.000	5471126.334	281964.537	5468798.678	717844.674
	137	49	40	0.000	24	0	0.000	5508192.178	283441.658	5505867.525	716353.371
	138	49	40	0.000	24	30	0.000	5506870.751	319530.639	5507422.765	752414.940
	139	49	20	0.000	24	30	0.000	5469802.477	318299.969	5470373.652	754131.947
	37	49	26	6.563	24	10	43.841	5481947.688	295384.598	5474040.676	728558.702
	38	49	27	26.184	24	9	37.127	5484457.555	294133.372	5480766.453	722526.620
M-35-97	142	49	0	0.000	24	0	0.000	5434062.052	280494.843	5431748.368	719273.121
	143	49	20	0.000	24	0	0.000	5471126.334	281964.537	5468803.640	717873.233
	144	49	20	0.000	24	30	0.000	5469802.477	318299.969	5470375.580	754108.424
	145	49	0	0.000	24	30	0.000	5432735.945	317075.493	5433315.669	755826.290
	39	49	14	39.123	24	7	0.756	5460884.074	290079.482	5460862.912	718506.542
	40	49	13	43.612	24	14	1.106	5458851.726	298517.342	5467423.765	734481.509
	45	49	6	40.644	24	20	5.116	5445522.489	305420.799	5441677.801	747419.199
	46	49	9	1.573	24	20	36.103	5449853.428	306201.871	5449346.250	754054.055
	47	49	11	28.856	24	18	18.976	5454500.928	303585.517	5455932.116	744642.031
M-35-98	151	49	0	0.000	24	30	0.000	5432735.945	317075.493	5433295.467	755827.798
	152	49	20	0.000	24	30	0.000	5469802.477	318299.969	5470383.400	754146.916
	153	49	20	0.000	25	0	0.000	5468719.536	354637.485	5472156.946	790485.657
	154	49	0	0.000	25	0	0.000	5431651.167	353658.080	5435133.108	792436.999
	48	49	4	57.379	24	37	30.634	5441627.348	326521.534	5438820.080	761090.788
	49	49	8	50.397	24	44	23.660	5448568.842	335116.544	5448276.191	772008.975
	50	49	12	40.917	24	40	10.583	5455844.931	330207.613	5459727.252	761975.489

Виконання прямого та зворотного перетворення систем координат від еліпсоїда до площини обумовлене необхідністю підвищення точності інтерполяції координат, яка виконується на площині за допомогою векторизатора. Крім цього, необхідно знайти параметри перетворень між просторовими системами координат та еліпсоїдами карт радянського та австрійського періодів. Опущення цих етапів

при виконання афінного перетворення плоских координат призводить до значних похибок (сотні метрів), які, як правило, пояснюються низькою точністю історичних карт.

Відповідно наступним кроком дослідження точності вибраних карт є знаходження параметрів перетворень між просторовими системами координат карт радянського та австрійського періодів.

Крім перетворення систем координат, обумовлених різними параметрами еліпсоїда Красовського та австрійського еліпсоїда 1810 р, слід також враховувати їх взаємне зміщення в просторі та орієнтацію. Сучасні системи відліку використовують загальноземні еліпсоїди розташування центрів, які є близькими до центру мас Землі. Орієнтація еліпсоїдів Красовського та австрійського 1910 року відповідає вимогам проходження їх поверхні через вибраний геодезичний пункт, та суміщенням нормалі до еліпсоїда з прямовисною лінією у цьому пункті. Цими пунктами для еліпсоїда Красовського є Пулковська астрономічна обсерваторія, а для австрійського еліпсоїда геодезичний пункт «Високий замок» у Львові.

Для визначення параметрів перетворень між двома системами координат, можна використати формули Гельмерта, або Молоденського. Для знаходження точних параметрів переходу між системами координат застосовують метод Гельмерта з семи параметрами ( $dx, dy, dz$  - зміщення центру координатної системи;  $d\alpha, d\beta, d\gamma$  – кутових елементів;  $\mu$  - параметр масштабу). Для калібрування історичних топографічних карт достатньо застосувати спрощену трансформацію з трьома параметрами ( $dx, dy, dz$ ) за допомогою спрощеного методу Молоденського [293, 242].

Крім цього, спрощені формули методу Молоденського вимагають виміряних висот пунктів над еліпсоїдом. На картах австрійського періоду рельєф відображений штриховим способом, і тільки окремі пункти мають підписані висотні позначки. Вибрати для ідентифікації точки на картах австрійського та радянського періодів з відомими відмітками є проблематично. Відповідно висотну

складову необхідно усунути при обчисленні параметрів перетворень. У зв'язку цим використаємо спрощені формули Молоденського.

$$M\Delta B = -\sin B \cos L \Delta X - \sin B \sin L \Delta Y + \\ + \cos B \Delta Z + (a\Delta f + f\Delta a)2 \sin B \cos B ; \quad (2.38)$$

$$N \cos B \Delta L = -\sin L \Delta X + \cos L \Delta Y; \quad (2.39)$$

$$\Delta h = \cos B \cos L \Delta X + \cos B \sin L \Delta Y + \sin B \Delta Z + (a \Delta f + f \Delta a) \sin^2 B - \Delta a. \quad (2.40)$$

де :  $\Delta B$ ,  $\Delta L$  – різниця широт та довгот ідентифікованих точок на картах австрійського і радянського періодів;

$B$ ,  $L$  - широта та довгота ідентифікованих точок на картах радянського періоду (еліпсоїд Красовського);

$\Delta h$  - різниця еліпсоїдальних висот ідентифікованих точок на картах радянського та австрійського періоду;

$\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  – зміщення центрів еліпсоїда Красовського відносно австрійського еліпсоїда 1810 р.;

$\Delta a$ ,  $\Delta f$  – різниця великих півосей та параметрів стиснення еліпсоїдів Красовського та австрійського 1810 р.

Параметри  $\Delta a$ ,  $\Delta f$  можна визначити за даними таблиць 2.5 і 2.7. Для історичної місцевої системи можна прийняти нульову відстань геоїда від еліпсоїда [325], яка дорівнює висоті еліпсоїдальних висот, нанесених на карту. Середня відстань між геоїдом та еліпсоїдом WGS84 для території Галичини становить 34 м (від 27 м до 44 м). Різниця еліпсоїдальних висот пунктів відносно еліпсоїда Красовського та WGS -84 для території дослідження знаходяться у межах 32-36 м, що у середньому складає також 34 м. Фактично різниці  $\Delta h$  еліпсоїдальних висот ідентифікованих точок на картах радянського та австрійського періоду є практично рівні нулю. Тобто висоти наведені на картах австрійського і радянського періодів є практично однакові. Це підтверджується деякими ідентифікованими геодезичними пунктами на інших аркушах карт, для яких різниці висот складами від +3 до -18 м, що є практично у межах точності визначення висот на картах австрійського періоду. Альтернативою для дослідження точності історичних карт є веб-сайт "WGS 84

Geoid Calculator", створений National Geospatial-Intelligence Agency, який дозволяє розрахувати відстань від геоїда до еліпсоїда WGS84 майже у всьому світі.

Відповідно наступним кроком досліджень було визначення параметрів просторового зміщення еліпсоїда Красовського відносно австрійського еліпсоїда 1810 р. Для цього для кожної ідентифікованої точки було складено рівняння (2.38-2.40). Спочатку було складено 192 рівняння, на основі яких за способом найменших квадратів було визначено параметри  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ . Точність визначення цих параметрів сягала 24 м. Середня квадратична похибка визначення параметрів між еліпсоїдом WGS-84 і австрійським еліпсоїдом 1810 р. [214] за даними отриманими на картах, які охоплюють територію Польщі складала 2,3 м. Тому нами було застосовано метод апостеріорної оптимізації з почерговим вилученням точок з грубими помилками в координатах. Відповідно кількість рівнянь скоротилась до 150. Вилучені точки мали значні похибки визначення координат, очевидно, пов'язані з недосконалою ідентифікацією об'єктів, перенесенням на місцевості у радянський період ідентифікованих центрів геодезичних знаків, спотворенням растрового зображення карт, використанням нестандартних аркушів карт та деформацією паперу. Відповідно на основі відібраних 50 точок було отримано параметри  $\Delta X = 2137$  м,  $\Delta Y = 472$  м,  $\Delta Z = -215$  м. Середня квадратична похибка визначення параметрів  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  склала 4,7 м. Визначена похибка цих параметрів є у два рази більша ніж отримана [214]. Можливо це пов'язано з тим, що автором цієї роботи була охоплена ціла територія Польщі. Однак, за нашими розрахунками середня квадратична просторова похибка перетворення координат складає 25 м. Відповідно максимальна та мінімальна похибки є +55 м і -59 м. За результатами досліджень [214] середня квадратична просторова похибка перетворення координат складає 8,3 м. В цій же роботі визначено для території Галичини та Буковини просторові параметри переходу від австрійського еліпсоїда 1810 р до WGS84  $\Delta X = 2168,5$  м,  $\Delta Y = 345,6$  м,  $\Delta Z = -299,4$  м. Враховуючи що просторові параметри переходу від еліпсоїда Красовського до WGS-84 згідно [56] є  $\Delta X =$

+23.57 м,  $\Delta Y = -140.95$  м,  $\Delta Z = -79.8$  м. Тому параметри переходу від австрійського еліпсоїда 1810 р. до еліпсоїда Красовського за даними [214] повинні бути  $\Delta X = 2146$  м,  $\Delta Y = 485$  м,  $\Delta Z = -219$  м. Відповідно різниця у параметрах отриманими за нашими даними та даними складає  $\delta X = -9$  м,  $\delta Y = -13$  м,  $\delta Z = +4$  м. Різниці  $\delta X$ , та  $\delta Y$  перевищують точності визначення цих параметрів. Суттєву різницю у 13 м. між параметрами  $\Delta Y$  можна пояснити розбіжностями параметра  $\Delta Y = -140.95$  м представленого російським [56], та аналогічним параметром визначеним  $\Delta Y = -121.30$  м за даними супутникових вимірів на 40 пунктах триангуляції першого класу, розташованих на території України. Якщо використати цей параметр визначений для території України, то  $\delta Y = +7$  м. Необхідно зауважити, що точність визначення параметрів  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  є спотворена використанням спрощених формул Молоденського, які не враховують кутові елементи переходу між просторовими системами координат. До речі, у дослідженнях американського агентства [293], методом спрощених формул Молоденського визначено параметри зміщення кількох сотень місцевих систем відліку стосовно системи WGS84, які використовувались у ХХ столітті.

Для визначення достовірних параметрів перетворень систем координат сучасних та історичних топографічних карт, необхідно врахувати спотворення картографічних проекцій. При інтерполяції ідентифікованих точок, за допомогою дигітайзера, необхідно виконувати перетворення еліпсоїдальних координат вершин трапецій, у плоскі координати відповідної картографічної проекції і тоді проводити лінійну інтерполяцію за допомогою векторизатора. Інтерпольовані координати ідентифікованих точок на площині необхідно перерахувати у еліпсоїдальні координати. Дані на основі еліпсоїдальних координат ідентифікованих точок у двох системах, за допомогою спрощених формул Молоденського можна визначити лінійні параметри зсуву двох систем координат та оцінити їх точність. Використання методу Молоденського має сенс при визначенні параметрів

перетворень на значних територіях. При визначенні параметрів перетворень у межах одного листа карти достатньо застосовувати метод афінного перетворення.

Представлений спосіб визначення параметрів переходу між різними системами координат, дозволяє максимально використовувати інформацію, що міститься в історичних картах. Метод калібрування історичних карт на основі перетворення систем відліку використовують для збереження високої точності відображення земної поверхні, збільшення картометричних значень менш точних карт. Таким чином, калібровані карти після векторизації стають більш корисними для дослідників при визначенні точних даних про відстані, площу та форми об'єктів та їх зміни у часі.

## **2.5. Дослідження русел річок та аналіз їх горизонтальних зміщень**

### **2.5.1. Аналіз зміщень гірської частини річки Дністер**

У верхній частині (до м. Самбора) Дністер - типова гірська річка, яка тече у вузькій долині між скелястими стрімкими берегами. (рис. 2.24) Подекуди уздовж русла знаходяться витягнуті галечникові відкладення [153].



Рис. 2.24 Річка Дністер у гірській частині

Моніторинг гірської частини річки Дністер за 135-літній період в межах Старосамбірського району Львівської області здійснено за топографічними картами масштабів 1:75 000 та 1:100000 (1879, 1989 рр.), космічним знімком Landsat 8 (2014 р.) та геологічними картами масштабу 1:200000. Ділянка дослідження гірської частини має довжину 38,2 км [200].

Технологію проведення робіт подано в [198, 24] та у розділі 2.3. Дослідження виконано з використанням програмного середовища ArcGIS 10.1.

Середні висоти на ділянці досліджень складають 600-700 м, русло річки Дністер в гірській частині характерне меншою звивистістю, а також невеликою кількістю меандрів та островів у порівнянні з передгірською та рівнинною частинами. Нахил річки в межах Карпат – понад 3 м/км .

На рис. 2.25 подано оцифровані фрагменти русла гірської частини річки Дністер з точками вимірних зміщень, нанесені на топографічну карту 1879 року: зеленим кольором зображено русло річки 1879 р.; червоним – русло 1989 р.; фіолетовим – 2014 р. [200]

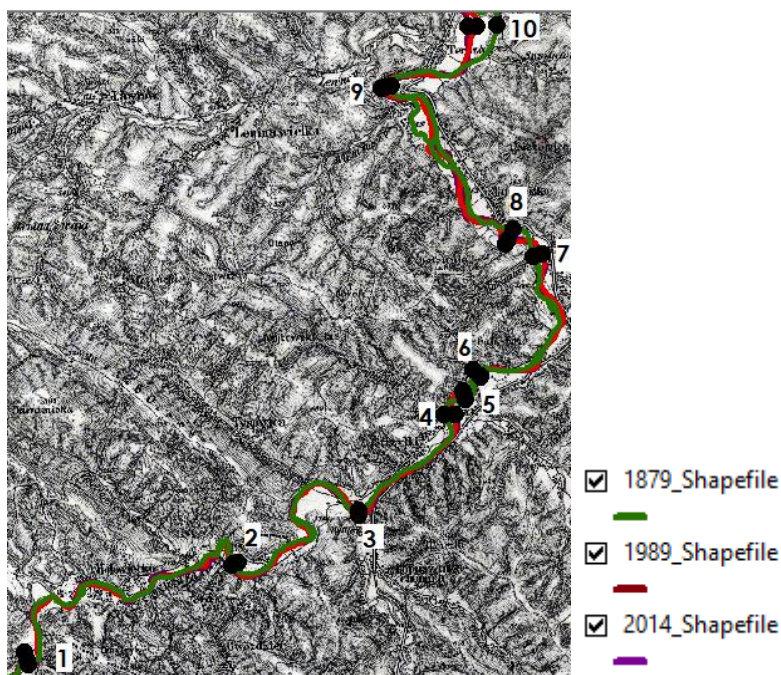


Рис. 2.25 Топографічна карта 1879 р. з нанесеними руслами річки Дністер та точками вимірних зміщень

В ході дослідження зауважено, що на карті 1879 року річка Дністер поблизу с. Стрілки та поблизу с. Спас Старосамбірського району розгалужувалась на два рукави (рис. 2.26), а з аналізу русел 1989 року видно, що річка є однорукавною, а русло більш випрямлене. Це також видно і на оцифрованому руслі 2014 року, де русло зображене фіолетовим кольором.





Рис. 2.26 Фрагмент топографічної карти 1879р. з нанесеними руслами річки  
Дністер

Результати вимірювання зміщень русел річки подано в табл. 2.10, графік зміщень на рис. 2.28. Точки для розрахунку знаходились на вигинах русла з 1879 року, вимірювання до другого (1989 р.) і третього (2014 р.) русел здійснено по перпендикулярних лініях. При відхиленні русла в південному напрямку – зміщення отримують знак «+», при відхиленні русла в північному напрямку – зміщення отримують знак «-» залежно від вигинів русла. Максимальне значення зміщень отримане за роки 1879-1989 складає -415 м, за роки 1989-2014 – -190 м, на більшості точок цього періоду зміщення складають в межах 100-200 м. В гірській частині зміщення русла річки Дністер є значно меншими, ніж на рівнинній, де вони можуть сягати 1000 і більше метрів. [200] Це викликано геологічною будовою та розмірами річкової заплави.

Таблиця 2.10

### Зміщення русла гірської частини річки Дністер

№ точок	Зміщення (м)	
	1879-1989	1989-2014
1	175	100
2	-100	-40
3	105	-
4	230	-20
5	-195	80
6	200	-
7	175	-
8	-240	-105
9	-140	-85
10	-415	-190

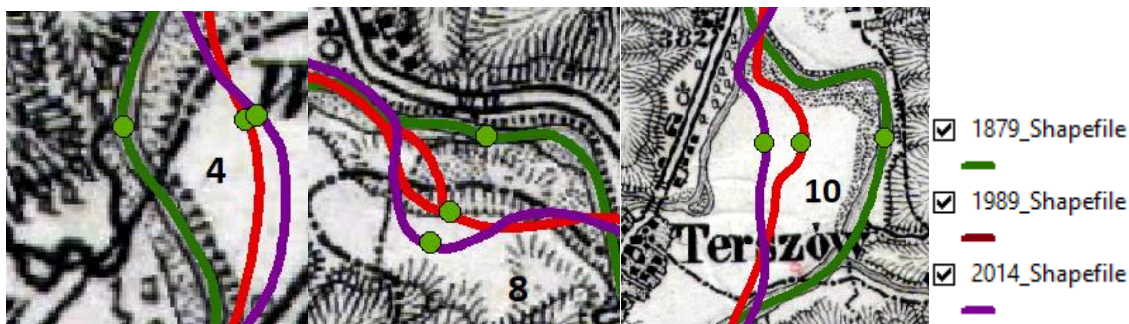


Рис. 2.27 Точки зміщень русла та збільшені фрагменти русла з деталізацією максимальних змін

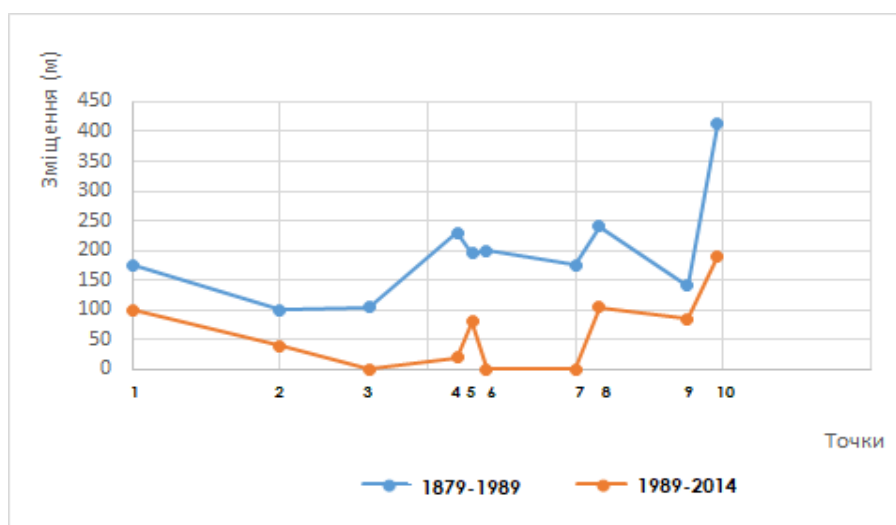


Рис. 2.28 Графік зміщень гірської частини річки Дністер

При накладанні русел річки на синтезоване зображення 2014 р. (рис. 2.29) зауважено ділянку, де є великий вигин русла, але величина зміщення за цей період не перевищує 50 метрів [200].

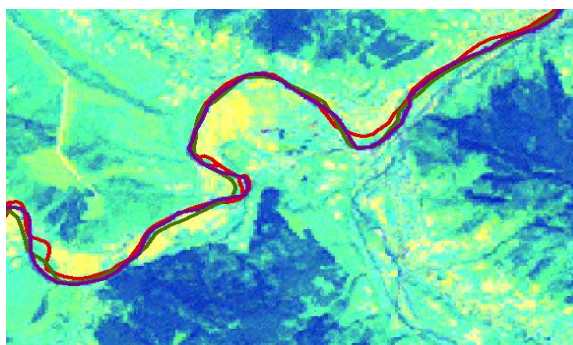


Рис. 2.29 Синтезоване зображення, отримане із супутника Landsat 8 з нанесеними руслами ріки Дністер.

При аналізі гірської частини річки Дністер більшість дослідників зазначило частоту виникнення паводків та їх руйнівних наслідків на довкілля, а також істотну вирубку лісів у цій частині Карпатського регіону, яка суттєво збільшилась в останні десятиліття [167,85, 86, 87].

### 2.5.2. Аналіз зміщень горбисто - рівнинної частини річки Дністер

Біля Старого Самбора Дністер виходить з гірської частини у горбисто – рівнинну. (рис. 2.30) У цій ділянці Дністер зазнав значних деформацій через масштабні розробки гравію, що ведуться ще з радянських часів. Особливо складний характер русел спостерігається поблизу села Кружики, де протилежні береги річки відрізняються позначками та крутизною [8].



Рис. 2.30 Річка Дністер у горбисто – рівнинній частині

Аналіз зміщень здійснено на ділянці (від м. Старого Самбора до с. Корналовичі) довжиною близько 36 км за 135-літній період за топографічними картами масштабів 1:75000 та 1:100000 (1879, 1989 рр.), космічним знімком, отриманим із супутника Landsat 8 (2014р.) та геологічними картами масштабу 1:200000.

На рис. 2.31 подано оцифровані фрагменти русла досліджуваної частини річки Дністер, нанесені на топографічну карту 1879 року: зеленим кольором зображено русло ріки 1879 р.; червоним – русло 1989р.; фіолетовим – 2014р.

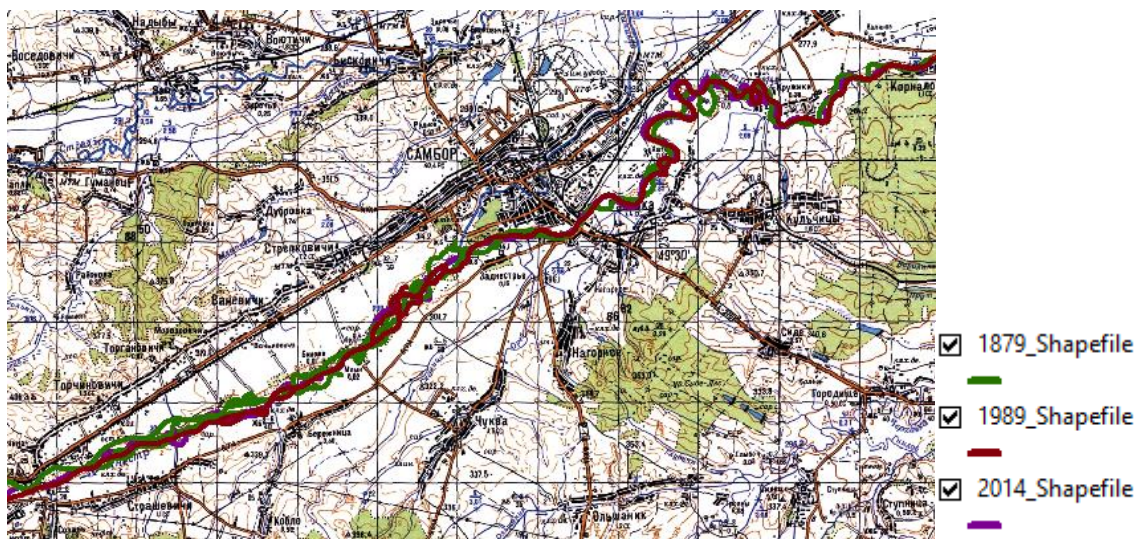


Рис. 2.31 Топографічна карта 1989 р. з нанесеними руслами ріки Дністер

При дослідженні головну увагу надано десятикілометровій ділянці із найбільшою звивистістю русла ( $K'_i = 1,33$ ), а тим самим і найсуттєвішими зміщеннями. На рис. 2.32 подано цю ділянку разом із оцифрованими руслами, де зауважено значні горизонтальні зміщення. Максимальні зміщення зауважено у точках 16, 17 вони досягають: у точці 16 з 1879 до 1989 року – 610 м.; у точці 17 з 1879 до 1989 року – 370 м; у період з 1989 до 2014 року – 420 м. Особливо небезпечним для довкілля є значний вигин ріки поблизу залізничної колії (точка 15). [198]

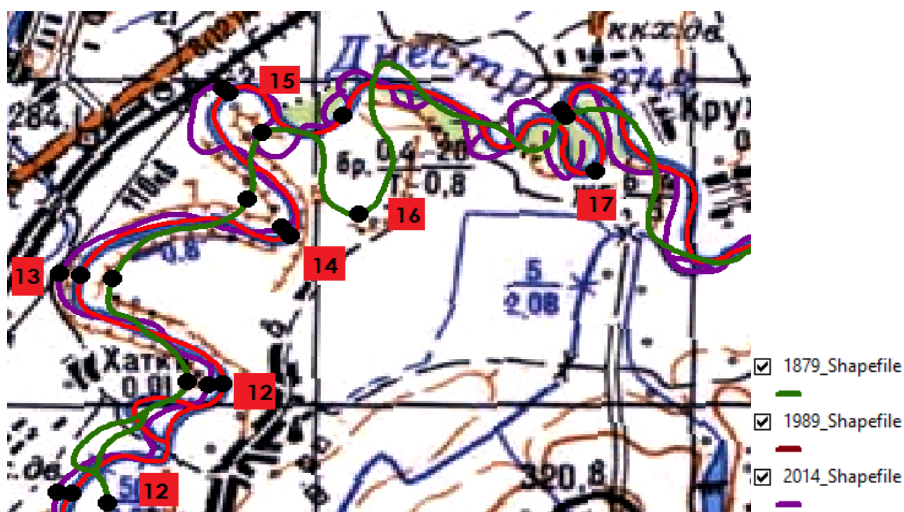


Рис. 2.32 Ділянки річки Дністер біля с. Кружики з оцифрованими руслами, нанесеними на топографічну карту 1989 р.

## Зміщення русла горбисто-рівнинної частини річки Дністер

№ точок	Зміщення русел (м)	
	1879-1989 рр.	1989-2014 рр.
1	390	-130
2	375	-55
3	430	-110
4	285	-45
5	310	-20
6	-160	285
7	545	-280
8	-230	-
9	115	65
10	-345	30
11	-200	-80
12	195	-80
13	-175	-110
14	320	-65
15	-305	45
16	-610	-
17	375	-415
18	225	-30
19	320	-60

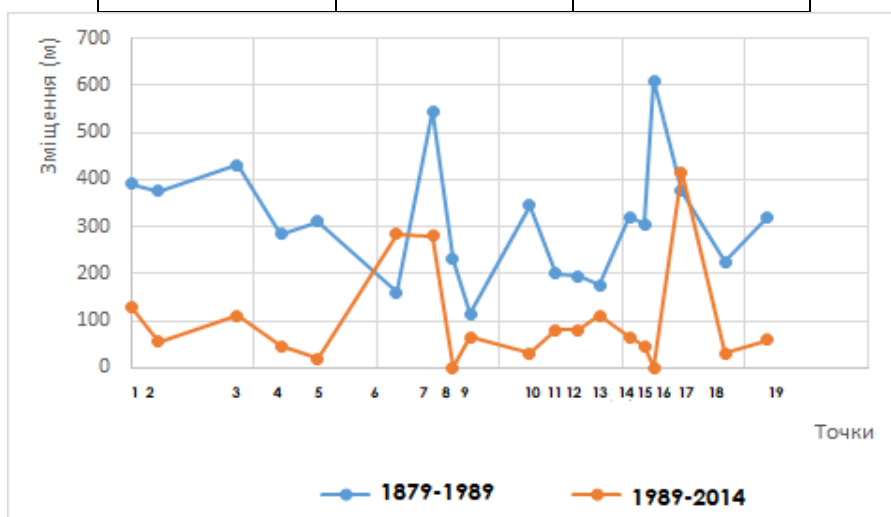


Рис. 2.33 Графік зміщень горбисто-рівнинної частини річки Дністер

Максимальне значення зміщень, отримане за роки 1879-1989, складає -610 м, за роки 1989-2014 – -415 м. Тобто, ця ділянка характерна великими зміщеннями, особливо, це стосується ділянки біля с. Кружики.

Ця частина річки є найбільш паводконебезпечною, тому що річка виходить з гір на рівнину. Деякими вченими ця ділянка теж досліджувалась. У статті [85] розглянуто моделювання паводків з використанням ГІС-технологій. Львівським обласним управлінням водних ресурсів подано аналітичну довідку щодо проходження паводку 15-16 травня 2014 року у цій частині, де подано зони затоплення, динаміку рівня води та наслідки проходження дощового паводку (рис. 2.34). [105] Дослідження паводків у даній частині річки подано у працях [144, 150]. Моніторинг руслових зміщень в цих працях не розглядався, тому поданий аналіз зміщень досліджуваної ділянки є актуальним, особливо біля с. Кружики.



Рис. 2.34 Наслідок повені у травні 2014 року біля Самбора (р. Дністер)

### **2.5.3. Аналіз зміщень болотисто-рівнинної частини річки Дністер**

Цікавою ділянкою при переході з гірської та горбисто-рівнинної частини річки Дністер до рівнинної є ділянка розташована в широкій болотистій долині. (рис. 2.35) Для цієї території характерна велика кількість затоплених і частково затоплених земель. На ділянці у 1970-80-х рр. з метою осушення земель проведено меліорацію та гідротехнічні роботи [88].



Рис. 2.35 Річка Дністер біля с. Колодруби

Моніторинг русла річки на болотисто-рівнинній ділянці річки Дністер (від с. Корналовичі до с. Розвадова Миколаївського району Львівської області) за 125-літній період з використанням топографічних картмасштабу 1:75000 та 1:100000 (1886, 1928 та 1989 рр.), космічних знімків, отриманих із супутників Landsat 7 (2000 р.) та Landsat 8 (2014 р.) та геологічних карт масштабу 1:200000. Ділянка дослідження становить 70 км.

На рис. 2.36 показано фрагмент карти польського періоду (1928 р.) з оцифрованими руслами досліджуваної частини ріки Дністер. Русло значно меандрує і характерне значними відхиленнями від середнього положення, що свідчить про значну звивистість русла ( $K'_i=1,5$ ).

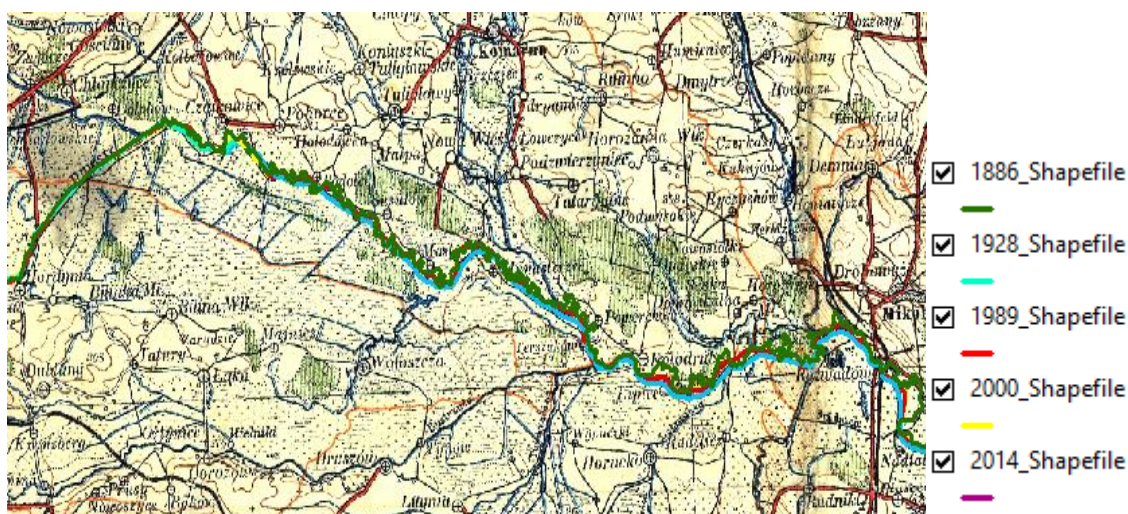


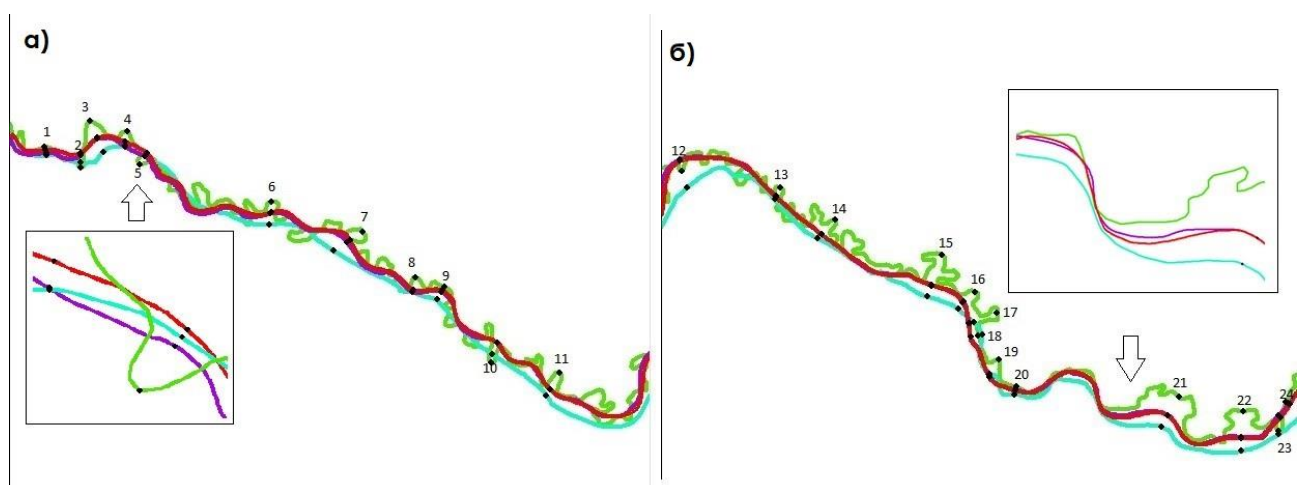
Рис. 2.36 Топографічна карта 1928 р. з нанесеними руслами ріки Дністер

На карті (рис. 2.35) зауважено систему каналів, що свідчить про проведення гідромеліоративних робіт, що впливає на характер русла, яке стає прямолінійне і має меншу звивистість.

Русло річки з австрійського періоду було природнім і характерне значною звивистістю, особливо в районі с. Розвадів. Зміщення русла за період 1886-1928 рр. сягають понад 600 м. Відхилення зміщень русла за період 1928-1989 рр. є порівняно меншими і сягають понад 400 м (табл. 2.12).

В результаті проведених меліоративних та берегоукріплювальних робіт русло 1989 року виглядає ще стійкішим, загальне відхилення зміщень русла за період 1989-2014 рр. досягає близько 90 м.

З метою кращої візуалізації досліджуваної ділянки русла річку поділено на три частини (рис. 2.37 а, б, в). Для цього в точках максимальних зміщень русла вибрано точки для вимірювання, русло на карті 1886 р. подано зеленим кольором, 1928 р. – синім, 1989 р. – червоним. Крім цього, на цих фрагментах подано векторизоване русло за космічним знімком із супутника Landsat 8, 2014 р. – фіолетовий колір. Для кращої візуалізації виділено характерні фрагменти. Для ідентифікації русел та аналізу зміщень із космічних знімків 2000 та 2014 рр. їх векторизовано і подано на рис. 2.37.





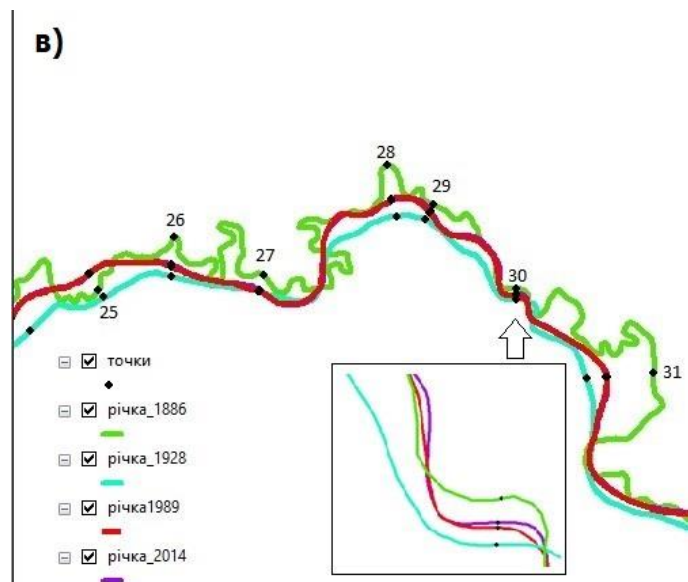


Рис. 2.37 Загальний вигляд оцифрованих русел ріки Дністер за топографічними картами та космічним знімком

Результати вимірювання зміщень русел річки подано в табл. 2.12 та графік зміщень за різночасовий період на рис. 2.38. Максимальне значення зміщень, отримане за роки 1886-1928, складає 1050 м, за роки 1928-1989 – -440 м, за роки 1989-2014 – 100 м, тобто за останній період зміщення незначні. Таким чином, річка Дністер в останні десятиліття зміщувалась в сторону природного русла.

Таблиця 2.12

### Вимірювання зміщень русел за різночасовий період

№ точок	Зміщення русел (м)			№ точок	Зміщення русел (м)			№ точок	Зміщення русел (м)		
	1886- 1928	1928- 1989	1989- 2014		1886- 1928	1928- 1989	1989- 2014		1886- 1928	1928- 1989	1989- 2014
1	175	-110	50	12	360	-555	-35	23	70	-350	-55
2	-115	-190	40	13	270	-65	-	24	430	-345	-25
3	675	-300	10	14	525	-110	-	25	135	-440	15
4	305	-105	100	15	900	-235	-20	26	620	-150	-30
5	-235	-30	70	16	490	-165	-20	27	265	-15	-20
6	465	-240	20	17	515	90	-25	28	805	-290	25
7	710	-400	65	18	-90	255	-	29	275	-135	-25
8	325	-60	55	19	350	70	-25	30	175	-65	-20
9	295	-225	45	20	185	-95	-10	31	1050	-310	-15
10	-170	-260	10	21	710	-265	-				
11	525	-140	-	22	820	-270	-20				

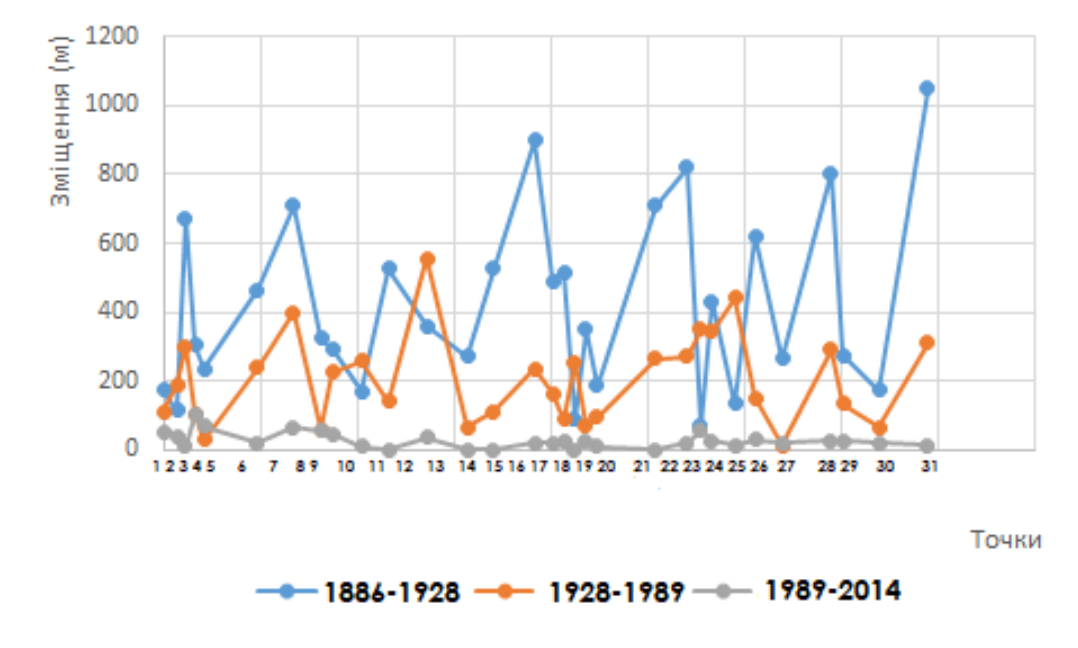


Рис. 2.38 Графік зміщень болотисто-рівнинної частини річки Дністер

Крім топографічних карт, горизонтальні зміщення русел річок здійснювались за космічними знімками, отриманими із супутників Landsat 7 (2000 р.) та Landsat 8 (2014 р.).

Фрагмент космічного знімка з оцифрованими руслами показано на рис. 2.39, русло за знімком Landsat 7 показано жовтим кольором, Landsat 8 – фіолетовим. Зауважено, що зміщення русел є незначними, максимальне відхилення –100 м.



Рис. 2.39 Синтезоване зображення, отримане із супутника Landsat 8 з нанесеними руслами

#### 2.5.4. Аналіз зміщень рівнинної частини річки Дністер

Рівнинна частина річки Дністер характерна великою кількістю стариць та островів. У цій ділянці русло річки, безумовно, залежить від геоморфологічних властивостей місцевості. (рис. 2.40)



Рис. 2.40 Річка Дністер у рівнинній частині

Досліджено горизонтальні зміщення за 141-літній період рівнинної ділянки річки Дністер (від с. Розвадова Львівської області до с. Діброва та Івано-Франківської області) з використанням топографічних карт масштабів 1:75000 та 1:100000 ( 1874, 1923-1930 та 1978-1988 років), а також космічних зображень Landsat 7,8 (2000, 2015 років) та геологічних карт масштабу 1:200000. Досліджувана ділянка характерна значним меандруванням.

За допомогою програмного додатку ArcCatalog було створено шейп-файли для оцифрованих шарів русла ріки за різночасовий період. На рисунку 2.41-2.43 зображено накладені шари русла річки для досліджуваної ділянки (від с. Розвадова до с. Журавно) за 1874р. (жовтий колір), 1930 р. (синій колір), 1985 і 1988 рр. ( червоний колір), 2000р. (рожевий колір) та 2015р (зелений колір).

Досліджувана частина має велику довжину (157 км), тому її поділено на 3 фрагменти (від с. Розвадова до с. Журавно, від с. Журавно до м. Галича та від м. Галича до с. Діброва). Фрагменти подано на рис. 2.41-2.43.

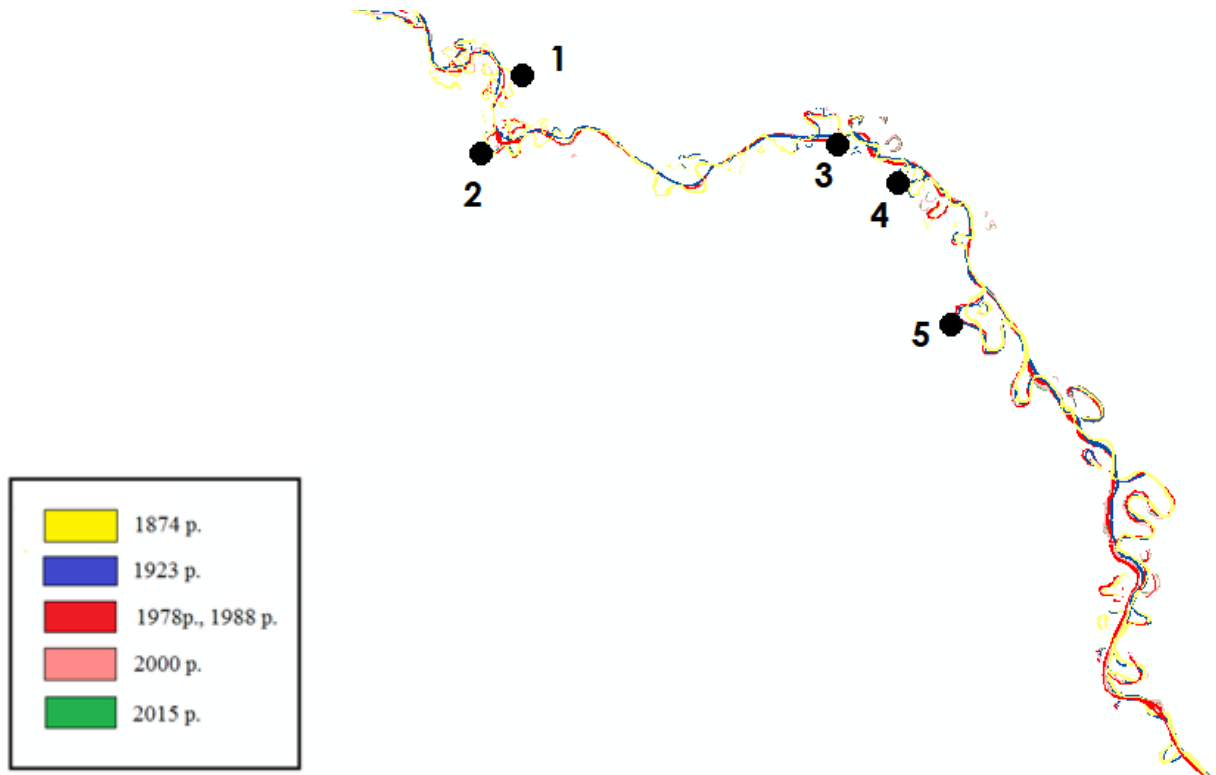


Рис. 2.41 Накладені векторизовані шари русла річки за різночасовий період для досліджуваної ділянки з нанесеними позначками руслових зміщень (від с. Розвадова до с. Журавно).

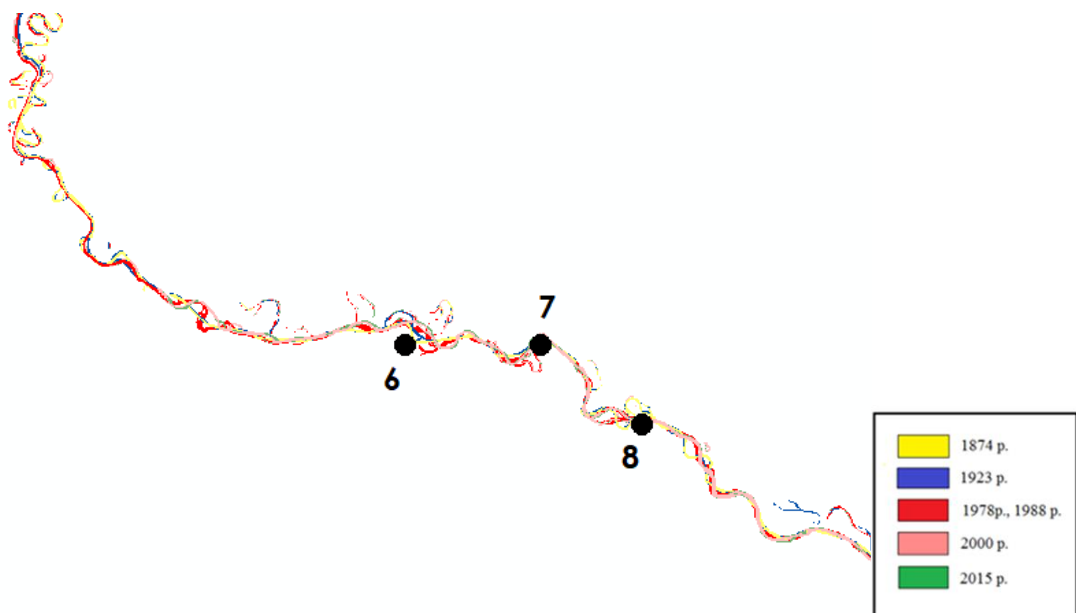


Рис. 2.42 Накладені векторизовані шари русла річки за різночасовий період для досліджуваної ділянки з нанесеними позначками руслових зміщень (від с. Журавно до м. Галича).

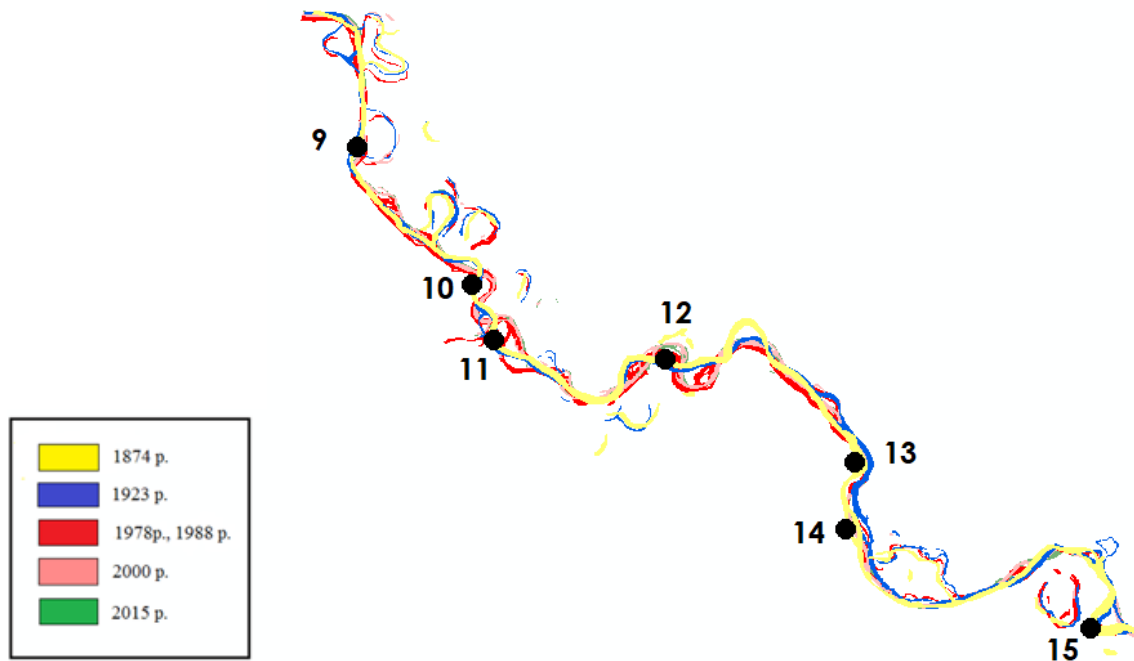


Рис. 2.43 Накладені векторизовані шари русла річки за різночасовий період для досліджуваної ділянки з нанесеними позначками руслових зміщень (від м. Галича до с. Діброва).

На рис. 2.44 видно значні зміщення русла за різночасовий період. У 1874 році річка сильно меандрувала, утворюючи значні вигини. Після проведення ряду гідротехнічних робіт у 1930 році русло вже значно спрямилося. У деяких місцях були штучно прориті канали, що спричинило зміни положення річки. На місцях, де знаходилися старі русла річки залишилися стариці. До 1985 (1988) р. русло стає спокійнішим, все менше меандрує. З 2000 по 2015 рр. особливих змін русла не спостерігається.

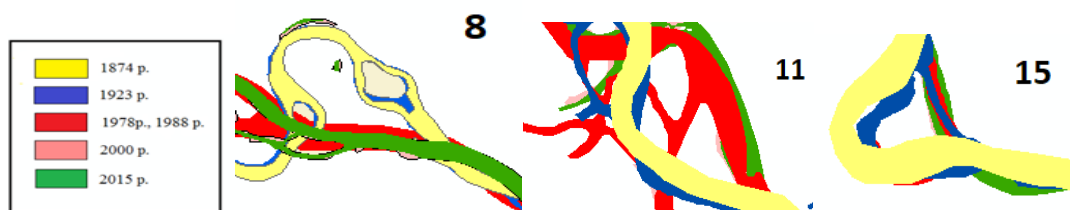


Рис. 2.44 Точки зміщень русла та збільшені фрагменти з деталізацією максимальних змін

У таблиці 2.13 подано максимальні зміщення за різночасовий період (1874-2015 рр.) та графік зміщень на рис.2.45.

## Зміщення русла рівнинної частини річки Дністер

№ точки	Зміщення (м)		
	1874-1930	1930-1985	1985-2015
1	-480	170	-200
2	640	-210	-
3	-490	-180	40
4	470	-60	50
5	-200	-80	-
6	270	-210	-260
7	20	170	110
8	50	-870	-
9	-180	330	-
10	110	465	-
11	30	620	185
12	185	415	290
13	-350	-145	-
14	340	-200	-
15	220	590	-

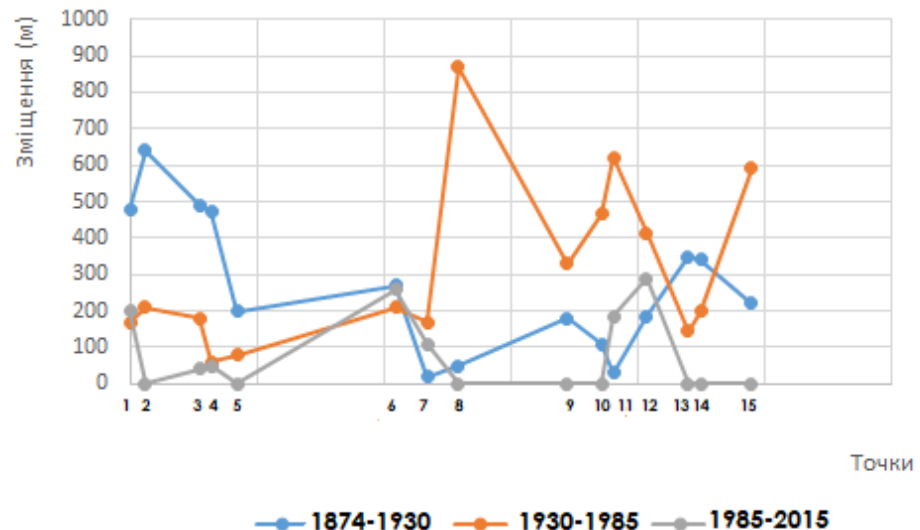


Рис. 2.45 Графік зміщень рівнинної частини річки Дністер

Із табл. 2.13 наглядно видно, що найсуттєвіші зміни відбулися в період з 1930 по 1985 рік, тобто за 55 років. Зокрема, це зумовлено тим, що в цей час проводилися гідротехнічні роботи. За період з 1985 по 2015 рр. показники зміщень значно менші.

Проаналізовано зміну площ стариць, що свідчить про зміну заплави. Стариці найчастіше утворюються в долинах річок меандруючих. [67] Проте, вони швидко зникають через замулення і засипання осадовими відкладами. В результаті може залишитися брудна порожнина, що містить торф. З часом деякі стариці пересихають, а інші навпаки збільшуються. Тому було виконано аналіз зміни площ стариць для першої половини досліджуваної ділянки русла річки Дністер (від с. Розвадів до с. Журавно).

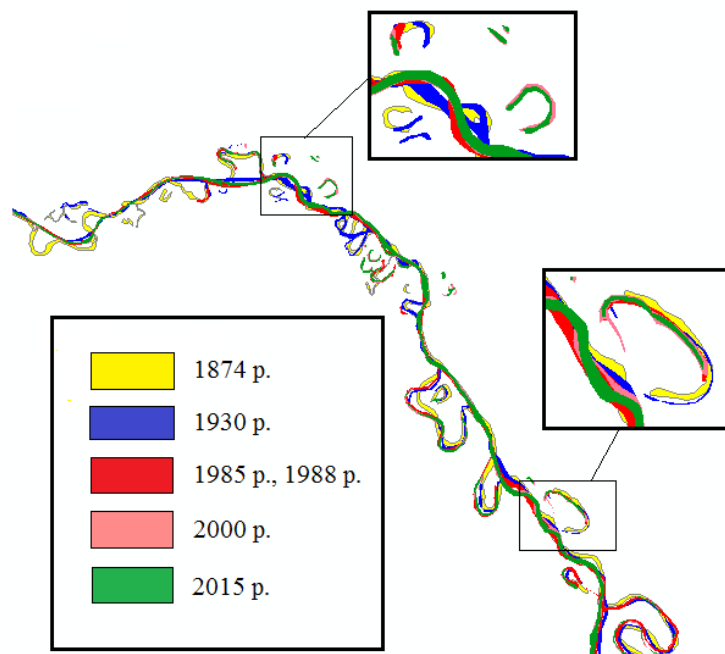


Рис. 2.46 Виділені стариці, для яких проаналізовано зміну

Показано таблицю (табл. 2.14), у якій пораховано значення площі у гектарах.

*Таблиця 2.14*

#### Площа стариць в різні періоди (га)

<i>1874</i>	<i>1930</i>	<i>1985</i>	<i>2000</i>	<i>2015</i>
2,47	1,84	1,91	7,19	5,11

На космічних знімках чітко видно стариці, в той час на картах їх не вказували. Для аналізу у програмі побудовано діаграму, яка дає можливість оцінити зміни, які відбулися з площами (рис. 2.47).



Рис. 2.47 Діаграма зміни площі стариць для першої половини ділянки

Із графіків видно, що площа стариць постійно змінюється, їх кількість зменшується, частина з них пересихає. Але деякі стариці навпаки збільшуються або з'являються у результаті заболочення покинутих ділянок русел. Але важливо зазначити, що на картах немає позначення усіх стариць. Це зумовлено тим, що деякі ділянки можуть бути важкодоступними, заболоченими, тому провести безпосередньо польове обстеження території неможливо. А на знімках чітко видно розмішену старицю. Також на картах можуть не подавати усіх таких об'єктів, що пов'язано із масштабом карти та узагальненням інформації.

Ця частина русла проходить по рівнинній частині, і тут виявлено багато островів. Тому було проаналізовано також зміну площ усіх виявлених островів та їх кількість. У табл. 2.15 подано площу островів визначену у гектарах (першої частини досліджуваної ділянки).

Таблиця 2.15

#### Площа островів в різні періоди (га)

1874	1923	1978, 1988	2000	2015
15,8	26,52	22,9	53,25	58,57



Для наочного представлення отриманих результатів побудовано діаграму, яка показує зміни по роках (рис. 2.48).



Рис. 2.48 Діаграма зміни кількості островів

Про зміни площ стариць та островів другої половини досліджуваної ділянки (від с. Журавно до с. Діброва) свідчать табл. 2.16 , 2.17.

Таблиця 2.16

#### Площа стариць в різні періоди (га)

1874	1923	1988	2000	2015
154	108	103	45	10

Як видно із (табл. 2.16), кількість стариць зменшується, що свідчить про зменшення меандрування. Найбільше стариць утворювалось до 1874 р.. На космічних знімках ( 2000, 2015 р.) стариці зарослі трав'янистою рослинністю і майже непомітні. Також подано діаграму, яка показує зміни по роках.



Рис. 2.49 Діаграма зміни площі стариць для другої половини ділянки

Що ж стосується островів (табл. 2.17 та рис. 2.50) , то в 1986 році їх площа збільшилися в 1,5 – 2,5 рази порівняно з 1874 р., за рахунок зменшення швидкості водного потоку, спричиненого значними літніми паводками 1974 р., 1975 р.. Паводкові та повеневі явища призводять до збільшення об'єму наносів. Матеріалом островів слугують галечники та піщані наноси.

Таблиця 2.17

#### Площа островів в різні періоди (га)

1874	1923	1988	2000	2015
96	110	211	181	169



Рис. 2.50 Діаграма зміни кількості островів (друга половина досліджуваної ділянки)

### 2.5.5. Аналіз зміщень каньйонної частини річки Дністер

Каньйон Дністровський – геоморфологічне утворення в Україні та Молдові. Так, як це каньйонна частина, відповідно, русло є дуже звивистим. Каньйон дуже меандрує, тому в увігнутих ділянках схили стають стрімкими, інколи змінюються на урвища (рис. 2.51) [116].



Рис. 2.51 Каньйонна частина річки Дністер

Розглянуто основні причини виникнення зміщень та меандрування русла річки Дністер за різночасовими топографічними картами масштабів 1:100 000 та 1:200000 (1910, 1923, 1976 рр.), космічними знімками Lansat 5,7 і Sentinal 2(1986, 2000 та 2017 рр.), а також геологічними картами масштабу 1:200000. Моніторинг проведено на ділянці від с. Діброва до м. Заліщики довжиною 137 км за 107-літній період. Розташування ділянки вказано на рис. 2.52.



Рис. 2.52 Розташування ділянки дослідження

Фрагменти русла річки Дністер, векторизовані по топографічних картах зображено на рис. 2.53.

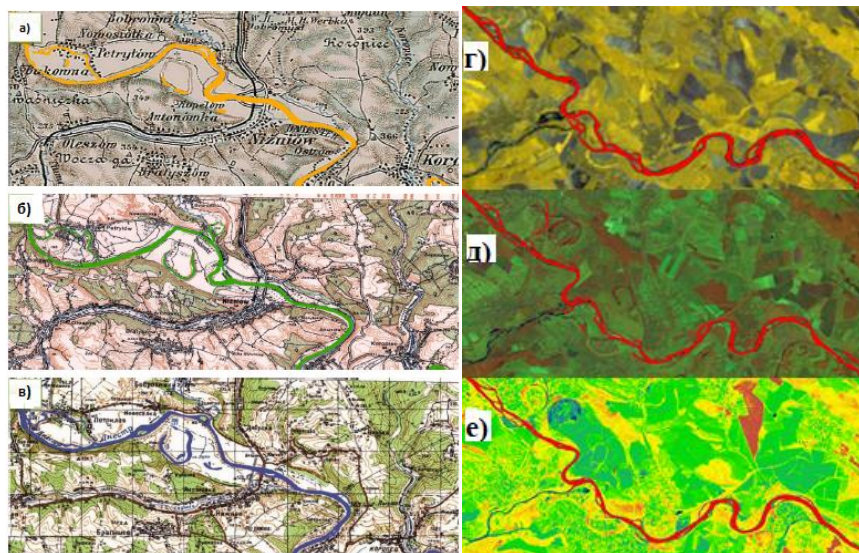


Рис. 2.53 Фрагменти топографічних карт та космічних знімків: а-1910, б-1923, в-1976 років, г- Landsat 5 (1986р.), д - Landsat 7 (2000р.) , е - Sentinel 2 (2017р.)

Результати вимірювання зміщень русел річки вказано в табл. 2.18, фрагменти оцифрованих русел з максимальними зміщеннями на рис. 2.54. та графік зміщень на рис. 2.55.

Таблиця 2.18

### Максимальні зміщення русла річки Дністер каньйонної частини (м)

№ точок	1910- 1923	1923- 1976	1976- 2017
1	-105	-115	-25
2	365	30	-
3	155	-70	-
4	205	-	-
5	170	50	-
6	-65	-90	-40
7	-140	-	-
8	-100	-120	85
9	-135	30	-
10	-125	-	35
11	190	-50	-
12	205	-70	-
13	230	-125	20

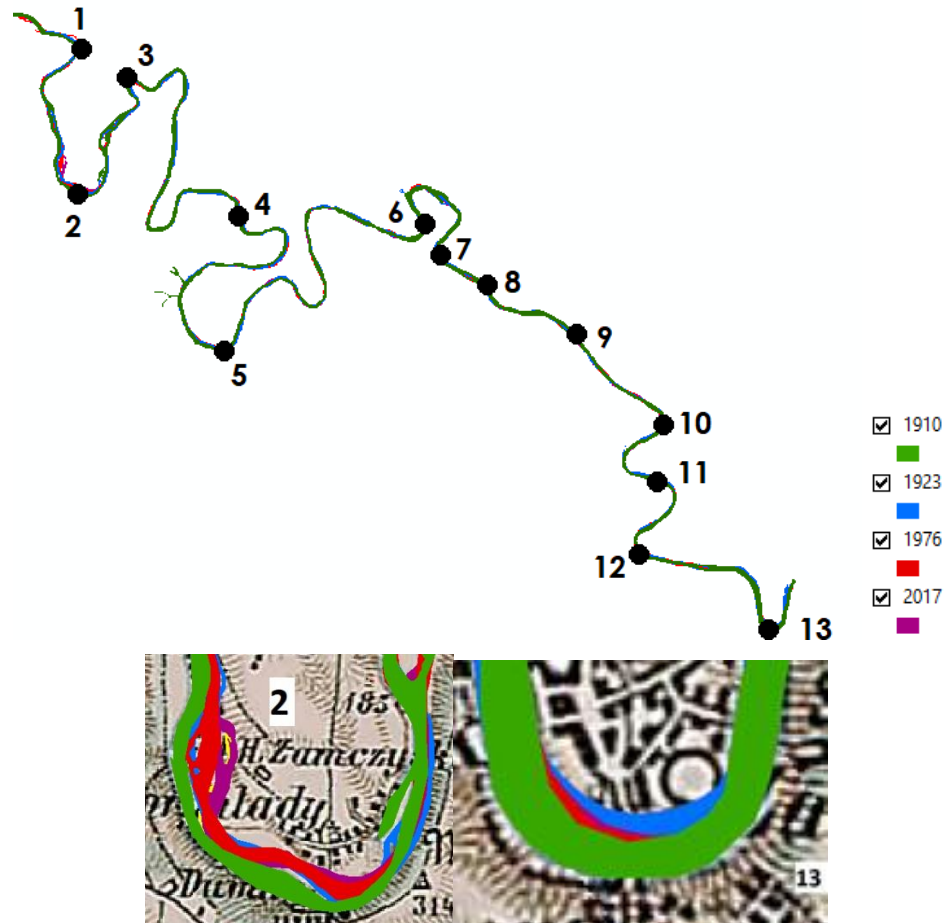


Рис. 2.54 Оцифровані русла каньйонної частини річки Дністер з нанесеними показниками руслових зміщень та збільшені фрагменти русла з деталізацією максимальних змін

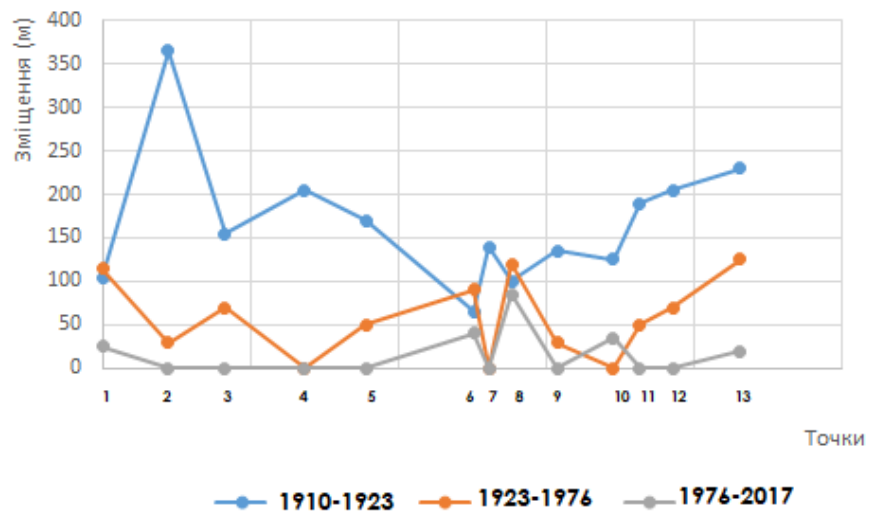


Рис. 2.55 Графік зміщень каньйонної частини річки Дністер  
 Максимальне значення зміщень, отримане за роки 1910-1923, складає 365 м, за роки 1923-1976 – 125 м, за роки 1976-2017 – 85 м. Тобто, за останній період

зміщення незначні. Загалом, ця ділянка не характеризується великими зміщеннями. [22]

### *Аналіз ґрунтових та геологічних карт річки Дністер*

Одним із основних чинників, які впливають на гідрологічний режим водних об'єктів, є геологічна будова. Для карпатської (гірської) частини річки Дністер найпоширенішими породами є піщаники, мергелі, аргіліти та вапняки. Шари давніх геологічних періодів перекриті товщею четвертинних відкладів континентального походження: алювіальними і делювіальними відкладами, лесоподібними суглинками і лесом. Алювіальні відклади зустрічаються на верхніх терасах Дністра та представлені пісками, глинами і галькою карпатського походження. В межах Прикарпаття четвертинні відклади представлені галькою, гравієм, пісками, глинами і суглинками, а в Карпатах – потужним (до 5 м) шаром суглинків із щебенем [200]. Ґрунтовий покрив верхів'я Дністра визначається впливом клімату, характером підстилаючих порід та місцевими особливостями. Найпоширенішими у верхів'ї Дністра є гірсько-лісові щебенюваті та бурі лісові ґрунти [200].

Аналіз геологічних та ґрунтових карт в місцях значних руслових зміщень річки Дністер при переході з гірської частини в рівнинну свідчить про наявність м'яких порід та відкладів. Вони легко піддаються ерозії та розмиванню, що сприяє істотному зміщенню русла при проходженні паводків, особливо катастрофічних. Піщано-гравійні матеріали та глина безпланово видобуваються, часто несанкціоновано, в самому руслі та заплаві, а це викликає деформаційні процеси як самого русла річки, так і її берегів. На карті четвертинних відкладів вказано основні відклади: гравій, галечник, піски, супіски, алювіальні відклади [198]. Щодо ґрунтів, то вони в районі горбисто-рівнинної частини Дністра представлені бурими лісовими, дерново-буроземними та легкосуглинковими типами. Наявність сучасного алювію і делювію свідчить про те, що в місцях їхнього залягання відбувались повеневі явища, а присутність змитих та розмитих ґрунтів вказує на ерозійні процеси, викликані сильними зливами. Легкі за механічним складом

грунти швидко розмиваються, особливо під час паводків, що сприяє розвитку ерозійних процесів як самих русел, так і прирічкової території. [198]

У болотисто-рівнинній частині біля русла річки та її заплави переважають алювіальні відклади, вони складаються з супісків, суглинків, гравію і галечників, в які вклинаються відклади деснянського ступеню першої надзаплавної тераси (піски, суглинки, галечники), та біогенні відклади (торф, заторфовані ґрунти). Що стосується ґрунтів у цій частині, то вони корелюються з четвертинними відкладами і на заплавній території русла переважаючими є лучні опідзолені та оглеєні ґрунти, а також лучно – болотні та торфовища низинні, які мають низьку водопроникність.

На рис. 2.56 та 2.57 подано карту четвертинних відкладів та ґрунтів болотисто-рівнинної частини Дністра. Геологічні карти інших ділянок річки подано у додатку В.

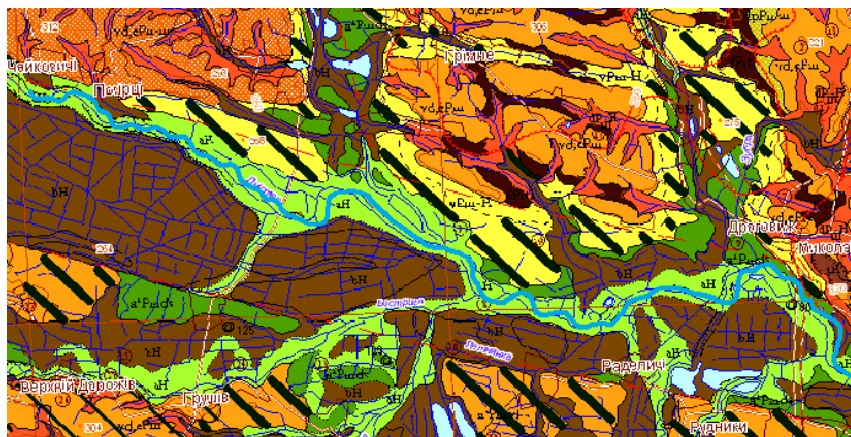


Рис. 2.56 Фрагмент карти четвертинних відкладів болотисто-рівнинної частини



Рис. 2.57 Фрагмент карти ґрунтового покриття болотисто-рівнинної частини

Для виявлення впливу підстильної поверхні в рівнинній частині річки було проаналізовано ґрунтові та геологічні карти. Встановлено, що у місцях заплави

розташовані алювіальні відклади, які представлені здебільшого супісками (ділянка від с. Розвадів до с. Журавно) та пісками (ділянка від с. Журавно до с. Діброва). Місцями простежується вихід техногенних (гірничі відвали) та біогенних утворень (торфовища). Вздовж річки трапляється також вихід делювіальних відкладів, представлених супісками та суглинками. Грунтовий покрив заплавної території представлений переважно лучними та дерновими ґрунтами. Лучні глейові та оглеєні ґрунти утворені в умовах надмірного поверхневого зволоження та постійного зв'язку з позарічковими заплавами. Дернові опідзолені оглеєні ґрунти є сухими, ґрунтові води більшу частину року не впливають на ґрунтовий покрив.

Біля русла річки каньйонної частини основними відкладами є алювіальні та делювіальні відклади I-ої, III-ої надзаплавних терас та сучасних водотоків. Літологічний склад характерний наявністю суглинків, в деяких ділянках торф'янисто – мулистих відкладень та галечників. [22] Із аналізу ґрунтової карти в місцях звивистості русла річки встановлено, що основними типами ґрунтів є сірі опідзолені оглеєні та дернові ґрунти, чорноземи на алювіальних породах, що і призводять до суттєвих змін напрямку русла. Теж в декількох місцях зустрічаються виходи порід, таких як: леси і лесовидні суглинки, пісковики та сланці. Каньйонна частина характеризується в багатьох випадках виходом на поверхню корінних порід, структурні особливості яких (наявність в них розломів та тріщин меридіональної та широтної орієнтації) зумовлюють напрям русла Дністра. Різні ділянки характеризуються своєю специфічною будовою, що відображено у звивистості русла річки Дністер.

## **2.6. Дослідження стійкості та звивистості русла річки Дністер**

Однією з важливих в практичному відношенні гідротехнічних характеристик русел річок є їх стійкість - як ступінь їх протидії розмиву. Згідно Маккавееву Н.І. і Чалову Р.С. [192] поняття "стійкість русла", може бути застосовано для порівняння річок із швидкості розвитку руслових зміщень. Її оцінюють за кількісними характеристиками руслових зміщень та якісними характеристиками, котрі



спиралися б на залежність форми русла від ступеня його рухливості. За інших рівних умов річки з нестійкими руслами характерні діленням їх на рукави і відсутністю типових закрутів. Є ділянки річок, де переформується тільки дно, на інших переважають горизонтальні зміни за відносної незмінності дна. [97]

Що стосується вимірів, які характеризують стійкість русла річки, то в спеціальній літературі описані два підходи. Відповідно до першого підходу коефіцієнт стійкості русла визначається на певних ділянках незначної довжини, де річка має аналогічні характеристики [317, 311]. Другий підхід визначає показники стійкості за даними морфометричних характеристик з використанням математичних виразів.

Перед тим, як розраховувати стійкість русла, було розраховано звивистість русла річки Дністер для 5 ділянок. Це є одна з визначальних характеристик річок, її обчислюють за допомогою коефіцієнта звивистості:  $K_i = L'_i / L$ , де  $L'_i$  – довжина русла на ділянці,  $L$  – довжина русла між крайніми точками, виміряна по прямій. (див. розділ 1.1.3). Обчислені коефіцієнти звивистості для 5-х ділянок за різні роки мають значення подані на табл. 2.19

Таблиця 2.19

### Коефіцієнт звивистості русла річки Дністер

	Досліджувані ділянки річки Дністер				
	I	II	III	IV	V
Коефіцієнт звивистості	1,29	1,33	1,5	1,31	2,39
Типи ґрунтів і геологічних структур	Дрібні валуни та галька. Гірсько-лісові щелеповаті та бурі лісові ґрунти.	Дрібна галька, крупний гравій. Бурі лісові та легкосуглинкові ґрунти.	Гравій, пісок. Лучні опідзолени та оглесні ґрунти.	Гравій, пісок. Лучні та дернові ґрунти.	Дрібний гравій. Сірі опідзолени оглесні та дернові ґрунти.

З таблиці 2.19 видно, що надзвичайно звивистою є каньйонна ділянка. Решта ділянок є слабо та помірно звивистими.

У табл. 2.20 наведено основні морфометричні характеристики зазначених п'яти ділянок русла ріки, а в табл. 2.21 подано розрахункові коефіцієнти стійкості русла.

Дослідження демонструє суттєві розбіжності між показниками стійкості, що стосується, зокрема, ділянок 1 та 5. Математичні вирази та таблиці з класифікацією ділянок русла за ступенем стійкості наведено в розділі 1.1.3.

Коефіцієнт звивистості може бути одним з показників стійкості, лише для ділянок із значною шириною заплави. Наприклад, для каньйонної ділянки коефіцієнт звивистості  $K'_i = 2,4$ , однак русло річки є стійким, оскільки чинником стійкості є породи, що формують береги річки.

Тому, запропоновано визначати коефіцієнт стійкості русла врахувавши ширину заплави, як важливу характеристику, яка вказує на дію води на прилеглий території.

Вираз для коефіцієнта стійкості має вигляд :

$$K = \frac{B'}{B} * k. \quad (2.41)$$

де  $B'$  - ширина заплави, визначена на основі карт четвертинних відкладів;

$B$  - ширина русла;

$k$  – коефіцієнт за яким враховують вплив ерозії та підстильної поверхні. Його визначають на основі статистичних даних з обстеження місцевості.

Вимірювання ширини заплави та ширини русла для кожної ділянки здійснено за картами четвертинних відкладів та топографічними картами в обраних точках на відстані через кожні 3-4 км (загалом виміряно 120 точок). Запропоновано значення критерію стійкості річки Дністер і подано в табл. 2.20.

Таблиця 2.20

### Критерій стійкості для річки Дністер

<i>Характеристики стійкості</i>	<i>Показники стійкості</i>
<i>Стійкі</i>	<i>1-4</i>
<i>Відносно стійкі</i>	<i>4-10</i>
<i>Відносно нестійкі</i>	<i>10-20</i>
<i>Нестійкі</i>	<i>&gt;20</i>

Таблиця 2.21

### Основні морфометричні характеристики досліджуваних п'яти ділянок русла річки Дністер

Морфометричні характеристики	Досліджувані ділянки				
	I	II	III	IV	V
Довжина $l$ , км	38,2	36,1	71,1	157,5	137,4
Падіння річки $\Delta H$ , м	170	78	19	54	50
Похил водної поверхні $I$ , м/км	4,45	2,16	0,27	0,34	0,36
Середня ширина русла $B$ , м	23	28	25	100	180
Глибина річки $h$ , м	0,5	0,8	1,0	1,2	1,7
Середній діаметр наносів $d$ , мм	50	10	1	1	2
Ширина заплави $B'$ , м	210	500	1180	2010	380

Основні математичні вирази запропоновані різними авторами для визначення стійкості річок, аналіз яких наведено у розділі 1.1.4, подаємо у табл. 2.22.

Таблиця 2.22

### Розраховані показники стійкості русла річки Дністер

№	Основні математичні вирази для визначення коефіцієнта стійкості русла	Критерії стійкості русла річки, від нестійкого до стійкого	Досліджувані ділянки				
			I	II	III	IV	V
1	$L = d/l$	2 - <50	11,2	4,6	3,7	2,9	5,6
2	$L_o = (d/l) \cdot (B/h) \cdot A$ , ( $A$ - коефіцієнт ерозії (0,03))	2 - <50	10,1	5,2	5,6	10,9	11,9
3	$K_s = 1000 \cdot (d/B \cdot l)$	6 - >100	749	154	74	20	46
4	$\Psi = d/h \cdot l$	1 - 15	22,5	5,8	3,7	2,5	3,3
5	$G = (\sqrt{B})/h$	18 - 1	7,7	6,8	7,1	10,2	6,4
6	$K_u = \sqrt{(B \cdot d/h)}$	5 - 40	38,7	19,4	7,1	11,2	11,9
7	$K_r = (d \cdot B)/(h \cdot l)$	30 - 1500	337	174	185	368	392
8	$K = (B'/B) \cdot k$	100 - 1	9,1	18	47	20	2,1
	Максимальні зміщення, м		100-150	540-610	900-950	610-870	200-300

Червоним кольором в табл. 2.22 виділено обчислені значення коефіцієнтів стійкості, які не відповідають загальній характеристиці стійкості ділянки русла. З аналізу випливає, що математичні вирази 1,2,3,4,6,7 на 4 і 5 ділянці річки не відповідають обрахованим критеріям стійкості. Що стосується виразу 5, то за винятком 4 ділянки всі коефіцієнти стійкості не відповідають характеристикам русла річки.

Як вказано в спеціальній літературі [12, 97 53, 126, 125] зміщення русел річок є об'єктивним критерієм їх стійкості. Тому, узгодженість запропонованих різними авторами критеріїв додатково перевіряється за максимальними зміщеннями. Запропонований математичний вираз 8 показує оптимальні результати для розрахунку стійкості русла річки Дністер. Запропонований критерій відповідає характеристикам стійкості русла різних ділянок річки Дністер.

## **2.7 Використання БПЛА для побудови ЦМР в ділянках значних деформацій русла річки Дністер**

У зв'язку з доступністю швидкої комп'ютерної обробки величезних масивів висотних даних стало реальним створення максимально наближеної до дійсності цифрової моделі рельєфу (ЦМР). На основі ЦМР, своєю чергою, можливе швидке створення серії тематичних карт найважливіших морфометричних показників: гіпсометричних карт, карт крутизни і експозицій схилів, а на їх основі – і карти повеневих загроз та ризиків.

Широке застосування цифрових моделей рельєфу (ЦМР) для вирішення топографо-геодезичних завдань, а також використання їх як основи для створення геоінформаційних систем різного призначення зумовило потребу різносторонніх методів їх побудови.

Цифрову модель рельєфу за складних ділянок, пов'язану з русловими процесами можна отримати з вищою точністю використовуючи технологію обробки цифрового зображення отриманого з БПЛА.

Використання БПЛА є ефективно при виконанні оперативного прогнозу підтоплення, особливо цінних земель, зокрема населених пунктів. Згідно вимог [58,59] для прогнозування зон затоплення для річок шириною 200 - 500 м топографічні плани складають в масштабі 1: 2000 - 1: 5000 із зображенням рельєфу горизонталями через 0,5-1 м. Для цих масштабів згідно [71] середні помилки знімання повинні бути у межах  $1/3$  перерізу рельєфу. У лісовій місцевості ці допуски збільшуються в 1,5 раза. Тобто середня квадратична похибка визначення

висот для прогнозування затоплених територій повинна бути 0.16-0,30 м. За результатами досліджень апріорна точність визначення висот точок на ортофотопланах за допомогою БПЛА змінюється від висоти знімання, базису цифрового знімання, фокусної віддалі камери, швидкості руху БПЛА, точності і густоти геодезичної прив'язки ортофотоплану. Результати оцінки точності ортофотопланів згідно [52] подано у табл. 2.23.

Таблиця 2.23

**Апріорна та апостеріорна оцінка точності ортофотопланів, складених за даними знімання за допомогою БПЛА Trimble UX5**

Висота знімання (м)	Апріорна $m_h$ (м)	Апостеріорна $m_h$ (м)
150	0,16	0,10
200	0,23	0,14
300	0,30	0,26

У публікаціях [255, 206] апостеріорна точність визначення позначок при висотах знімання від 100 м до 300 м є у межах 0.10-0.30 м залежно від типу місцевості. З цих даних можна зробити висновок: при використанні БПЛА висота знімання територій для прогнозування затоплень не повинна перевищувати 200 м.

З метою експериментальної перевірки можливості застосування цієї технології для прогнозування затоплення земель, було проведено експериментальне знімання ділянки р. Дністер в околицях м. Самбір. Площа ділянки 3 км<sup>2</sup>. Для побудови ЦМР, використано фотограмметричний метод на основі знімання з БПЛА Trimble UX5, з застосуванням камери Sony NEX-5R. Висота цифрового знімання складала 200 м. Технічні характеристики БПЛА та цифрової камери подано в табл. 2.24.

Розрахунок апріорної точності визначення позначок точок здійснено за відомими математичними виразами наведеними в [ 101, 274, 290], середню

квадратичну похибку перевищень з урахуванням цифрового способу запису інформації подано в табл. 2.24.

Таблиця 2.24

### Технічні характеристики Trimble UX5 та камери Sony NEX-5R

Швидкість польоту	70 км/ год
Матриця фотоапарату	23.5x15.6 мм, 16.1 Мп, CMOS
Висота знімання	200 м
Максимальний розмір знімка	4592x3056
Розмір сенсору	23.4x15.6 мм
Фокусна віддаль	15,3 мм
Тип закривача	шторно-щілинний
Розмір пікселя	0,005 мм
Точність визначення координат опорної мережі	2-3 см
ГНСС приймач	Trimble R7
Перекриття зміщень (%)	80
Базис знімання на знімку (мм)	4,68
Середня квадратична похибка визначення перевищень $mh$ (м)	0,21

Аерознімання виконувалось за діафрагми на позиції 5,6 при витримці 1/1250 на висоті 200 метрів. Повздовжнє перекриття знімків 80 %, поперечне перекриття 80 %. Координати наземної геодезичної основи визначено за допомогою двочастотного ГНСС приймача Trimble R7 методом RTK з використанням диференційних поправок від мережі активних ГНСС станцій “Geoterrace” НУ «Львівська політехніка». Найближча перманентна ГНСС станція SAMB знаходилась у м. Самбір на відстані 3 км від об’єкту робіт. Точність визначення горизонтальних координат геодезичної основи була у межах 2-3 см, а висотної складової у межах 5 см. Попередньо здійснена побудова фототріангуляції мережі. Опрацювання матеріалів знімання відбувалась з привязкою центрів проєкцій

знімків до геодезичної основи в програмі Pix4D [304]. Цифрову модель місцевості з метою усунення високої рослинності (дерева, кущі) опрацьовано за допомогою модулів Terra Modeler та Terra Scan. Однак, виправити модель за рахунок високої травянистої та щільної кущової рослинності повністю не вдається.

На рис. 2.58 подано маршрути знімання із центрами проєкцій цифрових знімків, та точок геодезичної основи, визначеної ГНСС методом.

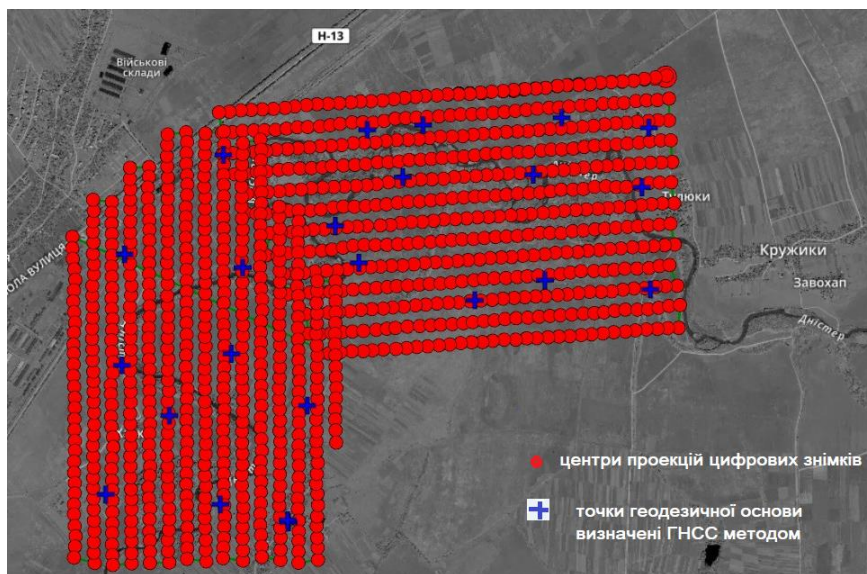


Рис.2.58 Схема розташування центрів проєкцій цифрових знімків, та точок геодезичної основи

За результатами опрацювання цифрових знімків побудовано ортофотоплан ділянки та ЦМР (рис. 2.59, 2.60).



Рис 2.59 Ортофотоплан ділянки р. Дністер

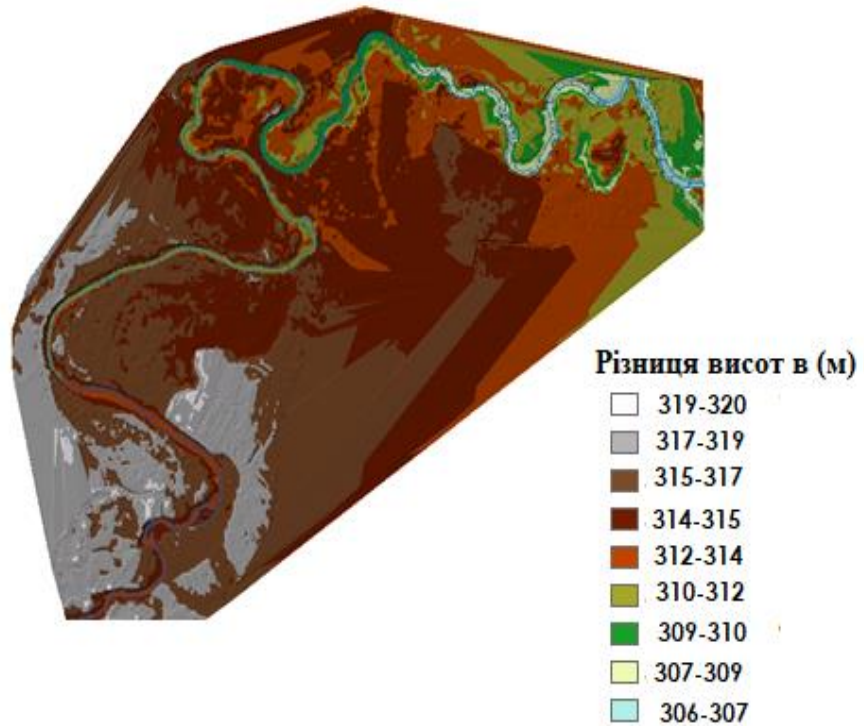


Рис.2.60 Цифрова модель рельєфу досліджуваної ділянки р. Дністер

З метою визначення точності ЦМР досліджуваної ділянки після побудови ортофотоплану та ЦМР на місцевості було проведено ідентифікацію характерних точок і визначено вище згаданим ГНСС методом їх планово-висотні координати. На рис 2.61 подано розміщення цих точок на місцевості.

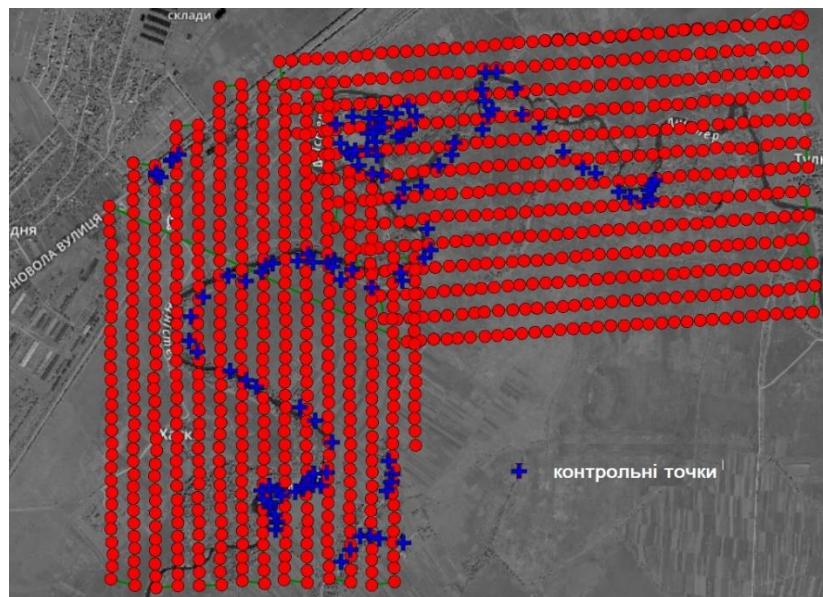


Рис 2.61 Схема розміщення контрольних точок



За результатами визначених висот контрольних точок методом ГНСС та з ЦМР, побудованої за допомогою програмного забезпечення Pix4D, обчислено різниці позначок  $\Delta h$ . Результати обчислень відсортовано у порядку збільшення величини  $\Delta h$  та представлено у таблиці 2.25. Потовщеним шрифтом зазначено точки, для яких різниці  $\Delta h \in -0.5 \text{ м} < \Delta h < +0.5 \text{ м}$ . На рис. 2.62 подано зміну  $\Delta h$  з поточним номером точки. Слід зауважити, що точки, для яких абсолютне значення  $< 0.5 \text{ м}$ , розташовані найчастіше на фоні трави, піску та рослинності з окремими кущами, решта точок, для яких  $> 0.5 \text{ м}$ , знаходяться у напівчагарниках, чагарниках або земельних ділянках з густим розташуванням кущів. Середня квадратична похибка визначення позначок з ЦМР у порівнянні з даними ГНСС для всієї вибірки даних (табл. 2.25), складає 0,64 м (табл. 2.26), а за даними визначеними з вибірки  $-0.5 \text{ м} < \Delta h < +0.5 \text{ м}$  складає 0,31 м. Ці результати свідчать про те, що реальне застосування БПЛА для прогнозування затоплення територій є достовірним для карт масштабу 1:5000, 1:2000 з перерізом рельєфу 1 м. Для перерізу рельєфу 0,5 м, очевидно, необхідно проводити знімання з висоти 100 м або застосовувати мобільні системи “LIDAR”. Тоді точність знімання висотної частини ЦМР збільшиться до 10-15 см.

Таблиця 2.25

**Результати визначення позначок контрольних точок методом ГНСС та з ЦМР побудованої за допомогою програмного забезпечення Pix4D**

<b>N точки</b>	<b>h<sub>pix4D</sub> (м)</b>	<b>h<sub>ГНСС</sub> (м)</b>	<b><math>\Delta h</math> (м)</b>	<b>Характеристика земної поверхні</b>	<b>N точ ки</b>	<b>h<sub>pix4D</sub> (м)</b>	<b>h<sub>ГНСС</sub> (м)</b>	<b><math>\Delta h</math> (м)</b>	<b>Характеристика земної поверхні</b>
900	315.94	317.05	-1.11	пісок	<b>878</b>	<b>313.18</b>	<b>313.26</b>	<b>-0.09</b>	<b>пісок</b>
872	316.48	317.55	-1.07	трава/кущі	<b>890</b>	<b>312.98</b>	<b>313.06</b>	<b>-0.08</b>	<b>пісок/вода</b>
884	315.79	316.86	-1.07	трава/кущі	<b>856</b>	<b>317.55</b>	<b>317.60</b>	<b>-0.06</b>	<b>трава</b>
891	315.87	316.89	-1.02	напівчагарник	<b>895</b>	<b>317.00</b>	<b>317.03</b>	<b>-0.04</b>	<b>трава</b>
865	315.19	316.14	-0.95	напівчагарник	<b>857</b>	<b>313.64</b>	<b>313.67</b>	<b>-0.03</b>	<b>пісок</b>
885	315.50	316.44	-0.94	чагарник	<b>881</b>	<b>314.50</b>	<b>314.50</b>	<b>0.00</b>	<b>пісок</b>
882	315.33	316.24	-0.91	напівчагарник	<b>899</b>	<b>314.32</b>	<b>314.32</b>	<b>0.00</b>	<b>пісок</b>
916	316.77	317.60	-0.84	напівчагарник	<b>862</b>	<b>313.93</b>	<b>313.88</b>	<b>0.05</b>	<b>пісок</b>

Прод. табл. 2.25

893	316.86	317.63	-0.77	чагарник	863	314.19	314.14	0.05	пісок
888	314.43	315.18	-0.75	чагарник	897	314.41	314.35	0.06	пісок
904	313.27	313.99	-0.72	трава	892	318.36	318.27	0.09	трава
875	315.21	315.93	-0.72	чагарник	858	314.14	314.01	0.12	пісок
877	316.06	316.71	-0.65	чагарник	908	317.03	316.88	0.15	трава
874	314.05	314.64	-0.59	чагарник	855	315.72	315.58	0.15	трава
894	314.60	315.13	-0.53	трава	889	314.55	314.40	0.15	трава
905	318.78	319.30	-0.52	чагарник	873	314.37	314.19	0.18	чагарник
870	314.23	314.73	-0.50	рілля	901	314.51	314.32	0.19	трава/кущі
941	315.68	314.77	-0.50	напівчагарник	876	316.88	316.69	0.19	трава
944	319.72	314.77	-0.48	трава/кущі	914	317.78	317.52	0.26	трава
943	315.30	314.77	-0.47	пісок	911	314.49	314.14	0.35	трава/кущі
898	315.72	316.15	-0.43	пісок	867	314.45	314.06	0.39	трава
912	315.03	315.47	-0.43	напівчагарник	913	317.80	317.34	0.46	пісок
902	314.39	314.81	-0.42	трава	915	317.57	317.08	0.49	трава/кущі
910	316.61	317.03	-0.41	трава/кущі	871	316.61	316.07	0.54	пісок
896	313.32	313.73	-0.41	трава	917	317.87	317.32	0.55	трава
868	314.30	314.70	-0.40	рілля	920	313.61	313.04	0.57	трава
931	314.23	314.77	-0.37	пісок	939	316.39	315.79	0.60	трава/кущі
879	313.17	313.53	-0.36	трава	942	315.81	315.20	0.61	трава
859	313.29	313.63	-0.35	пісок	940	317.32	316.59	0.73	чагарник
866	315.51	315.83	-0.32	пісок	941	317.72	316.97	0.75	напівчагарник
932	314.55	314.77	-0.32	вода	938	316.31	315.55	0.76	трава/кущі
935	316.10	316.37	-0.27	трава/кущі	953	317.20	316.42	0.78	трава
903	313.07	313.33	-0.26	вода	945	316.22	315.42	0.80	трава/кущі
909	317.45	317.70	-0.25	трава	924	317.37	316.53	0.85	напівчагарник
934	314.95	314.77	-0.23	трава	938	315.66	314.81	0.85	трава/кущі
861	315.46	315.68	-0.22	пісок	937	316.72	315.87	0.85	трава/кущі
942	316.12	314.77	-0.21	трава/кущі	957	315.10	314.16	0.94	чагарник
940	314.57	314.77	-0.20	трава/кущі	955	316.69	315.70	0.99	чагарник
880	314.43	314.62	-0.19	чагарник	907	317.94	316.92	1.02	трава/кущі
887	313.72	313.89	-0.17	чагарник	919	318.47	317.44	1.03	трава/кущі
860	315.96	316.10	-0.14	трава	918	318.43	317.28	1.15	трава/кущі
906	314.02	314.15	-0.13	вода/пісок	921	318.34	317.13	1.21	кущі
864	316.05	316.15	-0.10	трава	869	318.48	317.25	1.23	чагарник
886	316.46	316.55	-0.10	трава	922	320.75	319.40	1.35	трава/кущі

**Апостеріорна оцінка точності визначення позначок точок ЦМР  
досліджуваної ділянки**

Об'єкт знімання	Кількість контрольних точок	Середня квадратична похибка $mh$ (м)
Пісок, трава	28	0,31
Пісок, трава, кущі, чагарники	44	0,64

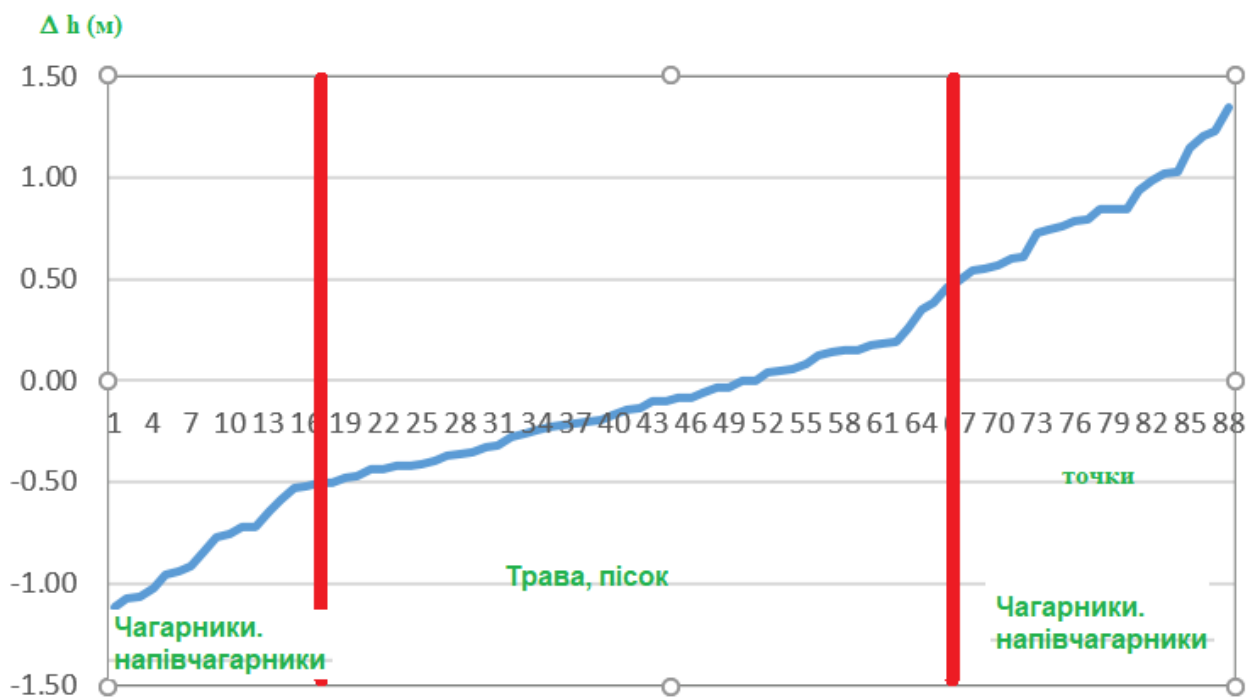


Рис. 2.62 Зміна різниць  $\Delta h$  контрольних точок.

Слід зауважити, що отримані нами середні квадратичні похибки визначення висотної складової є приблизно у два рази більші, ніж у порівнянні з результатами [52]. Очевидно, це пов'язано в основному з ідентифікацією наших контрольних точок на земній поверхні, покритою щільною рослинністю, а в публікації [52] контрольні точки знаходились на забудованій території з чіткою ідентифікацією.

Відповідно з метою прогнозування підтоплення земель, застосування БПЛА при висоті знімання не більше 200 м, є можливим для створення ЦМР земної поверхні, покритої невисокою рослинністю. При зніманні земної поверхні з

високою рослинністю необхідно знімання проводити ранньою весною або восени за безлистяного покриву і відсутності трав'янистої рослинності, та бажане застосування бортових систем “Lidar”.

## ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ

1. Із аналізу річкової мережі Дністра встановлено різний характер лівобережних та правобережних приток. Тому зосереджено увагу на домінантному впливі геологічних структур на характер різних ділянок річки Дністер, так і його лівобережних та правобережних приток. Аналіз основних геологічних структур показує, що на формування характеру русла Дністра та його основних правобережних приток впливають структури меж Передкарпатського прогину. Правобережні притоки проходять через Скибовий покрив Українських Карпат, внутрішню та зовнішню зону Передкарпатського прогину. Лівобережні притоки перетинають Волино-Подільську плиту. Напрямо головних приток Дністра контролюється тектонічними особливостями окремих ділянок, в Карпатській частині поперечними розломами. Виключенням є річка Стрий, в якій частина русла контролюється літологічними особливостями.

2. Опрацьовано концептуальну модель визначення горизонтальних зміщень русла Дністра та його приток, підставою якої слугують топографічні карти різних періодів, космічні зображення та карти четвертинних відкладів, а також ґрунтові карти з опрацюванням всіх матеріалів у програмному середовищі ArcGIS, що дає можливість здійснити аналіз зміщень та отримати їх метричні значення.

3. Опрацьовано метод калібрування історичних карт на основі перетворення систем відліку, який дозволяє зберегти високу точність відображення земної поверхні, збільшення картометричних значень менш точних карт. Встановлено, що метрики карт після калібрування суттєво покращуються і стають корисними при визначенні точних даних про відстані, площу та форми об'єктів та їх зміни у часі.

4. Залежно від характеру горизонтальних зміщень та морфологічних властивостей, ділянку досліджуваної річки поділено на 5 частин : 1) гірську; 2) горбисто-

рівнинну; 3) болотисто-рівнинну; 4) рівнинну; 5) каньйонну. Встановлено, що максимальні зміщення русла річок спостерігаються на рівнинних ділянках і становлять від 600 до 950 метрів за 100-літний період. Гірські та каньйонні ділянки мають не такі значні зміщення, які досягають 350 - 400 метрів.

5. Використовуючи формули, подані у спеціалізованій літературі, розраховано показники стійкості русла для ділянок досліджуваної річки. Деякі з них не відповідають вибраним критеріям. Запропоновано використовувати критерій стійкості, розрахований за величинами ширини русла та ширини заплави, ефективніший для визначення стійкості.

6. З метою оперативного прогнозування підтоплення земель та впливу руслових процесів на гідротехнічне будівництво застосовано методику побудови ЦМР з використанням БПЛА для ділянки річки із ускладненим меандруванням.

### **3. ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗМІЩЕНЬ РУСЕЛ ПРИТОК РІЧКИ ДНІСТЕР**

#### **3.1. Дослідження русел правобережних приток**

Аналіз основних геологічних структур показує, що на формування характеру русла Дністра та його основних правобережних приток впливають структури меж Передкарпатського прогину. Правобережні притоки проходять через Скибовий покрив Українських Карпат, Внутрішню зону Передкарпатського прогину та зовнішню Більче-Волицьку зону Передкарпатського прогину. Напрямок русел в багатьох випадках контролюється тектонічними елементами – розломами та тріщинами. В зовнішній зоні Передкарпатського прогину напрям русел часто контролюється літологічними особливостями, це наприклад, характерно для річки Стрий.

Проаналізовано такі правобережні притоки : р. Стрий, р. Лімниця та р. Бистриця (притоки Надвірнянська та Солотвинська). Залежно від характеру горизонтальних зміщень та морфологічних властивостей кожен з цих річок було умовно поділено на певні ділянки. Правобережні притоки характерні паводковим режимом протягом усього року.

##### **3.1.1. Дослідження зміщень річки Стрий**

Для моніторингу цю річку вибрано не випадково, адже сам Дністер і частина його правобережних приток знаходиться в межах геологічної структури, названої Передкарпатським прогином. В межах цього прогину виділяють Стрийський прогин, що значною мірою вплинуло на характер русла річки, його заплави і долини. Стрий місцями має дуже звивисте річище, найцікавіші меандри вона робить біля села Рибник.

Моніторинг проведено за 128-річний період ( від с. Довге Стрийського району до м. Жидачів Львівської області). Річку Стрий умовно поділено на : гірську, передгірську та рівнинну частину. Для проведення моніторингу меандрування русла річки Стрий на ділянці близько 110 км використано : топографічні карти

масштабів 1:100000 (1886, 1989 pp.); космічні знімки, отримані із супутників Landsat 7 (2000 p.) та Landsat 8 (2014 p.); карти масштабу 1:200000 : четвертинних відкладів (1970 p.) та ґрунтова карта (1967 p.).

Технологію проведення робіт подано в [24, 198, 232] та у розділі 2.3..

### *Гірська частина*

Довжина гірської частини р. Стрий (від с. Довге до смт. Верхнє Синьовидне Сколівського району Львівської області) 25 км. На рис. 3.1 подано фрагмент австрійської карти з накладеними руслами за різні часові періоди. [29]

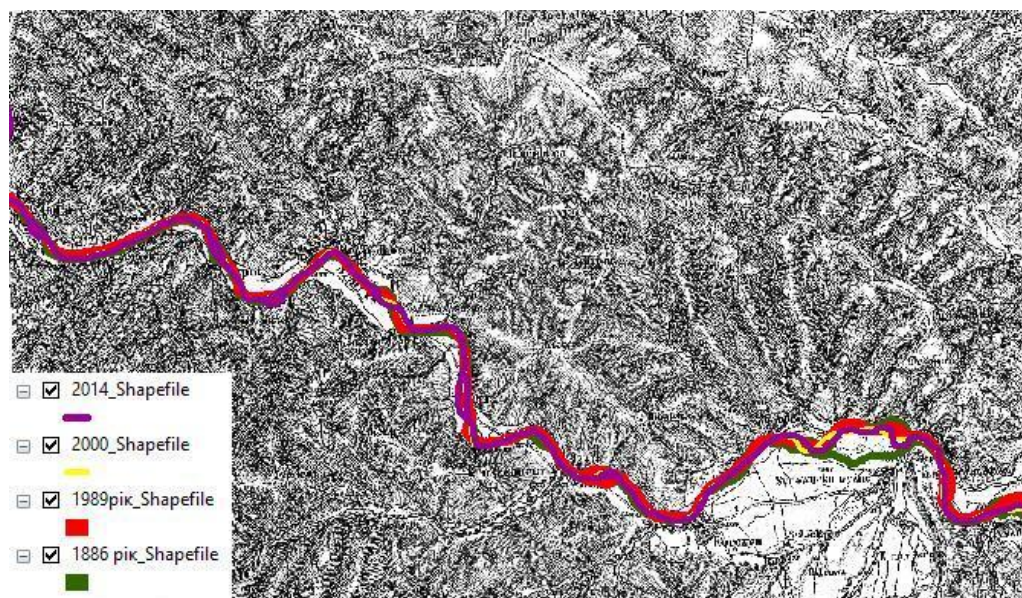


Рис. 3.1 Загальний вигляд оцифрованих русел гірської частини річки за різні часові періоди

Результати вимірювання зміщень русел річки подано в табл. 3.1 та збільшені фрагменти русла з деталізацією максимальних змін на рис. 3.2. В гірській частині для визначення зміщень було набрано тільки 5 точок, так як, в цій частині русла практично накладаються. Максимальне значення зміщень, отримане за роки 1886-1989 та 1989-2014 складає -160 м, тобто зміщення є порівняно незначними. За останні роки значно збільшився відбір каменю та гравію у цій частині. [158]

### Зміщення русла гірської частини річки Стрий

№ точок	Зміщення русел (м)	
	1886-1989	1989-2014
1	90	105
2	155	-155
3	-160	50
4	-	150
5	30	160

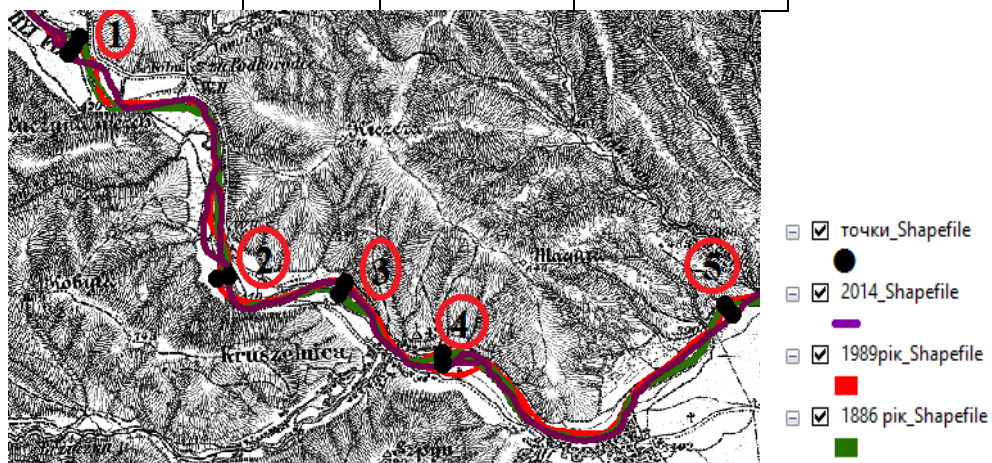


Рис. 3.2 Точки зміщення у гірській частині р. Стрий

На карті 1886 року зауважено, що річка Стрий поблизу смт. Верхне Синьовидне Сколівського району Львівської області розгалужувалась на два рукави (рис. 3.3 ), а по руслах 1989, 2000 та 2014 року видно, що річка протікає одним рукавом.

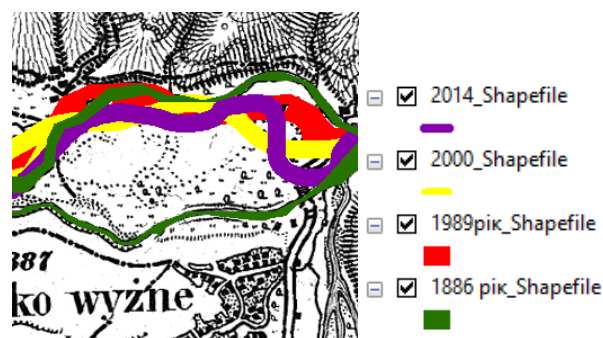


Рис. 3.3 Фрагмент топографічної карти 1886 р. з нанесеними руслами ріки Стрий



### *Передгірська частина*

Довжина передгірської частини р. Стрий (від смт. Верхнє Синьовидне Сколівського району Львівської області до смт. Гніздичів Жидачівського району Львівської області) 50 км. Ця частина характерна значною багаторукавністю річки (рис. 3.4). Тому подаємо кількість рукавів і виміряну ширину відстані між крайніми рукавами (табл. 3.2, рис. 3.4). За 1886 рік максимальна ширина багаторукавності становить до 1.5 км, річка поділяється на 3-4 рукави. Через майже 100 років (1989 р.), ширина між крайніми рукавами зменшується до 500 м, однак зауважено значне переплетіння русла, яке спостерігаємо і на космічному знімку (2000 р.). На космічному знімку (2014 р.) русло р. Стрий у цій ділянці однорукавне. Загалом така картина свідчить про зменшення водності річки. На передгірській ділянці зміщеннями слугують різниці між шириною багаторукавності. Слід зауважити, що на цій ділянці загалом русло зсувається в північно-західному напрямку, що становить загрозу підмиву автомобільної траси міжнародного значення. Власне на цій ділянці причиною зміни характеру русел вважаємо значний вплив антропогенного чинника, зокрема відбір гравійних та піщаних матеріалів, про що вказано в роботах [65, 165, 29].

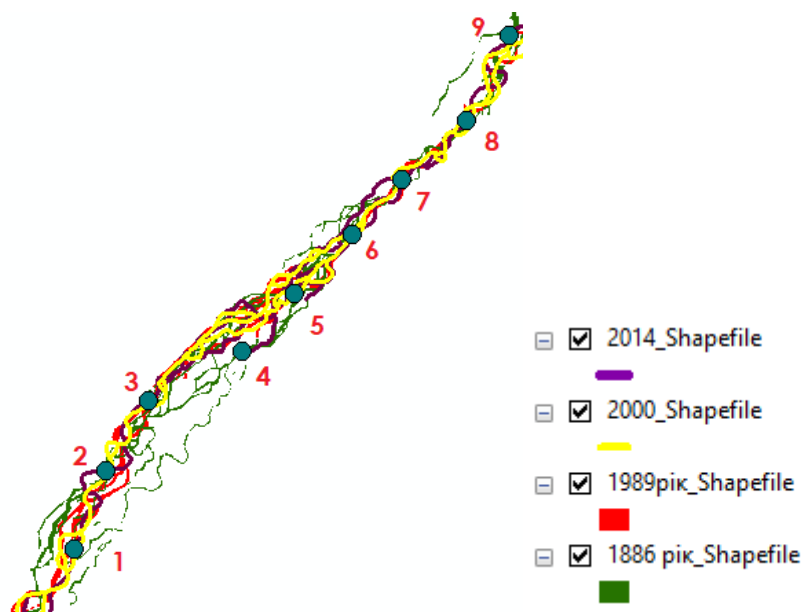


Рис. 3.4 Загальний вигляд оцифрованих русел передгірської частини річки Стрий з вимірюванням ширини багаторукавності в нанесених точках

### Кількість рукавів і виміряна ширина відстані між крайніми рукавами

№ точок	1886 р.		1989 р.		2000 р.		2014 р.	
	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів
1	1520	4	445	3	450	2	0	1
2	670	2	430	3	0	1	0	1
3	1355	5	235	1	0	1	0	1
4	945	4	565	2	375	3	1035	4
5	390	3	595	2	560	5	255	2
6	520	3	0	1	55	2	260	2
7	785	5	0	1	0	1	0	1
8	1170	4	0	1	240	2	0	1
9	810	2	190	2	685	2	0	1

#### *Рівнинна частина*

Найскладнішою стосовно змін та водного режиму ділянкою річки є русло, що протікає в рівнинній частині місцевості аж до впадіння в річку Дністер (рис. 3.5). Довжина рівнинної частини р. Стрий (від смт. Гніздичів Жидачівського району до впадіння у р. Дністер біля м. Жидачів Львівської області) 18 км. В цій частині Стрий має дуже звивисте русло ( $K'_i=1.3$ ) із значною кількістю меандр та залишених стариць, на деяких ділянках місцевість є заболоченою. Найцікавіші меандри вона робить біля села Рибник та міста Жидачів, де впродовж кількох кілометрів тече в декількох різних напрямках. Ця частина русла річки найбільше залежна від геоморфологічної будови, яка характерна для Передкарпатського прогину. Річка, перетинаючи ділянки гірських порід різної твердості, формує різні за типом долини, від вузьких, майже без терас, до широких у місцях перетину м'яких порід. Як відомо, у будові Передкарпатського прогину беруть участь відклади різних

геологічних періодів. Четвертинні відклади Передкарпатського прогину представлені чотирма типами: давнім, середнім, новим і сучасним. Новий тип пов'язаний з суцільним покривом лесовидних суглинків. До сучасного належать піскувато-гальково-глинисті відклади заплав річкових долин, конуси виносу, болота, алювіально-делювіальні утворення. [29]

Одним із загрозованих процесів є інтенсивний відбір з русел річок гравію й піску, розробка родовищ валунно-гравійно-піщаних порід у гірських річках Дністер, Стрий, Свіча, Опір на території Львівської області, що негативно впливає на екологічний стан довкілля [158]. Поклади валунно-гравійно-піщаних порід у межах України поширені досить нерівномірно. Значні запаси їх зосереджені в Передкарпатському крайовому прогині, в західній і південно-західній частинах Українського щита пов'язані переважно з алювіальними, делювіальними, флювіогляціальними та еоловими відкладами четвертинного віку. Залягають вони у вигляді лінз і пластових покладів потужністю до 20–25 м на глибині 0–3,0 м. [29] Валунно-гравійно-піщані породи використовуються в будівельній галузі як заповнювачі бетонів, у будівництві автомобільних доріг, для улаштування баластного шару залізничних шляхів, виробництва будівельних і штукатурних розчинів, силікатних виробів тощо. [29] Тільки одне підприємство, як вказано в матеріалах [65], несанкціоновано видобуло за два роки (2006-2008 рр.) 65 тис. тонн гравію.

Наведено основні результати вимірювань, які стосуються зміщень русла річки. На рис. 3.5 чорними точками зафіксовано місця вимірювань зміщень русла, а їх результати подано в табл. 3.3. В табл. 3.4 подано кількість стариць та островів, обчислено загальну площу стариць для рівнинної частини р. Стрий поблизу м. Жидачів.

Таблиця 3.3

**Зміщення русла річки Стрий в  
рівнинній частині**

№ точок	Зміщення русел (м)	
	1886-1989	1989-2014
1	1155	135
2	765	-15
3	-325	-55
4	-645	15
5	500	-165
6	165	270
7	-360	-250
8	-195	-165

Таблиця 3.4

**Кількість стариць та островів**

Роки	Кількість стариць	Загальна площа стариць, га	Кількість островів
1886	20	128,7	12
1989	20	95	6
2000	20	141,5	2
2014	12	104,1	2

Зменшену площу стариць у 1989 році можна пояснити тим, що на карті відзначено тільки більші за розмірами стариці, а також і ті, які суттєво відрізнялись на місцевості за контрастом. [29]

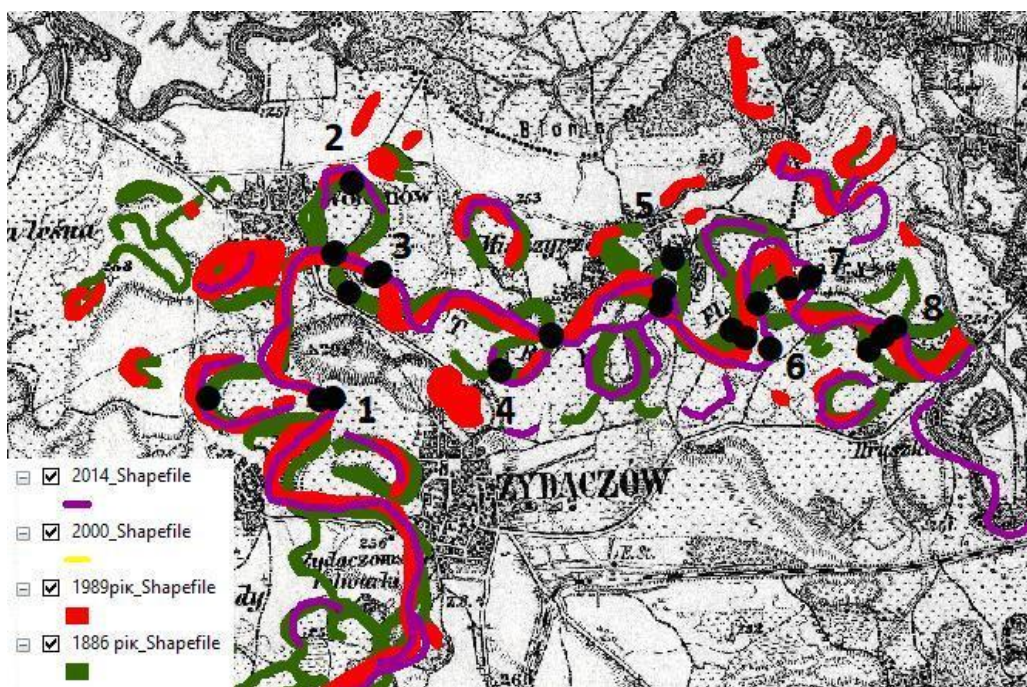


Рис. 3.5 Загальний вигляд оцифрованих русел рівнинної частини річки Стрий за топографічними картами та космічними знімками

З табл. 3.3 та рис. 3.5 видно, що ця ділянка характерна великими зміщеннями. Максимальне зміщення за період 1886-1989 рр. досягає 1155 м. За період від 1989-2014 рр. зміщення сягають 270 м.

### **3.1.2. Аналіз зміщень річки Бистриця**

Річка Бистриця утворена злиттям Бистриці Солотвинської і Бистриці Надвірнянської. Бистриця має довжину 17 км, а її притоки : Надвірнянська – 94 км і Солотвинська – 82 км. Майже щорічно на річці Бистриця трапляються весняні та літні паводки. [64,183]

Моніторинг здійснено за 106-річний період за топографічними картами масштабу 1:100 000 та 1:200000 (1910 та 1989 рр.), космічними знімками Landsat 7 - 2000р. та Sentinel 2 - 2016 р., картами масштабу 1:200000 : четвертинних відкладів 1970р. та ґрунтового покриву 1969 р.. Цю річку поділено умовно на три частини : гірську, горбисту з широкою рівниною та рівнинну. Притоку Бистриці – Бистрицю Солотвинську поділено на 2 частини : гірську та рівнинну.

#### ***Гірська частина***

Гірська частина басейну р. Бистриці Надвірнянської входить до складу Скибових і Вододільно-Верховинських Карпат та знаходиться у Надвірнянському районі Івано-Франківської області. Басейн річки Бистриці Солотвинської знаходиться в зоні Передкарпатського прогину і скибовій зоні Карпат.

Довжина гірської частини р. Бистриця Надвірнянська 12 км (від с. Максимець до с. Пасічна Надвірнянського району Івано-Франківської області). Довжина гірської частини притоки Бистриця Солотвинська 33 км (від підніжжя гір Сивулі до с. Пороги Богородчанського району Івано-Франківської області) . На (рис. 3.6) показано накладені русла на карті 1989 р. гірської частини річки Бистриця Надвірнянська та Солотвинська. [64, 137, 183]

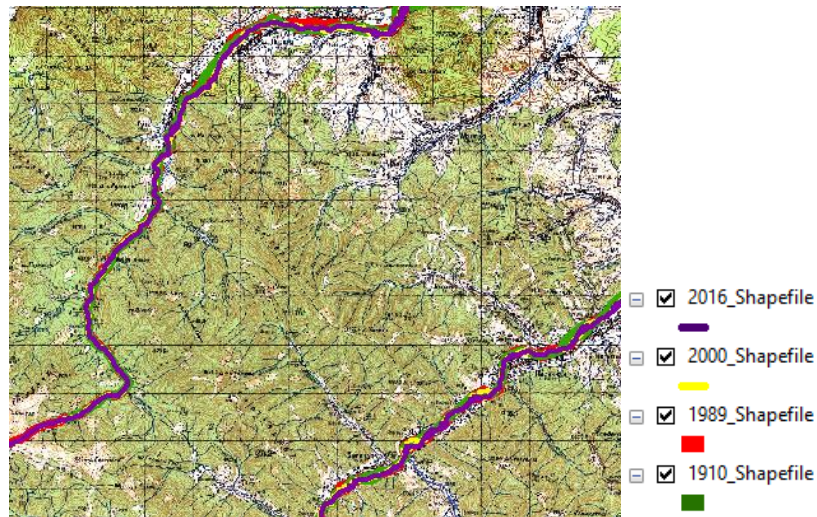


Рис. 3.6 Загальний вигляд оцифрованих русел гірської частини річки Бистриця (притока Надвірнянська та Солотвинська) за топографічними картами та космічними знімками

Найбільше зміщення притоки Надвірнянська за період 1910-1989 рр. досягає 170 м. Притока Солотвинська має максимальне зміщення 270 м за роки 1989-2000. На рис. 3.7 чорними точками зафіксовано фрагменти масимальних зміщень, а їх результати подано в табл. 3.5. [183]

Таблиця 3.5

### Зміщення русла річки гірської частини приток р. Бистриця

№ точки	Зміщення (м)					
	Бистриця Надвірнянська			Бистриця Солотвинська		
	1910-1989	1989-2000	2000-2016	1910-1989	1989-2000	2000-2016
1	170	30	100	115	270	-30
2	110	50	-			
3	-105	60	10			

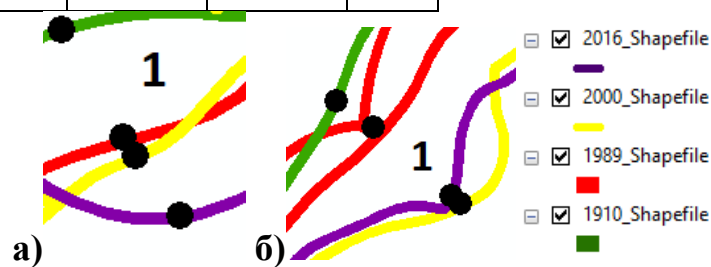


Рис. 3.7 Збільшені фрагменти русла з деталізацією максимальних змін : а) – притока Бистриця Надвірнянська ; б) – притока Бистриця Солотвинська.

### *Горбиста з широкою рівниною частина*

Ця ділянка характерна для притоки річки Бистриця – Бистриці Надвірнянської. (рис. 3.8) Для цієї частини характерна багаторукавність та переплетення русел на деяких ділянках (рис. 3.8). Зауважено 2 ділянки, з великою багаторукавністю і виміряно ширину в цих місцях. Дані подано в табл. 3.6. Найбільша ширина багаторукавності - 755 м (2016 р.), русло розділяється на 2 рукави. [183]

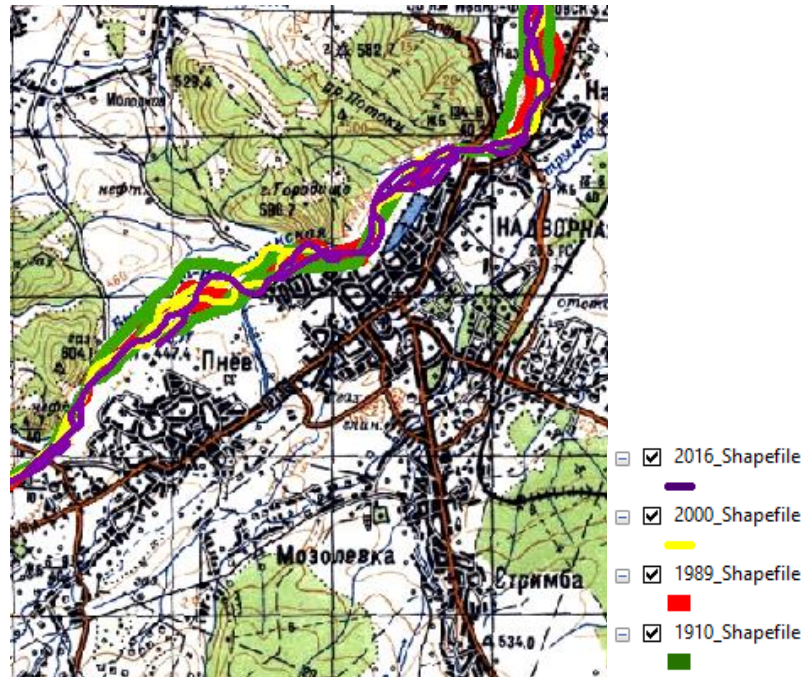


Рис. 3.8 Загальний вигляд оцифрованих русел Бистриці Надвірнянської в горбистій з широкою рівниною частині

*Таблиця 3.6*

### **Ширина багаторукавності горбистої з широкою рівниною частини річки Бистриці Надвірнянської**

Роки	Максимальна ширина багаторукавності (м)	
	1 ділянка	2 ділянка
1910	330	510
1989	545	700
2000	565	710
2016	755	670

Ця частина річки не є характерною зміщеннями.

### *Рівнинна частина*

Довжина ділянки - 39 км для двох приток річки Бистриця частини рівнинної (рис. 3.9).

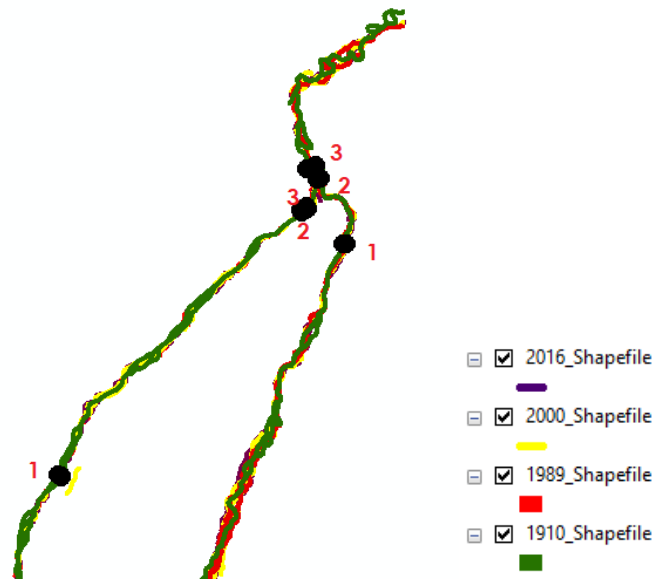


Рис. 3.9 Загальний вигляд оцифрованих русел рівнинної частини Бистриці з притоками Надвірнянська та Солотвинська з нанесеними точками руслових зміщень

Виміряно по 3 точки руслових зміщень для обох приток. Зміщення в цій частині досягають : для Бистриці Надвірнянської - 540 м (1910-1989 рр.), для Солотвинської – 285 м (1910-1989 рр.). (табл. 3.7) В деяких точках річка зміщувалась в сторону природнього русла.

*Таблиця 3.7*

### **Зміщення русла річки Бистриця рівнинної частини Бистриця з притоками Надвірнянська та Солотвинська**

№ точки	Зміщення (м)					
	Бистриця Надвірнянська			Бистриця Солотвинська		
	1910-1989	1989-2000	2000-2016	1910-1989	1989-2000	2000-2016
<b>1</b>	110	90	-	285	-90	40
<b>2</b>	145	55	30	175	-	-49
<b>3</b>	540	-	150	-	60	75



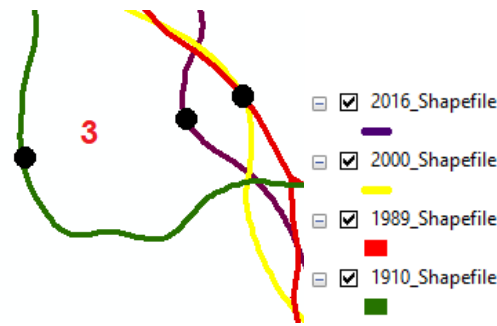


Рис. 3.10 Збільшений фрагмент русла з деталізацією максимальних змін в точці 3 рівнинної частини р. Бистриця

На цій ділянці тип русла наближається до руслових розгалужень. Вузол злиття Бистриці Солотвинської і Бистриці Надвірнянської та початок власне Бистриці - це особлива ділянка для трьох річок. (рис. 3.9) [183]

Виміряно в декількох точках ширину багаторукавності та кількість рукавів і подано в табл. 3.8 та відображено фрагмент плетіння річки на рис. 3.11. За відображенням ділянки 1910 року видно наявні другорядні протоки, ширина смуги руслоформування - 300-900 м, русло розділяється на 2-3 рукави. На карті радянського періоду ширина багаторукавності менша, максимально становить 600 м. За знімком 2000 р. можна побачити деяку зміну багаторукавності порівняно від русла 1989 року, адже ширина багаторукавності збільшується і становить до 880 м. За сучасними космознімками 2016 р. ширина багаторукавності зменшується і становить максимально 435 м.

Таблиця 3.8

**Кількість рукавів і виміряна ширина відстані між крайніми рукавами у рівнинній частині річки Бистриця**

№ точок	1910 р.		1989 р.		2000 р.		2016 р.	
	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів
1	340	3	230	3	-	1	140	2
2	480	3	-	1	-	1	-	1
3	-	1	640	2	745	3	435	3
4	920	2	-	1	880	4	390	2

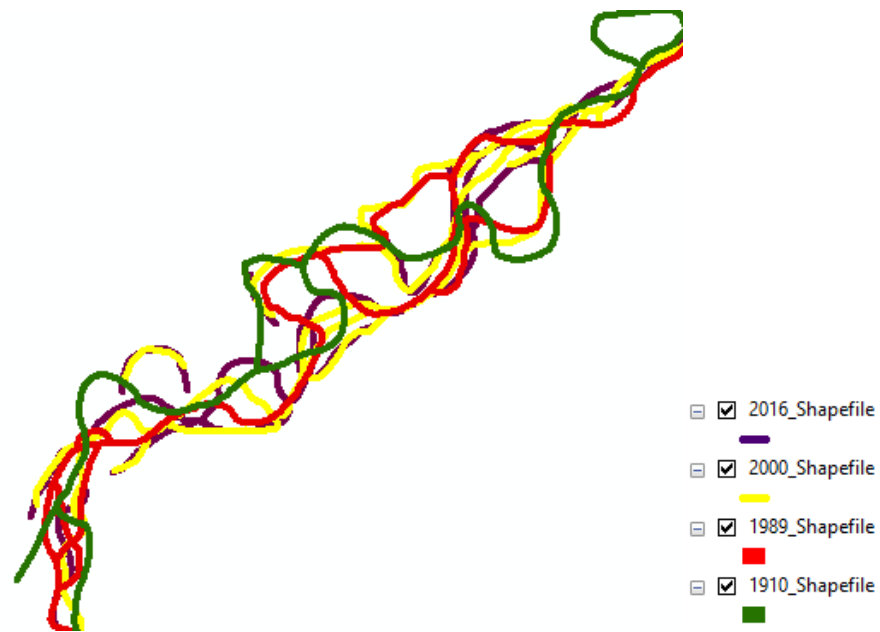


Рис. 3.11 Фрагмент плетіння річки Бистриця в рівнинній частині

Серед заходів по охороні річки Бистриця можна виділити:

- заліснення берегів річки;
- укріплення берегів річки від паводків;
- розділення промислових і господарсько-побутових стоків, щоб забезпечити їх очистку перед скидом у річку;
- використання водоочисних систем промисловими підприємствами (а не скиданням їх у річки);
- створення гідрологічних пам'яток природи.

Для річного ходу рівня води характерні часті підйоми рівня води протягом усього року. В багатоводні роки паводки виникали досить часто: 1955р., 1969р., 1980р., 2001р., 2008р., в період з вересня по грудень спостерігаються стійкі рівні води. Зокрема повінь, яка сталася влітку 2008 року через інтенсивні грозові дощі і, як результат, різке підняття рівня води в річках завдав значної шкоди господарству міста Івано-Франківськ. Вона вважається найбільшою в історії Західної України за останні 60 років.[183]

### 3.1.3. Дослідження зміщень річки Лімниця

Довжина річки Лімниця - 122 км. Річище Лімниці кам'янисте, у середині розгалужується на рукави.

Проаналізовано річку за 106-річний період за топографічними картами масштабу 1:100 000 та 1: 200000 (1910 та 1989 рр.), космічними знімками Landsat 7 (2000 р.), Sentinel (2016 р.) і картами масштабу 1:200000 : четвертинних відкладів (1970 р.) та ґрунтового покриву (1969 р.). Цю річку поділено умовно на три частини : гірську, горбисту з болотистою рівниною та рівнинну. [183]

#### *Гірська частина*

На рис. 3.12 відображено накладені русла на карті 1989 р. гірської частини річки Лімниця.

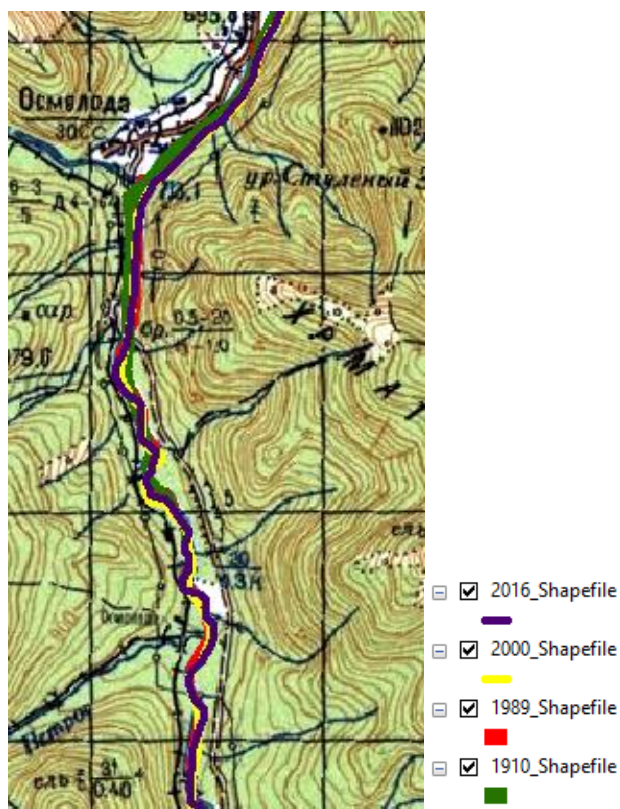


Рис. 3.12 Фрагменти оцифрованих русел гірської частини річки Лімниця за топографічними картами та космічними знімками

В гірській частині річки Лімниці майже не зауважено зміщень. Зафіксовано тільки одну ділянку зі зміщенням, яке досягає 250 м за період 1910-1989 рр. (табл.

3.9) В періоди 1989-2000 та 2000-2016 років русла мають зміщення в межах похибки вимірювання.

Таблиця 3.9

### Зміщення гірської частини русла річки Лімниця

№ точок	Зміщення (м)		
	1910-1989	1989-2000	2000-2016
1	-250	35	-80

#### Горбиста частина з болотистою рівниною

Ця ділянка є дуже болотистою. Довжина цієї частини 29 км (від с. Ясень Рожнятівського району до с. Тужилів Калуського району Івано-Франківської області). Калуською місцевою прокуратурою встановлено факт незаконного видобутку піщано-гравійної суміші на території Рожнятівського району з русла річки Лімниця. [183]

Ця частина характерна значною багатурукавністю річки, русло розділяється навіть на 3 рукави. (рис. 3.13).

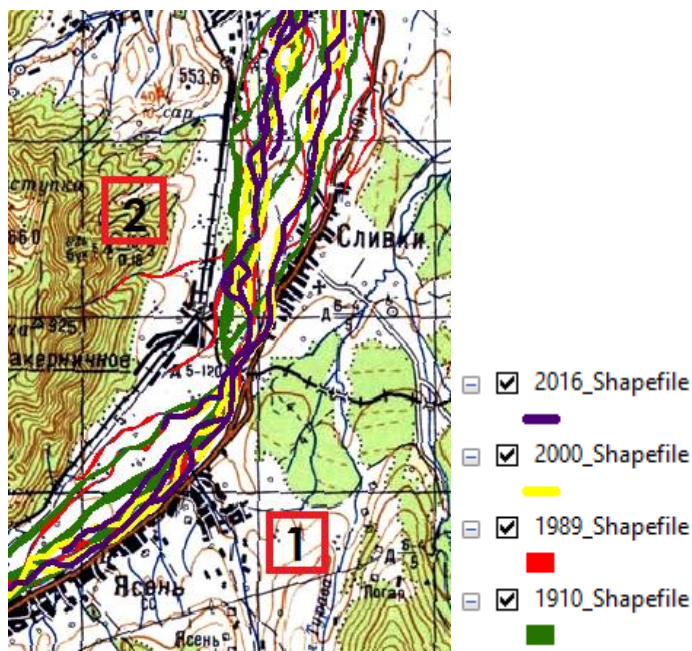


Рис. 3.13 Фрагменти оцифрованих русел горбистої з болотистою рівниною частини річки Лімниця

Вибрано 2 ділянки, де зауважено значну багаторукавність, виміряно її ширину за різні часові періоди. (табл. 3.10) Ширина багаторукавності досягає навіть понад 1 км. Але, як видно з таблиці, на ділянці №1 (рис. 3.13) у 2016 році вона вже зменшилась. На ділянці №2, значна ширина тримається за весь період.

Таблиця 3.10

### Ширина багаторукавності горбистої з болотистою рівниною частини р.

#### Лімниця

Роки	Ширина багаторукавності (м)	
	1 ділянка	2 ділянка
1910	1280	1236
1989	1470	1145
2000	812	1346
2016	775	1287

#### Рівнинна частина

Довжина цієї частини річки 35 км ( від с. Тужилів Калуського району до місця, де впадає у р. Дністер Долинського району Івано-Франківської області). Найбільші повені на річці Лімниця були 1929,1941 і 2008 роках.

Ця частина подібна до попередньої тим, що вона теж є болотистою. (рис. 3.14). Русло річки багаторукавне, але ширина багаторукавності зменшується у цій ділянці з 1 км до 600 м.

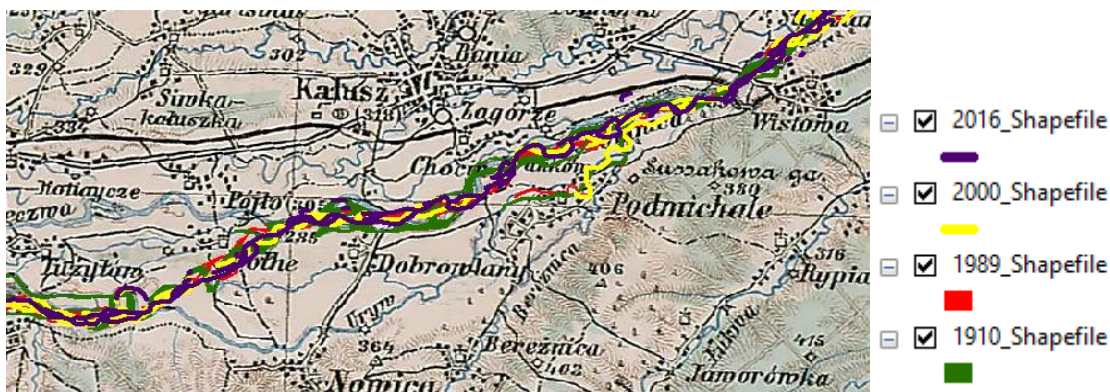


Рис. 3.14 Фрагменти оцифрованих русел рівнинної частина річки Лімниця

На рис. 3.15 чорними точками зафіксовано місця вимірювань зміщень русла та фрагменти максимальних зміщень. [183] Результати подано в табл. 3.11.

Вимірювання зміщень здійснено в точках № 2-14 (перша точка знаходиться в гірській частині).

Таблиця 3.11

**Зміщення русла річки Лімниця (рівнинна частина)**

№ точок	Зміщення (м)		
	1910-1989	1989-2000	2000-2016
2	450	35	-60
3	190	140	-20
4	-210	90	20
5	-210	80	100
6	455	-85	-
7	220	50	-190
8	-330	-15	40
9	-340	250	140
10	490	-70	-30
11	-465	65	-110
12	330	-30	-
13	475	55	- -280
14	-345	215	-20

Максимальне значення зміщень, отримане за роки 1910-1989, складає 490 м, за роки 1989-2000 – 250 м, за роки 2000-2016 – -190 м. Найбільші зміщення були у роках 1910-1989. В 13 точці річка зміщувалась в сторону природнього русла 1910 року.

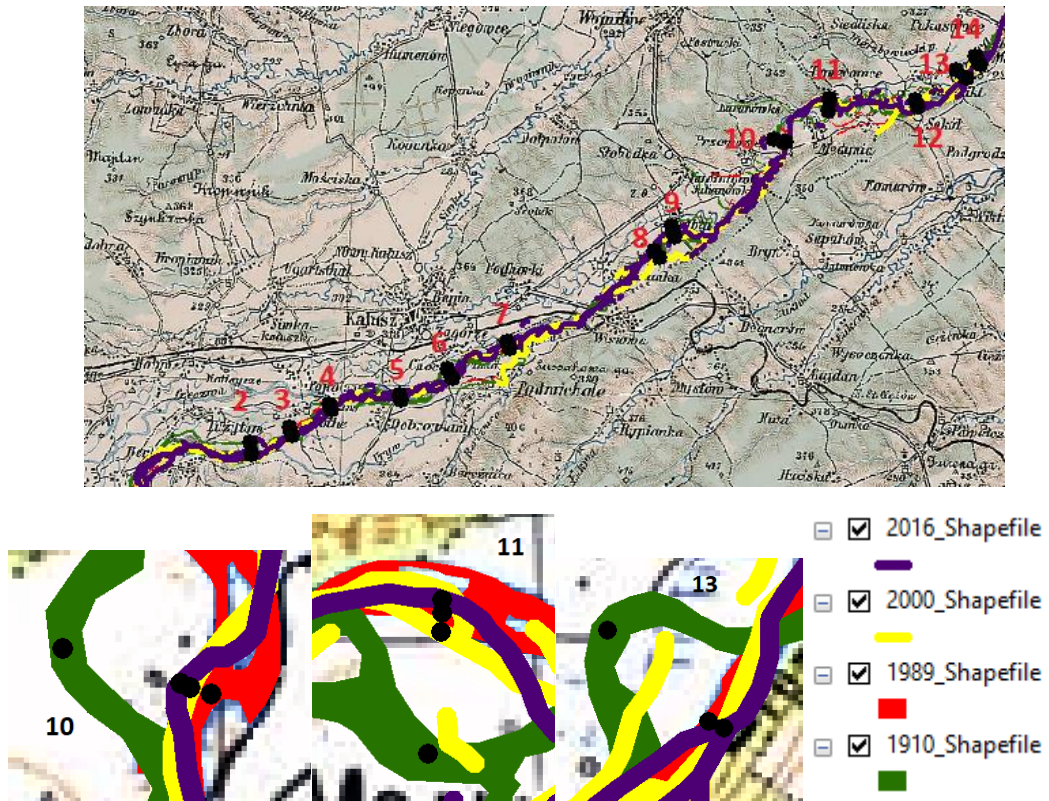


Рис. 3.15 Точки зміщень русла та збільшені фрагменти русла з деталізацією максимальних змін

Вибрано 1 ділянку з найбільшою багаторукавністю. (табл. 3.12) Ширина багаторукавності тут становить максимально 605 м на карті 1910 року, а на іншій карті та знімках (1989, 2000 і 2016 рр.) - 250 та 200 м. Відповідно русло розгалужується на 2 рукави. Ширина долини в цій ділянці значно менша і становить 3,5 км [183].

Таблиця 3.12

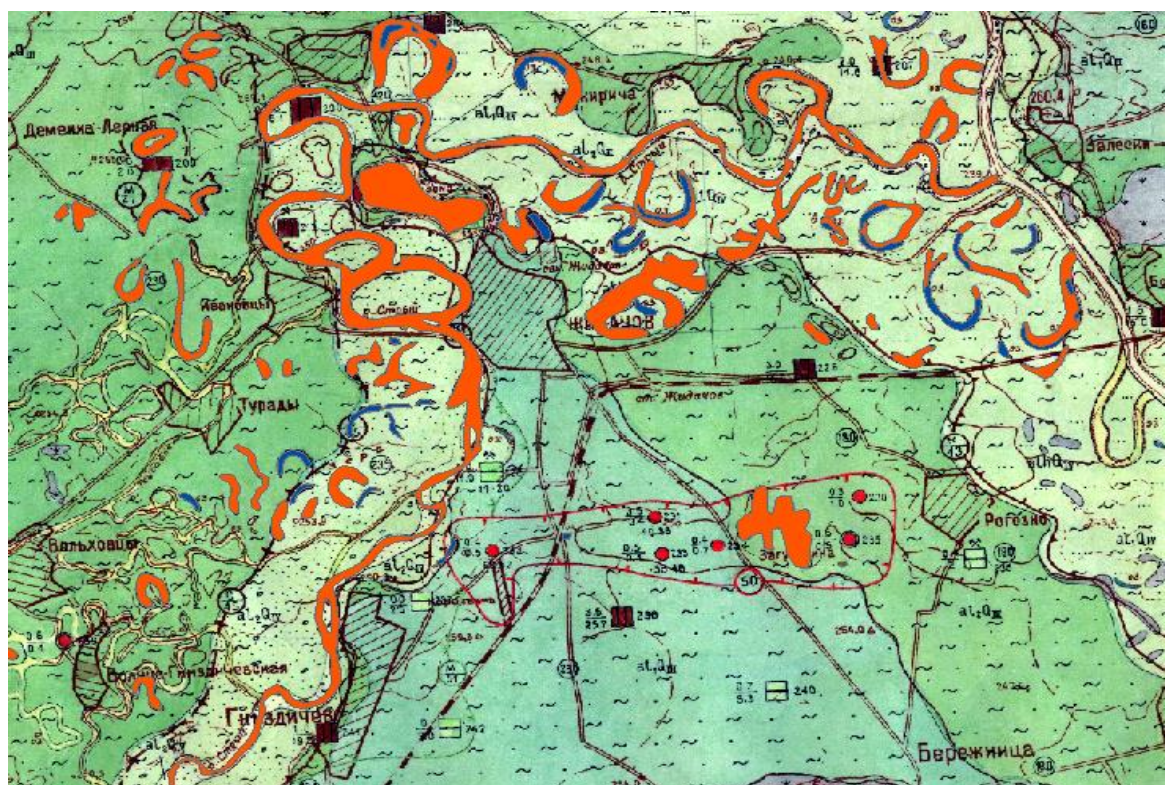
### Ширина багаторукавності рівнинної частини р. Лімниця

Роки	Ширина багаторукавності (м)
	3 ділянка
1910	605
1989	250
2000	200
2016	200

### *Аналіз ґрунтових та геологічних карт правобережних приток*

*Річка Стрий.* Аналіз карти четвертинних відкладів свідчить про звивистий характер русла, на ній показано як старі стариці, так і стариці новішого періоду. На цій карті вказано, як основні відклади : пісок з галькою, галечник, глина, алювіальні відклади. На четвертинній карті подано різноманітні за літологічним складом утворення, пов'язані з терасовою будовою заплави, зокрема вирізняється суцільний покрив лесових суглинків та піскувато-гальково-глинисті відкладення. (рис. 3.16)

[29]



- четвертинні відклади з старішими меандрами\_Shapefile
- меандри нові чв\_Shapefile

Рис. 3.16 Карта четвертинних відкладів р. Стрий

Заплавна місцевість рівнинної частини річки Стрий характерна дерново супіщаними і суглинковими, дерново опідзоленими оглеєними та лучними глейовими ґрунтами, їх механічною основою є піски та легкі суглинки, що легко розмиваються. (рис. 3.17) [29]



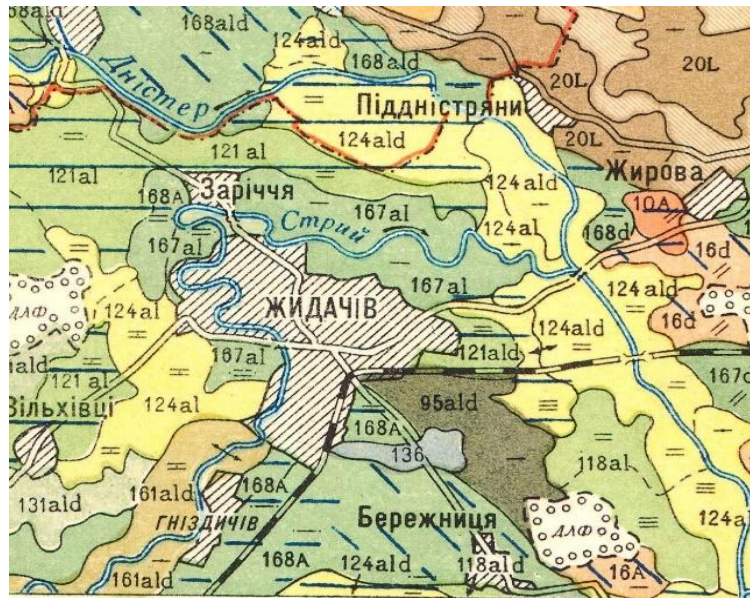


Рис. 3.17 Карта ґрунтів (р. Стрий)

*Річка Бистриця.* Поблизу русла річки основними відкладами є еолово-делювіальні та делювіальні. Літологічний склад характерний наявністю суглинків, супісків та глини, в деяких ділянках спостерігається щебінь та торф. [183]

Річка Бистриця характерна лучними ґрунтами переважно на алювіальних та делювіальних відкладах та дерновими ґрунтами. Теж зауважено болотні та торфово – болотні ґрунти. Механічний склад : піски, супіски та щебінь.

*Річка Лімниця.* На карті четвертинних відкладів вказано основні відклади галечник, глина, алювіальні відклади. [183] На четвертинній карті наведено різноманітні за літологічним складом утворення, пов'язані з терасовою будовою заплави, зокрема вирізняється руслова фація та еолово – делювіальні відкладення. Теж зауважені виходи корінних порід. (додаток В)

Річка Лімниця характерна дерново супіщаними і суглинковими, дерново опідзоленими оглєсними та лучними глейовими ґрунтами, їх механічною основою є піски та легкі суглинки, що легко розмиваються та спричиняють зміщення русла. [96, 183]

### 3.2. Аналіз зміщень лівобережних приток

Досліджено 5 основних лівобережних приток річки Дністер : Золота Липа (85 км), Серет (242 км), Збруч (244 км), Стрипа (147 км) та Смотрич (169 км).

Ліві притоки Дністра, що беруть початок на Волино-Подільській височині, течуть в низьких берегах. Наближаючись до Дністра, вони розмивають тверді породи, в зв'язку з чим береги стають крутими і високими.

Лівобережні притоки – це меридіональні річки, що входять у Дністер у глибокій каньйонній долині. Вище ці притоки проходять по крутих схилах долин з виходами древніх порід. На лівобережжі характерний швидкий стік атмосферних опадів і весняні опади, часто зустрічаються літні дощові паводки. В місцях витоку лівих приток долини вузькі та неглибокі, а в нижчих ділянках течії стають глибокими. Максимальні витрати за рік є під час весняних повеней. Літні дощові повені досягають рівня весняних повеней, але більшість річок є зарегульованими і акумулюються у водосховищах та ставках [186].

Проведено моніторинг лівобережних приток за 107-річний період з використанням топографічних карт масштабів 1:200 000 і 1:100 000 (1910, 1930 та 1985 рр.), космічного знімка Sentinel 2 (2017 р.), карт масштабу 1:200000 : четвертинних відкладів (1987 р.) та ґрунтового покриття (1967 р.). Лівобережні притоки було поділено на 2 частини : горбисту та каньйонну.

*Річка Золота Липа.* Досліджувана ділянка має довжину 71 км. Русло помірно звивисте, від м. Бережан до с. Потуторів пряме, каналізоване (рис. 3.18 а).

*Річка Стрипа.* Досліджувальна ділянка має довжину 103 км. Русло є помірно звивистим, у верхів'ї зарегульоване водосховищами (рис. 3.18 б).

*Річка Серет.* Довжина досліджуваного об'єкту – 137 км. Річка проходить в зоні Волино-Подільської височини. Русло річки помірно звивисте. Рельєф території басейну ріки Серет, відповідно до існуючих геоморфологічних досліджень цього

регіону, сформований під впливом двох підняттях Подільської плити, внаслідок чого верхні притоки Серету отримали південно-східний напрямок. (рис. 3.18 в)

*Річка Збруч.* Річка Збруч є найбільшою лівою притокою Дністра. Вона має довжину 247 км. Протікає через Волино-подільську височину з півночі на південь. У деяких місцях заплава є заболоченою. Русло річки є помірно звивистим. (рис. 3.18 г)

*Річка Смотрич.* Має довжину 169 км. Русло звивисте, в деяких місцях роздвоюється. Долина в деяких місцях вузька, у більшості місць каньйоноподібна. Дно Смотрича покривається кам'яною галькою (алювієм), і річка не стирає каміння, а розмочує пісок, глину та гальку, змішує і несе за течією. Унікальність річки – це каньйон біля міста Кам'янець-Подільський. (рис. 3.18 д)

На рис. 3.18 показано оцифровані русла лівобережних приток за різні часові періоди з нанесеними точками руслових зміщень, де : зеленим кольором зображено русло ріки 1910 р.; синім – 1930 р.; червоним – русло 1985 р.; фіолетовим – 2017 р.

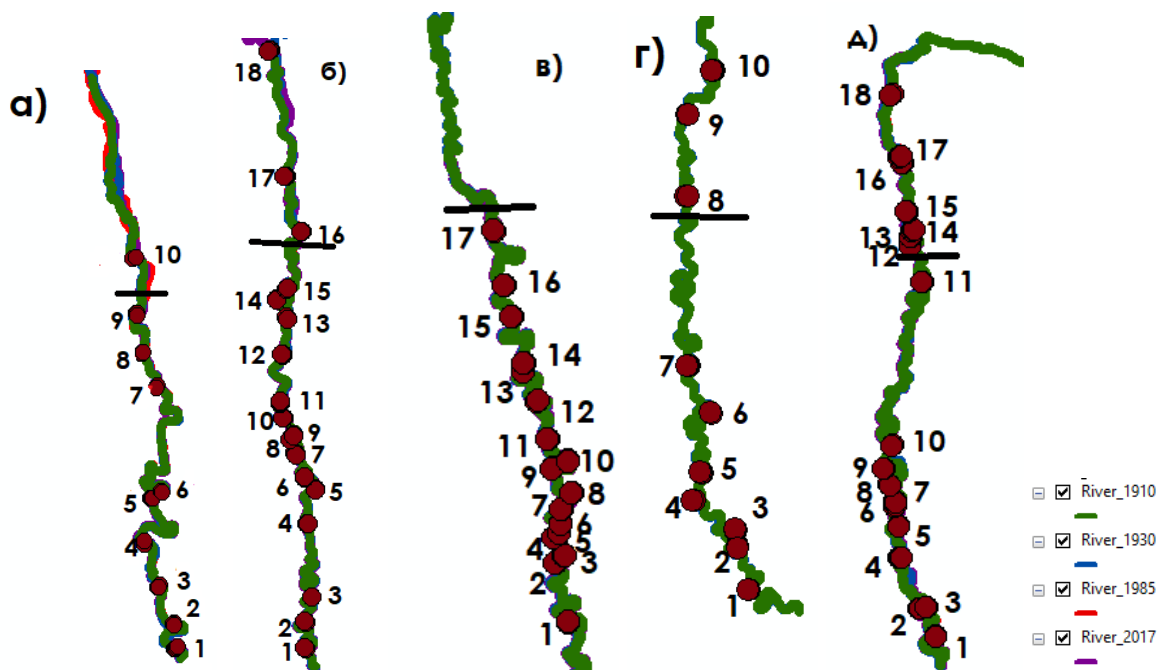


Рис. 3.18 Оцифровані русла лівобережних приток з нанесеними точками руслових зміщень (верх-горбиста частина; низ – каньйонна частина)

Виміряні зміщення подано у табл. 3.13 та 3.14, фрагменти найбільших зміщень вказано на рис. 3.19. Фіолетовим кольором показано точки зміщень каньйонної частини річок, синім – горбистої частини.

Таблиця 3.13

### Зміщення русел річок Золота Липа та Збруч

№ точки	Зміщення річка Золота Липа (м)			Зміщення річка Збруч (м)		
	1910-1930	1930-1985	1985-2017	1910-1930	1930-1985	1985-2017
1	-220	75	160	-80	-	65
2	-120	35	0	160	-	-75
3	-90	20	35	-125	-	85
4	210	45	-45	-170	-	-
5	140	-80	-	-100	-180	70
6	130	-65	55	-120	-60	60
7	-190	20	-80	-120	-140	-
8	170	-	85	170	-	50
9	-120	95	-	150	-	-
10	220	-	25	-175	95	-

Таблиця 3.14

### Зміщення русел річок Стрипа, Серет та Смотрич

№ точки	Зміщення річка Стрипа (м)			Зміщення річка Серет (м)			Зміщення річка Смотрич (м)		
	1910-1930	1930-1985	1985-2017	1910-1930	1930-1985	1985-2017	1910-1930	1930-1985	1985-2017
1	-90	-60	30	-240	-145	-	110	85	-
2	100	-155	60	90	-40	25	-100	145	-
3	-80	-30	30	160	75	65	-110	165	40
4	-120	90	30	70	20	-	95	75	50
5	-110	75	30	140	-	-	95	-40	40
6	-90	-	-145	-130	-70	70	210	-35	-
7	-95	130	80	120	-30	150	200	190	-

Прод. табл. 3.14

8	80	-40	-20	-100	-105	105	120	115	-20
9	70	25	60	110	55	-	-130	130	-
10	-100	-65	105	160	-	-35	-90	-130	-35
11	-100	90	-	120	160	40	-100	-	50
12	150	50	-30	150	160	-	-200	-	30
13	135	15	15	140	-	40	-100	-40	-
14	170	115	-15	-150	105	-	-170	-30	-
15	100	-85	-	-200	40	-15	-200	-	45
16	130	50	-	-150	-	-	-150	45	-25
17	220	-	60	-130	60	-	160	80	-80
18	170	175	-				-280	55	-25

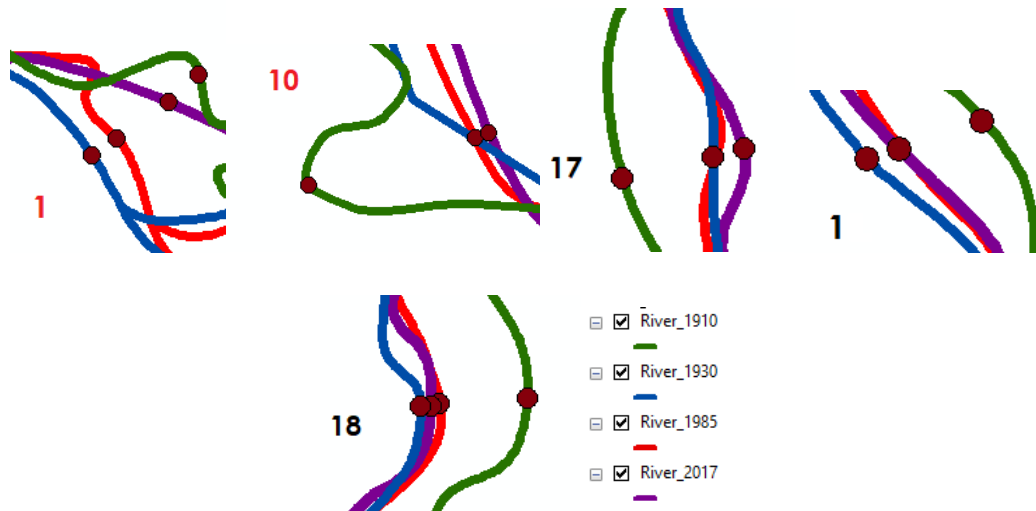


Рис. 3.19 Збільшені фрагменти русел лівобережних приток з деталізацією максимальних змін

Специфіка геологічних структур впливає на характер зміщення лівобережних приток, які досягають : Золота Липа – 100-220 м, Збруч – 100-175 м, Стрипа – 150-220 м, Серет – 150-240 м та Смотрич – 200-280 м. Як видно із табл. 3.13 та 3.14, порівняно із правобережними притоками Дністра горизонтальні зміщення є в 2-3 рази меншими.

В деяких місцях річки Золота Липа зауважено, що проводились меліоративні роботи і русло випрямляли. Проведено у річці в цих місцях канали, особливо багато

у радянський період. Теж видно на рис.3.20, що є загроза підмиву залізничної колії, адже русло зміщується в сторону колії.



Рис.3.20 Збільшений фрагмент з оцифрованими руслами на ділянках проведення меліоративних робіт

Річка Стрипа подібна з іншими лівими притоками не тільки в тому, що проходить в межах Волино-Подільської височини, а і в тому, що на ній проводились меліоративні роботи після 1930 р.. Із аналізу річки, видно місця, де річка сильно змістилась за рахунок цього, адже русло зрегульоване на велику відстань (500-550 м). На рис. 3.21 показано такі місця. Теж річка характерна великими вигинами. Один з вигинів показано на рис. 3.22 в період 1985 року.

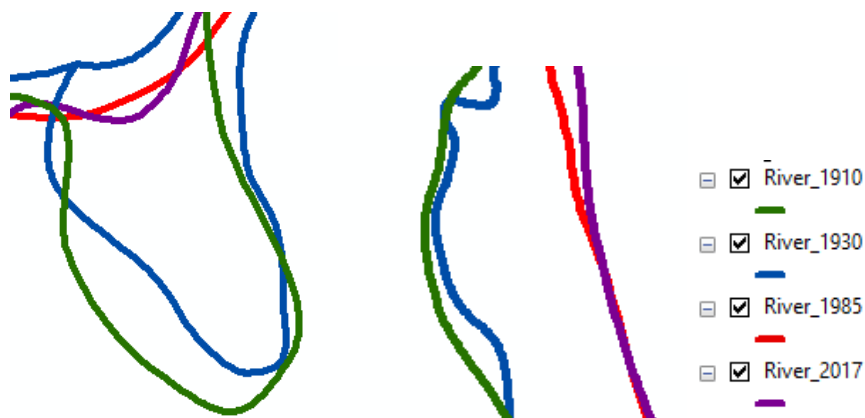


Рис. 3.21 Зміщення за рахунок меліоративних робіт в руслі річки Стрипа



Рис. 3.22 Вигин русла річки Стрипа біля с. Зарваниця (русло 1985 року)

Особливістю та красою річки Смотрич є каньйон. Цей каньйон є геологічною, геоморфологічною та палеонтологічною пам'яткою. Каньйон створений течією річки через товщу Товтр у межах Кам'янця і Кам'янецького району. У каньйоні є особливі оборонно-гідротехнічні споруди (Польська і Руська брами). Під час дослідження, зауважено що в австрійському періоді (1910 р.) не було цього каньйону. Це видно по оцифрованому руслі 1910 року. Уже в польський період каньйон можна побачити. (рис. 3.23) [73]



Рис. 3.23 Каньйон на топографічній карті 1985 року та зображення Смотрицького каньйону [73]

### *Аналіз ґрунтових та геологічних карт лівобережних приток*

Із аналізу карти четвертинних відкладів можна зробити висновок, що у місцях, де протікають ліві притоки Дністра розташовані алювіальні та колювіальні відклади. Літологічний склад характерний наявністю глини, лесових суглинків, щебеню, піскувато-гальковими відкладами. Місцями простежується вихід піщано-галечникових сумішів з рідкими валунами. Вздовж річки трапляється також вихід делювіальних відкладів, представлених супісками та суглинками.

Лівобережні притоки характерні лучними та дерново шаруватими ґрунтами, торфовищами низинними, лучно болотними та темно сірими опідзоленими ґрунтами на алювіальних та делювіальних відкладах, їх механічною основою є леси та лесовидні суглинки, що легко розмиваються. Місцями зустрічаються чорноземи. Виходи порід : сланці, пісковики, конгломерати та ріняки, леси та лесові суглинки, алювій сучасний, елювій щільних карбонатних порід, делювій. (додаток В1)

Четвертинні відклади та ґрунти впливають на доволі стійкий характер русел лівобережних приток.

### 3.3 Стійкість та звивистість правобережних та лівобережних приток Дністра

#### 3.3.1. Дослідження стійкості та звивистості правобережних приток річки Дністер

Досліджено 3 найбільших правобережних притоки Дністра. Це річки : Стрий, Бистриця (притоки Надвірнянська та Солотвинська) і Лімниця. Ці річки, як і Дністер є особливими за своїм характером. Адже, вони проходять в межах Передкарпатського прогину, який формує характер русел цих річок. Кожну річку також було поділено на різні частини за аналізом характеру зміни русла. Для кожної річки було пораховано звивистість та стійкість русла.

Коефіцієнт звивистості русла річки Стрий (табл. 3.14) обчислено за залежностями, наведеними в розд. 1.1.4., вираз (1.1).

Таблиця 3.14

#### Коефіцієнти звивистості русел правобережних приток Дністра

Назва річки	Коефіцієнт звивистості		
	I частина	II частина	III частина
Стрий	1,3	1,2	1,3
Бистриця Надвірнянська	1,16	1,19	1,11
Бистриця Солотвинська	1,03	1,11	-
Лімниця	1,08	1,07	1,06



Використовуючи прийнятий в спеціальній літературі поділ річок стосовно звивистості : відносно прямолінійні -  $<1,1$ , дуже слабо звивисті - 1.10-1.20, слабо звивисті - 1.21-1.40, помірно звивисті -1.41-1.60, звивисті - 1.61-1.80, сильно звивисті - 1.81-2.00, надзвичайно звивисті -  $>2.00$ . (табл. 1.3) розрахунки за виразом (1.1) дають підстави вважати, що : річка Стрий відноситься до категорії слабо звивистої річки, річка Бистриця зі своїми притоками до категорії дуже слабо звивистої, окрім I частини притоки Солотвинської, яка є відносно прямолінійною, як і річка Лімниця. [122]

У табл. 3.16 наведено основні морфометричні характеристики зазначених трьох ділянок русел кожної правобережної притоки річки Дністер, а в табл. 3.17 показані розрахункові показники стійкості русла за виразами, наведеними в першій колонці.

Стійкість оцінено на підставі обрахованих коефіцієнтів з порівнянням їх за критеріями стійкості. Критерії стійкості подані авторами за результатами аналізу різного типу річок (розділ 1.1.4). В [97] вказано, що критерієм стійкості можуть слугувати зміщення русел річок. Аналіз стійкості в дослідженні виконано на підставі порівняння визначених коефіцієнтів стійкості та горизонтальних зміщень. Якщо ці дві величини не узгоджуються, такі результати в таблицях позначено червоним кольором .

Коефіцієнт звивистості може бути одним з показників стійкості лише для ділянок із незначною шириною заплави.

Запропонований критерій для правобережних приток (табл. 3.15), співпадає з горизонтальними зміщеннями русла річки, визначеними за період понад 100 років.

Таблиця 3.15

## Критерій стійкості для правобережних приток річки Дністер

<i>Характеристики стійкості</i>	<i>Показники стійкості</i>
	<i>Правобережні</i>
<i>Стійкі</i>	<i>1-4</i>
<i>Відносно стійкі</i>	<i>4-10</i>
<i>Відносно нестійкі</i>	<i>10-20</i>
<i>Нестійкі</i>	<i>&gt;20</i>

Таблиця 3.16

## Основні морфометричні характеристики кожної правобережної притоки річки Дністер

Морфометричні характеристики	Річка Стрий			Річка Бистриця з притокою Надвірнянська			Річка Бистриця з притокою Солотвинська		Річка Лімниця		
	I	II	III	I	II	III	I	II	I	II	III
Довжина $l$ , км	25	50	18	12	19	39	33	38	21	29	35
Падіння річки $\Delta H$ , м	70	90	8	13 4	163	160	339	193	28 7	191	98
Похил водної поверхні $I$ , м/км	2,8	1,8	0,44	11, 1	8,5	4,1	10,2	5	13, 6	6,58	2,8
Середня ширина русла $B$ , м	40	50	50	10	20	32	10	25	22	40	50
Глибина річки $h$ , м	0,5	0,8	1,0	0,5	1,5	2	0,5	1	0,5	1,0	1,5
Середній діаметр наносів $d$ , мм	50	10	1	50	10	1	50	2	50	10	2
Ширина заплави $B'$ , м	26 5	102 5	147 7	98	420	900	97	800	20 0	100 2	150 0

Таблиця 3.17

## Розрахункові показники стійкості русел правобережних приток

№	Математичні вирази	Критерії стійкості	Річка Стрий			Річка Бистриця з притокою Надвірнянська			Річка Бистриця з притокою Солотвинська		Річка Лімниця		
			I	II	III	I	II	III	I	II	I	II	III
			1	$L = d/l$	2 - <50	17,8	5,5	2,2	4,5	1,1	0,2	4,9	0,4
2	$L_0 = (d/l) \cdot (B/h) \cdot A$ , (A – коефіцієнт ерозії (0,03))	2 - <50	42,7	10,3	3,3	2,7	0,4	0,1	2,9	0,3	4,7	1,8	0,7
3	$K_s = 1000 \cdot (d/B \cdot l)$	6 - >100	446	111	45,4	450	58,8	7,6	490	16	167	38	14,2
4	$\Psi = d/h \cdot l$	1 - 15	35,7	6,9	2,2	9	0,8	0,1	9,8	0,4	7,3	1,5	0,5
5	$G = (\sqrt{B})/h$	18 - 1	12,6	8,8	7	6,3	3	2,8	6,3	5	9,3	6,3	4,7
6	$K_u = \sqrt{(B \cdot d/h)}$	5 - 40	63,2	25	7	31,6	11,5	4	31,6	7	46,9	20	8
7	$K_r = (d \cdot B)/(h \cdot l)$	30 - 1500	1428	347	113	90	15,7	4	98	10	161,7	60,7	23,8
8	$K = (B'/B) \cdot k$	100 - 1	6,6	20,5	29,5	9,8	21	28	9,7	32	9	25	30
	Максимальні зміщення, м		100-150	500-600	900-1100	50-100	400-500	300-550	150-250	280-570	70-250	500-600	300-500

Червоним кольором в табл. 3.17 виділено обчислені значення коефіцієнтів стійкості, які не відповідають загальній характеристиці стійкості ділянки русла. Зеленим кольором зазначено середню ширину багаторукавності другої частини правобережних приток. З аналізу випливає, що вираз 5 для всіх приток, окрім притоки річки Бистриці Солотвинської не відповідає обрахованим критеріям стійкості. Математичний вираз 3 для II частини річки Стрий теж не відповідає критерію стійкості. Вирази 1,2,4,6,7 відповідають критерію. Що стосується запропонованого виразу 8, то він дає оптимальні результати для розрахунку стійкості русел правобережних приток річки Дністер.

### 3.3.2. Дослідження стійкості та звивистості лівобережних приток річки Дністер

Усі лівобережні притоки Дністра відрізняються від правобережних не тільки геологічною будовою, а і характером руслового процесу. Адже, ліві притоки характерні і подібні між собою значними вигинами русел, малими зміщеннями, великою кількістю меліоративних робіт у руслах, напрямком течії з півночі на

південь та у входженні в каньйонну частину Дністра. Ці річки є характерні помірною та значною звивистістю русел.

У табл. 3.18 наведено виміри коефіцієнтів звивистості лівобережних приток.

*Таблиця 3.18*

**Коефіцієнти звивистості русел лівобережних приток Дністра**

Коефіцієнт звивистості		
Назва річки	I частина	II частина
Золота Липа	1,00	1,56
Стрипа	1,18	1,46
Серет	1,43	1,51
Збруч	1,36	1,92
Смотрич	1,17	1,92

Лівобережні притоки було поділено на 2 частини при розрахунку звивистості. Горбиста частина цих річок є менш звивистою порівняно з каньйонною. Горбиста частина річки Золота Липа відноситься до категорії відносно прямолінійних через проведені, починаючи з 30-х років гідротехнічні роботи. Горбиста частина річок Стрипа та Смотрич є дуже слабо звивистою, а річок Серет та Збруч є слабо звивистою. Каньйонна частина річок Золота Липа, Стрипа та Серет відноситься до категорії помірно звивистих. Найбільш звивистою є каньйонна частина річок Збруч та Смотрич, яка є сильно звивистою, де зауважено великі вигини русла.

У таблиці 3.20 наведено основні морфометричні характеристики русел кожної лівобережної притоки річки Дністер та у табл. 3.21, показані розрахунки стійкості річок. А у таблиці 3.19 подано запропоновані критерії стійкості для розрахунку за запропонованим виразом 8 (табл. 3.21).

Таблиця 3.19

## Критерій стійкості для лівобережних приток річки Дністер

Характеристики стійкості	Показники стійкості
	Лівобережні
Стійкі	1-10
Відносно стійкі	10-20
Відносно нестійкі	20-40
Нестійкі	>40

Таблиця 3.20

Основні морфометричні характеристики кожної лівобережної притоки річки  
Дністер

Морфометричні характеристики	Золота Липа		Стрипа		Серет		Збруч		Смотрич	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Довжина $l$ , км	23	48	23	80	30	107	30	100	45	85
Падіння річки $\Delta H$ , м	14	55	7	128	19	119	43	106	56	61
Похил водної поверхні $i$ , м/км	0,6	1,14	0,3	1,6	0,6	1,1	1,43	1,06	1,2	0,71
Середня ширина русла, $B$ , м	15	17	18	18	22	50	32	39	16	26
Глибина річки $h$ , м	1	1,5	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Середній діаметр наносів $d$ , мм	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ширина заплави $B'$ , м	32	15	19	9	12	7	16	7	25	10

Таблиця 3.21

## Розрахункові показники стійкості русел лівобережних приток

№	Математичні вирази	Критерії стійкості	Золота Липа		Стрипа		Серет		Збруч		Смотрич	
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
			1.	$L = d/l$	2 - <50	33,3	17,5	66,6	12,5	33,3	18,1	13,9
2.	$L_o = (d/l) \cdot (B/h) \cdot A$ , (A - коефіцієнт ерозії (0,03))	2 - <50	14,9	5,9	35,9	6,7	14,6	18,1	8,8	14,6	5,3	14,6
3.	$K_s = 1000 \cdot (d/B \cdot l)$	6 - >100	2222	1031	3703	694	1515	363	437	483	1041	1083
4.	$\Psi = d/h \cdot l$	1 - 15	33,3	11,7	66,6	12,5	22,2	12,1	9,3	12,5	11,1	18,7
5.	$G = (\sqrt{B})/h$	18 - 1	3,8	2,7	4,2	4,2	3,1	4,7	3,7	4,1	2,6	3,4
6.	$K_u = \sqrt{(B \cdot d/h)}$	5 - 40	17,3	15	19	19	17	25,8	20,6	22,8	14,6	18,6
7.	$K_r = (d \cdot B)/(h \cdot l)$	30 - 1500	500	198	151	225	488	606	298	490	177	488
8.	$K = (B'/B) \cdot k$	100 - 1	32	15	19	9	12	7	16	7	25	10
Максимальні зміщення, м			150-220	100-220	100-120	150-220	150-240	50-80	100-180	100-170	100-200	100-280

Для лівобережних приток розходження у стійкості між виразами і величинами зміщень зауважено для більшості значень горбистої частини річок Золота Липа, Серет, Збруч та Смотрич. Однак мусимо зауважити, що власне в цій частині річки проводились гідротехнічні роботи. Для каньйонної частини вирази відповідають критерію стійкості.

Запропонований вираз №8 для оцінювання стійкості, за яким враховують ширину заплави річки, узгоджується для лівобережних приток оптимально.

## ВИСНОВКИ ДО 3 РОЗДІЛУ

1. З аналізу досліджень випливає, що правобережні притоки річки Дністер, які проходять через Скибовий покрив Українських Карпат, з однорукавного русла в гірській частині перетворюються на багаторукавні в передгірській її частині, та річки із значним меандруванням і горизонтальними зміщеннями в рівнинній частині приток. Лівобережні притоки річки Дністер перетинають Волино-Подільську плиту і характерні значною звивистістю, однорукавністю і втричі меншими горизонтальними зміщеннями. Напрям русел в багатьох випадках контролюється тектонічними елементами – розломами та тріщинами. В зовнішній

зоні Передкарпатського прогіна напрям русел часто зумовлений літологічними особливостями, що особливо характерно для річки Стрий.

2. Аналіз правобережних приток свідчить, що горизонтальні зміщення залежні від умов протікання руслового потоку. За характером зміщення їх поділено на 3 частини. Стрий на : гірську, передгірську та рівнинну, а Лімницю і Бистрицю на : гірську, горбисту з болотистою рівниною та рівнинну. Річка Стрий характерна звивистістю, багаторукавністю та значними зміщеннями у рівнинній частині. Лімниця та Бистриця теж характерні багаторукавністю, але порівняно меншою, ніж річка Стрий. Максимальні зміщення русел : р. Стрий – в межах 1200 м, р. Лімниці – в межах 490 м, р. Бистриці – в межах 580 м. Інші частини правобережних приток характерні багаторукавністю та переплетеністю, ширина багаторукавності становить за картами 1886-1910 року від 600-1500 м, за картами 1989 року ширина багаторукавності звузилась і становить до 500 м, у 2000-2014 роках русла стають однорукавними, за винятком однієї частини річки Бистриці.

3. Проаналізовано лівобережні притоки Дністра. Їх відповідно поділено залежно від звивистості на 2 частини : горбисту і каньйонну. Характер зміщень лівобережних приток відрізняється від характеру правобережних. Вони характерні значною звивистістю і в той же час – меншими зміщеннями. Максимальні зміщення – 240 м (р. Серет) та 280 м (р. Смотрич) в деяких точках.

4. Доведено що, із проаналізованих виразів, які застосовують для оцінювання стійкості правобережних та лівобережних приток річки Дністер, які належать до різного типу геологічних структур, доцільно застосовувати вирази 6 та 8.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні чинники змін руслових процесів річки Дністер та його приток, методи їх виявлення та фіксації.
2. Вперше запропоновано визначати горизонтальні зміщення річок за довгостроковий період на підставі концептуальної моделі, підставою якої слугують топографічні карти, космічні зображення, знімки з БПЛА, спеціальні геологічні та ґрунтові карти з опрацюванням матеріалів з використанням геоінформаційних систем.
3. Досліджено вплив геологічних структур на характер горизонтальних зміщень річки Дністер та його приток. Особливістю річки Дністер є те, що частина річки та її правобережні притоки протікають через Скибовий покров Українських Карпат, внутрішню і зовнішню зону Передкарпатського прогину. На другу частину Дністра та його лівобережні притоки має вплив Волино-Подільська височина.
4. Визначено параметри переходу для різних картографічних проєкцій та точність трансформації топографічних карт Галичини австрійського та радянського періодів за допомогою спрощених формул Молоденського .
5. Проаналізовано горизонтальні зміщення річки Дністер та його лівобережних та правобережних приток за 100-140 літній період, встановлено, що максимальне зміщення русла річки Дністер спостерігається на ділянках рівнинних і становить від 600 до 1050 метрів. Гірські та каньйонні ділянки мають порівняно незначні зміщення, що в деяких районах досягають відповідно 300 і 350 метрів. Максимальні зміщення правобережних приток : р. Стрий – в межах 800-1200 м, р. Лімниці – в межах 400-490 м, р. Бистриці – в межах 500-580 м. В деяких точках максимальні зміщення лівобережних приток досягають : Золота Липа – 100-220 м, Збруч – 100-175 м, Стрипа – 150-220 м, Серет – 150-240 м та Смотрич – 200-280 м.
6. Вперше проаналізовано математичні вирази та критерії для визначення стійкості річок, запропоновані різними авторами. Здійснено порівняльний аналіз



запропонованих критеріїв стійкості із визначеними горизонтальними зміщеннями річки Дністер та його приток. Виявлено деякі неузгодження цих двох критеріїв. Запропоновано вираз для визначення стійкості із урахуванням ширини заплави та ширини річки.

7. З метою оперативного прогнозування підтоплення земель та впливу руслових процесів на гідротехнічне будівництво застосовано методику побудови ЦМР з використанням БПЛА для ділянки річки із ускладненим меандруванням.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексеевский Н. И. Русловые процессы в устьях рек с большим стоком наносов (на примере р. Терек). / Н. И. Алексеевский. – Москва: МГУ, 1981. – 25 с.
2. Акулов В. М. Обґрунтування можливості застосування безпілотних літаків для моніторингу території України під час весняних повеней / В. М. Акулов, О. В. Кулаков, Ю. М. Райз, В. С. Хоменко. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2018. – №11. – С. 3–8.
3. Аристов М. Применение данных космических съемок в инженерной геологии и геодинамике / М. Аристов. // Геопрофиль. – 2010. – №2. – С. 26–33.
4. Бабич М. Я. Водогосподарсько-екологічне районування басейну Дністра за рівнем антропогенного навантаження / М. Я. Бабич. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2008. – №15. – С. 151–157.
5. Байрак Г. Р. Дистанційні дослідження Землі / Г. Р. Байрак. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Франка, 2010. – 712 с.
6. Байрак Г. Р. Різночасові та сучасні дослідження активності руслових процесів на Верхньобескидській ділянці Дністра / Г. Р. Байрак. // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – №66. – С. 216–225.
7. Байрак Г. Р. Сучасні руслові процеси і динаміка русла р. Тиси на ділянці перетину Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма / Г. Р. Байрак. // Фізична географія та геоморфологія. – 2011. – №62. – С. 45–54.
8. Басейн річки Дністер. Фізико-географічні умови формування стоку. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://dpbuivr.org.ua/page,1, dnister.html>.

9. Барановський В. А. Екологічні проблеми природних вод та їх картографування / В. А. Барановський. // Екологічний вісник. – 2004. – №3. – С. 4–7.
10. Барышников Н. Б. Антропогенное воздействие на русловые процессы / Н. Б. Барышников. – Ленинград: ЛГМИ, 1990. – 140 с.
11. Барышников Н. Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н. Б. Барышников, И. В. Попов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 456 с.
12. Беркович К. М. Оценка устойчивости русел рек Европейской России и ее оценка в связи с антропогенными нагрузками на реки и их бассейны / К. М. Беркович, А. Ю. Сидорчук. // Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. – 1996. – С. 1–11.
13. Беркович К. М. Русловой режим рек Северной Евразии / К. М. Беркович, Р. С. Чалов, А. А. Зайцев. – Москва: Географический факультет МГУ, 1994. – 336 с.
14. Белятинський А. Оцінка наслідків катастрофічних повеневих ситуацій та їх прогнозування засобами ГІС [Електронний ресурс] / А. Белятинський – Режим доступу до ресурсу: <http://er.nau.edu.ua/>.
15. Біланюк В. І. Практикум із загальної гідрології / В. І. Біланюк. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Франка, 2004. – 60 с.
16. Боровков В. С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях / В. С. Боровков. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 285 с.
17. Бриллиантов А. Н. Данные ДЗЗ для мониторинга русловых процессов и диагностики технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов / А. Н. Бриллиантов, А. В. Глотко, Г. Д. Жуков, И. Н. Каргаполова. // Геоматика. – 2009. – №1. – С. 66–70.

18. Брусак В. Геоморфологія. Сучасні екзогенні процеси / В. Брусак. // Проект організації території природного заповідника «Розточчя». – 2004. – С. 26–36.
19. Бубняк І. Про природу Стрийського юрського прогину / І. Бубняк, А. Бубняк. // Праці НТШ Т 1. Геологія, геофізика, хемія, біохемія, матеріалознавство, механіка матеріалів. – 1997. – С. 69–72.
20. Бурштинська Х.В. Аерокосмічні знімальні системи / Х.В. Бурштинська, С.А. Станкевич // Навч. посібник. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. - 292 с.
21. Бурштинська Х. В. Використання лазерного сканування для моделювання об'єктів гідрографії земної поверхні / Х. В. Бурштинська, А. В. Бабушка, В. М. Шевчук // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки GEO-UA 2008: матеріали доповідей Першої Всеукраїнської конференції з запрошенням закордонних учасників (3-5 червня 2008р., м. Київ). – 2008. – С. 16–20.
22. Бурштинська Х. В. Дослідження горизонтальних зміщень частини річки Дністер з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технології / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк, М. К. Галочкін // Геодинаміка. – 2017. – №2. – С. 14–24.
23. Бурштинська Х. В. Дослідження зміщень русла ріки Тиса за космічними зображеннями / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк // Національне картографування: картографічні твори у пізнанні розвитку регіону. – 2016. – С. 142-147.
24. Бурштинська Х. В. Дослідження меандрування ріки Дністер з використанням геоінформаційних технологій / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк, В. М. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2017. – №1. – С. 131–138.

25. Бурштинська Х. Методика побудови цифрових моделей рельєфу для розв'язання гідрологічних задач / Х. Бурштинська, А. Гукасов. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2005. – С. 263–267.
26. Бурштинська Х. В. Застосування ГІС-технологій для визначення динаміки гідрологічних змін рік / Х. В. Бурштинська. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2003. – С. 205–210.
27. Бурштинська Х.В. Методика дослідження зміщень русла ріки Дністер/ Х.В. Бурштинська, В.М. Шевчук // Видавництво Львівської політехніки. - 2012. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [vlp.com.ua/node/10111](http://vlp.com.ua/node/10111)
28. Бурштинська Х.В. Моніторинг деформаційних процесів русел рік / Х.В. Бурштинська, О. Маланій, В. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – 2010. – Випуск I (19) – С. 216–226.
29. Бурштинська Х.В. Моніторинг змін русла річки Стрий з використанням ГІС технологій / Х.В. Бурштинська, С.К. Третяк, В.М. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. - Випуск I (35). - С. 138-146.
30. Бурштинська Х. Моніторинг руслових процесів та повеневих явищ ріки Дністер за космічними зображеннями / Х. Бурштинська, Л. Мовчко, В. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Випуск I (29). – С. 124-128.
31. Буров В. С. Тектоника Украинских Карпат (Объяснительная записка к тектонической карте Украинских Карпат м-ба 1:200000) / В. С. Буров, Б. И. Вишняков, В. В. Глушко // К.: Укр. науч.-исслед. геологоразв. ин-ут. - 1986. – С. 152.

32. Бухін М. Н. Морфометричні характеристики русел передгірних ділянок річок Українських Карпат / М. Н. Бухін // Природні умови та природні ресурси Українських Карпат. – К.: Наукова думка. – 1968.
33. Вадімов В. М. Екосистемні передумови районування прирічкових територій України на основі басейнового підходу [Електронний ресурс] / В. М. Вадімов – Режим доступу до ресурсу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/dprmu/2009\\_17/5\\_Vadimov\\_Vadimova.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/dprmu/2009_17/5_Vadimov_Vadimova.pdf).
34. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. / М.А. Великанов // М.: Гостехиздат. – Наносы и русло. – № 2. – 1955. – С. 324.
35. Великанов М.А. Русловой процесс / М.А. Великанов // М.: Госфизматиздат. – 1958. – С.104.
36. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання. / В. І. Вишневський // К.: Віпол. – 2000. – С. 376.
37. Вишневський В. І. Гідрологічні характеристики річок України / В. І. Вишневський, О. О. Косовець. // К.: Ніка-Центр. – 2003. – С. 324.
38. Власов Д.Т. О деформациях излучин свободномееандрирующих рек ( на примере р. Десни) / Д.Т. Власов // Труды ГГИ. – 1977. – № 242.- С. 3-14.
39. Волчек А. Розрахунок затоплення території для системи моніторингу і прогнозування паводку / А. Волчек, Д. Костюк, Д. Петров, Н. Шешко // Електроніка та інформаційні технології. – 2012. – Випуск №2 – С. 178-183.
40. Водний кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР) [Електронний ресурс]. – 1995. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80/page>.
41. Вялов О.С. История геологического развития Украинских Карпат / О. С. Вялов, С. П. Гавура, В. В.Даньш // К.: Наук. думка. – 1981. – 178 с.

42. Волосецький Б. І. Вивчення динаміки долинно-руслених морфоутворень рік Карпатського регіону / Б. І. Волосецький, В. М. Зубач // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – 2008. – Випуск I (15) – С. 223–231.
43. Волосецький Б. І. Дослідження перенесення гравійно-галькових мас у руслі р. Стрий за даними геодезичного моніторингу / Б. І. Волосецький, Т. Г. Шпирналь // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2013. – Випуск 77. – С. 115–121.
44. Волошкіна О. С. Наукове обґрунтування прогнозу стану річкових басейнів України і методи його оцінки [Електронний ресурс] / О. С. Волошкіна – Режим доступу до ресурсу: [www.disslib.org](http://www.disslib.org).
45. Габчак Н.Ф. Сучасний прояв руслових процесів та специфіка протипаводкового захисту господарських об'єктів у басейні Тиси в межах Закарпатської області / Н.Ф. Габчак // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: географія. - Тернопіль. - №3. - 2004.- С.36-42
46. Гаврилишин В. И. Стратиграфическое подразделение меловых отложений платформенной части запада Украины / В. И. Гаврилишин, С. И. Пастернак, С. В. Розумейко // Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых. – Львов. – 1991. – С. 52.
47. Герасимова І. Геологічна будова Розділ-Жидачівського валоподібного підняття та його відображення в сучасному рельєфі / І. Герасимова, В. Петришин // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 2010. – Вип. 38. – С. 77-84.
48. Геращенко М.Н. Исследования русловых деформаций р.Случь у г.Сарны / Тр. Укр. регион. НИИ. – 1983. – № 194. – С. 636.

49. Геренчук К.І. Геоморфологічні райони. Зовнішні Карпати / К.І. Геренчук // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : [http://geoknigi.com/book\\_view.php?id=657](http://geoknigi.com/book_view.php?id=657)
50. Гідрологія. Сколівські бескиди [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <http://skole.org.ua/gidrologia.html>
51. Глотов В. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата / В. Глотов, А. Церклевич, О. Збруцький, В. Колісніченко, О. Прохорчук, Р. Карнаушенко, В. Галецький // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Наук. Збірник. – 2014.- Випуск I (27) - С.131-137.
52. Глотов В. Порівняльний аналіз сучасних методів опрацювання великомасштабних планів / В. Глотов, А. Гуніна // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Геодезія, картографія і аерофотознімання”. - Вип. 83. – 2016. – С. 53-63.
53. Гопцій М.В. Обґрунтування характеристик схилового припливу дощових паводків на річках Карпат / М.В. Гопцій // Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення» : Збірник наук. праць. – Київ, 2016 - С. 19-21.
54. Горбачова Л. О. Сучасні пріоритети та напрямки гідроекологічних досліджень річкових басейнів / Л. О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2006. – Том 11. – С. 338–341.
55. Горішний П. Горизонтальні деформації нижньої течії русла річки Стрий у 1896–2006 рр. / П. Горішний // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій. - 2014. - 2014. - С. 68-74. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeomorpal\\_2014\\_2014\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeomorpal_2014_2014_10)
56. ГОСТ Р 51794-2008 Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек



- [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті :  
<http://docs.cntd.ru/document/1200073046>
57. Громадсько-екологічна організація "Еко-Довкілля". Річкова мережа Жидачівщини. Стрий [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті:  
<http://eko.civicua.org/WATER/p2.htm>.
58. ДБН В.1.1-25-2009. «Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення» // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:  
[https://www.standartpark.ua/upload/laws/dbn\\_v11\\_24\\_2009.pdf](https://www.standartpark.ua/upload/laws/dbn_v11_24_2009.pdf)
59. ДБН В. 2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:  
<http://proxima.com.ua/dbn/articles.php?clause=900>
60. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики" від 23 жовтня 2000 року.
61. ДИРЕКТИВА № 2007/60/ЕС Европейского парламента и Совета ЕС об оценке и управлении рисками, связанными с наводнениями. – Страсбург. - 2007.
62. Добровольский А.Д. Гидрология / А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов, В.Н. Михайлов // Высшая Школа. – Москва. – 2007. – С. 463.
63. Дронова А. Методика моніторингу гідрографічних об'єктів аерокосмічними методами (на прикладі р. Тиса) [Електронний ресурс]. - Режим доступу до статті:  
<http://ena.lp.edu.ua:8080/xmlui/handle/ntb/14962?show=full&locale-attribute=uk>
64. Дубіс Л., Кузьо Н. Типи русла річки Бистриця Надвірнянська / Л. Дубіс, Н. Кузьо // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій. – Львів – № 1 (06) . – 2016. – С. 275-291.
65. Жидачівське управління водного господарства. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://zuvg.lviv.ua/>

66. Закон України « Про внесення змін до Водного і Земельного кодексів України щодо прибережних захисних смуг» . – [Електронний ресурс]. –Режим доступу до статті : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/2740-17/print1316671407931584>
67. Заяць І. Дослідження зміщень русла ріки Дністер засобами ГІС-технологій / І. Заяць, С. Третяк, І. Радзій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2018. – Вип. II (36) . – С. 106-114.
68. Збруч найкраща річка Поділля. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <http://www.tarnoruda.org.ua/zbruch-najkrashha-richka-podillya/>
69. Зруйнований міст біля села Устеріки Верховинського району. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до фото : [http://lesovod.blogspot.com/2018/07/blog-post\\_88.html](http://lesovod.blogspot.com/2018/07/blog-post_88.html)
70. Зруйнований міст від повені. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до фото : <https://www.unian.ua/society/132948-v-rezultati-stihiji-na-zahodi-ukrajini-zaginuli-vje-7-lyudey-fotoreportaj.html>
71. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) // Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 56 від 09.04.98 р. (в редакції від 27.07.99 р.).
72. Іщук О. О. Прогнозування й оцінка наслідків екстремальних повеневих ситуацій засобами просторового аналізу ГІС / О. О. Іщук, Є. С. Середінін // Вісник геодезії та картографії. – 2000. – № 2. – С. 37–42.
73. Каньйон річки Смотрич. – [Електронний ресурс]. –Режим доступу до статті : <http://andy-travel.com.ua/kanyon-richky-smotrych>
74. Кирилюк М.І. Гідролого–руслознавчий словник–довідник / О.В. Кирилюк, С.М. Кирилюк // Чернівецький нац. ун–т. – 2013. – 52 с.

75. Кирилюк М.І. Еколого-гідроморфологічна оцінка басейну річки Гуків для цілей сталого розвитку / О. В. Кирилюк, С. М. Кирилюк // Географія та туризм. - 2011. - Вип. 15.
76. Кирилюк М. І. Режим формування історичних паводків в Українських Карпатах / М. І. Кирилюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2001. – Том 2. – С.163–167.
77. Кирилюк О. В. Обґрунтування проведення моніторингу руслових процесів для оцінки ступеню стійкості русел малих річок / О. В. Кирилюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2006. – Том 11. – С. 142–148.
78. Клапоушак О. І. Забезпечення екологічної безпеки доквілля шляхом моніторингу рівня паводкових вод / О. І. Клапоушак // Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ. – 2015. – С. 20.
79. Клапчук Т.В. Морфоструктури гірської частини басейну Бистриці Надвірнянської / Т.В. Клапчук // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <http://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/01/07-Klapchuk.pdf>
80. Коваленко Л.Б. Динаміка гідрологічного та гідрохімічного режимів на ділянці середнього та нижнього Дністра / Л.Б. Коваленко // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук. – Одеський гідрометеорологічний інститут. – Одеса. – 2000. – С. 15.
81. Коваленко Л. Б. Некоторые особенности гидрохимического режима р. Днестр на участках с активными инженерными сооружениями / Л. Б. Коваленко // Метеорология, климатология и гидрология. – 2000. – Вып. 41. – С. 3–8.
82. Коваль Я. В. Катастрофічні паводки в Карпатах і напрямки запобігання їм / Я. В. Коваль // РВВ НЛТУ України. – 2008. – Випуск 6. – С. 47–50.
83. Ковальчук І.П. Актуальні питання динамічної геоморфології Українських Карпат / І.П. Ковальчук // Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій. - 2014. - С. 89-97.

84. Ковальчук І.П. Гідролого-геоморфологічні процеси в Карпатському регіоні України / І. П. Ковальчук // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. — 2003. — Т. XII: Екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського регіону. — С. 101-125.
85. Ковальчук І. Моделювання паводків у долині верхнього Дністра / І. Ковальчук, А. Михнович // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. — 2008. — Т. XXIII: Екологічний збірник. Дослідження біотичного й ландшафтного розмаїття та його збереження. — С. 293-312.
86. Ковальчук І. П. Оцінка трансформації гідрологічного режиму Дністра та ризику екстремальних паводків / І. П. Ковальчук, А. В. Михнович // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. — 2002. — Том 3. — С. 71–81.
87. Козловський Б. І. Екологічні аспекти проходження повеней і паводків у Карпатському регіоні України / Б. І. Козловський, Й. М. Білоус, Н. Є. Когут // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. — 2000. — Том 1. — С. 137–141.
88. Козловський М. Комплексні екологічні дослідження у басейні р. Дністер / М. Козловський, Й. Царик // Збірник наукових праць. — 2000. — 214 с.
89. Кондратьев Н.Е. Основы гидроморфологической теории русловых процессов / Н.Е. Кондратьев, И.В.Попов, Б.Ф. Сниценко // Гидрометеоиздат. — 1982. — С. 272.
90. Кондратьев А. Н. Причины образования извилистости: меандрирование рек и других природных потоков / А. Н. Кондратьев // Известия АН. Серия Географическая. — 2000. — № 4. — С. 42–44.
91. Коноваленко О. С. Аналіз інтенсивності горизонтальних руслових деформацій на гірських річках Закарпаття / О. С. Коноваленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. — 2006. — Том 11. — С. 153–158

92. Коротун І. М. Прикладна геоморфологія. / І. М. Коротун // Українська держ. академія водного господарства. – Рівне. – 1996. – С. 132.
93. Косик Л. З. Історії вивчення сучасних морфодинамічних процесів за результатами стаціонарних і напівстаціонарних досліджень / Л. Косик // Історія української географії. Всеукраїнський науково-теоретичний часопис. – 2007. – Випуск 1 (15).
94. Космічні дані супутника GeoEye-1 / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://www.geoeye.com>.
95. Костюк О.В. Геолого-геоморфологічні особливості басейну річки Серет / О.В. Костюк // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - 2013. - Вип. 1. - С. 61-63.
96. Кравчук Я. С. Геоморфологія Передкарпаття / Я. С. Кравчук // Меркатор. – 1999. - С. 188.
97. Крыленко И.В. Оценка устойчивости русел горных рек / И.В. Крыленко, Е.В. Дзагания, В.В. Крыленко, В.И. Крыленко // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://www.proza.ru/2011/07/06/225>
98. Крыленко И.В. О типизации антропогенных воздействий на русла, поймы и водосборные бассейны горных рек / И.В. Крыленко, В.И. Крыленко, Е.В. Дзагания // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: [www.proza.ru/2011/07/06/236](http://www.proza.ru/2011/07/06/236)
99. Крошкин А.Н. К определению гидроморфологических характеристик и средней весовой концентрации влекомых наносов на горных реках / А.Н. Крошкин // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука. – 1970. - С. 111-119.
100. Липистій О.В. Дослідження мінімального стоку річок басейну Дніпра / О.В. Липистій, Г.В. Діденко // Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті

- екологічних викликів сьогодення» : Збірник наук. праць. – Київ, 2016 - С. 39-41.
101. Лобанов А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов // Москва: Недра, 1984. - С. 552.
102. Лохтин В. М. Река Днестр, её судоходство, свойства и улучшение / В. М. Лохтин // Одесса. - 1996. – С. 119.
103. Лохтин В.М. О механизме речного русла / В. М. Лохтин // Казань. - 1885. - С. 76.
104. Лук'янець О. І. Методично-технологічна схема оцінювання оптимальних параметрів басейнової прогностичної системи / О. І. Лук'янець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2005. – Том 7. – С. 40–48.
105. Львівське обласне управління водних ресурсів «Аналітична довідка щодо проходження дощового паводку 15-18 травня 2014 року». – Львів. -2014.
106. Львович М.И. Опыт классификации рек России / М.И. Львович // Труды ГГИ. – № 6. – 1938. - С. 209-217.
107. Макаревич А.А. Речной сток и русловые процессы / А.А. Макаревич // Минск : БГУ. – 2016. – С. 12.
108. Маккавеев Н.И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки / Н.И. Маккавеев // Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова . – 1998 – С. 293.
109. Маккавеев Н.И. Ерозия почв и русловые процессы / Н.И. Маккавеев // Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова . – 2010 – Выпуск 17 - С. 291.
110. Маккавеев Н.И. Общие закономерности эрозионно-русловых / Н.И. Маккавеев // Гидрометеиздат. – 1976. – С. 8-12.
111. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н.И. Маккавеев // Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова . – 1955 – С. 353.

112. Мартин А.Г. Проблеми землевпорядного забезпечення формування водоохоронних зон / А.Г. Мартин // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: [http://www.myland.org.ua/userfiles/file/agmartyn\\_wpzones.pdf](http://www.myland.org.ua/userfiles/file/agmartyn_wpzones.pdf)
113. Михнович А. В. Аналіз мережі моніторингу поверхневих вод у Львівській області / А. В. Михнович // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2006. – Вип. 33. – С. 253–260.
114. Михнович А.В. Еколого-геоморфологічні дослідження верхньої частини сточища Дністра з використанням ГІС-технологій / А. В. Михнович // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.04 – геоморфологія і палеогеографія. Львівський національний університет імені Івана Франка. – Львів. – 2004.- С. 30.
115. Моделювання техногенно - небезпечних ситуації з використанням даних дистанційного зондування землі / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=3&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=3&table=news)
116. Мудра К.В. Історія гідрологічних досліджень басейну річки Дністер / К.В. Мудра // Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення» : Збірник наук. праць. – Київ. – 2016 - С. 49-51.
117. Назаров Н.Н. Морфодинамические изменения русла Верхней Камы / Н.Н. Назаров, Е.С. Черепанова // Биология. Науки о земле. Вестник удмуртского университета. – 2011. - Вып. 4. – С. 119-126.
118. Назаров Н.Н. Русловые процессы и морфолитогенез ложа водохранилищ / Н.Н. Назаров // Географический вестник. – 2009. – Вип. 1 – С. 10-16.
119. Настюк М.Г. Деякі особливості руслоформування річок басейнів Прута і Сірету за даними експедиційних досліджень та гідрологічних спостережень / М.Г. Настюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. –2010.- Том 4 (21). – С. 41-49.

120. Никольский Д.Б. Современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании Земли / Д.Б. Никольский // Геопрофи. — 2008. — № 4. — С.19–24.
121. Ободовський О. Г. Аналіз руслових процесів та рекомендації щодо управління руслозаплавним комплексом на передгірно-рівнинній ділянці р. Тиси / О. Г. Ободовський, В. В. Онищук, О. Є. Ярошевич // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2005. – Том 7. – С. 69 –88.
122. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський // К.: Ніка-Центр. – 2001. – 274с.
123. Ободовський О. Г. Горизонтальні руслові деформації з руслоформуючими факторами / О. Г. Ободовський // Водне господарство України. - 1997. - № 4.- С.11-12.
124. Ободовський О. Г. Оцінка екологічно необхідного стоку (на прикладі річок басейна Дніпра) / О. Г. Ободовський // II Вісник КУ. Географія. - К.: Київський ун-тет. – 1997. – Вип. 42. – С. 57-61.
125. Ободовський О. Г. Оцінка стійкості русел річок Середнього та Нижнього Придніпров'я / О. Г. Ободовський // Меліорація і водне господарство. - 1997.- № 84. - С. 131-137.
126. Ободовський О. Г. Оцінка стійкості русел річок Українського Полісся / О. Г. Ободовський // Вісник КУ. Географія. - К.: Київський ун-тет. - 1995. - № 41. - С. 142-151.
127. Ободовський О. Г. Руслові процеси. / О. Г. Ободовський // К., РВЦ "Київський університет" . - 1998. - 134 с.
128. Ободовський О. Г. Руслоформуючі витрати та класифікація паводків на гірських річках / О. Г. Ободовський, В. В. Онищук, О. С. Коноваленко // Вісник Київського Університету. Географія. – Вип. 48. – С. 42–47.



129. Ободовський О. Г. Співставлення крупномасштабних картографічних матеріалів для виявлення інтенсивності горизонтальних руслових деформацій річок басейну Дніпра / О. Г. Ободовський // Картографія та вища школа. – Київський ун-тет. - 1996. - С. 13-14.
130. Ободовський Ю. О. Гідроморфологічна оцінка екологічного стану річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) / Ю. О. Ободовський, В. К. Хільчевський, О. Г. Ободовський, О. С. Коноваленко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2016. - № 4. - С. 38-53.
131. Ободовський Ю. О. Руслові процеси річок верхньої частини басейну Тиси (в межах України) / Ю. О. Ободовський // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2013. - № 4 (31). - С. 25-35.
132. Оцінка горизонтальних руслових деформацій та стійкості русел малих і середніх річок басейну Дніпра / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <http://earthpapers.net/otsenka-gorizontalnyh-ruslovyh-deformatsiy-i-ustoychivosti-rusel-malyh-i-srednih-rek-baseyna-dnepra-v-predelah-ukrainy#ixzz48iEH44Sj>
133. Паздрій І. Використання геоінформаційних систем для зображення рельєфу земної поверхні / І. Паздрій, Ю. Білінський // Вісник Львівського університету. Серія географічна. – 2006. – Вип. 33. – С. 301–309.
134. Пазинич В.Г. Антропогенна активізація процесів зсування на території Києва Дніпра / В.Г. Пазинич, В.В. Стецюк // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : [http://geografica.net.ua/publ/sattti/statti\\_ukrajinskikh\\_naukovciv/rezultati\\_radiovu\\_gleceвого\\_datuvannja\\_kodackogo\\_pokhovanogo\\_runtu\\_z\\_balki\\_sazhavki\\_stari\\_kodaki/82-1-0-1070](http://geografica.net.ua/publ/sattti/statti_ukrajinskikh_naukovciv/rezultati_radiovu_gleceвого_datuvannja_kodackogo_pokhovanogo_runtu_z_balki_sazhavki_stari_kodaki/82-1-0-1070)
135. Пазинич В.Г. Періодичність катастрофічних повеней в басейні Дніпра / В.Г. Пазинич // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті :

- [http://geografica.net.ua/publ/sattti/statti\\_ukrajinskih\\_naukovciv/pazinich\\_v\\_g\\_peri\\_odichnist\\_katastrofichnikh\\_povenej\\_v\\_basejni\\_dnipra/82-1-0-1025](http://geografica.net.ua/publ/sattti/statti_ukrajinskih_naukovciv/pazinich_v_g_peri_odichnist_katastrofichnikh_povenej_v_basejni_dnipra/82-1-0-1025) .
136. Паламарчук М.М. Водний фонд України / М.М. Паламарчук, Н .Б. Закорчевна // К.: Ніка-Центр. – 2001. - С. 392.
137. Паланичко О.В. Аналіз природних факторів формування стоку води та наносів в басейні річки Бистриці Солотвинської / О.В.Паланичко // Матеріали четвертої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні наукові досягнення - 2008» (1-14 лютого 2008 року). - № 15.
138. Паланичко О.В. Аналіз стану річкових природньо-антропогенних систем Передкарпаття (в межах України) в результаті дії паводків / О.В. Паланичко, Ю.С. Ющенко // Геополітика и екогеодинаміка регіонів. Наук. Збірник. – 2014. – Том 10 (1). – С. 788-794.
139. Пархісенко Я. Прогнозування та оцінка наслідків надзвичайних паводкових ситуацій / Я. Пархісенко // Природний камертон. Природа. Людина Суспільство. Видання УІНСіР при Раді національної безпеки і оборони України. – 18-22 лютого 2002р. – № 3. – С. 18–21.
140. Пахомова О.М. Гидролого-морфодинамические характеристики русел рек и порядковая структура речной сети /[Електронний ресурс]. – Режим доступу до автореферату : <http://www.dissercat.com/content/gidrologo-morfodinamicheskie-kharakteristiki-rusel-rek-i-poryadkovaya-struktura-rechnoi-seti>
141. Пендерецький О. В. Дослідження водних стоків р. Дністер і прогнозування її паводків / О. В. Пендерецький // Методи та прилади контролю якості. – 2008. № 20. - С. 93 – 97.
142. Петухова Л.Н. Методы изучения русловых процессов на реках Удмуртии / Л.Н. Петухова // Теоретические и практические проблемы развития современной науки: сборник материалов 12-й международной науч.-практ.

- конф., (г. Махачкала, 27 ноября, 2016 г.). – Махачкала: Издательство «Апробация». – 2016. – С. 137-139.
143. Пилипович О. В. Еколого-геоморфологічний моніторинг басейнових систем верхнього Дністра / О. В. Пилипович // Дис. канд. геогр. наук: 11.00.04. – Львівський національний ун-т ім. Івана Франка. —2007. — С. 262.
144. Повені в Карпатському регіоні. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <http://www.lesovod.org.ua/node/2298>
145. Попов И.В. Загадки речного русла / И.В. Попов // Гидрометеиздат. — 1977. — С. 168.
146. Попов И.В. Методологические основы гидроморфологической теории руслового процесса / И.В. Попов // Избранные труды. — СПб. : Издательство ‘НесторИстория’. — 2012. — 304 с.
147. Постанова кабінету міністрів України «Про затвердження Порядку визначення розмірів і меж водоохоронних зон та режиму ведення господарської діяльності в них» // [Електронний ресурс]. –Режим доступу до статті : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/486-96-%D0%BF>
148. Постельняк А.А. Оцінювання точності висот цифрових моделей рельєфу SRTM та ASTER GDEM / А.А. Постельняк // Вісн. геодез. та картогр. - 2013 - № 4 - С. 17-21.
149. Приймаченко Н. В. Становлення і розвиток гідрологічних досліджень у басейні р. Дністер / Н. В. Приймаченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2005. – Том 7.– С. 182–189.
150. Приймаченко Н. В. Залежність максимального стоку дощових паводків у басейні Дністра від орографічних та гідрометеорологічних умов / Н. В. Приймаченко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. –2006. – Том 9. – С. 71–77.

151. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 октября 2014 г. № 432 "Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей" / [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті : <http://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767544.htm>
152. Причина образования извилистости: меандрирование рек и других природных потоков / [Электронный ресурс]. –Режим доступа до статті : <http://www.km.ru/referats/E470CC7D66F24D07B8CFCCD531FF5BE0> .
153. Проект ОБСЕ/ЕЭК ООН: Трансграничное сотрудничество и устойчивое управление бассейном реки Днестр (ноябрь 2015) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті : <https://www.osce.org/ru/ukraine/104060?download=true>
154. Протиповеневі заходи – проблема національної безпеки / Виступ народного депутата України, голови Всеукраїнської екологічної ліги В. А. Толстоухова на Дні Уряду у Верховній Раді України // Екологічний Вісник. – січень–лютий 2003. – № 1–2. – С. 2–5.
155. Резников П.Н. Сток наносов и его проявления в морфодинамике речных русел / П.Н. Резников // [Электронный ресурс]. –Режим доступа до автореферату : <http://earthpapers.net/stok-nanosov-i-ego-proyavleniya-v-morfodinamike-rechnyh-rusel>
156. Ріки та озера Хмельниччини / [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <http://rikutaozerakhmelnychunu.wordpress.com/about>.
157. Річки гірські. Регулювання русел та догляд: ВНД 33-5,5-14-03. – Видання офіційне. – Київ. – 2003. – С 68.

158. Рудько Г.І. Характеристика родовищ валунно-гравійно-піщаних порід у Львівській області та їх вплив на екологічний стан природного середовища / Г.І. Рудько, В.Ю. Петришин // Мінеральні ресурси України. – №1. – 2014. – С. 39-47.
159. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М. М. Биченок, С. П. Іванюта, Є. О. Яковлєв // Інститут проблем нац. безпеки Ради нац. безпеки і оборони України. – Київ – 2008. – С. 160.
160. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек / Н.А. Ржаницын // Л.: Гидрометеоздат. – 1985. – С. 264.
161. Ромащенко М. І. Протиповеневі водосховища – важливий спосіб регулювання повеней у Карпатах / М. І. Ромащенко, Д. П. Савчук // УААН; Інститут гідротехніки і меліорації. – К.: Аграрна наука. – 2001. – С. 25.
162. Ромащенко М. Водні стихії, Карпатські повені, статистика, причини, регулювання / М. Ромащенко, Д. Савчук, О. Решетова // К.: Аграрна наука. – 2002. – С. 304.
163. Россинский К.И. Речные наносы / К.И. Россинский, В.К. Дебольский // М.: Наука. – 1980. – С. 216.
164. Рудько Г.І. Основи загальної, інженерної та екологічної геології / Г. І. Рудько, І. П. Гамеляк // Букрек. – 2003. – С. 423.
165. Рудько Г.І. Характеристика родовищ валунно-гравійно-піщаних порід у Львівській області та їх вплив на екологічний стан природного середовища / Г.І. Рудько, В.Ю. Петришин // Мінеральні ресурси України. – №1. – 2014. – С. 39-47.
166. Сай В.М. Нормативно-правове та геодезичне забезпечення ведення кадастру земель водного фонду : дис. канд. техн. наук / В. М. Сай // Нац. ун-т «Львів. політехніка». — 2009.— С. 132-145.

167. Самойленко Л.І. Інформаційна технологія моніторингу повеней з використанням даних ДЗЗ / Л. І. Самойленко, Л. М. Колос, Л. В. Підгородецька // Космічна наука і технологія. – 2009. – Том 15. – № 3. – С. 50–55.
168. Свинко Й. М. Геологія / Й.М. Свинко, М.Я. Сивий //К.: Либідь. – 2003. – С. 480.
169. Смирнова В. Г. Порівняльний гідроморфологічний аналіз умов формування розгалужених русел річок Алтаю та Українських Карпат / В. Г. Смирнова, Ю. С. Ющенко // Наук. пр. Укр. н.-д. гідрометеорол. ін-ту. - 2006. - Вип. 255. - С. 266-271.
170. Смищенко Д.В., Месерлянець Г.Г. Развитие руслового процесса на участках выемок речного аллювия / Д.В. Смищенко, Г.Г. Месерлянець // Динамика русловых потоков. - Вып. 83. - Л.: Гидрометеиздат. - 1983.
171. Сосса Р.І. Топографічне картографування України (1917-2012) / Р.І. Сосса // К.: Наук, думка. - 2014. – С. 384.
172. Спутник ДЗЗ. Sentinel. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <http://www.ecoruspace.me/Sentinel+2A.html>
173. Степанов В. Е. О связях плановых деформаций русел с размерами рек / В. Е. Степанов // Труды ГГИ. – 1982. – Вып. 278. – С. 97–102.
174. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Небезпеки природокористування на прирічкових територіях / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк // Київ : Екологічна безпека та природокористування . Наук. Збірник. – 2013.- Випуск 13. – С. 77-88.
175. Стецюк В. Гідрологія / В. Стецюк // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті : <https://www.myslenedrevo.com.ua/uk/Sci/Local/DnisterStudies/Hydrology/Hydro-metrics.html>

176. Страждають цілі міста: вирубка лісу влаштувала в Карпатах екологічне пекло / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://znaj.ua/society/strazhdayut-cili-mista-vyrubka-lisu-vlashtovala-v-karpatah-ekologichne-peklo>
177. Стрий гірський: вище м. Стрий (р. Опір, гірські притоки) / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://www.active.lviv.ua/topic-t381.html>.
178. Стрімкий Стрий чи мертво водосховище: що чекає на річку? / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://wwf.panda.org/uk/?257360/River-Stryi-live-or-dead%3F>
179. Сусідко М. М. Паводки в Карпатах – причини їх виникнення та повторюваність / М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Екологічні та соціально-економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у Карпатському регіоні (повені, селі, зсуви). – 1999. – С. 316–321.
180. Сусідко М. М. Математичне моделювання процесів формування стоку, як основа прогностичних систем / М. М. Сусідко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2000. – Том 1. – С. 32–40.
181. Сусідко М. М. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки // М. М. Сусідко, О. І. Лук'янець // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С.196-20.
182. Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н. Гидроморфометрические характеристики горных рек / В.Ф. Талмаза, А.Н. Крошкин // Фрунзе: Кыргызстан. - 1968. – С. 204.
183. Третьак С.К. Моніторинг планових зміщень русел правобережних приток річки Дністер / С.К. Третьак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. - Вип. II(36). - С. 77-86.
184. Фролова Г. П. Применение ГИС-технологий и дистанционного зондирования для решения гидрологических задач / Г. П. Фролова, В. А.

- Биленко, Н. В. Ершова // Тез. докл. IV Всероссийского гидрологического съезда. Секция 1. Состояние и перспективы развития систем гидрологических наблюдений и информационное обеспечение потребителей. – 2004. – С. 92–93.
185. Характеристика бассейну річки Дністер / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: [http://www.menr.gov.ua/documents/RD\\_lviv\\_2007.doc](http://www.menr.gov.ua/documents/RD_lviv_2007.doc) .
186. Хільчевський В.К. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька та ін. // Ніка-Центр. – Київ. – 2013. – С. 256.
187. Хільчевський В. К. Університетська гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: проблеми сталого розвитку / В. К. Хільчевський, О. Г. Ободовський, Є. Д. Гопченко, М. І. Кирилюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2005. – Том 7. – С. 9–24.
188. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов / Р. С. Чалов // Москва : Изд-во Моск. ун-та. - 1979 – С. 232.
189. Чалов Р.С. Речные излуины / Р.С. Чалов, А.С. Завадский, А.В. Панин // Научный редактор. М.: изд-во МГУ. - 2004 . – С. 371.
190. Чалов Р.С. Зональные особенности и региональная специфика русловых процессов и их факторы / Р.С. Чалов // Гидрофизические процессы в реках, водохранилищах и окраинных морей . - М.: Наука. - 1989. - С. 5-18.
191. Чалов Р. С. Русловедение : теория, география, практика / Р. С. Чалов // Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. – М. : И-во ЛКИ. - 2008. – Т. 1. – С. 608.
192. Чалов Р.С. Русловые процессы / Р.С. Чалов, Н.И. Маккавеев // М.: МГУ . - 1986. – С. 264.
193. Чалов Р. С. Сток наносов, транспортирующая способность потоков и их роль в формировании речных русел // Р. С. Чалов // Москва : Изд-во Моск. ун-та. – 2011. – С. 20-27.



194. Чіпак В. П. Система протипаводкових заходів у басейні р. Боржава / В.П. Чіпак, Т. П. Мельник // Рівне: Волинські береги. - 2008. – С. 202.
195. Чорноморець Ю. О. Аналіз внутрірічного та багаторічного розподілу максимальних витрат води річок Українських Карпат / Ю. О. Чорноморець, В. В. Гребінь // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2005. – Том 7. – С. 196–206.
196. Шаблій О.І. Геологічна будова Львівської області / О.І. Шаблій, А.В. Гурин, М.В. Зінкевич // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: [http://geoknigi.com/book\\_view.php?id=20](http://geoknigi.com/book_view.php?id=20)
197. Шапов Г.И. Речные наносы. Режим, расчеты и методы измерений / Г.И. Шапов // Гидрометеиздат. – 1959. – Изд. 2. – С. 377.
198. Шевчук В.М. Дослідження планових зміщень ріки Дністер за космічними зображеннями / В.М. Шевчук, С.К. Третяк // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні: матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції ( 6 – 8 жовтня 2016 р.). - Ужгород – Синевир. - С. 161 – 166.
199. Шевчук. В. М. Побудова цифрової моделі рельєфу на ЦФС «Дельта» для визначення площ затоплених земель / В. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. – 2008. – Випуск 2 (16). – С. 143–150.
200. Шевчук В.М. Моніторинг гірської частини русла ріки Дністер / В.М. Шевчук, С.К. Третяк // Матеріали 8-мої міжнародної науково-технічної конференції: «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку». - С. 121-124.
201. Шевчук В. М. Методика дослідження змін деформації русел рік Прикарпатського регіону / В. Шевчук // Геодезія, картографія і аерознімання: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2009. – Випуск 71. – С. 59–69.

202. Шевчук В.М. Методика моніторингу рік на урбанізованих територіях / В.М. Шевчук, Х.В. Бурштинська // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів. – 2011. - Вип. 75. - С. 73 – 82.
203. Шевчук В. М. Методика моніторингу руслових процесів за матеріалами аерокосмічного знімання / В.М. Шевчук // Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.24.01. – Львів. - 2011.- С. 25.
204. Шевчук С.А. Уточнення гідрографічних характеристик річок з використанням методів ДЗЗ / С.А. Шевчук, В.І. Вишневський, П.О. Бабій // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – Випуск № 5 (92). – С. 29-32.
205. Швевс Г. І. Каталог річок і водойм України / Г. І. Швевс, М. І. Ігошин // Астропринт. - Одеса. – 2003. – С. 389.
206. Шинкевич М. В. Оценка точности плотной цифровой модели поверхности и ортофотопланов, полученных по материалам аэрофотосъемки с БЛА серии Supercam / М. В. Шинкевич, Н. Г. Воробьева, М. А. Алтынцев, Р. А. Попов, С. А. Арбузов, А. В. Флоров // [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://geomatica.ru/clauses/228/>
207. Щукин И.С. Общая морфология суши / И.С. Щукин // Новосибирск: ОНТИ. - Т. 1. - 1933. – С. 366.
208. Ющенко Ю. С. Геогідроморфологічні закономірності розвитку русел / Ю. С. Ющенко // Рута. – Чернівці. - 2005. – С. 320.
209. Ющенко Ю.С. Дослідження закономірностей руслоформування річок Передкарпаття / Ю. С. Ющенко, О. В. Паланичко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. - 2010. – С. 306-310.
210. Ющенко Ю. С. Характерні риси самоформування русел річок Українських Карпат в межах алювіальних рівнин / Ю. С. Ющенко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2004. – Том 6. – С. 94–99.

211. Яцик А. В. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління. / А. В. Яцик, Ю. М. Грищенко, Л. А. Волкова, І. А. Пашенюк // К.: Генеза. – 2007. – С. 360.
212. Яцик А. В. Підтоплення земель в Україні / А. В. Яцик // Вопр. химии и хим. технологии. – 2002. – № 5. – С. 292–295.
213. Ackers P. The geometry of small meandering streams / P. Ackers, F.G. Charlton // Proc. Inst. Civ. Engineers. Suppl.. - 1970. - No. 12. - pp. 289-317.
214. Affek A. Kalibracja map historycznych z zastosowaniem GIS / A. Affek. // Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego. – 2012. – №16. – str. 48–62.
215. Alexander J.S. Sediment transport and deposition in the lower Missouri River / J.S. Alexander, R.B. Jacobson, D.L. Rus // Geological Survey Professional Paper 1798-F. – 2013. - p. 27.
216. Alisha L. When the river runs dry: human and ecological values of dry riverbeds / L. Alisha, S. Schiller, K. Tockner, J. C. Marshall, S. E. Bunn // Frontiers in Ecology and the Environment. - 2012. – Vol. 10 (4). - p. 202-209.
217. Artinyan E. Flood forecasting and alert system for Arda River basin / E. Artinyan, B. Vincendon, K. Kroumova, N. Nedkov, P. Tsarev, S. Balabanova, G. Koshinchanov // Journal of Hydrology. – 2016. – V. 541. – p. 457- 469.
218. Asce task committee on hydraulics, bank mechanics and modeling of river width adjustment // Journal of Hydraulic Engineering. – 1998. - Vol. 124 (9). - pp. 881-902.
219. Bandini F. Measuring water level in rivers and lakes from lightweight Unmanned Aerial Vehicles / F. Bandini, J. Jakobsen, D. Olesen, A. Reyna-Gutierrez, P. Bauer-Gottwein // Journal of Hydrology. – 2017. – V. 548. – pp. 237-249.
220. Basin. R. Verdin ating hydrologic and hydraulic processes throughout the Amazon River / E. Beighley, K.G.Eggert, T. Dunne, Y. He, V. Gummadi // Hydrological processes. – 2009. – Vol. 23. - p. 1221–1235.

221. Bevington A. Contribution of river floods , hurricanes , and cold fronts to elevation change in a deltaic floodplain, northern Gulf of Mexico, USA / A. Bevington, R. Twilley, Ch. Sasser, G. Holm // Estuarine, Coastal and Shelf Science. – 2017. – Vol. 191. – pp. 188-200.
222. Bieda A. Weryfikacja granicy matematycznej prowadzonej środkiem koryta rzecznoego / A.Bieda // Geomatics and Environmental Engineering. - 2012. – Tom 10. – Zeszyt 4 (54). – Str. 17-27 .
223. Bieda A. Zmiany kształtu koryta rzecznoego w czasie na przykładzie Wisły przed Krakowem / A.Bieda , R. Hycner // Geomatics and Environmental Engineering. – 2012. –Vol. 6 (1). – Str. 21-28 .
224. Bierman P. R. Key Concepts in Geomorphology / P. R. Bierman, R. D. Montgomery // New York: W.H. Freeman. - 2014. – p. 544.
225. Blackwell W. Tools in fluvial geomorphology / W. Blackwell, G. M. Kondolf, H. Piegay // Advancing river restoration and management. Sekond Edition. – 2003. – pp. 541.
226. Brice J.C. Planform properties of meandering rivers. In: River Meandering, Proc. of the Conf. Rivers '83, 2426 Oct. 1983, New Orleans, Louisiana, U.S.A / J.C. Brice, C.M. Elliott // ASCE, New York. – 1984. - pp. 1-15.
227. Bridge J.S. Flow and sedimentary processes in river bends: comparison of field observations and theory. In: River Meandering, Proc. of the Conf. Rivers '83, 24-26 Oct. 1983, New Orleans, Louisiana, U.S.A / J.S. Bridge, C.M. Elliott // ASCE, New York. – 1984. - pp. 857-872.
228. Buffington J. M. Geomorphic classification of rivers / J. M. Buffington, D. R. Montgomery, J. Shroder, E. Wohl // Treatise on Geomorphology. Fluvial Geomorphology, 2013. - Vol. 9. - pp. 730-767.
229. Buffington J.M. Fluvial Processes in Puget Sound Rivers and the Pacific Northwest. In Restoration of Puget Sound Rivers Woodsmith / J.M. Buffington,

- D.B. Booth, D.R. Montgomery, S. Bolton, I. Wall // University of Washington Press, Seattle, WA. – 2014. – pp. 46-78.
230. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbeds of rivers Dniester and Tisza of the Carpathian region / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, S. Tretyak, V. Vekliuk // XXIII ISPRS Congress, Commission VII (Vol. XLIB7) 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. - p. 177–182, doi:10.5194/isprs-archives-XLI-B7-177- 2016, (“Scopus”).
231. Burshtynska Kh. Monitoring of the riverbed of river Dniester using remote sensing data and GIS technologies / Kh. Burshtynska, V. Shevchuk, A. Babushka, S. Tretyak, M. Halochkin // 25th Anniversary Conference Geographic Information Systems Conference and Exhibition “GIS ODYSSEY 2018”. - p. 64-73.
232. Burshtynska Kh., Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies / Kh. Burshtynska, I. Zayac, S. Tretyak, M. Halochkin // Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. – 2017. - vol. 29. - pp. 25-36. (Index Copernicus)
233. Carson M.A. The inherent asymmetry of river meander planforms / M.A. Carson, M.F. Lapointe // Journal of Geology, 1983. - Vol. 91. - pp. 41-55.
234. Cencetti C. Narrowing and bed incision of a cobble bed river in central Italy / C. Cencetti, A. Duranti, A. Fredduzzi, I. Marchesini // Geophysical Research Abstracts, 2004. - Vol. 6. – pp. 137-142.
235. Chin-Ping L. The Variation of Riverbed Material due to Tropical Storms in Shi-Wen River, Taiwan / L. Chin-Ping, W. Yu-Ming, T. Samkele, C. Ching-Nuo // Scientific World Journal, 2014. – Vol. 13 (56). – pp. 1-12.
236. Cojan I. Process-based stochastic reservoir modeling : fluvial meandering system / I. Cojan, J. Rivoirard, F. Geffroy, S. Lopez // 8th International Conference on Fluvial Sedimentology, August 7-12, 2005. Delft, The Netherlands. - pp. 83.

237. Crosato A. Analysis and modelling of river meandering / A. Crosato // PhD thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, IOS Press, 2008. – pp. 251. ISBN 978-1-58603-915-8.
238. Depret T. Causes of planform stability of a low-energy meandering gravel-bed river (Cher River, France) / T. Depret, E. Gautier, J. Hooke, D. Grancher, C. Vermoux, D. Brunstein // *Geomorphology*, 2017. – pp. 58-81. doi:10.1016/j.geomorph.2017.01.035 DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.01.035
239. Drones for environmental research? Taking a closer look at physical river habitat [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://www.the-ies.org/analysis/drones-environmental-research>
240. Drone River Project Uses Artificial Intelligence To Advance Automated Monitoring [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://www.cs.toronto.edu/~acamacho/files/drone-river-project-uses-artificial-intelligence-to-advance-automated-monitoring.pdf>
241. Ercolini M. Dalle esigenze alle opportunita': La difesa idraulica fluviale occasione per un progetto di "paesaggio terzo" / M. Ercolini // PhD Thesis in Territorial Planning, University of Florence, Italy, Dept. of City and Territorial Planning, 2006. - pp. 585.
242. ESRI, 2011: ArcGIS Resource center. ArcGIS 10 Desktop Help, <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html> .
243. Ferguson R.I. Hydraulic and sedimentary controls of channel pattern / R.I. Ferguson, K. Richard, B. Blackwell // *River Channels. Environment and Processes* . - 1987. - pp. 129-158.
244. Friedkin J.F. A laboratory study of the meandering of alluvial rivers / J.F. Friedkin // Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, U.S.A. - 1945. – pp. 78.

245. Friend P. F. Braiding and meandering parameters / P. F. Friend, R. Sinha // Geological Society, London, Special Publications, 1993. - Vol. 75 (1). - pp. 105-111.
246. Fujita Y. Experimental study on stream channel processes in alluvial rivers / Y. Fujita, Y. Muramoto // Bulletin of the Disaster Prevention Research Inst., Kyoto University, 1982. - Vol. 32 (1). - pp. 49-96.
247. GEOinformatics // Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals. – 2005. – Jan/Feb. – Vol.8.
248. Grenfell M.C. Mediative adjustment of river dynamics: The role of chute channels in tropical sand-bed meandering rivers / M.C. Grenfell, A.P. Nicholas, R. Aalto // Sedimentary Geology, 2014. – Vol. 301. – pp. 93-106.
249. Guneralp I. Channel avulsion processes on the lower Brazos river, Texas / I. Guneralp, B. U. Hales, A. M. Filippi // TWDB Final Report 0904830968, 2011. – pp. 88. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: [https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/contracted\\_reports/doc/0904830968\\_Brazos.pdf](https://www.twdb.texas.gov/publications/reports/contracted_reports/doc/0904830968_Brazos.pdf)
250. Habel M. Dynamics of the Vistula River channel deformations downstream of Wloclawek Reservoir / M. Habel // Kazimierz Wielki University Press, Bydgoszcz, 2013. - pp.144.
251. Hajdukiewicz H. Impact of a large flood on mountain river habitats, channel morphology, and valley infrastructure / H. Hajdukiewicz, B. Wyżga, P. Mikuś, J. Zawiejska, A. Radecki-Pawlik // Geomorphology. – 2016. –Vol. 272. – pp. 55-67.
252. Hamar I. The Upper Tisa Valley / I. Hamar, A. Sarkany-Kiss // Proposal for Ramsar Site Designation and an Ecological Background. – 1999. – pp. 502.
253. Heckmann T. Feeding the hungry river: Fluvial morphodynamics and the entrainment the artificially inserted sediment at the dammed river Isar, Eastern Alps,

- Germany / T. Heckmann, F. Haas, J. Abel, A. Rimböck, M. Becht // Geomorphology. – 2017. – Vol. 291. – pp. 128-142.
254. Hickin E.J. Lateral migration rates of river bends / E.J. Hickin, G.C. Nanson // Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1984. - Vol. 110 (11). - pp. 1557-1567.
255. Hlotov V. Accuracy investigation of creating orthophotomaps based on images obtained by applying Trimble-UX5 UAV / V. Hlotov, A. Hunina, Z. Siejka // Reports on Geodesy and Geoinformatics. – 2017. - Vol.103. - pp.106-118.
256. Hooke J.M. Hydromorphological adjustment in meandering river systems and the role of flood events / J.M. Hooke // Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems. (Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006). – Vol. 306. - pp. 127-135.
257. Hooke J.M. Use of cartographic sources for analysing river channel change with examples from Britain / J.M. Hooke, C.E. Redmond // Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe, 1989. - pp. 79-93.
258. Hu Z. Prediction of the future flood severity in plain river network region based on numerical model: A case study / Z. Hu, L. Wang, H. Tang, X. Qi // Journal of Hydrology. – 2017. – Vol. 29 (4). – pp. 586-595.
259. Ikusemoran M. Geospatial Analysis of Morphometric Characteristics of River Hawul Basin, North-East Nigeria / M. Ikusemoran, H. Y. Manu, B. Abdussalam // Resources and Environment, p-ISSN: 2163-2618, 2018. – Vol. 8 (3). – pp. 103-126. doi:10.5923/j.re.20180803.03
260. Instruction für die bei der astronomisch-trigonometrischen Landesvermessung und im Calcul-Bureau des K. K. Militair Geografischen Institutes angestellten Individuen, 1845, Wien.
261. ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami). [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <http://www.gugik.gov.pl/projekty/isok>.



262. Janicke S. Stream channel processes / S. Janicke // *Fluvial Geomorphology. Water & rivers commission report, july 2000.* – Vol. 6. - pp. 1-12.
263. Jamrussri S. Simulating past severe flood events to evaluate the effectiveness of nonstructural flood countermeasures in the upper Chao Phraya River Basin, Thailand / S. Jamrussri, Y. Toda // *Journal of Hydrology: Regional Studies.* – 2017. – Vol. 10.– pp. 82-94.
264. Jaskulski M. Porównanie metod transformacji map historycznych (Comparison of methods of historical map transformation) / M. Jaskulski, G. Łukasiewicz, M. Nalej // „*Roczniki Geomatyki*”, 2013. – Vol. XI, z. 4(61), s. 41–57.
265. Kai W. Flood control and management for the transitional Huaihe River in China / W. Kai, C. Deyib, Y. Zhaohuib // *Procedia Engineering.* – 2016. – Vol. 154 – pp. 703-709.
266. Kaniecki A. Zmiany koryta noteci w jej środkowym odcinku / A. Kaniecki, M. Ptak // *Badania fizjograficzne R. VII – Seria a – Geografia fizyczna (a67), 2016.* - str. 069–076. doi 10.14746/bfg.2016.7.6
267. Kaszowski L. Mountain river channel classification systems / L. Kaszowski, K. Krzemień // *Prace Geogr., IG UJ, 1999.* – str. 104.
268. Kellerhals R. Classification and analysis of river processes / R. Kellerhals, M. Church, D.I. Bray // *Journal of Hydraulic Division, ASCE, 1976.* - Vol.102. - No.HY7. - pp. 813-829.
269. Khetsuriani E.D. Hydrological Studies on the River Don around the Alexandrovsky OSV Water-Intake Facilities / E.D. Khetsuriani, V.P. Kostyukov, E.G. Ugrovatova // *Procedia Engineering.* – 2016. – Vol. 150. – pp. 2358-2363.
270. Knight J. The sediment stratigraphy of a flood event : An example from the Sabie river , South Africa / J. Knight, M. Evans // *Catena.* – 2017. – Vol. 151. – pp. 87-97.

271. Korpak J. Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpaccich / J. Korpak, K. Krzemień, A. Radecki-Pawlik // Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Monografia 4. PAN, Kraków, 2008. - s.1-88.
272. Korpak J. Morfologiczna rola budowli regulacyjnych w górskich systemach fluwialnych / J. Korpak // Rozprawa doktorska, archiwum IG i GP UJ, Kraków, 2007.
273. Krzemień K. Badania struktury i dynamiki koryt rzek karpaccich / K. Krzemień // Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN, Kraków. – 2006. – Vol 4(1). – Str. 131–142.
274. Kurczyński Z. Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi. Cz. 1 i 2 / Z. Kurczyński // OWPW. – 2013. – str. 582.
275. Łajczak A. The impact of river regulation, 1850–1990, on the channel and floodplain of the Upper Vistula River, Southern Poland / A. Łajczak, E. J. Hickin // River Geomorphology. Wiley, Chichester, 1995. - s. 209–233.
276. Lamarre H. The role of morphology on the displacement of particles in a step–pool river system / H. Lamarre, A. Roy // Geomorphology. – 2008. –Vol. 99. – pp. 270-279.
277. Larsen E.W. Assessing the effects of alternative setback channel constraints scenarios employing a river meander migration model / E.W. Larsen, E.H. Girvetz, A.K. Fremier // Environmental Management, 2006. - Vol. 37. - No. 6. - pp. 880-897. doi: 10.1007/s00267-004-0220-9.
278. Lawler D.M. The measurement of river bank erosion and lateral channel change / D.M. Lawler // Earth Surface Processes and Landforms, Wiley, 1993. - Vol. 18. - pp. 777-821.
279. Legg N.T. Channel Migration Processes and Patterns in Western Washington / N.T. Legg, P.O. Olson // A Synthesis for Floodplain Management and Restoration: Ecology Publication, 14-06-0282014. – pp. 36.

280. Leopold L.B. River channel pattern: braided, meandering and straight / L.B. Leopold, M.G. Wolman // U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 282 B, 1957. – pp. 39-85.
281. Leopold L.B. River meanders / L.B. Leopold, M.G. Wolman // Bulletin of the Geological Society of America, 1960. - Vol. 71. - pp. 769-794.
282. Living with the River: A Guide to Understanding Western Washington Rivers and Protecting Yourself from Floods [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/0706016.pdf>
283. Magdaleno F. Experimental floods: A new era for Spanish and Mediterranean rivers? / F. Magdaleno // Environmental Science and Policy. – 2017. – Vol. 75. – pp. 10-18.
284. Malavoi J.R. Determination de l'espace de liberte des cours d'eau / J.R. Malavoi, J.P. Bravard, H. Piegay, E. Heroin, P. Ramez // Bassin Rhone Mediterranee Corse, Guide Technique, 1998. - No. 2. - pp. 39.
285. Martvall S. Experimental studies of meandering, the transport and deposition of material in curved channels / S. Martvall, G. Nilsson // University of Uppsala, Dept. of Physical Geography, 1972.
286. McDonald A.K. Tamarix transpiration along a semiarid river has negligible impact on water resources / A.K. McDonald, B.P. Wilcox, G.W. Moore, C.R. Hart, Z. Sheng, M.K. Owens // First Published : July 2015. – Vol. 51. - pp. 5117–5127. DOI: 10.1002/wrcr.21101.
287. Miller J. Influence of late Holocene hillslope processes and landforms on modern channel dynamics in upland watersheds of central Nevada / J. Miller, D. Germanoski, K. Waltman, R. Tausch, J. Chambers // Geomorphology, 2001. – Vol. 38. - Issue 3. - pp. 373-391.
288. Mosley M.P. The classification and characterization of rivers / M.P. Mosley, K. Richards, B. Blackwell // In: River channels; Environment and Processes, 1987. – pp. 295-320.

289. Muhar S. Restoring riverine landscapes: successes and deficits in the context of ecological integrity / S. Muhar, M. Jungwirth, G. Unfer, C. Wiesner, M. Poppe, S. Schmutz, H. Habersack // 6th Intern. Gravel Bed Rivers Workshop, Lienz, Austria, 5-9 September 2005. – pp. 779-803.
290. Mularz S. Podstawy teledetekcji. Wprowadzenie do GIS / S. Mularz // Politechnika Krakowska, Kraków. – 2004. - Str. 67.
291. Murzewski W. Rozwój triangulacji na południu Polski / W. Murzewski // Wiadomości Służby Geograficznej, 1936. – Vol. 2. – str. 208-238.
292. Nawieśniak M. Charakterystyka zmian przebiegu koryta Krzyworzeki oraz potoku Niedźwiadek na terenie gminy Wiśniowa w ujęciu historycznym / M. Nawieśniak, M. Strutyński, J. Hernik // Czasopismo naukowo-kulturalne EPISTEME, 2014. - Nr 22. - t.2. - s. 321–327.
293. NIMA (National Imagery and Mapping Agency), 2000: Department of Defense World Geodetic System 1984 – Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems. Technical Report 8350.2. Wydanie trzecie. St. Louis, Missouri, USA.
294. Noszczyk T. Wykorzystanie map topograficznych do analizy zmian przebiegu koryta rzeki Krzyworzeka / T. Noszczyk, M. Nawieśniak, J. Hernik, M. Strutyński, J. Taszakowski // EPISTEME: Czasopismo Naukowo-Kulturalne, ISSN 1895-4421, 26/2015. - t. II. - s. 109–116.
295. Ntajal J. Flood disaster risk mapping in the Lower Mono River Basin in Togo, West Africa / J. Ntajala, B. Lamptey, I. Mahamadou, K. Nyarko // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2017. – Vol. 23. – pp. 93–104.
296. Parker G. On the cause and characteristic scales of meandering and braiding in rivers / G. Parker // Journal of Fluid Mechanics, 1976. - Vol. 76. - Part 3. - pp. 457-479.
297. Parker G. Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed / G. Parker // Journal of Fluid Mechanics, 1978. - Vol. 89. - Part 1. - pp. 109-125.

298. Payne B.A. Channel morphology and lateral stability: effects on distribution of spawning and rearing habitat for Atlantic salmon in a wandering cobble-bed river / B.A. Payne, M.F. Lapointe // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997. - Vol. 54. - pp. 2627-2636.
299. Pramanik M. K. Morphometric Characteristics and Water Resource Management of Tista River Basin Using Remote Sensing and GIS Techniques / M. K. Pramanik // Hydrogeol Hydrol Eng 5:1. (2016). Doi : 10.4172/2325-9647.1000131
300. Peggy A. J. Assessing Stream Channel Stability At Bridges in Physiographic Regions / A. J. Peggy // PUBLICATION NO. FHWA-HRT-05-072, JULY 2006. - pp. 147 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до статті: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/hydraulics/05072/>
301. Piégay H. Contemporary floodplain forest evolution along the middle Ubayer River / H. Piégay, P.G. Salvador // Global Ecology and Biogeography Letters, 1997. - Vol. 6. - No. 5. - pp. 397-421.
302. Piégay H. Channel instability as control on silting dynamics and vegetation patterns within fluvial aquatic zones / H. Piégay, G. Bornette, A. Citterio, E. Hérouin, B. Moulin, C. Statiotis // Hydrological Processes, 2000. - Vol. 14. - pp. 3011-3029.
303. Pirmez C. Morphology and structure of Amazon channel / C. Pirmez, R.D. Flood, D.J. Piper, W. A. Klaus // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports, 1995. - Vol. 155. - pp. 23-45.
304. Pix4D. Hands Free Solutions for Mapping and 3D Modeling, 2013. Access mode: <http://pix4d.com/>.
305. Pyle C.J. Digital photogrammetric monitoring of river bank erosion // C.J. Pyle, K.S. Richards, J.H. Chandler // Photogrammetric Record, 1997. - Vol. 15. - No. 89. - pp. 753-764.

306. Ramesh D. Morphometric characteristics of Nandiyar river basin, Tamil Nadu, India / D. Ramesh, D.K. Raju, R. Jaganathan // *Nature Environment and Pollution Technology*, (2009-09). – Vol. 8 (3). – pp. 545-550.
307. Richards K. Geomorphic dynamics of floodplains: ecological implications and a potential modelling strategy / K. Richards, J. Brasington, F. Hughes // *Freshwater Biology*, 2002. - Vol. 47. - pp. 559-579.
308. Richter B.D. Prescribing flood regimes to sustain riparian ecosystems along meandering rivers / B.D. Richter, H.E. Richter // *Conservation Biology*, 2000. - Vol. 14. - No. 5. - pp. 1467-1478.
309. Righini M. Geomorphic response to an extreme flood in two Mediterranean rivers (northeastern Sardinia, Italy): Analysis of controlling factors / M. Righini, N. Suriana, E. Wohl, L. Marchic, F. Comitid, W. Amponsah, M. Borga // *Geomorphology*. – 2017. –Vol. 290. – pp. 184-200.
310. Robert A. River processes: an introduction to fluvial dynamics / A. Robert // London, United States by Oxford University Press. – 2003. – p. 214.
311. Rosgen D.L. A practical method of computing streambank erosion rate / D.L. Rosgen // In Proc. 7th Federal Interagency Sedimentation Conf. II, Denver, Colo.: U.S., 2001. – Vol. 1, str. 9-17. [Electronic resource]. Access mode: [https://pubs.usgs.gov/misc/FISC\\_1947-2006/pdf/1st-7thFISCs-CD/7thFISC/7Fisc-V1/7FISC1-2.pdf](https://pubs.usgs.gov/misc/FISC_1947-2006/pdf/1st-7thFISCs-CD/7thFISC/7Fisc-V1/7FISC1-2.pdf).
312. Rust B.R. A classification of alluvial channel systems / B.R. Rust // In: *Fluvial Sedimentology*, Can. Soc. Petr. Geol., Memoir, 1978. - No. 5. - pp.187-198.
313. Sarker M. Ferdous Morpho-dynamics of the Brahmaputra–Jamuna River, Bangladesh / M. Sarker, R. Colin, M. Nazneen Aktar, R. Ferdous // *Geomorphology*. – 2014. –Vol. 215. – pp. 45-59.
314. Segura-Beltrán F. Using post-flood surveys and geomorphologic mapping to evaluate hydrological and hydraulic models: The flash flood of the Girona River

- (Spain) in 2007 / F. Segura-Beltrán, C. Sanchis-Ibor, M. Morales-Hernández, M. González-Sanchis, G. Bussi, E. Ortiz // *Journal of Hydrology*. – 2016. – V. 541. – pp. 310-329.
315. Seminara G. . Downstream and upstream influence in river meandering. Part 2. Planimetric development / G. Seminara, G. Zolezzi, M. Tubino, D. Zardi // *Journal of Fluid Mechanics*, 2001. - Vol. 438. - pp. 213-230.
316. Silva W. Flood management options for The Netherlands / W. Silva, J.P. Dijkman, D.P. Loucks // *Int. J. River Basin Management*, 2004. - Vol. 2. - No. 2. - pp. 101-112.
317. Simon A. Magnitude, frequency, and duration relations for suspended sediment in stable (“reference”) southeastern streams / A. Simon, L. Klimetz // *J. American Water Resour.*, 2008. - Assoc. 44(5). – pp. 1270-1283.
318. Słomczyński J. Uzgodnienie triangulacji na obszarze Polski / J. Słomczyński // *Wiadomości Służby Geograficznej*, 1933. – Vol. 4. – str. 313-351.
319. Smith C.E. Modeling high sinuosity meanders in a small flume / C.E. Smith // *Geomorphology*, 1998. - Vol. 25. - pp. 19-30.
320. Snishchenko B.F. Hydromorphological concept of channel process and its applications / B.F. Snishchenko, Z.D, Kopalani // *Proc. Int. Symp. East-West, North-South Encounter on the State-of-the-Art in River Engrg. Methods and Design Philosophies*, 16-20 May 1994, St. Petersburg, Russia. - Vol.II. - pp. 9-23.
321. Surian N. Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy / N. Surian, M. Rinaldi // *Geomorphology*, 2003. - Vol. 50. - pp. 307-326.
322. Tal M. Braided morphology and vegetation dynamics in a laboratory channel / M. Tal, C. Paola // *6th International Gravel Bed Rivers Workshop*, Lienz, Austria, September, 2005.

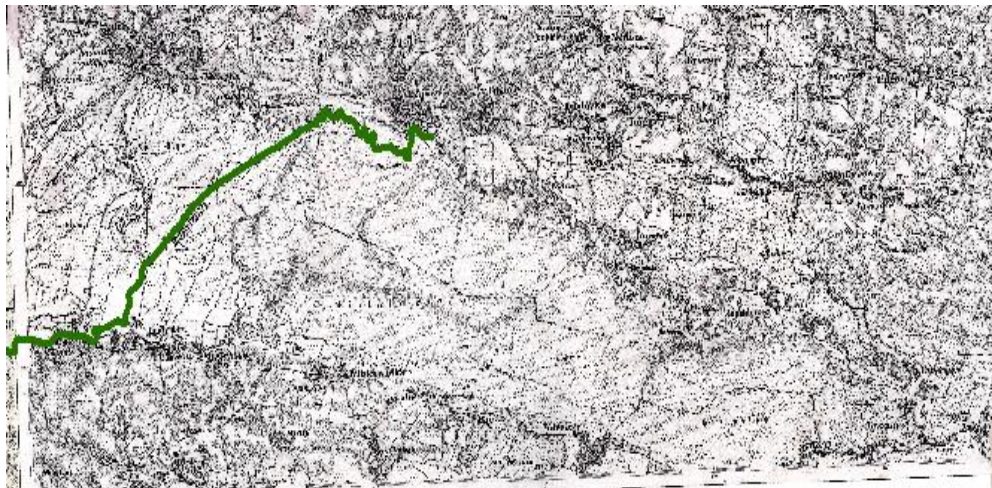
323. Tanguy M. River flood mapping in urban areas combining Radarsat-2 data and flood return period data / M. Tanguy, K. Chokmani, M. Bernier, J. Poulin, S. Raymond // *Remote Sensing of Environment*. – 2017. - Vol. 198. – pp. 442-460.
324. Therrell M. A multi-century tree-ring record of spring flooding on the Mississippi River / M. Therrell, M. Bialecki // *Journal of Hydrology*. – 2015. – V. 529. – pp. 490-499.
325. Timár G. GIS integration of the second military survey sections — a solution valid on the territory of Slovakia and Hungary / G. Timár // *Kartografické listy*, 2004. – Vol. 12. – str. 119- 126.
326. Wang G. Estimation of future water resources of Xiangjiang River Basin with VIC model under multiple climate scenarios / G. Wang, J. Zhang, Y. Xu, Z. Bao, X. Yang // *Water Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 8 (1). – pp. 1-17.
327. Watson A.J. Stream bank erosion: a review of processes of bank failure, measurement and assessment techniques, and modelling approaches / A.J. Watson, L.R. Basher // *Integrated Catchment Management Programme Report Series: Bank erosion review*. - Landcare ICM Report No. 2005-2006/01. – p. 32.
328. Wen L. Monitoring and numerical analysis of behaviour of Miaojiaba concrete face rockfill dam built on river gravel foundation in China / L. Wen, J. Chai, Zengguang Xu, Y. Qin, Y. Li // *Computers and Geotechnics*. – 2017. – V. 85. – pp. 230-247.
329. Wochna A. Systemy Informacji Geograficznej o jednostkach architektoniczno-krajobrazowych. Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego / A. Wochna // *Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec*, 2012. - nr 16. – str. 95-104.
330. Wohl E. Particle dynamics: The continuum of bedrock to alluvial river segments / E. Wohl // *Geomorphology*. – 2015. –Vol. 241. – pp. 192-208.



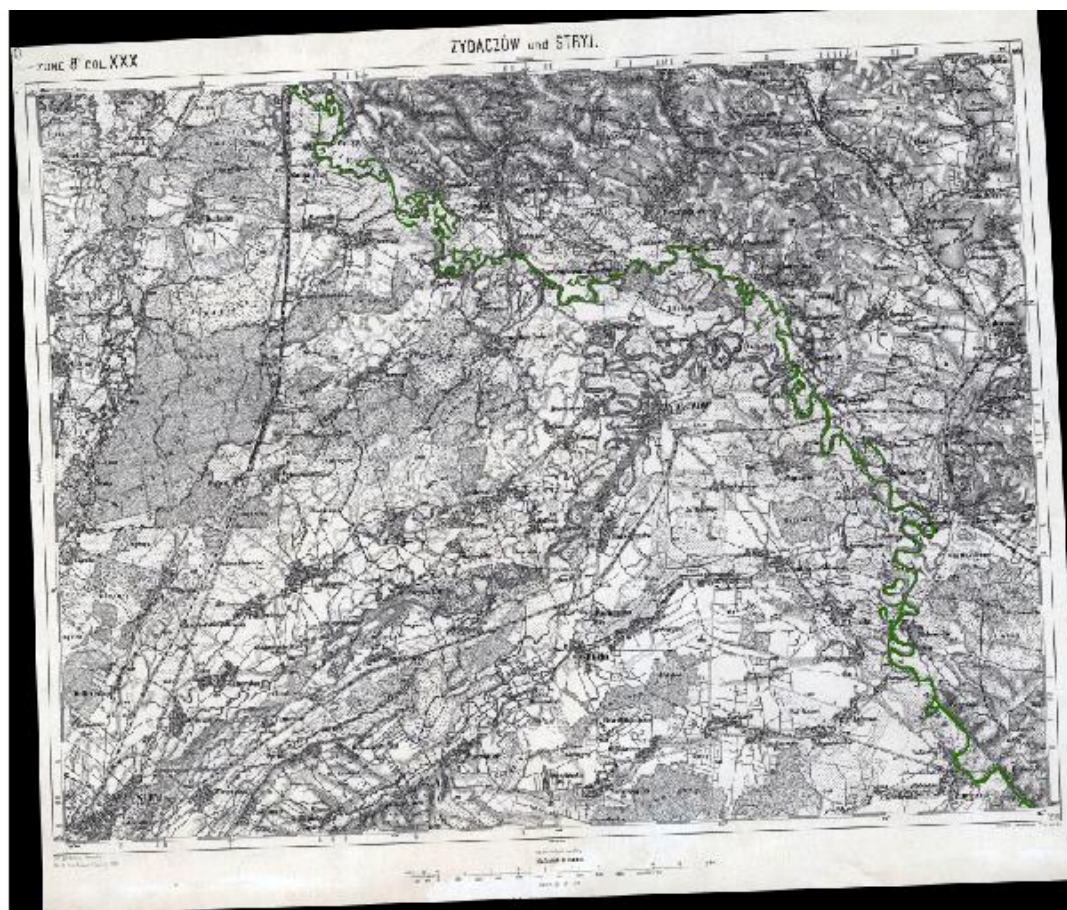
331. Wolski J. Błędy i niepewność w procesie tworzenia map numerycznych / Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 2012. - nr 16. – str. 15-32.
332. Yang X. Satellite remote sensing and GIS for the analysis of channel migration changes in the active Yellow River Delta, China / X. Yang, J. Damen, R.A. Zuidam // International Journal of Remote Sensing. – 1999. – Vol. 2. – pp. 146-160.
333. Zachwatowicz M. Detekcja historycznych przemian pokrycia terenu z zastosowaniem logiki rozmytej / M. Zachwatowicz // Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego. Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec. – 2012. - nr 16. – str. 84-94.
334. Zolezzi G. Modeling morphodynamic processes in meandering rivers with spatial width variations / G. Zolezzi, R. Luchi, M. Tubino // Rev. Geophys., 2012. – Vol. 50(4). – pp. 1-24.

## ДОДАТКИ

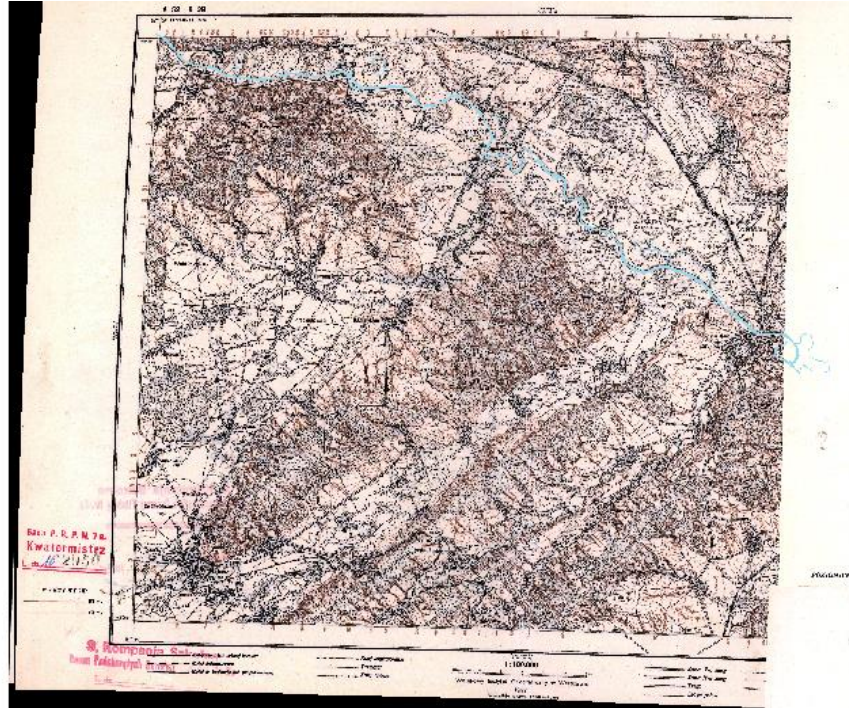
Додаток А. Топографічна карта 1879 року з нанесеним оцифрованим руслом  
(горбисто-болотиста частина річки Дністер)



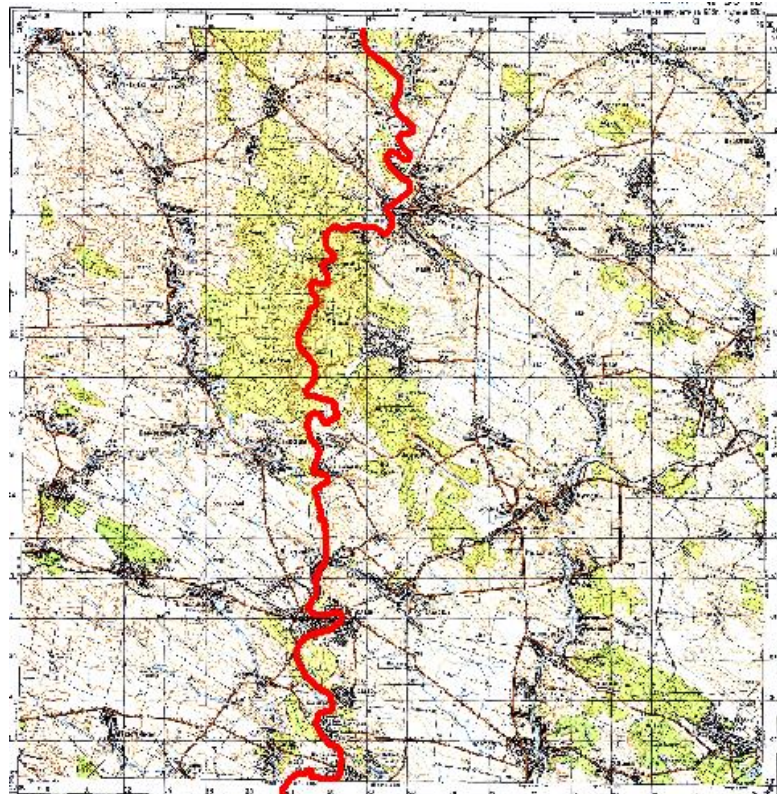
Додаток А1. Топографічна карта 1874 року з нанесеним оцифрованим руслом  
(рівнинна частина річки Дністер)



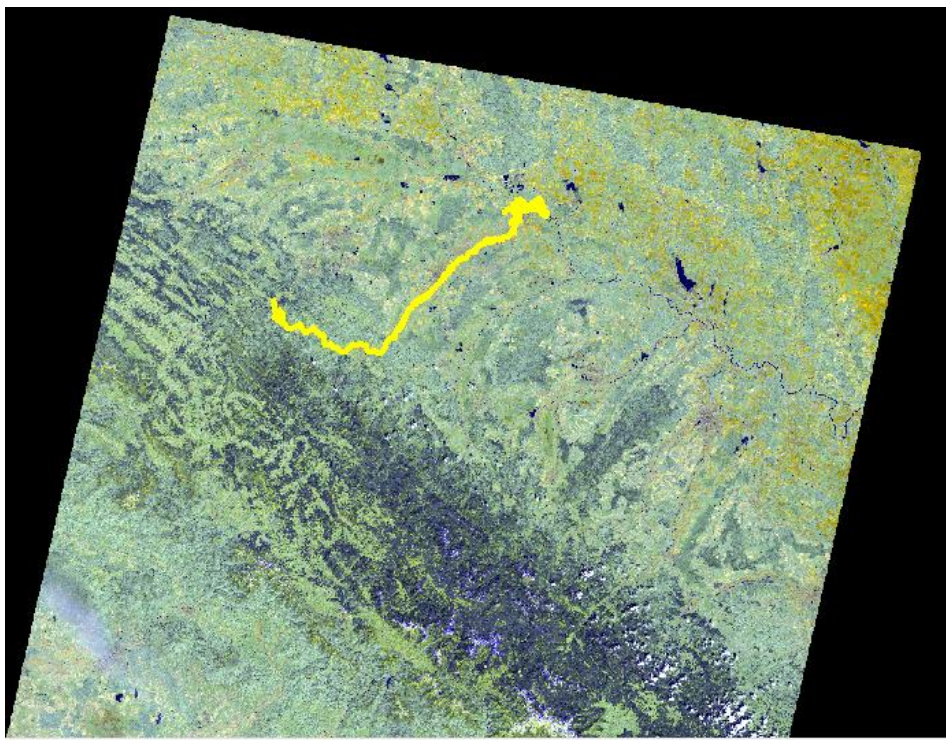
Додаток А2. Топографічна карта 1930 року з нанесеним оцифрованим руслом  
(рівнинна частина річки Дністер)



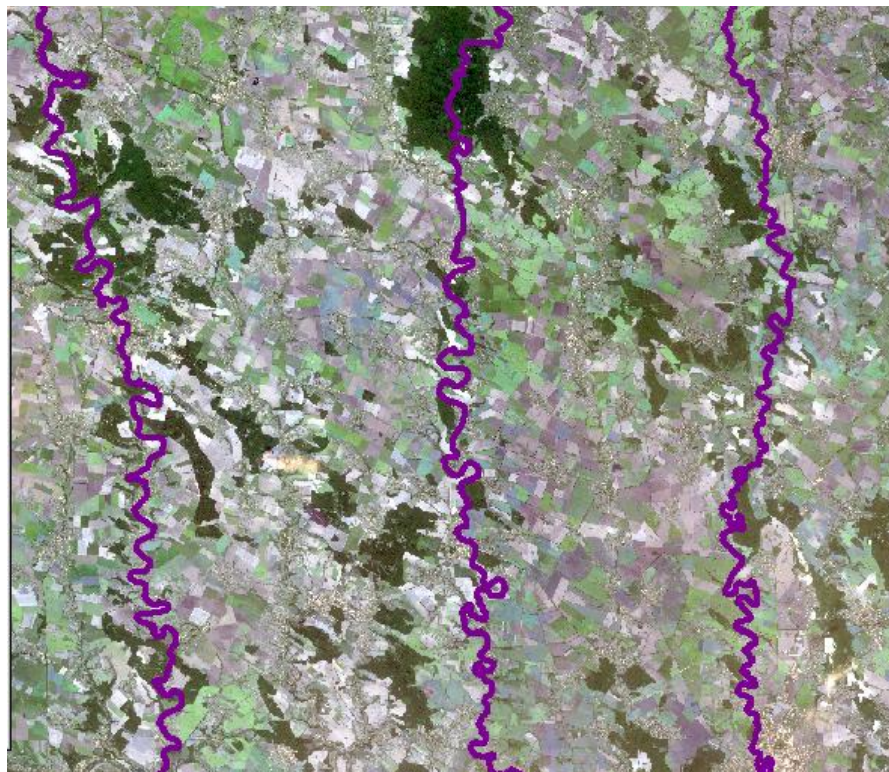
Додаток А3. Топографічна карта 1989 року з нанесеним оцифрованим руслом  
(річка Збруч)



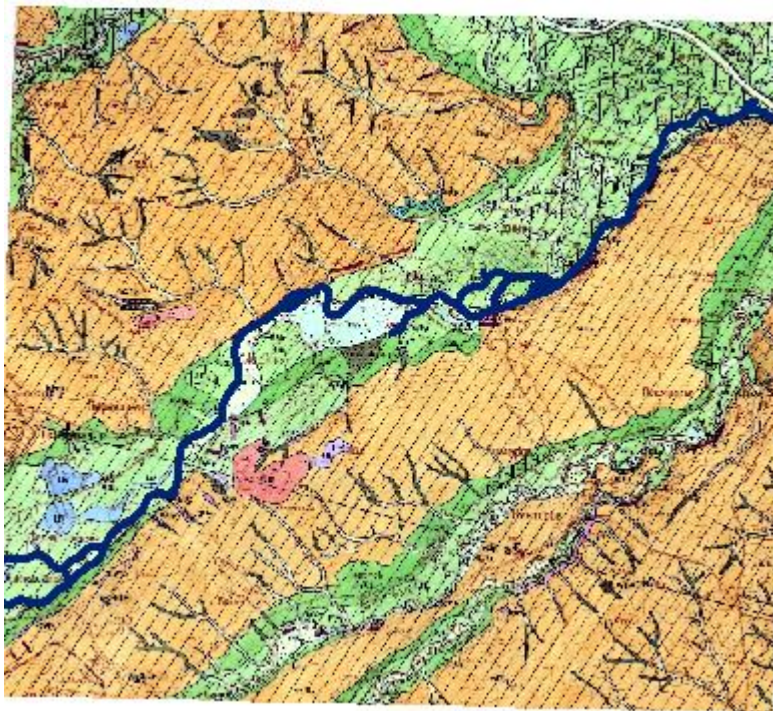
Додаток Б. Космічний знімок 2000 року з нанесеним оцифрованим руслом (річка Стрий)



Додаток Б1. Космічний знімок 2000 року з нанесеними оцифрованими руслами (ліві притоки)



Додаток В. Карта четвертинних відкладів 1970 року з нанесеним оцифрованим руслом (річка Лімниця)



Додаток В1. Карта ґрунтів 1969 року з нанесеним оцифрованим руслом (ліві притоки)

