Кафедра фотограмметрії та геоінформатики

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської кваліфікаційної роботи на тему

Дослідження руслових процесів рівнинної частини русла Дністра з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем

Студент ГДАЗ-21, Володимир ГНІТ
(група, ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____ (Христина БУРШТИНСЬКА)
(підпис) (ім'я та прізвище)

Консультанти _____ (_____)

_____ (_____)

_____ (_____)

_____ (_____)

Завідувач кафедри _____ (Євгеній ШИЛО)
(підпис) (ім'я та прізвище)

« » грудня 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”
Інститут геодезії
Кафедра фотограмметрії та геоінформатики
Спеціальність 193 “Геодезія та землеустрій»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри ФГІ Євгеній ШИЛО
(ім’я та прізвище)

(підпис)

« 22 » вересня 20 25 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студента групи ГДАЗ-21 **ОР магістр**
Володимир ГНІТ
(ім’я та прізвище)

1. Тема роботи Дослідження руслових процесів рівнинної частини русла Дністра
(у разі виконання комплексної роботи в дужках вказується “комплексна робота (проект)”)
з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем

Затверджена наказом по університету від « 21 » жовтня 20 25 р. № 4122-4-06

2. Термін подання студентом закінченої роботи 3 грудня 2025 р.

3. Вхідні дані для роботи Космічні знімки, топографічні карти

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити)
Вступ, Розділ 1 Теоретико-методичні засади дослідження руслових процесів та їх Аналіз за даними ДЗЗ і ГІС. Розділ 2. Аналіз руслових процесів рівнинної системи русла Дністра з використанням матеріалів ДЗЗ і ГІС. Розділ 3. Методика моніторингу руслових процесів рівнинної частини річки Дністер. Висновки. Список використано літератури.

5. Перелік графічного матеріалу Цифрові карти русел річок та створені охоронні зони на досліджувальній ділянці

6. Перелік програмних продуктів, які належить використати в процесі розроблення роботи
ArcGIS 10.8, Microsoft Office

7. Консультування роботи, із зазначенням номерів розділів роботи

Розділ	Консультант	Завдання видав		Завдання прийняв	
		підпис	дата	підпис	дата

8. Дата, коли видано завдання 22 вересня 2025 р.

Керівник _____ (Христина БУРШТИНСЬКА)
(підпис) (ім'я та прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ (Володимир ГНІТ)
(підпис) (ім'я та прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Отримання завдання. Призначення теми.	22.09.2025	22.09.2025	
2	Аналіз літературних джерел та отримання	23.09.2025	30.09.2025	
	Вхідних даних			
3	Написання теоретичної частини розділу 1	01.10.2025	10.10.2025	
4	Написання теоретичної частини розділу 2	11.10.2025	19.10.2025	
5	Виконання експериментальної частини			
	магістерської кваліфікаційної роботи	20.10.2025	25.11.2025	
6	Написання висновків та створення			
	презентації	26.11.2025	03.12.2025	

Студент _____ (Володимир ГНІТ)
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ (Христина БУРШТИНСЬКА)
(підпис) (ім'я та прізвище)

Висновок

про рівень оригінальності магістерської кваліфікаційної роботи на тему

Дослідження руслових процесів рівнинної частини русла Дністра з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем

студента групи ГДАЗ-21 Володимир ГНІТ
(ім'я та прізвище)

Інституту геодезії

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи: _____ сторінок

Програмне забезпечення перевірки на оригінальність StrikePlagiarism (https://strikeplagiarism.com) – на безоплатній основі.

У результаті перевірки на оригінальність роботи встановлено показник оригінальності роботи _____ %

Дата оформлення висновку _____ грудня 20 25 р.

Відповідальний від кафедри за перевірку _____ (Назар ГРИЦЬКІВ)
(підпис) (ім'я та прізвище)

Завідувач кафедри ФГІ _____ (Євгеній ШИЛО)
(підпис) (ім'я та прізвище)

УДК 528.85.041.1

Гніт В.О., Бурштинська Х.В. (керівник). Дослідження руслових процесів рівнинної частини русла Дністра з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем, магістерська кваліфікаційна робота, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, 2025 р.

Розширена анотація.

Актуальність дослідження руслових процесів річки Дністер зумовлена як екологічними, так і соціально-економічними чинниками. Дністер є однією з найбільших річок Східної Європи та має стратегічне значення для України і Молдови. Руслова система Дністра зазнає суттєвих змін, пов'язаних із кліматичними трансформаціями, зміною режиму опадів, інтенсивністю стоку та активізацією ерозійних процесів. Додатково на морфодинаміку впливають техногенні фактори, серед яких — будівництво гідротехнічних споруд, зміна структури землекористування, водогосподарська діяльність, регулювання стоку та інші види антропогенного тиску. Такі процеси можуть спричиняти руслові деформації, що проявляються у вигляді зміни ширини та глибини русла, переформування меандрів, перерозподілу руслових потоків, а також розвитку берегової ерозії, що становить загрозу для навколишніх територій [Бурштинська Х. 2021, Burshtynska, K., Kokhan, S. 2023].

Одним із найефективніших інструментів контролю та аналізу просторово-часової динаміки річкових систем є технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у поєднанні з геоінформаційними системами (ГІС). Завдяки високій оперативності, широкому охопленню території, точності та доступності супутникових даних стало можливим проводити комплексний аналіз стану руслових систем, визначати тенденції їх розвитку та моделювати можливі сценарії змін. ГІС-технології, у свою чергу, дозволяють інтегрувати різнорідну інформацію, здійснювати багаторівневий просторовий аналіз, візуалізувати результати та створювати цифрові моделі руслових процесів. Таке поєднання методів значно підвищує достовірність і наукову обґрунтованість досліджень, що є особливо актуальним у контексті сучасних викликів, пов'язаних зі зміною клімату та необхідністю сталого управління водними ресурсами.

З огляду на це, дослідження руслових процесів у межах рівнинної частини русла Дністра на основі матеріалів дистанційного зондування та геоінформаційного аналізу є надзвичайно важливим для розуміння динаміки річкової системи, оцінки ризиків та розробки рекомендацій щодо збереження і раціонального використання природних ресурсів. Застосування багатоспектральних супутникових знімків дозволяє аналізувати зміни у плановій конфігурації русла за різні відрізки часу, виявляти ділянки активної ерозії та акумуляції, визначати масштаби та інтенсивність деформацій. Використання ГІС забезпечує можливість точного порівняння даних за різні роки, побудови хронологічних моделей, аналізу морфометричних параметрів та створення тематичних карт руслової динаміки.

Актуальність роботи також підсилюється важливістю збереження екосистем Дністра. Руслова динаміка відіграє ключову роль у підтриманні біорізноманіття, формуванні гідрологічних умов та функціонуванні водно-болотних угідь. Надмірне руслове переформування може призводити до деградації важливих природних комплексів, зміни режиму живлення водних екосистем та порушення екологічної рівноваги. Тому детальний моніторинг руслових процесів на основі сучасних інструментів дистанційного зондування та ГІС є необхідною складовою ефективного екологічного менеджменту [Шевчук 2011, Burshtynska K. 2024].

Метою даної магістерської роботи є комплексне дослідження руслових процесів рівнинної системи русла Дністра з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем з метою визначення динаміки, тенденцій та інтенсивності руслових деформацій.

Для досягнення мети у роботі передбачено виконання таких завдань:

– проаналізувати теоретичні основи вивчення руслових процесів рівнинних річок;

– охарактеризувати методи дистанційного зондування Землі, придатні для аналізу руслової динаміки;

– визначити можливості ГІС у дослідженні морфодинаміки річкових систем;

– зібрати, обробити та проаналізувати супутникові зображення русла Дністра за різні роки;

– виконати порівняльний геоінформаційний аналіз зміни планової конфігурації русла;

– встановити основні тенденції руслових процесів, зокрема ділянки активної ерозії та акумуляції;

– узагальнити результати та сформувати висновки щодо динаміки руслової системи Дністра.

Об’єктом дослідження є руслові процеси рівнинної частини річки Дністер.

Предметом дослідження є процеси руслової динаміки, їх просторово-часові особливості та методи їх оцінки за даними дистанційного зондування та ГІС.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному застосуванні супутникових даних різних типів та джерел у поєднанні з глибоким ГІС-аналізом для оцінки руслових процесів Дністра, що дозволяє отримати високоточні просторові моделі змін морфології русла. Важливим аспектом є залучення багаторічних даних, що забезпечує можливість виявлення довготривалих тенденцій руслової динаміки та класифікації ключових морфологічних змін.

Практичне значення роботи визначається її можливістю бути використаною у діяльності природоохоронних структур, органів водного господарства, установ, що займаються проєктуванням інженерної інфраструктури, а також у наукових дослідженнях, присвячених динаміці річкових систем та управлінню водними ресурсами. Результати аналізу можуть слугувати основою для оцінки

ризиків руслових деформацій, планування заходів щодо захисту берегів, а також для формування стратегій гармонійного розвитку прибережних територій.

Ключові слова: руслові процеси, ерозія, моніторинг, деформація, геоінформаційні системи.

Перелік використаних літературних джерел.

1. Шевчук В. Методика моніторингу рік на урбанізованих територіях / В.Шевчук, Х.Бурштинська // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип . 75. – С . 73-82.
2. (53) Burshtynska K., Hrytskiv N., Zayats I., Babiy L., Fijalkovska A., Bakuła K. Monitoring of channel deformations of the Lower Dniester using topographic maps and satellite imagery with the implementation of GIS technologies. Water (Switzerland), 2024, Vol. 16, Iss. 15.
3. Бурштинська Х., Бабушка А., Дзюба М. Аналіз стійкості русла річки Свіча в місцях переходу об’єктів паливно-енергетичної інфраструктури. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2021. Вип. I (41). С. 132–139.
4. Burshtynska, K., Kokhan, S., Pfeifer, N., Halochkin, M., & Zayats, I. (2023). Hydrological Modeling for Determining Flooded Land from Unmanned Aerial Vehicle Images – Case Study at the Dniester River. Remote Sensing, 15(4), 1071. https://doi.org/10.3390/rs15041071.
5. Shevchuk V., Burshtynska K., Korolik I., Halochkin M. Monitoring of horizontal displacements and changes of the riverine area of the Dniester River. Journal of Water and Land Development, 2021, No. 49 (IV–V), 1–15. DOI: https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137091.

UDC 528.85.041.1 Gnit V.O., Burshtynska H.V. (supervisor). Research of channel processes of the flat part of the Dniester riverbed using materials of remote sensing of the Earth and geographic information systems, master's qualification work, Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2025

Extended abstract.

The relevance of the study of channel processes of the Dniester River is determined by both ecological and socio-economic factors. The Dniester is one of the largest rivers in Eastern Europe and is of strategic importance for Ukraine and Moldova. The channel system of the Dniester is undergoing significant changes related to climatic transformations, changes in the precipitation regime, the intensity of runoff and the activation of erosion processes. In addition, morphodynamics is influenced by man-made factors, including — construction of hydrotechnical structures, change in the structure of land use, water management activities, flow regulation and other types of anthropogenic pressure. Such processes can cause channel deformations, manifested in the form of changes in the width and depth of the channel, reformation of meanders, redistribution of channel flows, as well as the development of coastal erosion, which poses a threat to the surrounding areas [Burshtynska Kh. 2021, Burshtynska, K., Kokhan, S. 2023].

One of the most effective tools for controlling and analyzing the spatio-temporal dynamics of river systems is Earth Remote Sensing (RSS) technologies combined with Geographic Information Systems (GIS). Thanks to high efficiency, wide coverage of the territory, accuracy and availability of satellite data, it became possible to conduct a comprehensive analysis of the state of channel systems, determine trends in their development and model possible scenarios of changes. GIS technologies, in turn, allow the integration of heterogeneous information, the implementation of multilevel spatial analysis, the visualization of results and the creation of digital models of channel processes. This combination of methods significantly increases the validity and scientific validity of research, which is particularly relevant in the context of current challenges related to climate change and the need for sustainable water management.

In view of this, the study of channel processes within the flat part of the Dniester channel based on materials of remote sensing and geoinformation analysis is extremely important for understanding the dynamics of the river system, assessing risks and developing recommendations for the preservation and rational use of natural resources. The use of multispectral satellite images allows you to analyze changes in the planned configuration of the channel over different periods of time, identify areas of active erosion and accumulation, and determine the scale and intensity of deformations. The use of GIS provides the possibility of accurate comparison of data for different years, construction of chronological models, analysis of morphometric parameters and creation of thematic maps of channel dynamics.

The relevance of the work is also strengthened by the importance of preserving Dniester ecosystems. Channel dynamics play a key role in maintaining biodiversity, forming hydrological conditions and functioning of wetlands. Excessive channel reshaping can lead to degradation of important natural complexes, changes in the feeding regime of aquatic ecosystems and disruption of ecological balance. Therefore, detailed monitoring of channel processes based on modern remote sensing and GIS tools is a necessary component of effective environmental management [Shevchuk 2011, Burshtynska K. 2024].

The purpose of this master's thesis is a comprehensive study of channel processes of the flat system of the Dniester channel using materials of remote sensing of the Earth and geoinformation systems in order to determine the dynamics, trends and intensity of channel deformations.

To achieve the goal, the work provides for the following tasks:

– analyze the theoretical foundations of the study of channel processes of plain rivers;

– characterize Earth remote sensing techniques suitable for channel dynamics analysis;

– to identify the possibilities of GIS in the study of the morphodynamics of river systems;

– collect, process and analyze satellite images of the Dniester channel for different years;

– perform a comparative geoinformation analysis of the change in the planned configuration of the channel;

– establish the main trends of channel processes, in particular areas of active erosion and accumulation;

– summarize the results and form conclusions regarding the dynamics of the Dniester channel system.

The object of research is the channel processes of the flat part of the Dniester River.

The subject of the study is the processes of channel dynamics, their spatio-temporal features and methods of their assessment based on remote sensing and GIS data.

The scientific novelty of the work consists in the complex application of satellite data of various types and sources in combination with deep GIS analysis for the assessment of channel processes of the Dniester, which allows obtaining highly accurate spatial models of changes in channel morphology. An important aspect is the involvement of long-term data, which provides the possibility of identifying long-term trends in channel dynamics and classifying key morphological changes.

The practical significance of the work is determined by its ability to be used in the activities of environmental protection structures, water management bodies, institutions engaged in the design of engineering infrastructure, as well as in scientific research devoted to the dynamics of river systems and water resource management. The results of the analysis can serve as a basis for assessing the risks of channel deformations, planning measures to protect the coast, as well as for the formation of strategies for the harmonious development of coastal areas.

Keywords: bed processes, erosion, monitoring, deformation, geographic information systems.

References.

1. Shevchuk V. Methodology of monitoring rivers in urbanized areas / V. Shevchuk, H. Burshtynska // Geodesy, cartography and aerial photography. – 2011. – Issue . 75. – P. . 73-82.

2. (53) Burshtynska K., Hrytskiv N., Zayats I., Babiy L., Fijalkovska A., Bakuła K. Monitoring of channel deformations of the Lower Dniester using topographic maps and satellite imagery with the implementation of GIS technologies. Water (Switzerland), 2024, Vol. 16, Iss. 15.

3. Burshtynska H., Babushka A., Dzyuba M. Analysis of the stability of the Svich riverbed in places of transition of fuel and energy infrastructure facilities. Modern advances in geodetic science and production. 2021. Issue. And (41). P. 132–139.

4. Burshtynska, K., Kokhan, S., Pfeifer, N., Halochkin, M., & Zayats, I. (2023). Hydrological Modeling for Determining Flooded Land from Unmanned Aerial Vehicle Images – Case Study at the Dniester River. Remote Sensing, 15(4), 1071. https://doi.org/10.3390/rs15041071.

5. Shevchuk V., Burshtynska K., Korolik I., Halochkin M. Monitoring of horizontal displacements and changes of the riverine area of the Dniester River. Journal of Water and Land Development, 2021, No. 49 (IV–V), 1–15. DOI: https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137091.

ЗМІСТ

ВСТУП 10
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ І ГІС 13
1.1. Руслові процеси рівнинних річок: суть, класифікація та фактори формування 13
1.2. Методи дослідження руслових деформацій: традиційні підходи та сучасні технології дистанційного зондування Землі 14
1.3. Геоінформаційні системи у вивченні морфодинаміки річкових русел: принципи, можливості та інструменти аналізу 17
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ РІВНИННОЇ СИСТЕМИ РУСЛА ДНІСТРА З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ ТА ГІС 19
2.1. Характеристика природних умов та морфологічних особливостей русла Дністра на досліджуваній ділянці 19
2.2. Оброблення та інтерпретація матеріалів дистанційного зондування Землі для аналізу руслових деформацій 21
2.3. ГІС-аналіз динаміки русла Дністра: визначення тенденцій, інтенсивності та просторових закономірностей руслових процесів 23
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ РІВНИННОЇ ЧАСТИНИ РІЧКИ ДНІСТЕР 25
3.1. Аналіз вхідних даних для проведення дослідження 26
3.2. Основні етапи дослідження руслових процесів річки Дністер: структурна схема та опис 27
3.3. Аналітичні основи оцінювання стійкості русел річок 35
3.4. Характеристика типів русел та дослідження зміщень русла на досліджуваній частині річки Дністер 39
3.5. Аналіз карт ґрунтового покриву та геологічних карт ділянки дослідження 50
3.6. Створення водоохоронних зон на досліджуваній частині річки Дністер 53
ВИСНОВКИ 57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 58

ВСТУП

Річкові системи є складними природними утвореннями, динаміка яких формується під впливом широкого спектра природних та антропогенних факторів. Одним із ключових елементів функціонування річкових систем є руслові процеси — комплекс морфодинамічних явищ, що включають переміщення наносів, переформування берегів, зміни конфігурації русла та характеристик його окремих ділянок. Для рівнинних річок, до яких належить Дністер, ці процеси є особливо важливими, адже вони визначають гідрологічний режим, умови існування водних екосистем, стабільність берегових територій, а також впливають на інженерну інфраструктуру, природокористування та господарську діяльність у прибережних зонах.

Актуальність дослідження руслових процесів річки Дністер зумовлена як екологічними, так і соціально-економічними чинниками. Дністер є однією з найбільших річок Східної Європи та має стратегічне значення для України і Молдови. Руслова система Дністра зазнає суттєвих змін, пов’язаних із кліматичними трансформаціями, зміною режиму опадів, інтенсивністю стоку та активізацією ерозійних процесів. Додатково на морфодинаміку впливають техногенні фактори, серед яких — будівництво гідротехнічних споруд, зміна структури землекористування, водогосподарська діяльність, регулювання стоку та інші види антропогенного тиску. Такі процеси можуть спричиняти руслові деформації, що проявляються у вигляді зміни ширини та глибини русла, переформування меандрів, перерозподілу руслових потоків, а також розвитку берегової ерозії, що становить загрозу для навколишніх територій.

Одним із найефективніших інструментів контролю та аналізу просторово-часової динаміки річкових систем є технології дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у поєднанні з геоінформаційними системами (ГІС). Завдяки високій оперативності, широкому охопленню території, точності та доступності супутникових даних стало можливим проводити комплексний аналіз стану руслових систем, визначати тенденції їх розвитку та моделювати можливі сценарії змін. ГІС-технології, у свою чергу, дозволяють інтегрувати різнорідну інформацію, здійснювати багаторівневий просторовий аналіз, візуалізувати результати та створювати цифрові моделі руслових процесів. Таке поєднання методів значно підвищує достовірність і наукову обґрунтованість досліджень, що є особливо актуальним у контексті сучасних викликів, пов’язаних зі зміною клімату та необхідністю сталого управління водними ресурсами.

З огляду на це, дослідження руслових процесів у межах рівнинної частини русла Дністра на основі матеріалів дистанційного зондування та геоінформаційного аналізу є надзвичайно важливим для розуміння динаміки річкової системи, оцінки ризиків та розробки рекомендацій щодо збереження і раціонального використання природних ресурсів. Застосування багатоспектральних супутникових знімків дозволяє аналізувати зміни у плановій конфігурації русла за різні відрізки часу, виявляти ділянки активної ерозії та акумуляції, визначати масштаби та інтенсивність деформацій. Використання ГІС забезпечує можливість точного порівняння даних за різні роки, побудови

хронологічних моделей, аналізу морфометричних параметрів та створення тематичних карт руслової динаміки.

Актуальність роботи також підсилюється важливістю збереження екосистем Дністра. Руслова динаміка відіграє ключову роль у підтриманні біорізноманіття, формуванні гідрологічних умов та функціонуванні водно-болотних угідь. Надмірне руслове переформування може призводити до деградації важливих природних комплексів, зміни режиму живлення водних екосистем та порушення екологічної рівноваги. Тому детальний моніторинг руслових процесів на основі сучасних інструментів дистанційного зондування та ГІС є необхідною складовою ефективного екологічного менеджменту.

Метою даної магістерської роботи є комплексне дослідження руслових процесів рівнинної системи русла Дністра з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем з метою визначення динаміки, тенденцій та інтенсивності руслових деформацій.

Для досягнення мети у роботі передбачено виконання таких завдань:

– проаналізувати теоретичні основи вивчення руслових процесів рівнинних річок;

– охарактеризувати методи дистанційного зондування Землі, придатні для аналізу руслової динаміки;

– визначити можливості ГІС у дослідженні морфодинаміки річкових систем;

– зібрати, обробити та проаналізувати супутникові зображення русла Дністра за різні роки;

– виконати порівняльний геоінформаційний аналіз зміни планової конфігурації русла;

– встановити основні тенденції руслових процесів, зокрема ділянки активної ерозії та акумуляції;

– узагальнити результати та сформувати висновки щодо динаміки руслової системи Дністра.

Об’єктом дослідження є руслові процеси рівнинної частини річки Дністер. **Предметом дослідження** є процеси руслової динаміки, їх просторово-часові особливості та методи їх оцінки за даними дистанційного зондування та ГІС.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному застосуванні супутникових даних різних типів та джерел у поєднанні з глибоким ГІС-аналізом для оцінки руслових процесів Дністра, що дозволяє отримати високоточні просторові моделі змін морфології русла. Важливим аспектом є залучення багаторічних даних, що забезпечує можливість виявлення довготривалих тенденцій руслової динаміки та класифікації ключових морфологічних змін.

Практичне значення роботи визначається її можливістю бути використаною у діяльності природоохоронних структур, органів водного господарства, установ, що займаються проєктуванням інженерної інфраструктури, а також у наукових дослідженнях, присвячених динаміці річкових систем та управлінню водними ресурсами. Результати аналізу можуть слугувати основою для оцінки

ризиків руслових деформацій, планування заходів щодо захисту берегів, а також для формування стратегій гармонійного розвитку прибережних територій.

Перший розділ присвячений теоретичним засадам дослідження руслових процесів та їх аналіз за даними ДЗЗ та ГІС. У другому розділі подано аналіз руслових процесів рівнинної системи русла Дністра з використанням матеріалів ДЗЗ та ГІС. У третьому розділі детально описано процес виконання експериментальних робіт для дослідження руслових процесів рівнинної частини річки Дністер. За результатами досліджень зроблені відповідні висновки.

У підсумку проведене дослідження дозволяє оцінити просторові закономірності змін русла Дністра, визначити ключові морфодинамічні процеси, встановити їхню інтенсивність та уточнити чинники, що спричиняють руслові деформації. Отримані результати можуть бути основою для подальших наукових розробок у галузі гідроморфології, дистанційного зондування та ГІС-аналізу, а також сприяти розробці практичних рекомендацій щодо раціонального використання та управління ресурсами річкових систем.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ І ГІС

1.1. Руслові процеси рівнинних річок: суть, класифікація та фактори формування

Руслові процеси рівнинних річок є складною системою природної взаємодії водного потоку, річкових наносів, берегових порід та заплавного середовища, яка визначає морфологічну будову, просторову конфігурацію та динаміку русла. Усі ці процеси зумовлені дією потоку води, що постійно змінює своє енергетичне навантаження, швидкість і напрям руху відповідно до зміни гідрологічних умов та морфометричних особливостей долини. Для рівнинних річок характерні відносно низькі ухили, помірна швидкість течії та значна роль акумулятивних механізмів, що формують м'які, пластичні форми рельєфу і зумовлюють повільне, але неперервне переформування русла. Саме тому руслові процеси рівнинних річок відзначаються поступовістю, циклічністю та високою чутливістю до зовнішніх впливів, як природних, так і антропогенних.

Суть руслових процесів полягає у взаємодії двох протилежних за характером, але нерозривно пов'язаних механізмів — ерозії та акумуляції. Ерозійні прояви полягають у руйнуванні берегів та дна річки внаслідок механічної дії потоку, який, досягаючи максимальної швидкості на зовнішніх ділянках кривини, спричиняє підмиття берегів, виникнення обвалів і відступання берегової лінії. Натомість акумуляція виникає там, де енергетичний потенціал потоку зменшується, що приводить до осідання твердого стоку та формування різноманітних донних форм – мілин, кос, островів, заплавних наносів. У рівнинних річок ці процеси часто перебувають у динамічній рівновазі, проте навіть незначні зміни гідрологічних умов можуть порушувати її та призводити до інтенсивних руслових деформацій [9, 10].

Однією з найбільш характерних форм руслових процесів рівнинних річок є меандрування — природний механізм формування звивин, які мають властивість зміщуватися, збільшувати свій радіус або навпаки зменшувати, створюючи складну систему вигинів та проток. Внаслідок меандрування русло зазнає постійних змін планової форми, що проявляється у його латеральній міграції. Така міграція може відбуватися поступово, зі швидкістю до кількох метрів на рік, або періодами прискорюватися під час паводкових подій. Меандрування зумовлене асиметричним розподілом гідродинамічних сил у руслі, коли на зовнішньому березі виникає зона підвищеної ерозії, а на внутрішньому – зона акумуляції. Цей механізм створює своєрідну структуру річкової долини, зумовлюючи формування прируслових валів, заплавних понижень і старичних озер.

Класифікація руслових процесів у рівнинних річках ґрунтується на домінуванні певних морфодинамічних механізмів та на плановій формі русла. Зокрема, виділяють прямолінійні, звивисті та меандровані русла, а також русла зі складною системою розгалужень. Прямолінійні русла є рідкістю для природних рівнинних річок та, як правило, пов'язані із техногенним випрямленням або специфічними геологічними умовами. Звивисті та

меандровані русла є найпоширенішими та відзначаються циклічним зміщенням вигинів. Розгалужені русла формуються в умовах надлишку наносів та зниження пропускної здатності потоку, що зумовлює виникнення численних проток, островів та мілин. Усі ці типи русел характеризуються різною інтенсивністю руслових процесів, однак їх об'єднує наявність постійних змін у просторі та часі.

Факторів, що впливають на формування руслових процесів рівнинних річок, є багато, і вони мають складний взаємозв'язок. До природних факторів належать гідрологічний режим річки, витрата та швидкість течії, сезонні коливання стоку, кількість та гранулометричний склад наносів, кліматичні умови, геологічна будова заплави та стійкість берегових порід. Гідрологічний режим визначає інтенсивність ерозійних і акумулятивних процесів, тоді як гранулометричний склад наносів впливає на швидкість осідання часток і характер донних форм. Геологічні умови визначають стійкість берегових схилів: лесові та суглинкові породи руйнуються значно швидше, ніж піщано-глинисті або карбонатні породи. Кліматичні чинники, такі як кількість опадів, температура та частота паводків, визначають водність річки та інтенсивність сезонних переформувань.

Не менш важливим є антропогенний вплив, який у сучасних умовах суттєво змінює природний хід руслових процесів. До основних видів антропогенних факторів належать регулювання стоку через будівництво гребель і водосховищ, спрямлення русла, гідротехнічні роботи на берегах, видобування піску та гравію з русла, освоєння заплав і сільськогосподарське використання прилеглих територій. Такі втручання можуть значно прискорювати ерозійні процеси, змінювати напрямок руслової міграції та спричиняти деградацію природних морфологічних структур. У багатьох випадках антропогенний вплив призводить до зниження руслової стійкості, коли навіть відносно невеликі паводки можуть викликати значні деформації русла.

Узагальнюючи, руслові процеси рівнинних річок є результатом взаємодії природних гідродинамічних механізмів та зовнішніх факторів, що впливають на морфологію та функціонування річкових систем. Вони визначають просторову структуру русла, темп його зміни та стійкість до переформувань. Розуміння сутності, класифікації та чинників формування руслових процесів є ключовим для аналізу морфодинаміки річок, зокрема таких великих рівнинних водотоків, як Дністер, де руслова динаміка має складний характер і суттєво впливає на стан природного середовища, інфраструктуру та безпеку прилеглих територій.

1.2. Методи дослідження руслових деформацій: традиційні підходи та сучасні технології дистанційного зондування Землі

Дослідження руслових деформацій рівнинних річок є одним із ключових напрямів геоморфології, гідрології та інженерно-гідротехнічних наук, оскільки морфодинаміка річкового русла безпосередньо впливає на стійкість берегів, гідрологічний режим, безпеку інфраструктури й збереження природних екосистем. Методи аналізу руслових процесів зазнали суттєвих змін протягом останніх десятиліть: від польових спостережень та картографічних робіт до

використання високоточної супутникової інформації, цифрового моделювання та автоматизованих систем просторового аналізу. Поєднання традиційних підходів із технологіями дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дало змогу комплексно оцінювати руслові деформації, виявляти довгострокові тенденції та підвищувати якість моніторингу річкових систем.

Традиційні методи дослідження руслових процесів включають польові спостереження, гідрологічні вимірювання, морфометричний аналіз і картографування. Польові роботи є одним із найбільш точних способів отримання інформації про стан русла, оскільки передбачають пряме вивчення берегових і донних форм, визначення швидкості течії, глибини, гранулометричного складу наносів, параметрів меандрів і характеру берегової ерозії. Ці методи забезпечують детальне описання локальних процесів, але мають низку обмежень: вони є трудомісткими, потребують тривалого часу та значних ресурсів, а також не дозволяють охопити великі території чи здійснювати аналіз за тривалими часовими періодами. Тому їх застосовують переважно для уточнення даних, отриманих іншими способами, або для вибіркових ділянок річкової мережі.

Картографічні методи, зокрема аналіз історичних карт, планів русла та аерофотознімків, тривалий час були основою для вивчення руслової динаміки. Порівняння карт різних років дає змогу визначати зміни планової конфігурації русла, виявляти ділянки активної міграції, оцінювати інтенсивність руслових деформацій і тенденції розвитку меандрів. Однак точність цих картографічних матеріалів часто залежить від технологій їхнього створення та масштабу, а нерівномірність їхнього надходження ускладнює комплексний і систематичний аналіз. Попри це, історичні картографічні джерела є важливими для розуміння довгострокової трансформації річкових систем, особливо у випадках, коли супутникова інформація ще не була доступною [12].

З розвитком технологічних можливостей дослідження руслових процесів значною мірою збагачено методами дистанційного зондування Землі, які забезпечують регулярне, точне та масштабне спостереження за природними об’єктами. Супутникові знімки, аерофотознімки, дані з безпілотних літальних апаратів та лазерне сканування широко використовуються для картографування та аналізу руслової динаміки. Матеріали ДЗЗ дозволяють отримувати серії зображень за різні роки й сезони, що відкриває можливість дослідження як довгострокових тенденцій, так і короткочасних змін, зокрема після паводкових подій. Особливо важливим є те, що супутникові дані охоплюють великі території і дають змогу проводити моніторинг у важкодоступних або небезпечних регіонах.

Одним із найбільш поширених джерел супутникової інформації для аналізу руслових деформацій є багатоспектральні знімки середньої просторової роздільної здатності, зокрема дані програм Landsat, Sentinel, ASTER та інших супутникових платформ. Вони забезпечують оптимальне співвідношення між роздільною здатністю, частотою оновлення та доступністю даних. На основі таких знімків визначають контур русла, характер руслових форм, розподіл

наносів, зони розмиву й акумуляції. Багатоспектральні дані дають змогу використовувати спектральні індекси (наприклад, NDWI для визначення меж водного дзеркала), що значно підвищує точність виділення водної поверхні навіть у складних умовах.

У більш детальних дослідженнях використовують високоточні зображення з просторовою здатністю 0,3–2 м (WorldView, GeoEye, Pleiades), які дають змогу аналізувати локальні процеси — зокрема, формування островів, кос, руслових перекатів, незначних берегових деформацій. Такі знімки застосовуються при проектуванні гідротехнічних споруд, плануванні берегоукріплювальних заходів та оцінці ризиків підтоплення. Значний потенціал має також використання БПЛА, які забезпечують надзвичайно високу точність і дозволяють отримувати цифрові моделі рельєфу з сантиметровою роздільною здатністю. Це особливо корисно для аналізу локальних ерозійних процесів, берегових зсувів, змін у донній морфології та побудови тривимірних моделей русла.

Серед сучасних методів виділяють також використання радарних даних (SAR), які мають здатність проникати крізь хмарність і працювати за будь-яких погодних умов. Це відкриває нові можливості для моніторингу паводкових подій, визначення меж затоплень і оцінки динаміки водної поверхні навіть під час несприятливих атмосферних умов. Радарні дані дозволяють швидко і точно виділяти зміни у межах русла, що робить їх цінними для оперативного управління водними об’єктами.

Поєднання матеріалів ДЗЗ з цифровими моделями рельєфу (ЦМР) дає змогу глибше зрозуміти морфологічні аспекти руслових процесів. ЦМР, отримані за допомогою супутникових місій (SRTM, TanDEM-X) або лазерного сканування, дозволяють аналізувати поперечні профілі річкової долини, ухили, висотні градієнти й структуру заплави. На основі цих даних визначають потенційні зони ерозійної активності, напрямки міграції русла та загальну морфодинамічну стабільність річкової системи.

У сучасних підходах важливу роль відіграють автоматизовані методи обробки супутникових знімків, зокрема сегментація, класифікація, машинне навчання та алгоритми зміни контурів. Використання штучного інтелекту дозволяє швидко аналізувати великі масиви даних, виявляти руслові зміни за багато десятиліть і підвищувати точність оконтурення водної поверхні. Такі методи особливо актуальні для великих річкових систем, таких як Дністер, де руслова динаміка відбувається одночасно на значних за площею територіях.

Отже, сучасні дослідження руслових деформацій ґрунтуються на комплексному підході, що поєднує польові, картографічні й дистанційні методи. Традиційні підходи забезпечують детальну інформацію про локальні процеси, тоді як ДЗЗ дозволяє аналізувати просторово-часову динаміку у регіональному масштабі та відстежувати довгострокові тенденції. Об’єднання цих методів створює основу для всебічного вивчення морфодинаміки річкових систем, підвищення ефективності моніторингу й прийняття обґрунтованих рішень щодо управління водними ресурсами та збереження природного середовища.

1.3. Геоінформаційні системи у вивченні морфодинаміки річкових русел: принципи, можливості та інструменти аналізу

Геоінформаційні системи (ГІС) є потужним інструментом для вивчення морфодинамічних процесів річкових систем, забезпечуючи інтеграцію, аналіз і візуалізацію великих обсягів просторових даних, які традиційними методами вимірювань охопити складно. Основною перевагою ГІС є здатність поєднувати різноманітні джерела інформації, включаючи топографічні карти, аерофотознімки, супутникові дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), гідрометричні спостереження, геологічні та ґрунтові дані. Такий комплексний підхід дозволяє отримати точну картину сучасного стану річкових систем, оцінити їх трансформацію у часі та просторі, а також визначити зональні та локальні особливості морфодинамічних процесів. ГІС дають змогу аналізувати темпи ерозійних та акумулятивних процесів, визначати ділянки активної міграції меандрів, формування островів та піщаних кос, прогнозувати зміни русла під впливом природних та антропогенних факторів, а також оцінювати потенційні ризики затоплення заплави та ерозії берегів.

Принципи роботи ГІС базуються на просторовому представленні об’єктів у вигляді точок, ліній та полігонів з збереженням атрибутивних характеристик у базах даних. Це дозволяє не лише створювати карти та моделі річкових систем, але й виконувати складні просторово-аналітичні операції. Серед основних інструментів – накладання шарів, буферний аналіз, інтерполяція, моделювання змін рельєфу та руслових параметрів, а також аналіз взаємозв’язків між морфологічними, гідрологічними та геоморфологічними характеристиками. Важливим аспектом є часовий компонент, оскільки процеси ерозії, акумуляції та трансформації русла відбуваються динамічно. ГІС дозволяють формувати серії картографічних моделей і цифрових шарів, що відображають зміни русла у різні часові періоди, проводити їх порівняльний аналіз і визначати тенденції розвитку річкової системи.

Поєднання ГІС із матеріалами ДЗЗ забезпечує отримання кількісних характеристик морфодинамічних процесів навіть на великій території та в умовах обмеженого доступу до місцевості. Супутникові знімки високої та середньої роздільної здатності дозволяють відстежувати зміни берегової лінії, конфігурації русла, появу та розвиток островів, піщаних кос і мілин, а також визначати площі затоплення у заплаві та ступінь водного режиму річки. Аналіз часових рядів супутникових даних дає можливість оцінювати темпи міграції меандрів, інтенсивність акумуляції або втрати наносів, а також взаємозв’язок річкових процесів із сезонними та довгостроковими змінами гідрологічного режиму. Інтеграція таких даних у ГІС дозволяє проводити картографічний, статистичний і просторовий аналіз, що підвищує точність і надійність отриманих результатів.

Серед конкретних ГІС-операцій, що використовуються у вивченні морфодинаміки, важливе місце займає цифрова обробка рельєфу. Наприклад, за допомогою цифрових моделей рельєфу (ЦМР) можна визначати крутизну схилів, висоту та ступінь розвитку терас, глибину і форму річища, а також

ідентифікувати потенційні зони ерозії. Використання ЦМР у поєднанні з гідрологічним моделюванням дозволяє оцінювати швидкість течії, водність, перенесення наносів, визначати локальні ділянки накопичення піску та гравію, прогнозувати утворення нових мілин або зміни напрямку течії. Просторова статистика дозволяє кількісно аналізувати закономірності розташування меандрів, стариць, островів та інших елементів річкового ландшафту, виявляти кореляційні зв'язки між морфологічними та гідрологічними параметрами і прогнозувати потенційні зміни річкової системи.

Ще одним прикладом є накладання буферних зон навколо берегової лінії для оцінки територій, найбільш схильних до ерозії, а також зон затоплення під час паводків. Аналіз змін довжини берегової лінії або площі островів у різні часові періоди дозволяє визначити інтенсивність руслових процесів і прогнозувати можливі трансформації річкових вигинів. Використання серій часових знімків супутників дозволяє створювати карти темпів міграції меандрів та визначати закономірності їх розташування, що є важливим для прогнозування подальшої морфодинаміки та оцінки ризиків.

Важливим аспектом є автоматизація обробки великих масивів даних. Сучасні програмні комплекси, такі як ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, мають інструменти для векторизації берегової лінії, створення цифрових моделей рельєфу, аналізу просторових змін, побудови 3D-моделей річкового русла та оцінки об'єму перенесених наносів. Завдяки цьому дослідник може оперативно оцінювати морфодинамічні процеси, проводити порівняльний аналіз різних часових періодів, а також моделювати потенційні зміни річкової системи під впливом природних і антропогенних факторів.

Крім того, ГІС дозволяють інтегрувати багаторівневі дані, включаючи інформацію про рослинність заплави, ґрунти, геологічну будову, гідрологічний режим і антропогенний вплив. Це створює можливість комплексного аналізу взаємодії природних процесів і людської діяльності. Наприклад, можна оцінити, як зміна землекористування або будівництво гідротехнічних споруд впливає на інтенсивність ерозії берегів та міграцію меандрів.

Таким чином, геоінформаційні системи у поєднанні з матеріалами дистанційного зондування є ключовим інструментом сучасної геоморфології річкових систем. Вони дозволяють здійснювати комплексний просторово-часовий аналіз змін русла, кількісно оцінювати ерозійні та акумулятивні процеси, ідентифікувати активні ділянки трансформації руслових структур, прогнозувати розвиток річкових систем у різних природних і антропогенних умовах. Використання ГІС забезпечує науковцям об'єктивні, детальні та надійні дані про сучасний стан річкових систем, що є основою для розробки стратегій управління водними ресурсами, охорони річкових ландшафтів та забезпечення екологічної стабільності водних екосистем.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ РІВНИННОЇ СИСТЕМИ РУСЛА ДНІСТРА З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ ТА ГІС

2.1. Характеристика природних умов та морфологічних особливостей русла Дністра на досліджуваній ділянці

Річка Дністер є однією з найбільших річкових систем Східної Європи та займає ключове місце у формуванні природного середовища західної частини України. Досліджувана ділянка річки розташована у межах рівнинної системи русла, де відзначаються характерні для рівнинних річок морфологічні та гідрологічні особливості. Природні умови на цій території визначаються комплексом геологічних, кліматичних та гідрологічних чинників, які впливають на формування річища, процеси ерозії та акумуляції відкладів. Клімат регіону помірно континентальний, з вираженою сезонною мінливістю температури та випадінням опадів, що прямо впливає на режим живлення річки та варіабельність водного стоку. Переважну частину річного стоку забезпечують дощові та снігові води, що визначає сезонність рівнів води та інтенсивність морфодинамічних процесів у руслі.

Геологічна будова заплави Дністра на досліджуваній ділянці характеризується переважанням алювіальних відкладів різного гранулометричного складу, що включають піски, піщано-глинисті суміші та галечники. Взаємодія гідродинамічних процесів з геологічними умовами обумовлює високу мінливість конфігурації русла та розвиток різноманітних форм рельєфу, таких як меандри, протоки, острови та піщані коси. Русло на цій ділянці переважно меандричне, з вираженими закрученими вигинами, що свідчить про активний процес бічної ерозії та акумуляції наносів. Ширина русла коливається від 40 до 150 метрів, глибина – від 1,5 до 5,5 метрів, а в місцях скупчення наносів можуть утворюватися мілководні ділянки, що змінюють напрям течії та швидкість потоку.

Заплава річки має різну ширину та конфігурацію і складається з низки терас, що сформовані під впливом сучасного та давнього стоку. Нижня тераса представлена переважно відкритими алювіальними площинами з піщано-глинистими відкладеннями, у яких активно розвиваються водно-болотні угруповання рослинності. Вищі тераси формуються внаслідок давніх паводкових процесів та є більш стабільними. Зелена смуга заплави відіграє важливу роль у стабілізації берегів та гальмуванні ерозійних процесів, а також у формуванні природних гідрологічних режимів. На окремих ділянках, де береги більш круті, спостерігаються процеси підрізання схилів та обвалів, що призводить до локальної зміни русла та переносу наносів у нижній течії.

Особливості морфодинаміки русла на досліджуваній ділянці визначаються поєднанням гідрологічного режиму, характеру берегів та гранулометричного складу відкладів. Активні процеси міграції меандрів призводять до формування закручуваних вигинів, утворення стариць та обособлених проток, що змінюють локальний водний режим. Місцями спостерігаються значні відклади піску та гравію, що формують мілини та острови, змінюючи характер течії та спричинюючи локальні завихрення води. У свою чергу, нерівномірний розподіл

руслових відкладів впливає на формування різної швидкості потоку, що підсилює процеси ерозії на зовнішніх вигинах меандрів та акумуляції – на внутрішніх.

Гідрологічні умови річки характеризуються значною сезонною мінливістю рівня води, що проявляється у періоди весняного та літнього водопілля. Під час паводків спостерігається активне розмивання берегів, перенесення та перерозподіл наносів, затоплення заплави та формування нових річкових відкладів. У міжпаводковий період русло стабілізується, накопичуються осадові відклади, відбувається формування мілин та піщаних кос, які визначають подальшу еволюцію річкової системи. Морфологічна структура русла на досліджуваній ділянці демонструє високий ступінь динамічності, що потребує регулярного моніторингу та застосування сучасних методів дистанційного зондування та геоінформаційного аналізу для оцінки змін русла та заплави [11].

Особливу увагу слід приділити характеру берегових форм. На досліджуваній ділянці береги річки переважно низькі та пологі, місцями зустрічаються круті підрізані ділянки з ерозійними виступами. Пологі береги забезпечують формування широких заплав, де відбувається акумуляція піщано-глинистих відкладів та розвиток водно-болотної рослинності. Круті ділянки берега сприяють активній бічній ерозії, що призводить до зміни конфігурації русла та утворення стариць. Важливим фактором є також присутність антропогенних елементів, таких як мостові споруди, греблі та інженерні укріплення берегів, які локально змінюють режим течії та морфологію річища.

Таким чином, природні умови досліджуваної ділянки Дністра формують комплексну морфологічну структуру русла, де поєднуються процеси ерозії та акумуляції, активна міграція меандрів та формування островів і мілин. Високий ступінь динамічності річкової системи визначає необхідність систематичного моніторингу та використання сучасних геоінформаційних та дистанційних методів дослідження для оцінки змін русла та прогнозування розвитку морфодинамічних процесів у середньостроковій та довгостроковій перспективі. Комплексний аналіз природних умов та морфологічних особливостей русла дозволяє отримати цілісне уявлення про функціонування рівнинної ділянки річки, виявити основні чинники трансформації річища та сформувати науково обґрунтовані рекомендації щодо управління водними ресурсами та охорони річкових ландшафтів.

2.2. Оброблення та інтерпретація матеріалів дистанційного зондування Землі для аналізу руслових деформацій

Матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) є одним із найефективніших інструментів для дослідження морфодинамічних процесів річкових систем. Вони дозволяють отримувати детальні дані про просторову конфігурацію русла, масштаби ерозійних та акумулятивних процесів, динаміку берегової лінії, формування островів, мілин та піщаних кос, а також зміни водного режиму у заплавах. Особливо цінним є застосування ДЗЗ для аналізу малодоступних або протяжних ділянок річок, таких як Дністер, де регулярні польові вимірювання є складними, тривалими та ресурсомісткими. Сучасні супутникові знімки дозволяють отримати систематичну, багатовимірну та кількісну інформацію про динаміку руслових форм, що раніше можна було оцінювати лише частково за польовими спостереженнями.

Для дослідження морфодинаміки русла Дністра використовуються супутникові знімки різних поколінь і роздільної здатності. Зокрема, серії Landsat із роздільною здатністю 30 м (з 1980-х років) дозволяють проводити аналіз довгострокових змін русла, Sentinel-2 із роздільною здатністю 10–20 м забезпечує відстеження середньо- і короткострокових трансформацій, а високороздільні комерційні супутники, такі як WorldView або PlanetScope (3–5 м), дозволяють детально аналізувати локальні зміни русла, мілин, піщаних кос і берегів. Використання часових рядів цих супутників дозволяє відстежувати морфодинамічні зміни на різних часових масштабах – від сезонних коливань русла до багаторічних трансформацій берегової лінії, меандрів та формування островів. Зокрема, завдяки високій частоті зйомки Sentinel-2 можливо оцінювати короткострокові процеси, такі як паводки, сезонні зміни рівня води та утворення тимчасових затоплень, а Landsat дозволяє аналізувати довгострокові тенденції ерозії та акумуляції.

Першим етапом оброблення супутникових даних є геоприв’язка знімків до системи координат досліджуваної території. Це дозволяє точне суміщення різних часових серій та інтеграцію з іншими картографічними, топографічними та польовими матеріалами. Важливою складовою є використання цифрових моделей рельєфу для корекції спотворень, викликаних нахилом поверхні, а також врахуванням перспективних спотворень у супутникових зображеннях. Далі застосовуються методи корекції даних, спрямовані на мінімізацію впливу атмосферних умов, змін освітленості, розсіювання світла та сезонних особливостей водності, що дозволяє підвищити точність виділення берегової лінії, водних об’єктів та мілин. Особливу увагу приділяють врахуванню змін стану рослинного покриву заплави, що можуть значно впливати на спектральні характеристики знімків.

Виділення водних та надводних об’єктів здійснюється за допомогою спектральних індексів, таких як NDWI (Normalized Difference Water Index), MNDWI (Modified NDWI) та NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDWI дозволяє ефективно виділяти водну поверхню, MNDWI допомагає

зменшити вплив розсіяного світла та покращує виявлення дрібних водних об'єктів, NDVI використовується для оцінки стану рослинності заплави та визначення межі водного дзеркала в місцях із густим рослинним покривом. Застосування комбінації цих індексів підвищує точність аналізу, особливо на ділянках з мілководдям, піщаними косами та швидкоплинними протоками, де традиційні методи польового обстеження не дозволяють виділити межі водної поверхні з достатньою точністю. Крім того, спектральні індекси дозволяють оцінювати ділянки ерозії берегів, накопичення наносів, рівень водності та сезонні коливання затоплення, що важливо для побудови кількісних моделей руслових процесів [11, 15].

Інтерпретація матеріалів ДЗЗ включає картографування основних морфологічних елементів русла, таких як меандри, стариці, острови, мілини, піщані коси та затоплені заплавні ділянки, а також аналіз їх змін у часі. Для цього застосовуються методи цифрової обробки зображень, включаючи класифікацію пікселів за спектральними характеристиками, сегментацію русла, векторизацію берегової лінії та створення серій цифрових карт і аналітичних шарів. Порівняння часових рядів супутникових знімків дозволяє оцінити швидкість міграції меандрів, зміну ширини та глибини русла, накопичення та втрату наносів, локальні ерозійні процеси на зовнішніх вигинах, формування нових островів, піщаних кос та зміну конфігурації стариць. Аналіз таких часових рядів забезпечує можливість визначити довгострокові тенденції розвитку річкової системи, а також виділити короткострокові процеси, які мають сезонний характер, наприклад, пов'язані з паводками чи паводковими хвилями.

Особливо ефективним є поєднання даних високої та середньої роздільної здатності, що дозволяє одночасно аналізувати локальні зміни конфігурації русла та великомасштабні трансформації заплави. Для підвищення точності оцінки змін морфології річки застосовуються методи цифрового картографування рельєфу, включаючи створення цифрових моделей річкового дна та заплави, що дозволяють визначати глибину та форму русла, висоту терас, нахил берегів, площу водного дзеркала, а також просторову взаємодію ерозійних та акумулятивних процесів. Цифрові моделі рельєфу дозволяють моделювати потенційні зміни русла під впливом паводків, паводкових хвиль та сезонних коливань водності, оцінювати ризик підтоплення заплави та змін гідрологічного режиму.

Інтеграція матеріалів ДЗЗ із геоінформаційними системами забезпечує комплексну обробку та аналіз даних, дозволяючи поєднувати просторові та атрибутивні характеристики річкової системи. За допомогою ГІС можна проводити буферний аналіз зон потенційної ерозії, накладати шари даних із різних часових періодів, оцінювати тенденції розвитку морфодинамічних процесів, визначати інтенсивність накопичення або розмиву наносів та створювати просторово-часові прогностичні моделі трансформації русла. Крім того, ГІС дозволяють інтегрувати додаткові дані про гідрологічні показники, геологічну будову берегів, рослинний покрив заплави, антропогенний вплив та інші фактори, що підвищує точність оцінки морфодинаміки річки та формує

наукову основу для ефективного управління водними ресурсами та охорони річкових ландшафтів.

Таким чином, оброблення та інтерпретація матеріалів дистанційного зондування Землі є ключовим етапом у дослідженні морфодинаміки річок. Вона дозволяє кількісно оцінювати зміни руслової системи, визначати тенденції розвитку ерозійних та акумулятивних процесів, ідентифікувати локальні зони підвищеної морфодинамічної активності та формувати науково обґрунтовані прогнози трансформації річкового русла. Поєднання ДЗЗ із ГІС забезпечує детальний просторово-часовий аналіз динаміки руслових форм та дозволяє створювати комплексні моделі розвитку річкової системи, що є необхідною умовою для ефективного управління водними ресурсами, планування охорони річкових ландшафтів і прогнозування наслідків природних та антропогенних змін.

2.3. ГІС-аналіз динаміки русла Дністра: визначення тенденцій, інтенсивності та просторових закономірностей руслових процесів

Геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують ефективні інструменти для комплексного вивчення динаміки річкових систем та дозволяють оцінити тенденції, інтенсивність і просторові закономірності руслових процесів. Вивчення динаміки русла Дністра із застосуванням ГІС базується на інтеграції багатоперіодних матеріалів дистанційного зондування Землі, топографічних карт та польових даних, що дає змогу відстежувати зміни конфігурації річища в часі та просторі. Основним завданням аналізу є визначення масштабів переміщення меандрів, трансформації берегових форм, накопичення та розмиву наносів, а також оцінка впливу природних і антропогенних чинників на морфодинаміку річки.

Першим етапом ГІС-аналізу є створення просторово-часової бази даних, яка включає геометричні та атрибутивні характеристики русла для кожного періоду спостережень. Для цього використовуються супутникові знімки різної роздільної здатності, а також аерофотознімки та картографічні матеріали. На основі цих даних здійснюється векторизація берегової лінії, виділення руслових елементів – меандрів, островів, проток, мілин та піщаних кос – і створення серій тематичних шарів у ГІС. Наступним кроком є проведення порівняльного аналізу змін цих елементів у часі, що дозволяє оцінити швидкість міграції руслових форм, темпи акумуляції або розмиву відкладів, а також виявити локальні зони підвищеної морфодинамічної активності [20].

Для оцінки тенденцій розвитку русла застосовуються методи аналізу часових рядів просторових даних. Порівняння положення берегової лінії на різні роки дозволяє визначити напрямок та величину зміщення меандрів, ідентифікувати стабільні та трансформовані ділянки русла, а також оцінити тривалість процесів міграції. Важливим елементом аналізу є виділення зон ерозії та акумуляції, що проводиться за допомогою накладення шарів даних для різних часових періодів і обчислення площ змін. Цей підхід дозволяє не лише кількісно

оцінити зміни русла, а й виявити закономірності просторового розташування ерозійних та акумулятивних процесів уздовж досліджуваної ділянки Дністра.

Інтенсивність руслових процесів визначається на основі кількісних показників зміни площі та об'єму переміщених відкладів, довжини переміщених берегів та швидкості міграції меандрів. Використання цифрових моделей рельєфу у ГІС дозволяє оцінювати вертикальні зміни русла, виявляти накопичення наносів у заплаві та визначати глибину розмиву на зовнішніх вигинах меандрів. Крім того, просторовий аналіз дозволяє зіставляти морфодинамічні процеси з характеристиками течії, такими як швидкість потоку, водність та розподіл енергії течії, що є важливим для розуміння механізмів формування та трансформації русла.

Виявлення просторових закономірностей руслових процесів здійснюється шляхом застосування методів статистики просторових даних, зокрема аналізу щільності точок, буферного аналізу та картографування зон ризику ерозії. Такі методи дозволяють ідентифікувати ділянки підвищеної активності річкових процесів, визначити взаємозв'язок між формою русла та характером берегів, а також прогнозувати потенційні зміни конфігурації річища. Наприклад, ділянки з пологими берегами та значним накопиченням піщаних кос демонструють закономірне зміщення русла у бік заплави, тоді як ділянки з крутою підрізаною береговою лінією характеризуються інтенсивною ерозією та швидким формуванням стариць.

Поєднання ГІС та матеріалів дистанційного зондування дозволяє проводити інтегровану оцінку морфодинаміки річки як у горизонтальній, так і у вертикальній площині. Використання 3D-моделей рельєфу дозволяє оцінити зміни об'єму відкладів, а серії часових знімків – просторову динаміку русла. Такі підходи є особливо ефективними для прогнозування розвитку морфодинамічних процесів, оскільки дозволяють моделювати варіанти трансформації річкових вигинів, накопичення піщаних кос та утворення нових проток у залежності від гідрологічного режиму та антропогенних впливів.

Таким чином, ГІС-аналіз динаміки русла Дністра дозволяє отримати комплексну картину морфодинамічних процесів, визначити тенденції розвитку річкової системи, кількісно оцінити інтенсивність ерозійних та акумулятивних явищ і виявити закономірності просторового розподілу руслових процесів. Результати такого аналізу є основою для науково обґрунтованого прогнозування розвитку річкових систем, планування заходів з управління водними ресурсами та охорони річкових ландшафтів. Комплексне використання ГІС, матеріалів ДЗЗ та цифрових моделей рельєфу забезпечує високий рівень деталізації та об'єктивності оцінки морфодинаміки Дністра на досліджуваній ділянці.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ РІВНИННОЇ ЧАСТИНИ РІЧКИ ДНІСТЕР

Одним із проявів сучасних процесів і закономірностей формування рельєфу земної поверхні є руслові процеси, інтенсивність яких визначає як напрям, так і масштаби змін у річищах річок. Ці зміни є найсуттєвішими саме у зонах гірських і рівнинних геоморфологічних областей, де за останні десятиліття суттєво збільшилася інтенсивність та частота екстремальних та небезпечних явищ – паводків та повеней, а також активного антропогенного впливу людини. Дуже показовим у цьому відношенні прикладом є прикарпатсько-подільська частина річки Дністер у межах досліджуваної території, на ділянці від селища Журавно Львівської області до селища Єзупіль Івано-Франківської області, де гідрологічні чинники відіграють вирішальне значення та суттєво впливають на інтенсивність ерозійних, акумуляційних процесів, підтоплення прируслових територій.

Згідно з геоморфологічним районуванням річка Дністер знаходиться на стику Передкарпаття і Волино-Поділля та слугує природною межею між цими двома геоморфологічними областями. Територія басейну Дністра у межах досліджуваної території належить до найбільш паводконебезпечного регіону України – це зумовлено особливостями орографічних та гідрометеорологічних чинників даного регіону. Останні чинники визначають значний вплив на руслові процеси.

На руслоформуючі процеси впливають і сучасні кліматичні чинники. Зокрема, кількість опадів є одним із ключових чинників, що визначає гідрологічний режим Дністра. Річка живиться переважно дощовими і талими водами, тому зміни кількості атмосферних опадів безпосередньо впливають на коливання рівня води в її руслі. Річка є повноводною у сезони випадання інтенсивних атмосферних опадів, періодично спостерігаються сильні паводки і повені. Найвищі значення рівнів води припадають здебільшого на літній період (червень–липень), що відповідає періоду інтенсивних атмосферних опадів, мінімальні витрати води фіксують стабільно у серпні-жовтні, що засвідчує про виражений меженний період. За інтенсивних та тривалих опадів збільшується водність потоку, формуються повені та паводки, що спричиняють розширення та поглиблення річища, формування островів, протоків між рукавами. Під час низької межені збільшуються розміри побічнів (рукавів, проток), зникають протоки між рукавами, зменшується ширина русла.

Крім цього, на трансформацію русел річок також впливає і антропогенна діяльність (будівельні роботи у долинах річок, забір гравію, піску, меліорація на заплавах, розорювання та засмічення берегів) та інтенсивне лісокористування, що викликає активізацію гідрологічних та геоморфологічних процесів. Тому, дослідження руслових процесів річок є надзвичайно актуальною задачею з огляду на потребу у прогнозуванні негативних наслідків для довкілля та антропогенних систем.

3.1. Аналіз вхідних даних для проведення дослідження

Методика дослідження руслових процесів річки Дністер ґрунтується на використанні топографічних карт, супутникових знімків середнього розрізнення та спеціальних карт (геологічних і ґрунтових покривів) різних часових періодів з опрацюванням цих матеріалів засобами геоінформаційної системи ArcGIS 10.8.

Матеріали досліджень. Для моніторингу горизонтальних зміщень русла річки Дністер використано такі матеріали: 1) топографічні карти: - австрійського періоду (1875 р.) масштабу 1:75000; - польського періоду (1927 р.) масштабу 1:100000; - радянського періоду (1988 рр.) масштабу 1:100000; супутникові знімки, отримані із КЛА Landsat 7 (2000 р.), Landsat 8 (2015 р.) та Sentinel-2 (2025 р.), геологічні карти четвертинних відкладів (2007 р.) та карти ґрунтового покриву (1969 р.) масштабу 1:200000.

На рисунку 3.1 подано матеріали, які було використано для даного дослідження руслових зміщень рівнинної частини річки Дністер на ділянці від селища Журавно Львівської області до селища Єзупіль Івано-Франківської області.

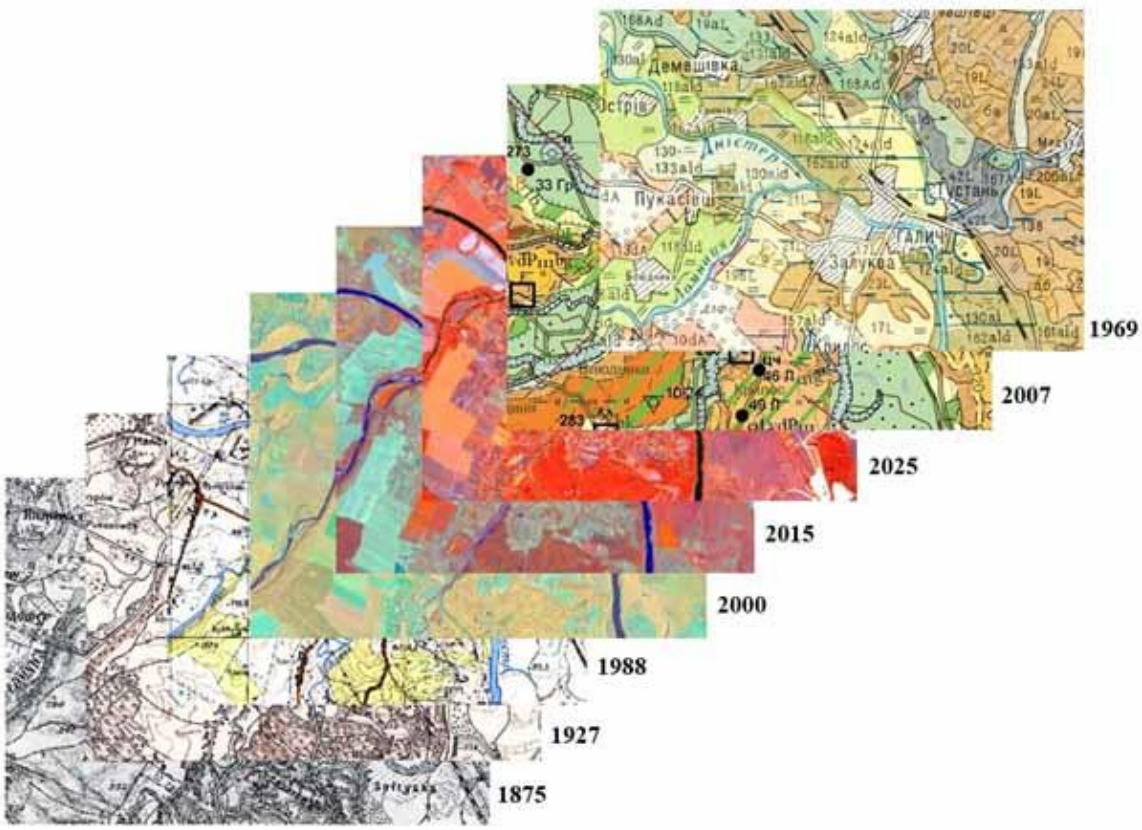


Рис.3.1. Вхідні матеріали, використані для дослідження горизонтальних зміщень русла річки Дністер

3.2. Структурна схема основних етапів дослідження руслових процесів річки Дністер

Структурну схему основних етапів проведення дослідження руслових зміщень річки Дністер подано на рис. 3.2.

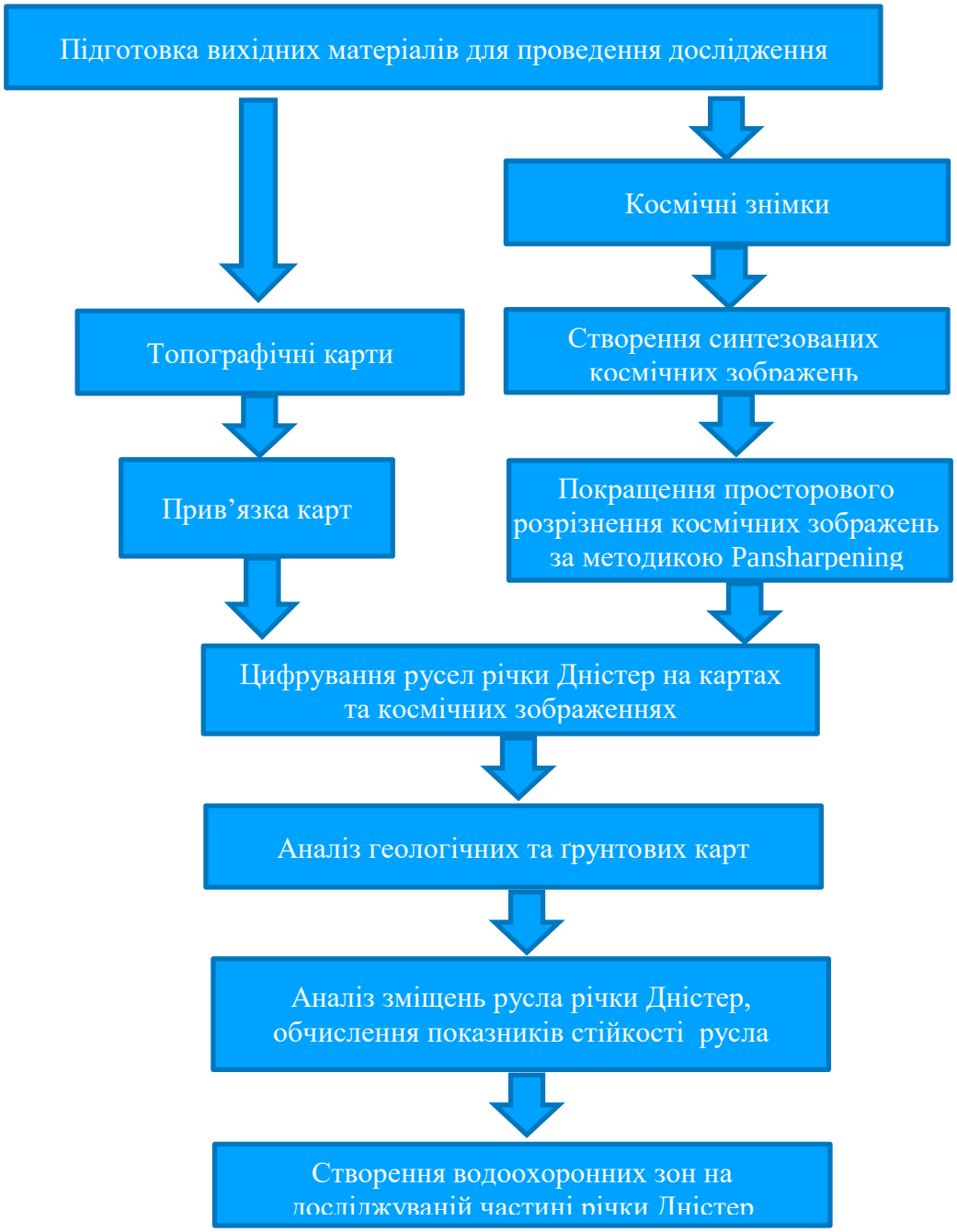


Рис.3.2. Структурна схема визначення горизонтальних зміщень русла річки Дністер

Структурна схема включає наступні етапи: отримання синтезованих зображень із максимальним контрастом річки та прирічкової місцевості; отримання топографічних матеріалів та їх прив'язку; оцифрування русел річок за матеріалами різних часових періодів, аналіз їх зміщень та побудову водоохоронних зон для прийняття управлінських рішень.

Для досліджень горизонтальних зміщень досліджуваної частини русла річки Дністер доцільно використовувати космічні знімки середнього розрізнення (10-30 м.), на яких добре проглядається гідрографічна мережа, а враховуючи суттєві величини горизонтальних зміщень (до 500 і більше метрів) русла, просторове розрізнення 10-15 м цієї групи знімальних систем і точність топографічних карт масштабу 1:100000 забезпечують точність вимірювальних робіт об’єктів зображень до 15 м. Для досліджень, пов’язаних із високою точністю визначення горизонтальних руслових деформацій, особливо на урбанізованих територіях протікання річок, слід використовувати космічні зображення високого розрізнення (1-10 м), а для ділянок із складними морфометричними характеристиками прируслової території – космічні зображення дуже високого розрізнення (0,3–1 м) та матеріали знімання із БПЛА. Деформаційні процеси русел, в тому числі зміни рельєфу дна річки, з високою точністю визначають за допомогою проведення наземних інженерно-геодезичних та морфологічні робіт, а також натурних остережень річок. Аналіз геологічних та ґрунтових карт забезпечує можливість визначення типів порід, четвертинних відкладів та ґрунтів, які залягають в зонах значних руслових зміщень річки [1, 2].

Скачування космічних знімків середнього розрізнення Landsat 7 та Landsat 8 здійснювалося із сайту американської геологічної служби USGS [3]. Процес отримання космічних даних включав декілька етапів – від задання необхідних критеріїв – назви населеного пункту чи його координат, часового періоду знімків, типу знімальних систем, і до вибору, власне, отриманих при пошуку космічних знімків, в першу чергу тих, де відсутній хмарний покрив на нашу ділянку дослідження (рис. 3.3, рис. 3.4 та рис. 3.5).

Рис.3.3. Вікно задання пошукових критеріїв – геолокації шуканого об’єкта та часового періоду

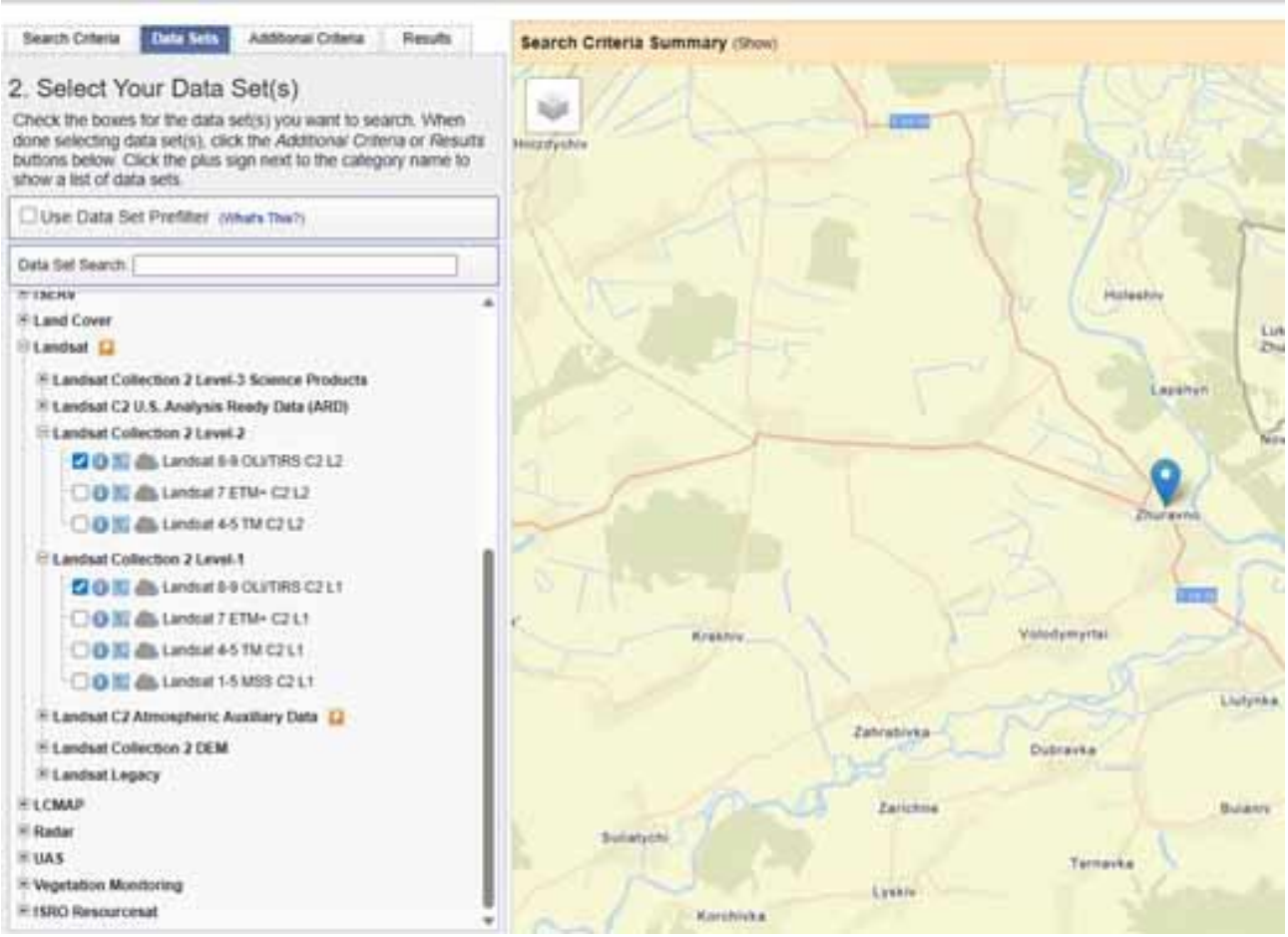


Рис.3.4. Вікно задання типу КЛА

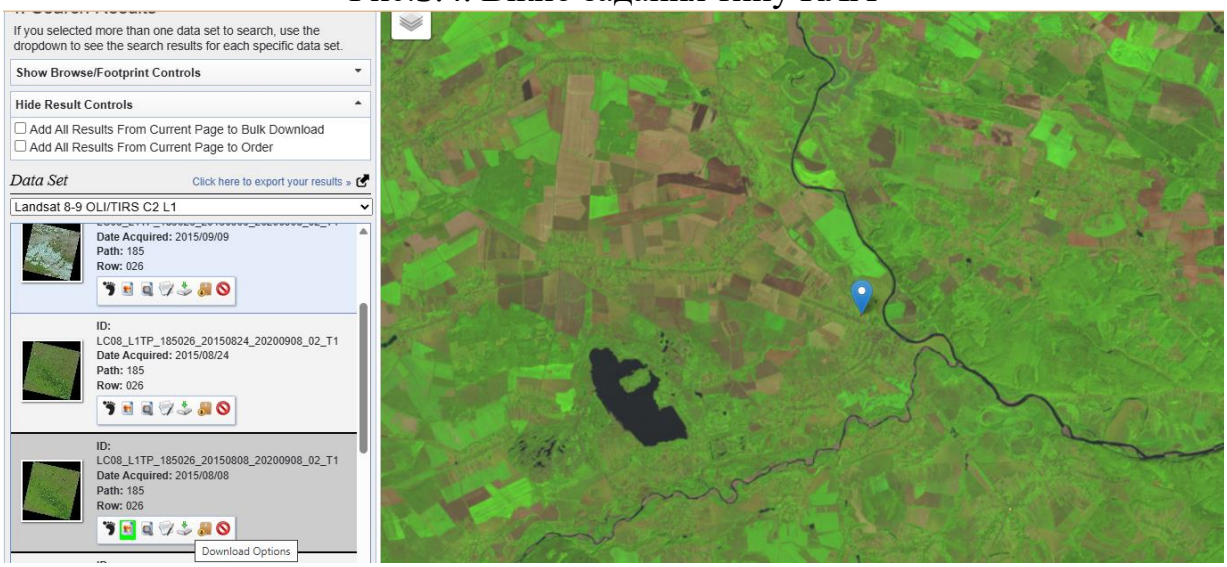


Рис.3.5. Вікно перегляду отриманих космічних зображень

Космічні знімки, отримані із супутника Sentinel – 2, отримано із сайту Copernicus Data Space Ecosystem Browser [4], де після обов’язкової реєстрації та задання необхідних параметрів/критеріїв пошуку, отримуємо набір поканальних космічних знімків у форматі .jp2 (рис. 3.6):

Рис.3.6. Вікно перегляду отриманих космічних зображень при пошуку даних

Аналіз космічних зображень. Застосування космічних знімків для визначення змін гідрографічних об’єктів ґрунтується на врахуванні їх просторового розрізнення та спектральних характеристик. Розрізнення зображень знімальної системи супутника Sentinel-2 для трьох ділянок спектра (синьої, зеленої, червоної) становить 10 м, ближньої інфрачервоної – 20 м, далекої інфрачервоної – 60 м; а для супутників Landsat 7, 8 – відповідно 15 м для панхроматичного (8-го) каналу та 30 м для мультиспектральних каналів.

Космічні знімки за різні роки дозволяють оцінити стан та зміни гідрографічних об’єктів на великій території із визначенням планових (горизонтальних) зміщень русел річок, зміни конфігурації русла тощо. Оскільки оптимальна інтерпретація багатоспектральних даних ДЗЗ залежить від спектральних характеристик об’єктів земної поверхні, необхідно вибрати відповідні спектральні канали для створення композитних зображень за космічними знімками з метою досягнення максимального контрасту річок та прирічкової території. У ГІС ArcGIS це виконується з використанням інструменту *Raster →Raster Processing →Composite Bands* (рис. 2.7):

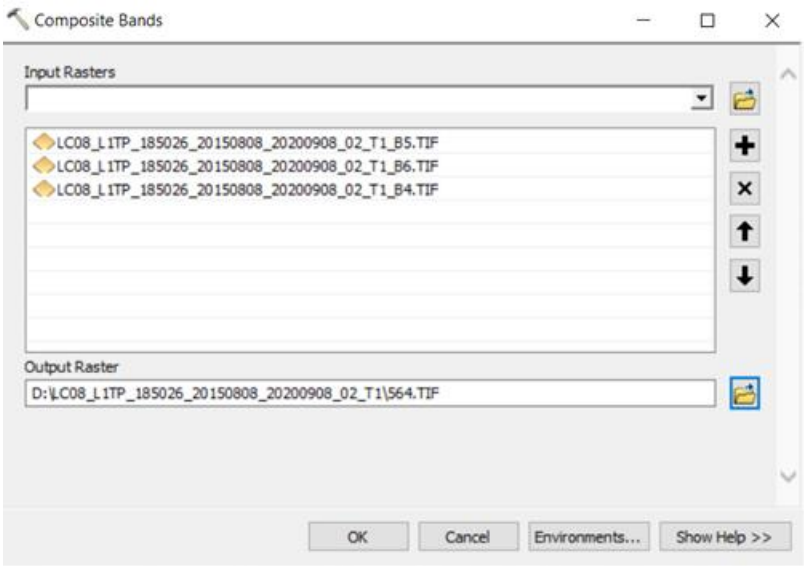


Рис.3.7. Вікно задання вхідних спектральних каналів для створення синтезованого зображення

Застосування методики Pansharpening дає можливість отримати просторове розрізнення зображень 15 м, яке відповідає панхроматичному 8-му каналу замість 30 м, заданих для мультиспектральних каналів, отриманих із супутників Landsat 7 та 8. Вона полягає у об'єднанні 8-го панхроматичного каналу знімка із мультиспектральними каналами нижчого розрізнення у результаті проведення радіометричної обробки даних із застосуванням певних математичних перетворень. Об'єднання з 8-м панхроматичним каналом використовують для збільшення просторового розрізнення, покращення візуалізації та деталізації об'єктів зображення. Заходимо у *Add Data* → додаємо панхроматичний (8) і мультиспектральний растр (453), далі заходимо у *ArcToolbox* → *Data Management Tools* → *Raster* → *Raster Processing* → *Create Pansharpened* та заповнюємо 4 основні поля (задаємо вхідний панхроматичний, мультиспектр, метод та вказуємо шлях локації вихідного файлу) (рис. 3.8).

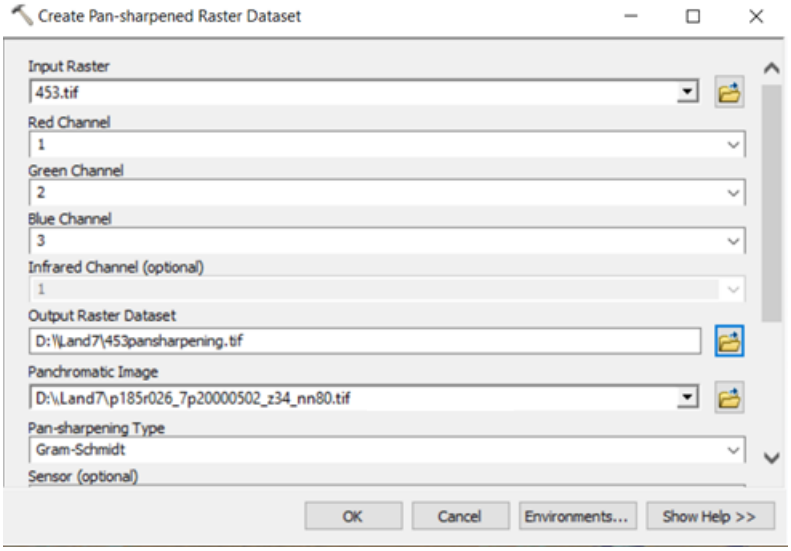


Рис.3.8. Вікно задання вхідних параметрів за методикою Pansharpening

Результатами проведеної синтезації зображень з використанням комбінацій спектральних каналів: Близький інфрачервоний – Червоний –

Зелений (NIR–Red–Green) для Landsat 7 - є канали 5, 4, 3; для Landsat 8 - канали 5, 6, 4; а також використання 8 панхроматичного каналу за методикою Pansharpening дозволило нам отримати синтезовані зображення із просторовим розрізненням 15 м, зображених, відповідно, для Landsat 7 - на рис. 3.9 та Landsat 8 - на рис. 3.10, де найкраще річка Дністер контрастує із навколишньою місцевістю.

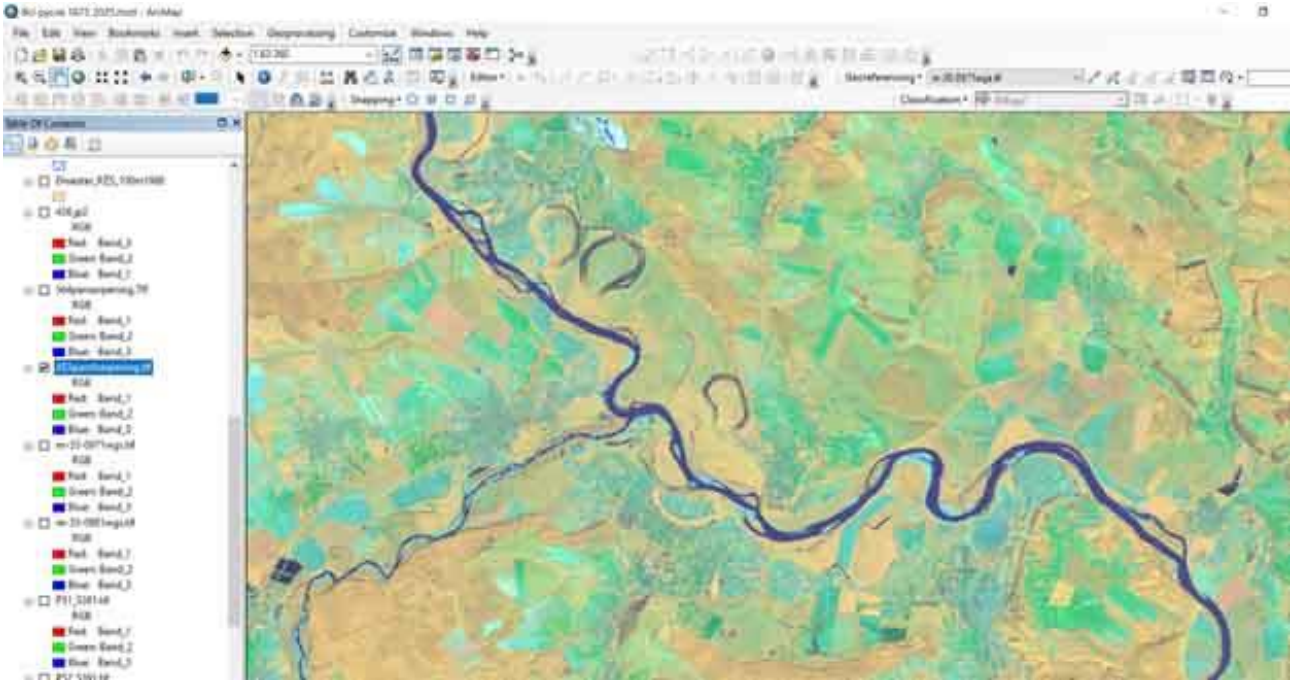


Рис.3.9. Створене синтезоване зображення за методикою Pansharpening з використанням 4,5,3 каналів та 8-го каналу Landsat 7

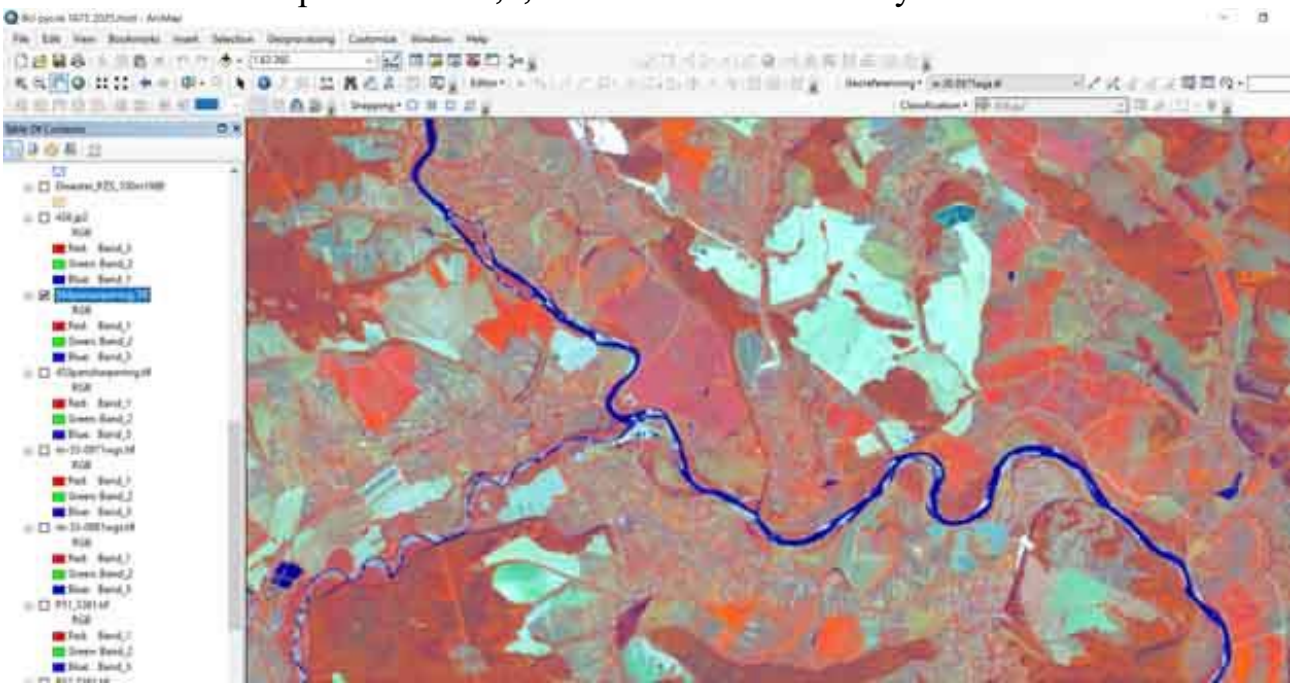


Рис.3.10. Створене синтезоване зображення за методикою Pansharpening з використанням 5,6,4 каналів та 8-го каналу Landsat 8

Для інтерпретації водних об’єктів з використанням даних Sentinel-2 доцільно використовувати комбінації червоного (4), зеленого (3) та ближнього інфрачервоного (8) каналів. Саме використання 8 каналу у поєднанні з видимими каналами 3 та 4 дає змогу краще розрізняти водні об’єкти та рослинність. Висока прозорість води для видимого світла робить її темною у червоному та зеленому каналах, тоді як світлі ділянки (наприклад, дно чи каламутна вода) мають вищу відбивну здатність у цих каналах. На рисунку 3.11 зображено фрагмент створеного синтезованого зображення із супутника Sentinel-2 (2025 р.) з використанням 8, 3 та 4 каналу із просторовим розрізненням 10 м, виконавши аналогічну дію *Raster →Raster Processing →Composite Bands*:

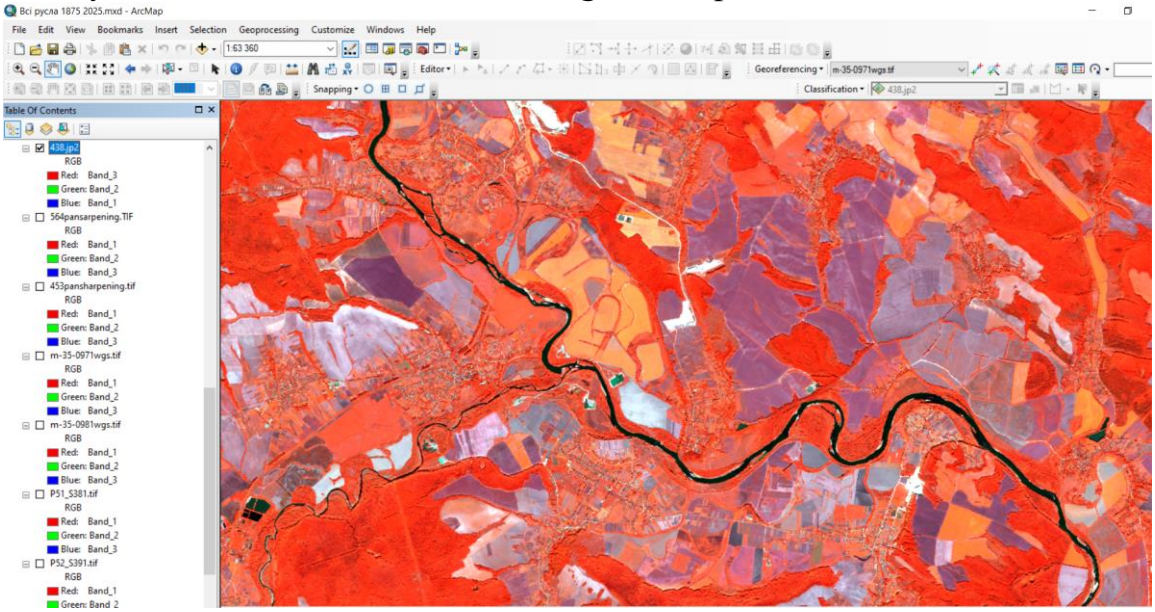


Рис.3.11. Створене синтезоване зображення Sentinel-2 з використанням 8, 3 та 4 каналу

Отже, в результаті проведених досліджень створено синтезовані зображення Landsat 7, Landsat 8 та Sentinel-2, де основним є максимальний контраст між водною поверхнею річки та фоном для кращої інтерпретації руслових зміщень річки Дністер.

Топографічні карти різного часового періоду (австрійські, польські, радянські) досліджуваної частини р. Дністер взято з інтернет-ресурсу Старовинні карти, посилання на котре подано у [5].

Для приведення усіх картографічних матеріалів до єдиної системи координат космічних знімків – WGS_1984 (зона 34N) необхідно виконати геоприв’язку топографічних карт. Прив’язка топографічних карт здійснювалась з використанням інструменту *Georeferencing*, зокрема топографічної карти 1988 року вона виконувалась за 8 опорними точками – ними були перехрестя координатної сітки. Вибираємо *Add Control Point* та зафіксовуємо першу точку на карті. Після цього правою кнопкою миші викликаємо контекстне вікно та вибираємо Input X and Y, у вікні, що з`явилося вводимо відповідні координати X,Y (рис. 3.12).

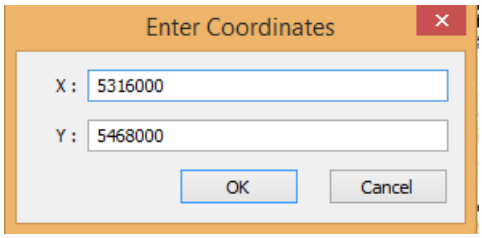
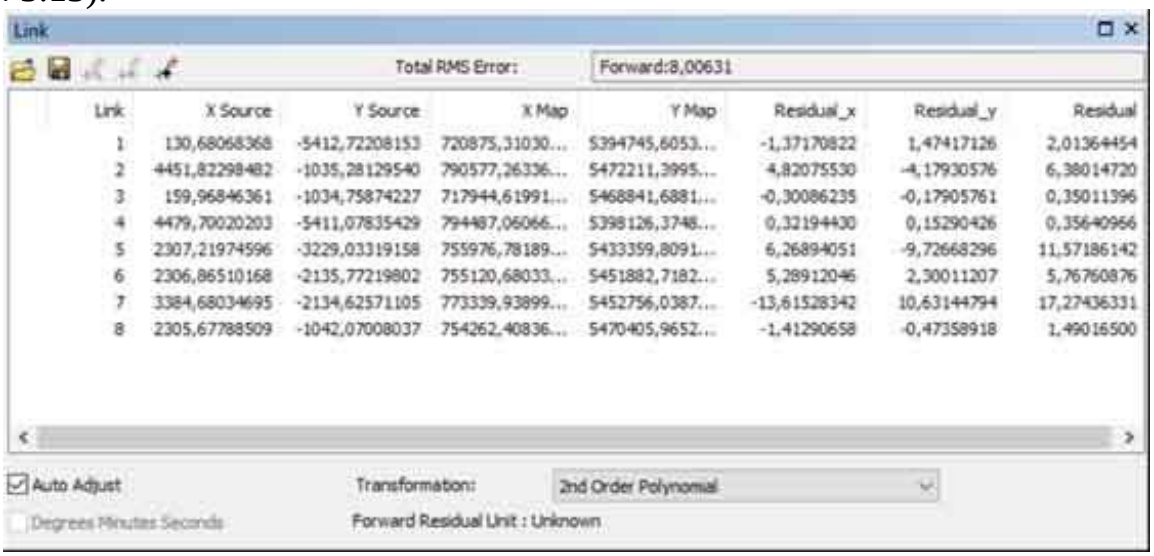


Рис.3.12. Вікно задання координат X,Y

Такі ж дії виконуємо для усіх 8 точок. Переглядаємо результати прив'язки, відкривши таблицю *View Link Table.* Для обчислень похибки прив'язки використано поліном II-го степеню; похибка прив'язки не перевищує 8 метрів (рис. 3.13).



Link

Total RMS Error: Forward:8,00631

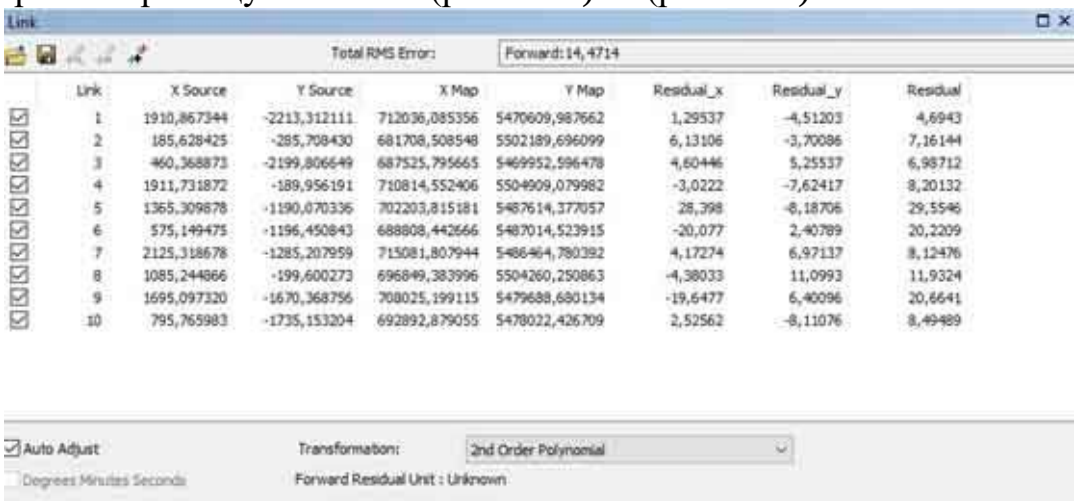
Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	130,68068368	-5412,72208153	720875,31030...	5394745,6053...	-1,37170822	1,47417126	2,01364454
2	4451,82298482	-1035,28129540	790577,26336...	5472211,3995...	4,82075530	-4,17930576	6,38014720
3	159,96846361	-1034,75874227	717944,61991...	5468841,6881...	-0,30086235	-0,17905761	0,35011396
4	4479,70020203	-5411,07835429	794487,06066...	5398126,3748...	0,32194430	0,15290426	0,35640966
5	2307,21974596	-3229,03319158	755976,78189...	5433359,8091...	6,26894051	-9,72668296	11,57186142
6	2306,86510168	-2135,77219802	755120,68033...	5451882,7182...	5,28912046	2,30011207	5,76760876
7	3384,68034695	-2134,62571105	773339,93899...	5452756,0387...	-13,61528342	10,63144794	17,27436331
8	2305,67788509	-1042,07008037	754262,40836...	5470405,9652...	-1,41290658	-0,47358918	1,49016500

Auto Adjust Transformation: 2nd Order Polynomial

Degrees Minutes Seconds Forward Residual Unit : Unknown

Рис.3.13. Таблиця результату прив'язки топографічної карти 1988 р.

Аналогічним методом прив'язуємо інші карти. Опорними точками для прив'язки топографічних карт австрійського та польського періодів (1875 та 1927 рр.) слугували чіткі контури - перехрестя доріг, переїздів, мости. Похибка прив'язки з використанням поліному II-го степеню за 10 опорними точками для обох карт не перевищувала 15 м. (рис. 3.14) та (рис. 3.15).



Link

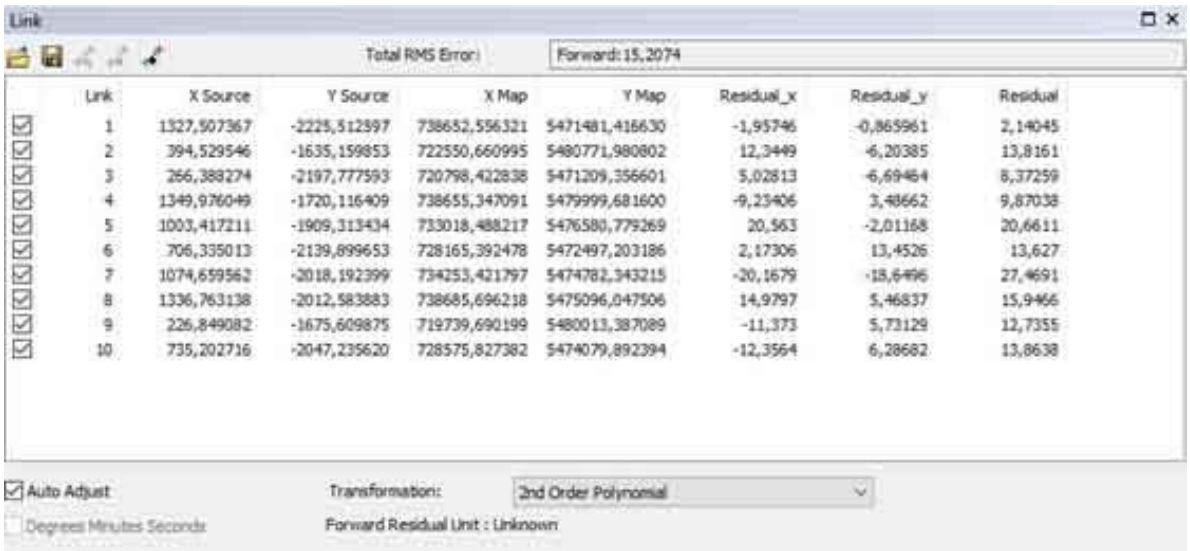
Total RMS Error: Forward:14,4714

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	1910,867344	-2213,312111	712036,085356	5470609,987662	1,29537	-4,51203	4,6943
2	185,628425	-285,708430	681708,508548	5502189,696099	6,13106	-3,70086	7,16144
3	460,368873	-2199,806649	687525,795665	5469952,596478	4,60446	5,25537	6,98712
4	1911,731872	-189,956191	710814,552406	5504909,079982	-3,0222	-7,62417	8,20132
5	1365,309878	-1190,070336	702203,815181	5487614,377057	28,398	-8,18706	29,5546
6	575,149475	-1196,450843	688808,442666	5487014,523915	-20,077	2,40789	20,2209
7	2125,318678	-1285,207959	715081,807944	5486464,780392	4,17274	6,97137	8,12476
8	1085,244866	-199,600273	696849,383996	5504260,250863	-4,38033	11,0993	11,9324
9	1695,097320	-1670,368756	708025,199115	5479688,680134	-19,6477	6,40096	20,6641
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.3.14. Таблиця результату прив'язки топографічної карти 1875 р.



Link

Total RMS Error: Forward: 15,2074

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.3.15. Таблиця результату прив’язки топографічної карти 1927 р.

Після виконання прив’язки усіх топокарт зберігаємо їх у tif-форматі, для цього заходимо у *Georeferencing > Rectify* та задаємо шлях, куди збережуться наші прив’язані топокарти для подальшого оцифрування на них русел річки та прируслових елементів (островів та стариць).

3.3. Аналітичні основи оцінювання стійкості русел річок

Конфігурація русла річки з часом зазнає постійних змін, тому важливим завданням у дослідженні руслових процесів є встановлення критерію стійкості русла. Оцінка стійкості русел річок як один з найважливіших компонентів аналізу руслових процесів має велике практичне значення, зокрема для гідротехнічного будівництва в руслах та заплавах, для гідроенергетичного освоєння річок, а також для розроблення програм раціонального використання річкової мережі, моделювання зон затоплення земель та попередження населення про екстремальні ситуації, пов’язані із русловими процесами річок. Стійкість річок, як ступінь їх протидії розмивним та ерозійним процесам, має і значний екологічний зміст, пов’язаний з аналізом та прогнозуванням інтенсивності руслових деформацій, які можуть суттєво впливати на умови життєдіяльності та господарювання у межах руслозаплавної зони річок. Дослідженнями оцінки стійкості русел займалися багато вчених, тому існує багато підходів до встановлення кількісних показників стійкості. Можна виділити декілька напрямів досліджень стійкості русел річок: морфологічні, морфодинамічні та динамічні показники стійкості. На встановленні морфологічних параметрів русел річок з урахуванням їх похилів та розмірів руслового алювію ґрунтуються морфологічні показники стійкості русла. До них відносять показники стійкості, запропоновані В. Лохтіним, який запровадив поняття стійкості русла [6], О. Ободовським [7], І. Ковальчуком [8], М. Маккавеєвим [9], М. Ржаніциним [10] та ін. Однак, вчені часто намагалися виявити основні чинники деформацій русел річок, визначити їх кількісну характеристику, яка слугує показником стійкості русла. Його оцінюють за кількісними характеристиками зміщень русел та якісними характеристиками, які

засновані на морфодинамічній залежності форми русла від рівня його рухомості. [13].

Обчислення показників стійкості досліджуваної частини русла р. Дністер та їх аналіз

Звивистість русла. Перш, ніж визначити стійкість русла для досліджуваної ділянки рівнинної частини Дністра, обчислимо звивистість русла як параметр, що пов'язаний зі стійкістю русла, яка є однією із основних характеристик річки, її обчислюють за допомогою коефіцієнта звивистості [11]:

$$K_{зв} = L_i'/L, \qquad (3.1)$$

де L_i' – довжина русла на ділянці дослідження, L – довжина русла між крайніми точками, виміряна по прямій.

Значення коефіцієнтів звивистості русла для різних типів річкових русел визначають відповідно до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Типи звивистості річкового русла

Тип звивистості русел	**Коефіцієнт звивистості**
Порівняно прямолінійні	<1,1
Дуже слабозвивисті	1,10–1,20
Слабозвивисті	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

Обчислюємо коефіцієнт звивистості досліджуваної частини русла річки Дністер, враховуючи, що L_i' = 74,0 км, L = 54,3 км.

$$K_{зв} = L_i'/L = \frac{74{,}0}{54{,}3} = 1{,}37$$

Отже, із аналізу таблиці існуючих типів звивистості русла та обчисленого значення коефіцієнта звивистості можна зробити висновок, що на ділянці дослідження русло р. Дністер є слабозвивистим.

Основні коефіцієнти стійкості з врахуванням типу місцевості та основних морфометричних характеристик русел річок визначають із відомих формул, поданих нижче.

Показник Лохтіна L обчислюється за формулою:

$$L = d/I, \qquad (3.1)$$

де d – середній діаметр наносів; I – ухил водної поверхні на відрізку русла.

У дослідженні, поданому у [12] проаналізовано удосконалений коефіцієнт стійкості Лохтіна, математичний вираз якого записують формулою:

$$L_0 = \frac{d}{\Delta H} \cdot \frac{B}{h} \cdot A, \tag{3.3}$$

де d – середньозважений діаметр донних наносів, мм;
ΔH – кілометричне падіння водної поверхні, м;
B – середня ширина русла в меженний період;
h – середня глибина водної поверхні за меженного рівня води;
A – коефіцієнт ерозії залежно від еродованості ґрунтів.
Удосконалений показник для визначення стійкості русла за О. Г. Ободовським враховує зональність річкових басейнів за ступенем еродованості ґрунтів.
Над коефіцієнтами стійкості русел працювали також і вітчизняні та закордонні науковці, додаючи різні параметри для точнішого врахування морфологічних та морфодинамічних особливостей русла залежно від типу річки і поверхні підстилання.
Н. І. Маккавеєв змінив коефіцієнт Лохтіна (3.2), запропонувавши додати до виразу середню ширину русла В [9] :

$$L_0 = \frac{d}{I \cdot B} 1000 \tag{3.4}$$

Число Лохтіна згодом було доповнене також і середньою глибиною водної поверхні h [13].
Коефіцієнт стійкості Великанова має вигляд:

$$\Psi = \frac{d}{I \cdot h} \tag{3.5}$$

В. Г. Глушков встановив співвідношення між шириною і середньою глибиною русла у вигляді формули 3.6 [14]:

$$G = \frac{\sqrt{B}}{h} \tag{3.2}$$

А. Н. Крошкін доповнив формулу Глушкова, додавши середній діаметр наносів [15]:

$$K_u = \sqrt{\frac{B \cdot d}{H}} \tag{3.7}$$

Н. А. Ржаніцин додав до математичного виразу ще похил водної поверхні на ділянці русла [16]:

$$L_0 = \frac{d}{I} \cdot \frac{B}{h} \tag{3.8}$$

У науковій літературі, зокрема в [17], є приклади використання такого параметра, як ширина заплави, який може використовуватися для визначення показника стійкості русла:

$$K = \frac{B'}{B}, \tag{3.9}$$

де B' – ширина річкової заплави; B – ширина русла.

Класифікація ділянок русел за ступенем їх стійкості [18] на підставі показників Лохтіна і Маккавеєва подана у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Класифікація русел річок за ступенем їх стійкості

Характеристики стійкості	**Показники стійкості**	
	L	*Кс*
Нестійкі	<2	<6
Слабкостійкі	2–5	6–15
Порівняно стійкі	5–10	15–20
Стійкі	>10	>20
Абсолютно стійкі	>50	>100

У таблиці 3.3 подано основні морфометричні характеристики досліджуваної рівнинної частини русла річки Дністер.

Таблиця 3.3

Основні морфометричні характеристики досліджуваної ділянки русла річки Дністер

Морфометричні характеристики	**Досліджувана ділянка річки Дністер**
Довжина *l*, км Довжина по прямій *l'*, км	74,0 54,3
Падіння річки *ΔH*, м	25
Похил водної поверхні I, м/км	0,34
Середня ширина русла, *B*, м	90
Глибина річки *h*, м	1,3
Середній діаметр наносів *d*, мм	1,0
Ширина заплави *B´*, м	800

Основні математичні формули для визначення стійкості русла річки та результати обчислень подано у таблиці 3.4

Таблиця 3.4

Обчислені показники стійкості русла річки Дністер

№	**Основні формули для визначення коефіцієнта стійкості русла**	**Критерії стійкості русла річки (від нестійкого до стійкого)**	**Досліджувана ділянка річки Дністер**
1	$L = d/I$	2 <50	2,94

2	$L_o = (d/I) \cdot (B/h) \cdot A$, (A коефіцієнт ерозії (0,03))	2 <50	6,11
3	$K_s = 1000 \times (d/B \cdot I)$	6 >100	40,0
4	$\Psi = d/h \cdot I$	1–15	2,23
5	$G = (\sqrt{B})/h$	18–1	7,30
6	$K_u = \sqrt{(B \cdot d/h)}$	5–40	7,30
7	$K_r = (d \cdot B)/(h \cdot I)$	30–1500	200
8	$K = B'/B$	100–1	8,9
	Максимальні зміщення русла, м		530-550

Зміщення русел річок є об’єктивним критерієм їх стійкості, тому узгодженість критеріїв, запропонованих різними науковцями перевірялися ще й за максимальними зміщеннями русла на ділянці дослідження. Показники стійкості через недостатню кількість даних для визначення деформаційних процесів у певних ділянках русла є умовними. Формули, які подають різні автори, не враховують усіх чинників, що впливають на руслові процеси, зокрема вигляд заплави, ерозійні особливості, зміна ландшафту тощо.

3.4. Характеристика типів русел та дослідження зміщень русла на досліджуваній частині річки Дністер

На ділянці дослідження від смт. Журавно Львівської області до смт. Єзупіль Івано-Франківської області загальною довжиною 74 км річка Дністер тече по рівнинній місцевості (рис. 2.14), здебільшого із вільним меандруванням. Сповільнення течії тут сприяє накопиченню осадових відкладів у вигляді відшліфованого каміння (гальки), щебню та піску, які утворюють прируслові наноси. На прирусловій території цієї частини річки спостерігається велика кількість стариць, а русло за рахунок цих наносів має як постійні, так і розмивні острови.

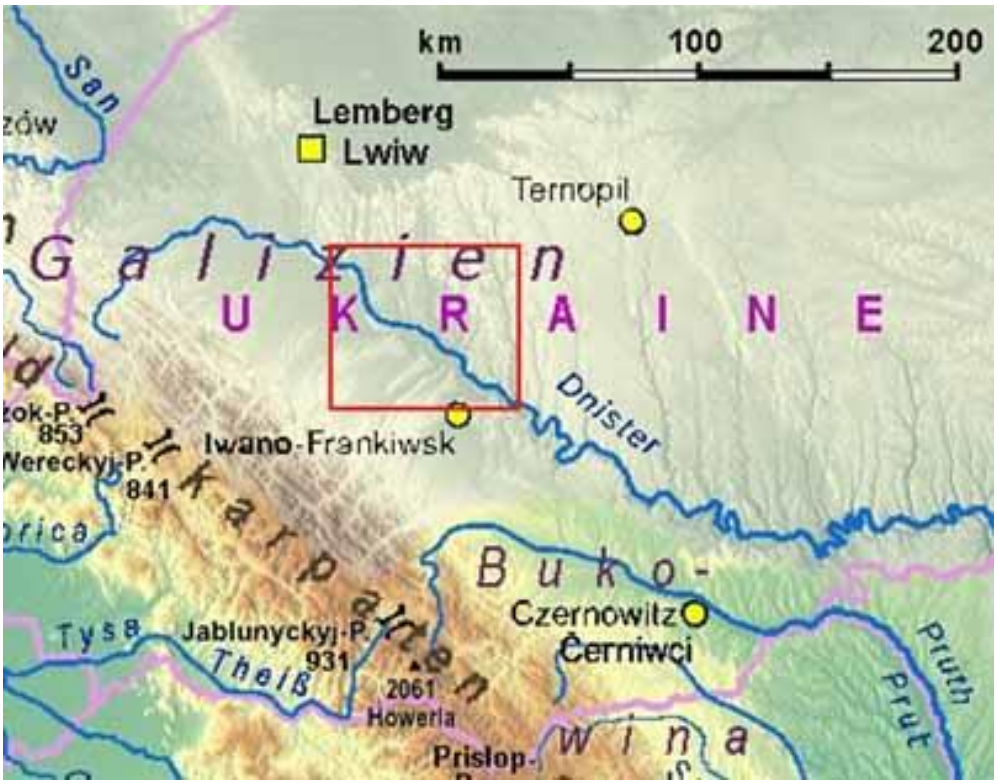


Рис.3.14. Вигляд досліджуваної частини річки Дністер у рівнинній частині

Дністер у межах досліджуваної території проходить адаптацію до сучасних гідрологічних і кліматичних умов, зокрема тут виділяють такі типи русел: на ділянці Голешів - Журавно, Тенетники - Суботів – меандруючий тип русла з елементами заплавної багаторукавності; Суботів - Перлівці – відносно прямолінійний; Перлівці - Придністров'я – меандруючий тип з елементами заплавної багаторукавності; Придністров'я - Галич – прямолінійний з елементами заплавної багаторукавності; Галич - Козина – прямолінійний; Козина - Єзупіль – прямолінійний з елементами руслової багаторукавності.

Найдинамічнішими типами русел на ділянці дослідження є:

1. Меандруючий з елементами заплавної багаторукавності (Журавно - Старий Мартинів - Суботів, Перлівці - Придністров'я) – відзначається нестабільною течією та схильністю до формування нових та зникнення існуючих рукавів та тимчасових проток, зокрема у період висоководдя;

2. Прямолінійний з елементами заплавної (Придністров'я - Галич) та руслової (Козина - Єзупіль) багаторукавності – характеризується просторово-часовою мінливістю руслових островів, значною кількістю боковиків (бокових рукавів чи відгалужень русла річки);

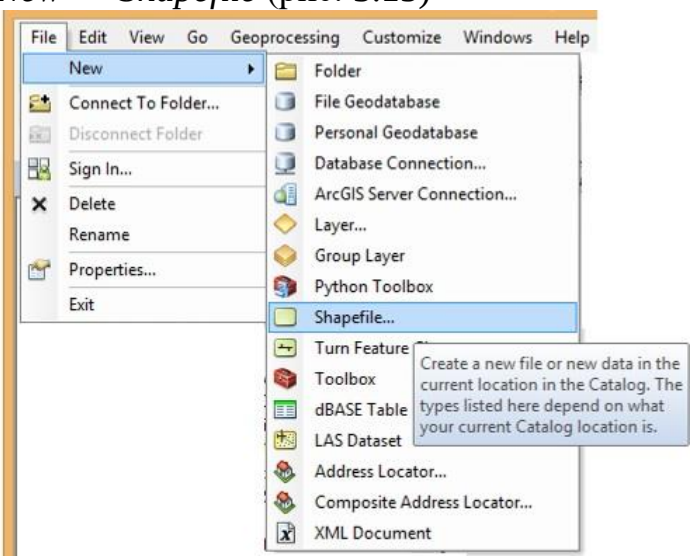
3. Найстійкішими є відносно прямолінійний тип русла на ділянках Суботів - Перлівці та прямолінійний на ділянці Галич - Козина.

Аналізуючи типи русел з'ясовано, що на ділянці Старий Мартинів - Єзупіль переважають меандруючий та прямолінійний типи. Практично на всій частині території дослідження Дністер змінює свою конфігурацію та розміри. Головну роль у зміні морфології русла тут відіграють правобережні гірські притоки – річки Свіча, Лімниця, Луква, Бистриця. У місцях їх злиття з Дністром

спостерігається сповільнення течії, відкладання крупного донного матеріалу, а на берегах – відсутність або дуже розріджена рослинність, що сприяє утворенню багаторукавного русла. У межах досліджуваної ділянки зустрічається заплавна та руслова багаторукавність. Заплавна багаторукавність характерна для правого берега річки на ділянці Шевченково - Галич (тут у Дністер впадають річки Луква та Лімниця) - Старий Мартинів. Заплавна багаторукавність річки спостерігається також поблизу населених пунктів Німшин, Ганівці, Дубівці.

Горизонтальні зміщення русла річки Дністер визначено за 150-річний період із використанням топографічних карт 1875, 1927 та 1988 років, а також космічних зображень, отриманих із супутників Landsat 7 (2000 р), Landsat 8 (2015 р) та Sentinel-2 (2025 р), геологічної карти четвертинних відкладів (2007 р) та карти ґрунтового покриву (1969 р).

Для дослідження та аналізу горизонтальних зміщень русла річки за певний часовий період, після етапу прив’язки картографічних матеріалів та приведення усіх вхідних даних до єдиної системи координат, необхідно створити шари (шейп-файли) русел річки за різні роки з використанням модуля *ArcCatalog*, далі вибираємо *File → New → Shapefile* (рис. 3.15)



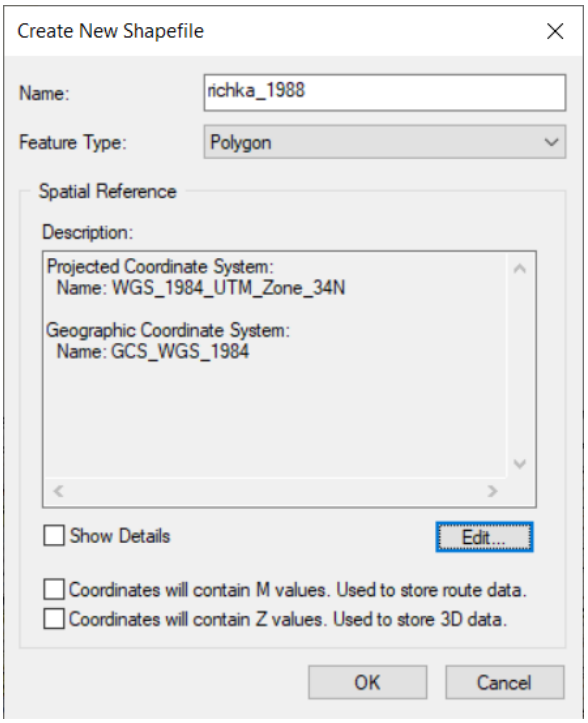


Рис.3.15. Створення нового шейп-файлу richka_1988

Необхідно вказати назву шару - richka_1988, вибрати геометричний тип створюваного об'єкта – полігон, систему координат – WGS_1984_UTM_Zone_34N та вказати локацію папки, в якій будуть знаходитися створені шейп-файли.

Аналогічним чином створюємо шейп-файли і для зображення русла річки Дністер за 1875, 1927, 2000, 2015 та 2025 роки, з назвами відповідно richka_1875, richka_1927, richka_2000, richka_2015 та richka_2025 з розширенням .shp.

Після створення необхідних шарів річки розпочинаємо оцифрування русла річки для кожного року, для цього використовуємо інструмент *Editor → Start Editing*, а для точного замикання точок контура об'єкта використовуємо інструмент прив'язки вузлів *Snapping*. Вказуємо потрібну папку з шейп-файлом річки і натискаємо *OK* . Далі у вікні *Create Features* вибираю необхідний для оцифрування шейп-файл та розпочинаю його оцифрування (рис. 3.16):

Рис.3.16. Фрагмент прикладу оцифрування русла річки на топокарті 1927 року

Для закінчення процесу оцифрування русла річки натискаю *Editor → Save Edits → Stop Editing*. Аналогічним методом оцифровую усі русла річки Дністер.

Після оцифрування русел та їх пошарового накладання згідно з часовим періодом - з 1875 - до 2025 років, можна відразу візуально побачити зміни у конфігурації русла річки, що відбулися за 150-річний період на досліджуваній території. На рисунку 3.17 подано зображення накладених русел досліджуваної частини річки Дністер різних часових періодів з точками виміряних найсуттєвіших величин зміщень русла річки.

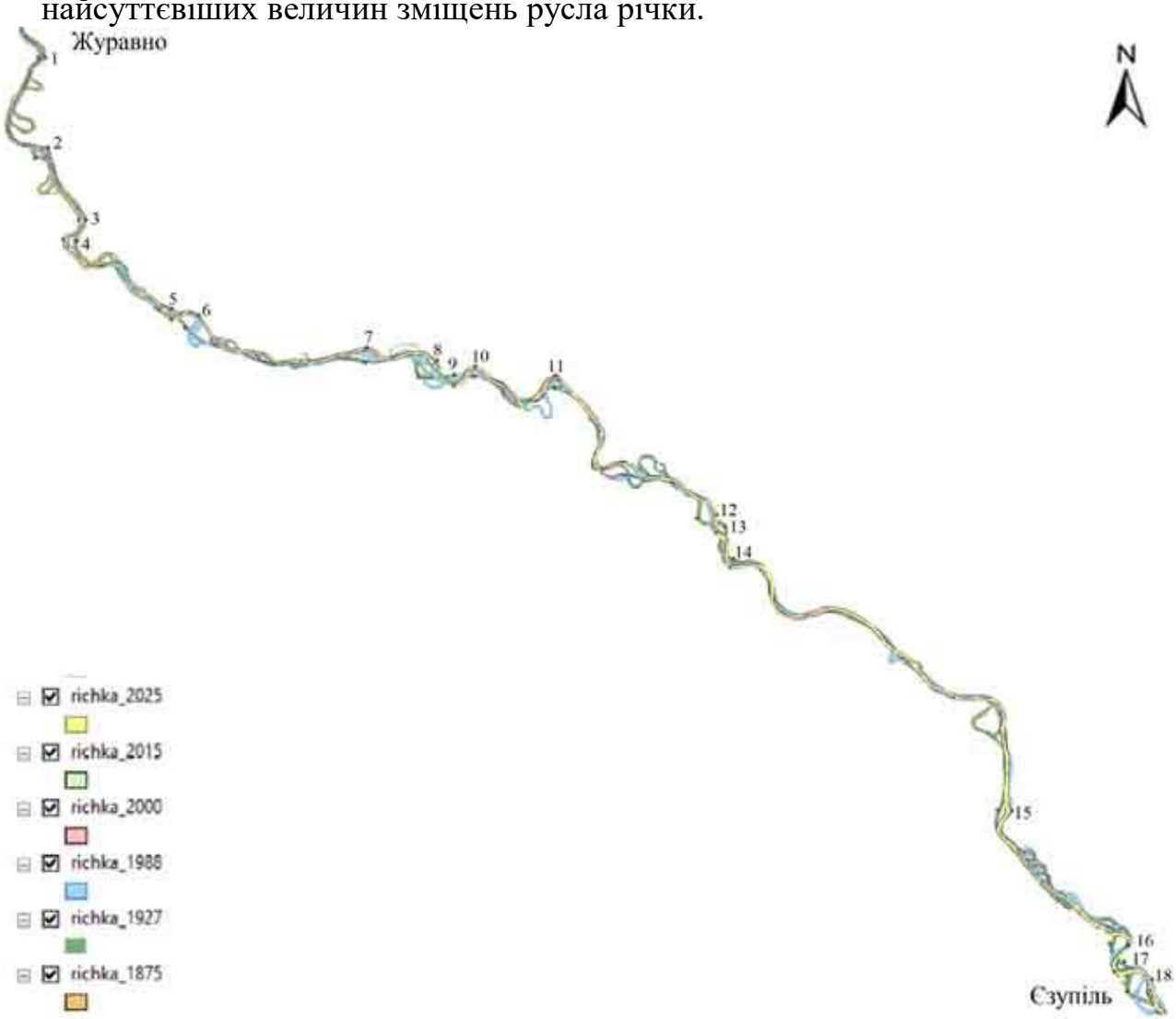


Рис.3.17. Зображення різночасових русел досліджуваної частини річки Дністер на ділянці Журавно-Єзупіль

Для вимірювання максимальних зміщень русла річки було вибрано 18 ділянок (точок), де візуально помічено суттєві зміщення річки. За допомогою інструменту лінійка (*Measure)* вимірюємо величини зміщень русла за різні роки. На рисунку 3.18 подано збільшені фрагменти ділянок річки із значними зміщеннями її русла за різночасовий період.

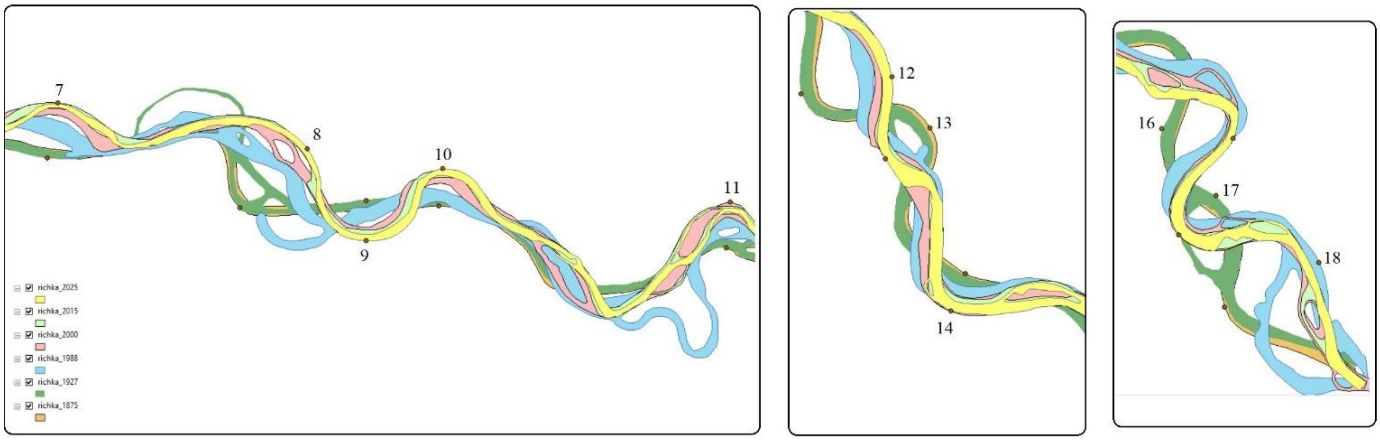


Рис.3.18. Збільшені фрагменти зображення із деталізацією максимальних зміщень русла річки Дністер

Зауважено, що протягом 1875–1927 рр. річка суттєво меандрувала, утворювала великі вигини. Після проведення гідротехнічних робіт у 80-х роках XX ст. на цій частині річки русло стало більше спрямленим. На ділянках, де були давніші зображення русла річки, залишилися великі стариці, зокрема поблизу сіл Голешів, Новий Мартинів, Дубівці, Водники. До 1988 р. русло стало стабільнішим: меандри зменшилися, течія вирівнялася. За період 2000–2025 років суттєвих змін положення русла не спостерігається, зміщення русла не значні (50-70 м, максимально до 185 м).

Результати вимірювання величин зміщень русла річки Дністер на 18 точкових ділянках по всій досліджуваній території протікання річки подано в таблиці 2.5, а з метою кількісного узагальнення та наочного відображення величин зміщень побудовано графік, зображений на рисунку 3.19.

Таблиця 3.5

Виміряні величини зміщень русла річки Дністер на ділянці дослідження (смт. Журавно - смт. Єзупіль)

№ точки	**Зміщення, м**					
	1875–1927	**1927–1988**	**1988–2000**	**2000–2015**	**2015–2025**	**1875-2025**
1	59	52	134	50	80	233
2	92	355	241	42	-	550
3	161	-	44	-	21	221
4	468	102	77	-	-	437
5	-	66	176	70	39	351
6	-	514	81	25	-	618
7	-	202	239	67	-	512
8	-	552	100	185	-	846
9	-	77	198	26	48	336
10	-	38	187	60	22	316
11	-	201	110	33	18	361
12	39	472	133	53	-	625

13	36	205	89	-	30	369
14	15	88	83	-	44	238
15	-	321	55	20	-	280
16	20	530	64	22	-	606
17	36	315	55	32	16	382
18	30	785	40	19	-	844

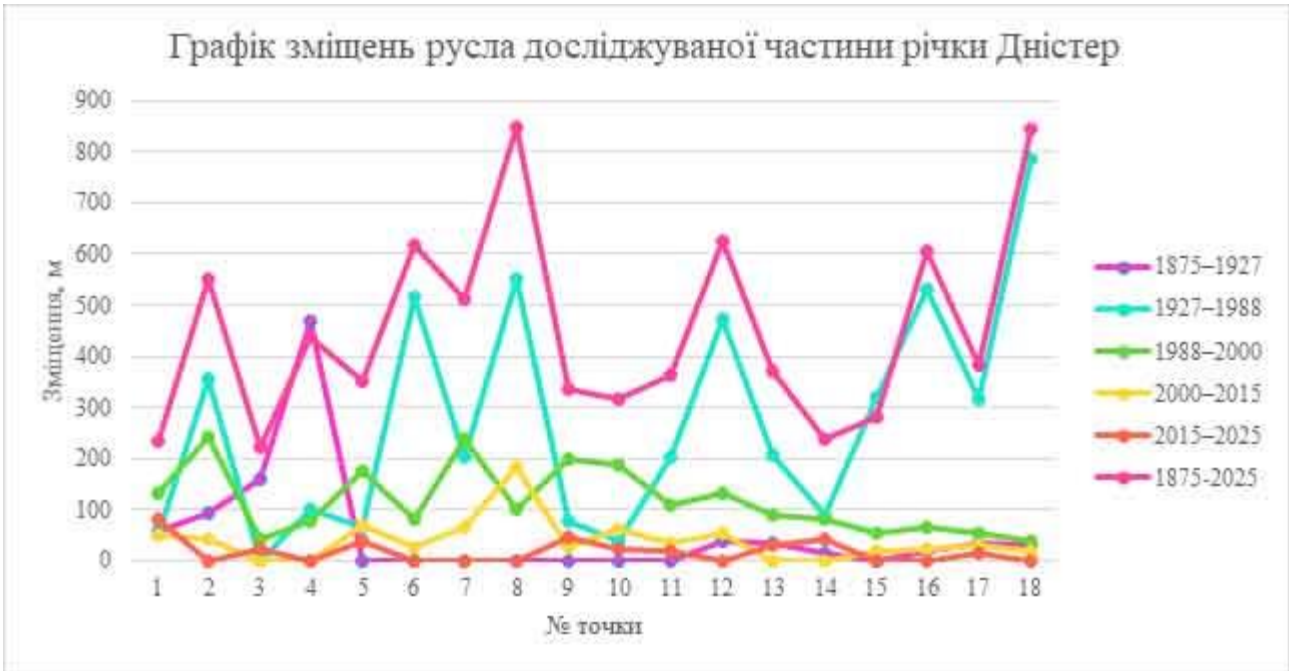


Рис.3.19. Графік величин зміщень русла Дністер на ділянці дослідження

Із аналізу величин зміщень, поданих в таблиці та на графіку встановлено, що загалом максимальні зміщення русла за 150 літній період сягають понад 800 метрів, а істотні зміни відбулися протягом 1927–1988 років, тобто за 61 рік.

Під час проведення дослідження руслових процесів рівнинної частини річки Дністер за різночасовими матеріалами зауважено значну кількість гравійно-піщаних островів в межах русла, утворених, ймовірно, через загальне зменшення похилу річки, кінетичної енергії води та стікання наносів. Тому актуальною задачею дослідження було проведення моніторингу динаміки появи островів за 150 літній період. Для цього я створив 6 шейп-файлів островів різних років, аналогічним методом, як і русла річки, та оцифрував їх.

На рисунках, поданих нижче відображено динаміку утворення та розвитку островів у руслі річки та зміну їх конфігурації поблизу сіл Лапшин (рис. 2.20) та Дубівці (рис. 3.21), що залежить від геоморфологічних структур регіону протікання річки і стану її водності.

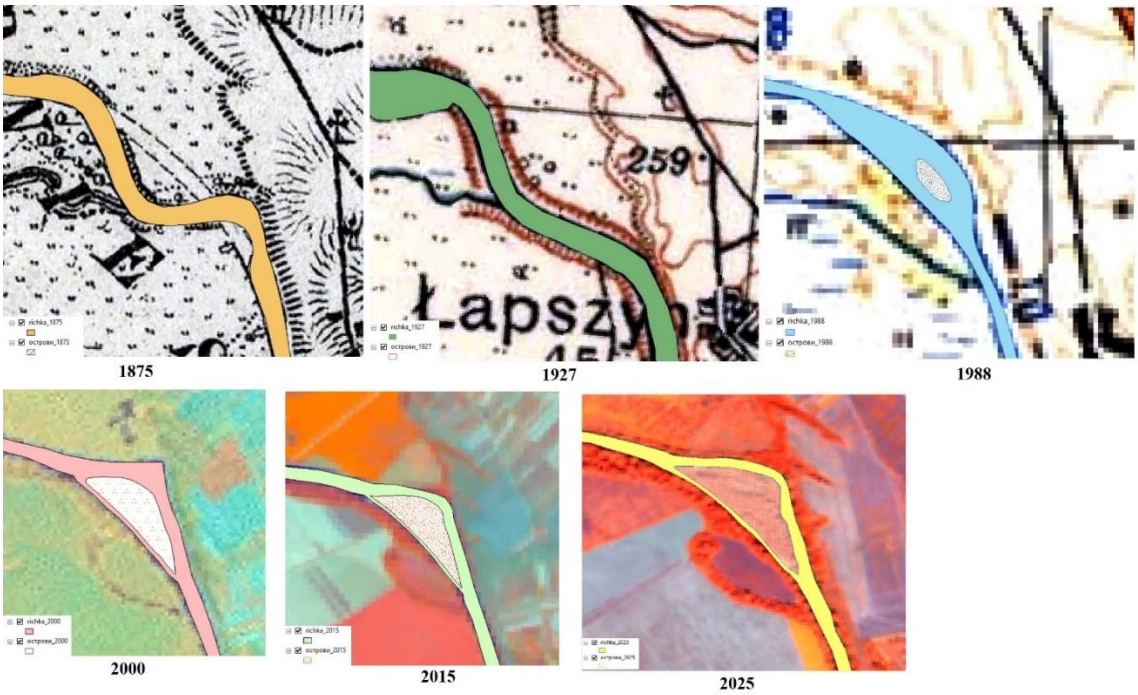


Рис.3.20. Динаміка формування та розвитку острова на р. Дністер поблизу с. Лапшин Стрийського району Львівської області

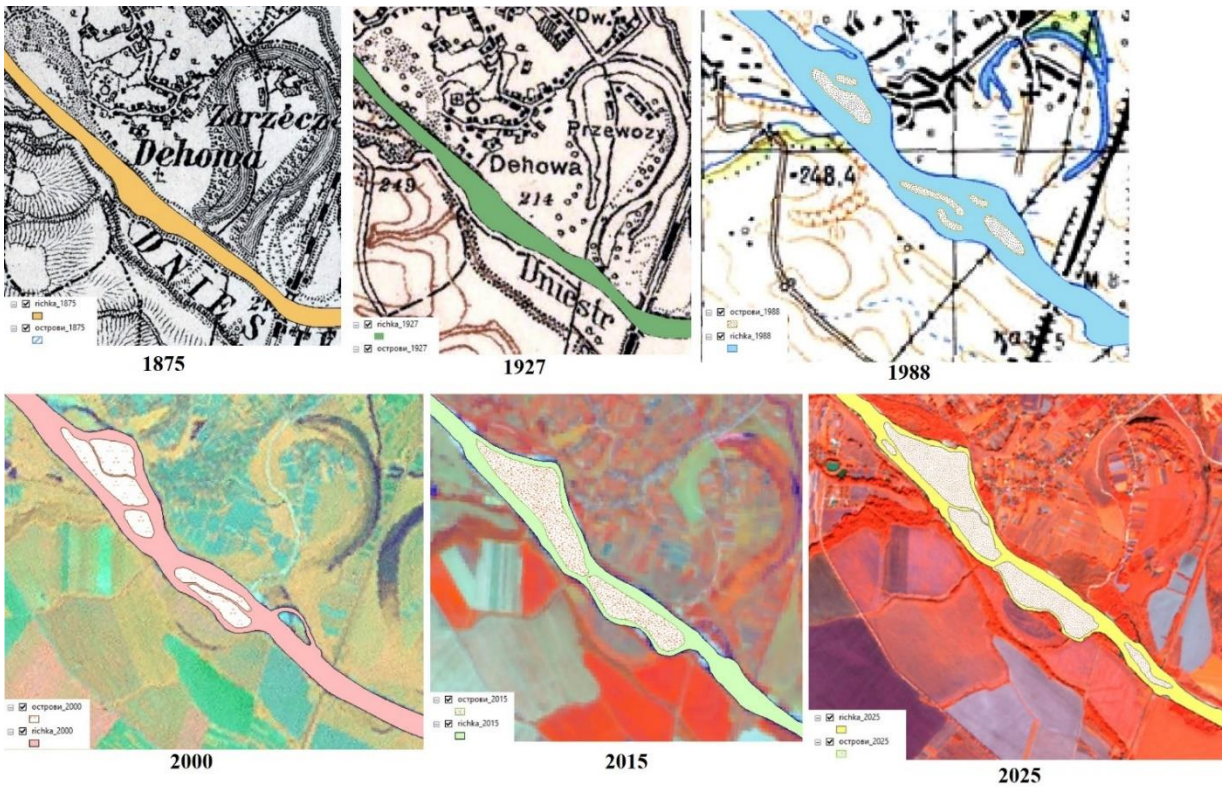


Рис.3.21. Динаміка формування та розвитку островів на р. Дністер поблизу с. Дубівці Івано-Франківського району Івано-Франківської області

У даному дослідженні я проаналізував зміну площ усіх існуючих островів на ділянці дослідження русла річки Дністер за різні роки та визначив їхню кількість. Для цього необхідно відкрити таблицю атрибутів у ArcGIS → додаємо поле *Add Field* → пишемо його назву - площа, задаємо тип Float (задаємо 5 значень цілого числа і 2 значення десяткового). Потім правою кнопкою миші

клацаємо по заголовку нового поля «площа» → *Calculate Geometry* → обираю *Area*, одиниці виміру – гектари, та метод – Geodesic, який рекомендується для точності на великих площах) → і натискаю OK. У таблиці 3.6 подано загальну кількість та площу островів, виміряну в гектарах.

Таблиця 3.6

Кількість та площа островів в різні часові періоди на досліджуваній частині русла ріки Дністер

Роки спостережень	1875	1927	1988	2000	2015	2025
Кількість островів	8	14	23	16	14	32
Площа островів, га	70	156	150	119	102	118

Для наочного відображення отриманих результатів побудовано графік, який відображає зміни кількості островів та їх площ за різні роки (рис. 3.22).

Рис.3.22. Графік зміни кількості островів та їх площ на ділянці дослідження (смт. Журавно - смт. Єзупіль)

Із аналізу результатів з’ясовано, що площа островів у 1988 р. збільшилися у 2 рази порівняно з 1875 р. ймовірно через зменшення швидкості течії річки, спричиненої катастрофічним паводком у червні 1969 року, а також у 1980 році, які призводять до збільшення об’єму наносів та виникненню піщано-галькових островів у руслі.

Також завданням цього дослідження було проаналізувати стариці, що утворилися за 150 літній період, які свідчать про зміни у вигляді русла та заплави річки Дністер. Найчастіше стариці утворюються саме у широких долинах річок,

які меандрують. Проте, вони швидко зникають через замулення, покриття осадовими відкладами та заростання рослинністю. З плином часу деякі стариці повністю пересихають, а інші, навпаки, можуть збільшуватися. Тому я проаналізував зміни площ стариць та визначив їх кількість для досліджуваної ділянки русла річки.

Спочатку було створено шейп-файли стариць різних років (1875-2025 рр.) аналогічним методом, як і русла річки, описаним вище у магістерській роботі, та оцифрував їх окремо для кожного року. Кольорову палітру шарів стариць по роках використав таку ж як і для річок та островів. Після оцифрування усіх стариць за різні роки, потрібно визначити їх площі окремо для кожного шару. Для цього відкриваю таблицю атрибутів шару, наприклад *стариці 2025* у ArcGIS → додаю поле *Add Field* → пишу його назву - площа, вибираю тип Float (задаю 5 одиниць цілого числа і 2 значення десяткового, після коми). Потім правою кнопкою миші клацаю по заголовку створеного поля «площа» → та обираю *Calculate Geometry* → *Area*, одиниці виміру – гектари та метод – Geodesic → натискаю *OK*. В результаті отримаємо автоматичне обчислення площі стариць для кожного шару.

Для наочнішого представлення отриманих результатів змін стариць на ділянці дослідження накладаю пошарово зображення стариць починаючи з 1875 року, і далі - 1927, 1988, 2000, 2015 та 2025 роки. На рисунку 2.23 подано зображення загального вигляду накладених русел річки Дністер та стариць на ділянці дослідження зі збільшеними фрагментами ділянок їх найбільших змін за 150 річний період.

У таблиці 3.7 подано значення кількості стариць та їх площ у гектарах на досліджуваній ділянці.

Таблиця 3.7

Кількість та площа стариць в різні часові періоди на досліджуваній ділянці

Роки спостережень	1875	1927	1988	2000	2015	2025
Кількість стариць	15	17	16	34	24	34
Площа стариць, га	116	88	85	163	37	22

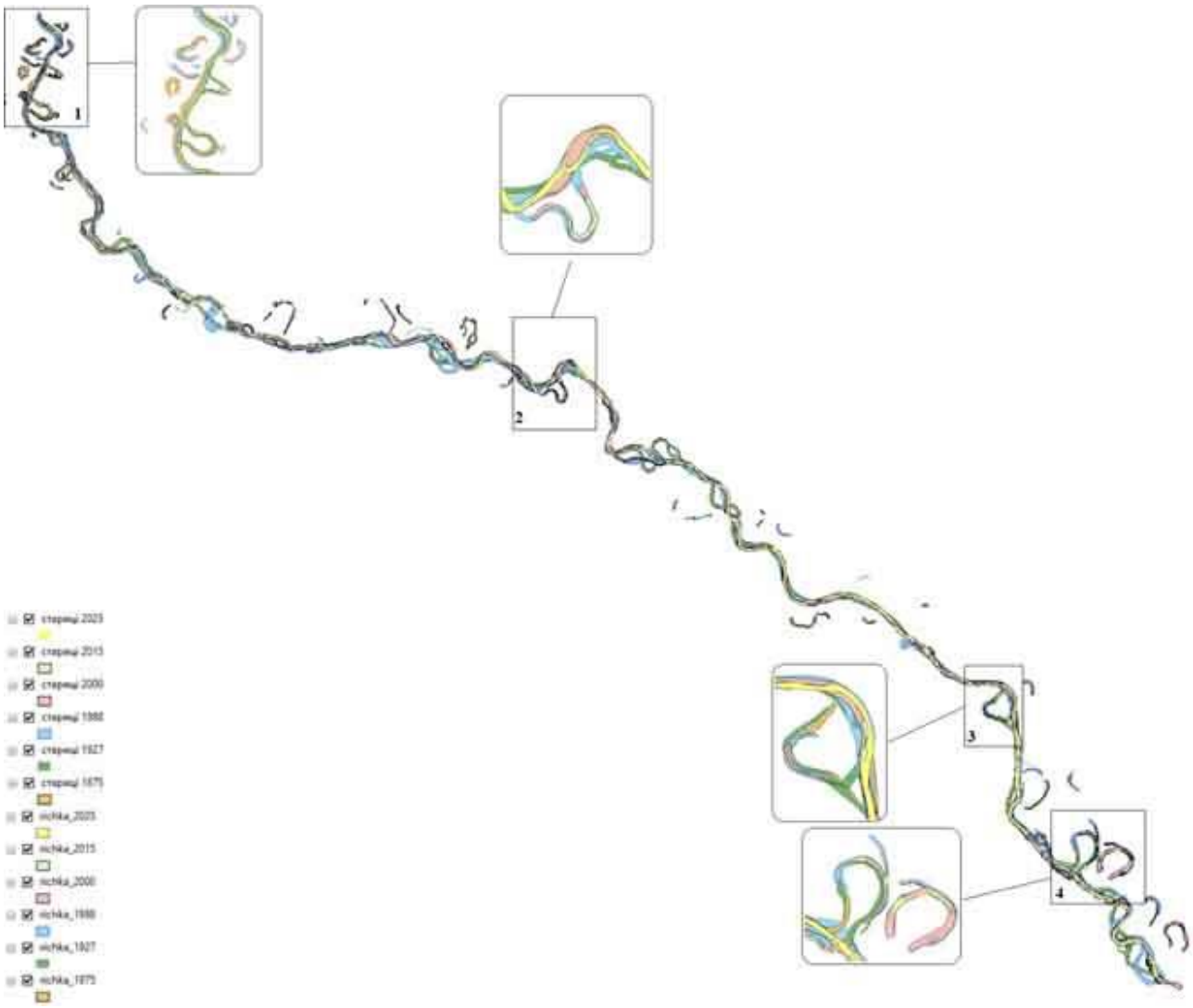


Рис.3.23. Зображення стариць Дністра зі збільшеними ділянками найбільших їх змін

На використаних у дослідженні топографічних картах невеликі за площею стариці я не вказував, а на космічних знімках вони досить чітко виділялися. У 2000 р. площа стариць істотно збільшилася, однак за останнє десятиліття при значній їх кількості на ділянці дослідження загальна площа стариць суттєво зменшилася, що вказує на висихання та заростання рослинністю значних їх ділянок. Для аналізу отриманих результатів побудовано графік, який дозволяє краще візуально оцінити зміни кількості та площ стариць (рис. 3.24).

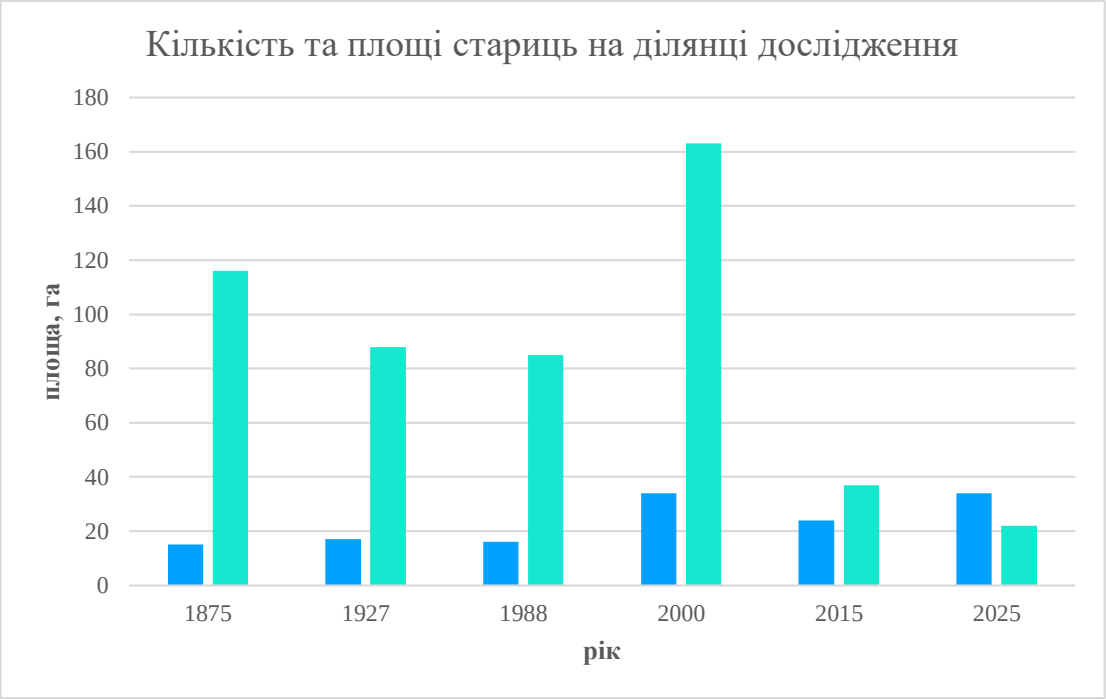


Рис.3.24. Графік зміни кількості та площ стариць на ділянці дослідження річки Дністер

Із рисунка 2.23 та графіка (рис. 3.24) робимо висновок, що площа стариць на досліджуваній території постійно змінюється, вона та кількість стариць зменшується за останнє десятиліття, а частина із них взагалі пересохла. Натомість деякі нові стариці з'являються внаслідок заболочення покинутих ділянок та розмивання існуючих русел річки.

3.5. Аналіз карт ґрунтового покриву та геологічних карт ділянки дослідження

Досліджувана ділянка рівнинної частини річки Дністер суттєво пов'язана з геоморфологічними особливостями рівнинних структур, насамперед через вплив передгірського та гірського типів Передкарпатського прогину і Скибових Карпат та легкорозмивних ґрунтів.

Аналіз геологічних та ґрунтових карт ділянки дослідження у місцях значних руслових зміщень Дністра свідчить про наявність м'яких порід та відкладів, які підлягають ерозії та розмиванню, сприяють розвитку руслових процесів та зміщенню русла при проходженні сильних паводків. Видобуток піщано-гравійних матеріалів та глини в руслі та заплаві річки, який суттєво зріс за останні десятиліття, сприяє розвитку деформаційних процесів як самого русла річки, так і її берегів. Аналізуючи геологічні карти четвертинних відкладів встановлено, що в межах досліджуваної території поширені алювіальні відклади гравійно-галечникового, піщаного та супіщаного складу, супісків, мулистих порід.

На рисунку 3.25 подано зображення частини геологічної карти четвертинних відкладів, а на рисунку 2.26 – карти ґрунтового покриву з нанесеним руслом річки Дністер на ділянці дослідження.

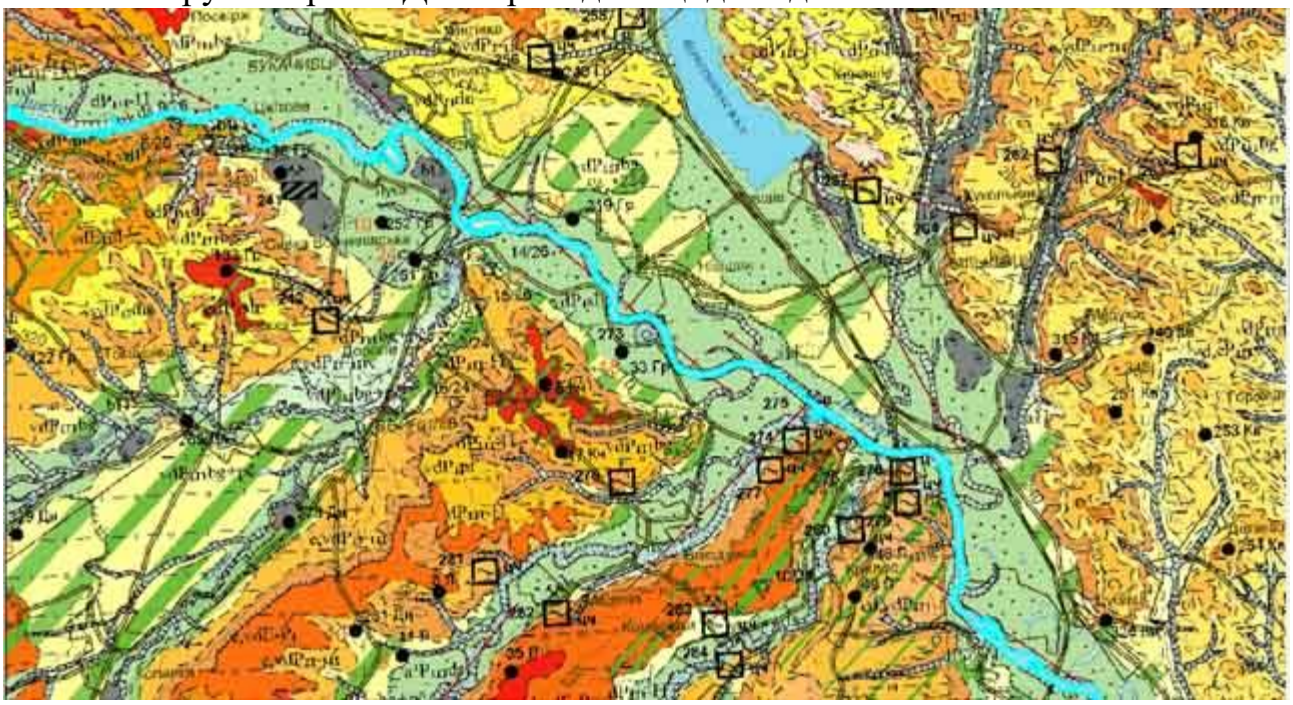


Рис.3.25. Фрагмент геологічної карти четвертинних відкладів рівнинної частини річки Дністер

Одним із основних чинників, які впливають на гідрологічний режим річок, є геологічна будова. В геологічному відношенні басейн Дністра приурочений до Передкарпатського крайового прогину Складчастої системи Карпат, Західно-Європейскої платформи, Волино-Подільської плити і схилів Українського кристалічного щита, а його пониззя – до Причорноморської западини. У сучасному рельєфі басейну ці геологічні структури представлені, відповідно, північно-східними схилами Українських Карпат, Волино-Подільським та Бессарабським плато і Причорноморською низовиною. У межах Волино-Подільскої височини, де розташована досліджувана частина Дністра, переважаючими є висоти 200-400 м, а басейн являє собою горбкувату поверхню з добре розвиненою гідрографічною мережею.

Найбільш давніми геологічними утвореннями є породи докембрійського періоду: гнейси, пісковики, кварцити, сланці, граніти та ін. Їх виходи на дні та схилах річних долин супроводжуються наявністю порогів, каньйовидних долин та обривистих схилів. На Волино-Подільському плато на докембрійських породах залягають породи палеозойського періоду: глинисті сланці, алевроліти, пісковики, пісковики, вапнякові пісковики та вапняки.

Рис.3.26. Фрагмент карти ґрунтового покриву рівнинної частини річки Дністер

Для виявлення впливу підстилаючої поверхні в рівнинній частині річки Дністер проаналізовано ґрунтові карти. Ґрунтовий покрив в районі досліджуваної частини Дністра характеризується домінуванням лучних опідзолених та оглеєних легкосуглинкових типів ґрунтів. Встановлено, що у місцях заплав Дністра розташовані легкі за механічним складом ґрунти, що швидко розмиваються під час сильних дощів та сприяють розвитку ерозійних процесів як самих русел, так і прирічкової території та заплав, особливо під час проходження паводків. Місцями спостерігається вихід техногенних (гірничі відвали) та біогенних утворень (торфовища). Ґрунтовий покрив заплавної частини утворений переважно лучними та дерновими ґрунтами. Лучні глейові та оглеєні ґрунти сформувались в умовах надмірного поверхневого зволоження та постійного зв’язку із позарічковими заплавами.

На лівобережжі рівнинної частини Дністра переважають дерново-підзолисті та сірі лісові ґрунти, є ділянки з опідзоленими та типовими чорноземами, торфово-болотними, лугово-болотними ґрунтами. Завдяки значному поширенню вапняків та гіпсів у басейні широко розвинуті поверхневі карстові форми, які обумовлюють перерозподіл стоку.

В долині Дністра і його приток розвинені заплавні місцевості. Вони займають широкі річкові днища долини і складені піщано-галечниковим алювієм з дерново-глейовими ґрунтами з лучною рослинністю, чагарниками з верби, вільхи, крушини. Тут багато стариць, прируслових валів, перезволожених западин, які чергуються з меліорованими землями [19].

3.6 Створення водоохоронних зон на досліджуваній частині річки Дністер

Одним із важливих актуальних задач, пов'язаних зі стійкістю річок, зокрема, з горизонтальними зміщеннями їх русел, є створення водоохоронних зон вздовж річок. Водоохоронні зони регулюються державними нормативними документами, які встановлюють чіткі межі відступів від берегових ліній, зокрема – це :

1. Водний кодекс України (від 06.06.1995 № 213/95-ВР) - стаття 87 «Водоохоронні зони» містить основні положення щодо встановлення водоохоронної зони як охоронної території, основні заборони, визначення меж тощо; стаття 88 - стосується тематики прибережних захисних смуг, їх встановлення вздовж річок, озер, водосховищ;

2. ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» містить вимоги до водоохоронних зон у контексті планування та забудови населених пунктів поблизу них;

3. Постанова КМУ № 486 від 08.05.1996 р. Про затвердження Порядку визначення розмірів і меж водоохоронних зон та режиму ведення господарської діяльності в них;

4. Наказ Держкомзему № 4 від 25.01.2010 р. Про затвердження Інструкції щодо встановлення меж водоохоронних зон і прибережних захисних смуг на місцевості.

У цих зонах, розміри яких залежать від характеристик річок (їх довжина, ширина, класифікація), заборонено проводити господарську діяльність. Питання регулювання термінів перегляду нормативних документів у контексті водоохоронних зон слід узгоджувати із визначенням стійкості русел, зокрема, з аналізом горизонтальних зміщень. Навіть при каналізуванні русла річки, під час проходження катастрофічних паводків енергія води може швидко зруйнувати гідротехнічні споруди, а русло здатне повертатися до свого природного розміщення, зокрема такі явища спостерігалися на Дністрі після паводків 2008 та 2014 років на рівнинній його частині. Тому, при виборі водоохоронних зон, особливо на урбанізованих територіях, необхідно обов'язково враховувати стійкість русел річок на певних ділянках їх протікання [20].

У багатьох країнах світу з урахуванням економічних та юридичних чинників діють нормативні документи, що регламентують ширину водоохоронних зон залежно від характеристик річок. Зокрема, в Україні для великих річок довжиною понад 200 км, в тому числі і для річки Дністер водоохоронна зона від берегової лінії становить 100 м, для середніх річок – 50 м, для малих – 20 м. Однак, ширина водоохоронних зон у межах населених пунктів може змінюватися, але лише за погодженою та затвердженою документацією з урахуванням конкретних природних і містобудівних умов і часто вона, нажаль, є меншою, ніж це потрібно. Проблема полягає в тому, що водоохоронні зони вибирають за нормативними документами без урахування горизонтальних зміщень русла річки, а це призводить до негативних наслідків [21].

Побудуємо водоохоронні зони для русла річки Дністер 1988 та 2025 років. Для цього використовуємо інструмент *Buffer*: відкриваю *ArcToolbox → Analysis Tools → Proximity → Buffer*. У вікні *Buffer* вказуємо необхідні параметри: *Input Features* – вибираємо шар полігонів (richka_1988, richka_2025); *Output Feature Class* – вказуємо шлях для збереження нового шару з буферними зонами; *Distance* – задаємо величину буфера - 100 м; вибираємо одиниці виміру – метри; у *Dissolve Type* – вказуємо *NONE* (окремі буферні полігони для кожного полігону), натискаємо *OK*. В результаті ArcGIS створить новий шар, де кожен полігон буде оточений буферною зоною заданої відстані.

На рисунку 3.27 у збільшеному вигляді показано дві ділянки із зображенням частини русла річки 1988 (блакитне) та 2025 років (жовте) з побудованими буферними зонами, де найсуттєвіше зміщувалося русло Дністра за 37 років.

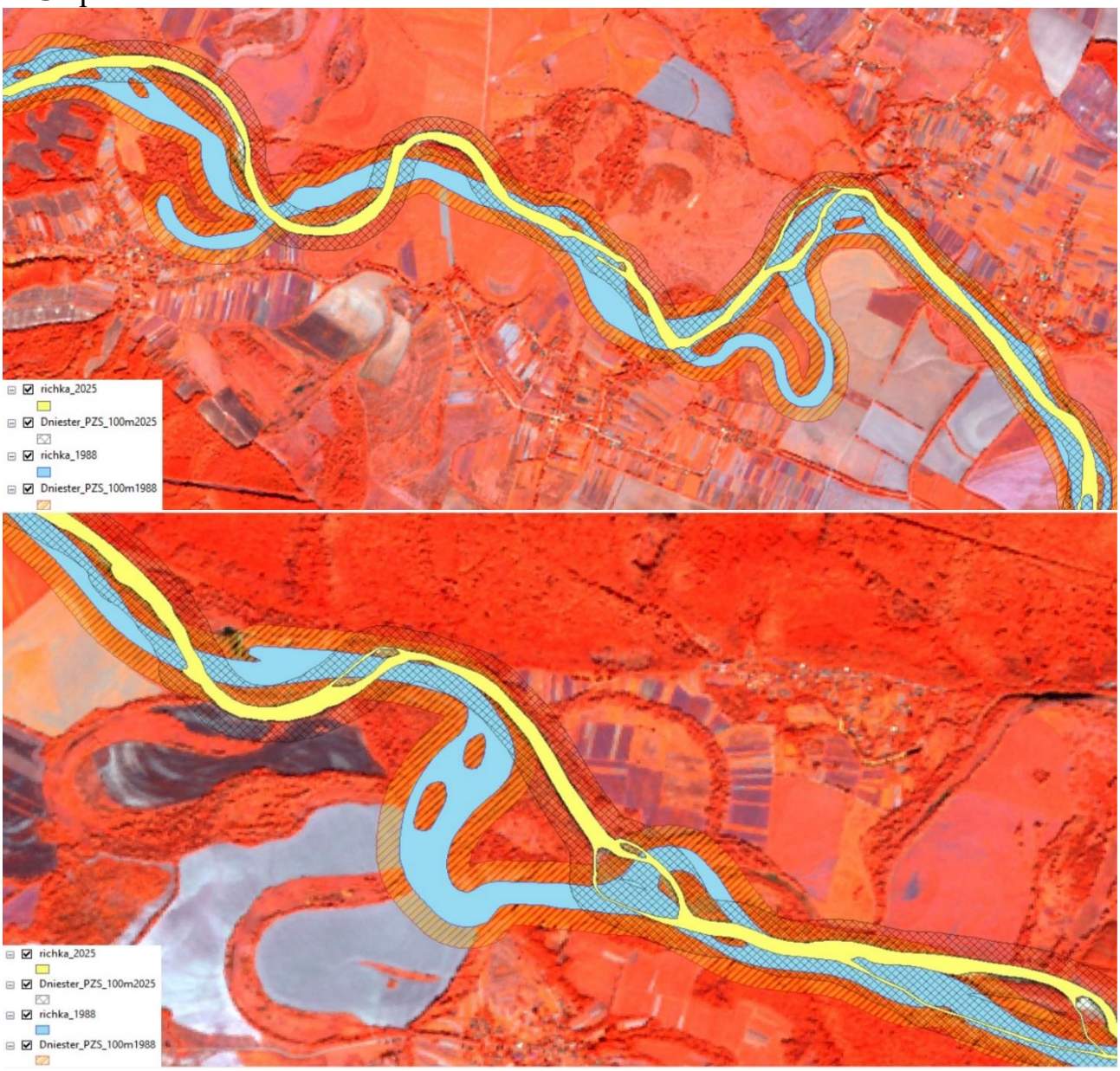


Рис.3.27. Фрагменти русел річки Дністер 1988 та 2025 рр. із побудованими водоохоронними зонами на знімку Sentinel-2

Оскільки в дослідженні встановлено, що максимальні зміщення русла річки Дністер спостерігаються саме за 150 річний період (1875-2025 рр.) – до 800 і більше метрів, побудуємо буферні зони для русел 1875 (помаранчеве) та 2025 (жовте) років. На рис. 3.28 показано візуальні зміни русел та їх водоохоронних зон поблизу селища Єзупіль Івано-Франківської області за 150 років, накладені на космічне зображення Sentinel-2.

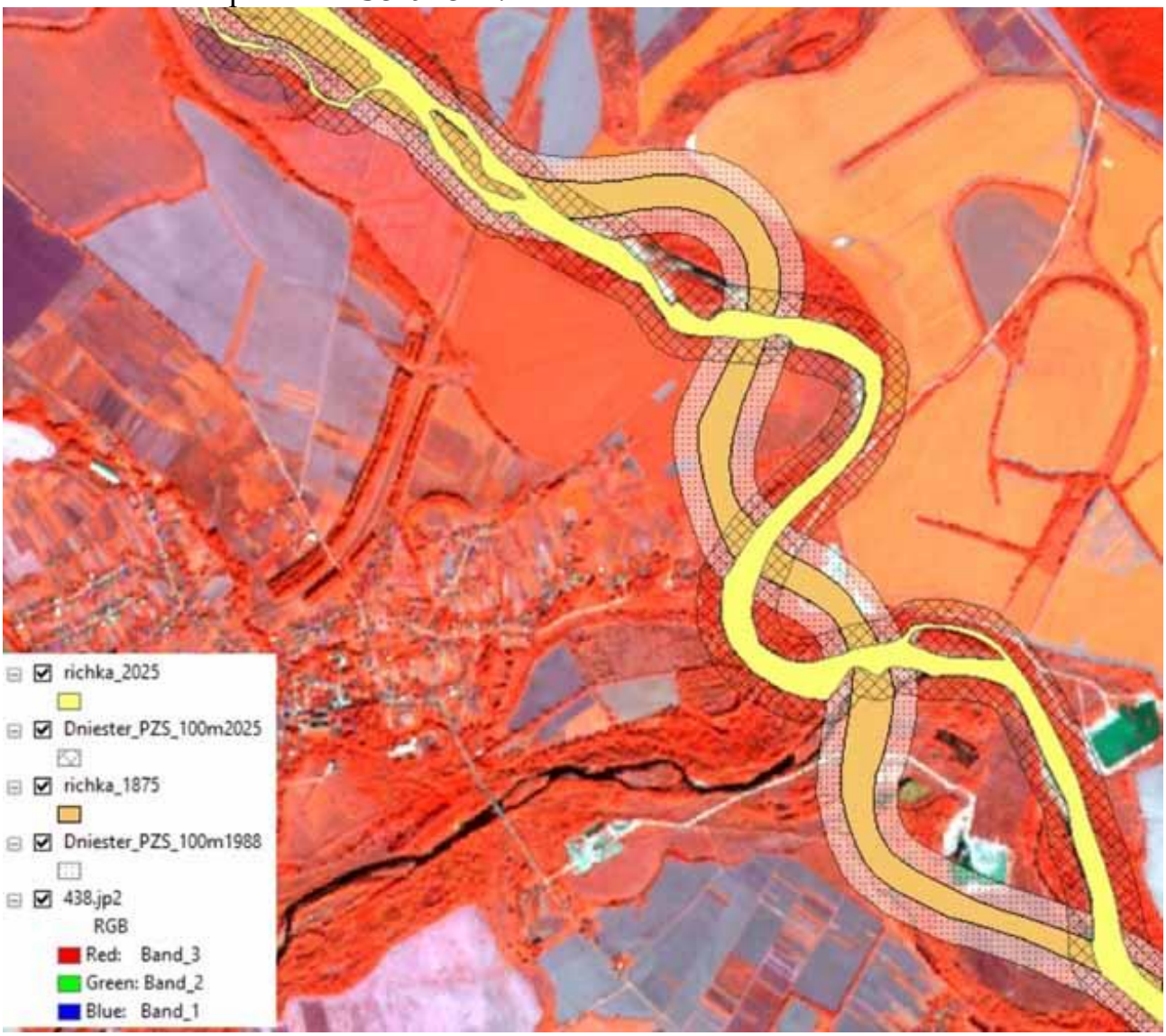


Рис.3.28. Зображення нанесених на знімок Sentinel-2 русел річки Дністер 1988 та 2025 рр. із побудованими водоохоронними зонами

На цих зображеннях видно, що у разі накладання шарів русел за різні часові періоди водоохоронні зони річки суттєво змінюються за рахунок горизонтальних зміщень русла річки, які фактично або зменшують їх, або й взагалі закривають новим розташуванням русла «старішу» водоохоронну зону. Площі водоохоронних зон досліджуваної частини русла річки Дністер з плином часу теж змінюються становлять для русла 1875 р - 2279 га, 1988 р – 2714 га, 2025 р – 2083 га. Тому ведення господарської діяльності, зокрема оранка земель у прибережній смузі річок, фактично призводить до істотного зменшення водоохоронної зони, ерозії та сповзання ґрунту в річку, її замулення. Отже,

водоохоронні зони вздовж річок необхідно вибирати з урахуванням стійкості їх русел та коригувати із певною часовою періодичністю.

У цьому дослідженні я намагався подати результати змін природного руслового процесу рівнинної частини річки Дністер, а також відобразити вплив антропогенної діяльності на ці зміни. Основну увагу я зосередив на дослідженні горизонтальних зміщень русла річки, моніторинг яких проводився із застосуванням новітніх технологій, де основним є використання різних за типом матеріалів: топографічних карт різних часових періодів, матеріалів ДЗЗ, геологічних карт четвертинних відкладів та ґрунтових карт, з опрацюванням усіх матеріалів із застосуванням ГІС-технологій. Результати таких досліджень дають змогу по-новому підійти до вибору водоохоронних зон та необхідності зміни нормативних документів, які їх регламентують.

Вивчення питання про вибір водоохоронних зон за чинними нормативними документами свідчить про те, що вони не враховують руслових процесів річок, які призводять до горизонтальних зміщень русел, особливо на великих вигинах, як це добре видно на рисунках 3.27 та 3.28. Недотримання норм водоохоронних зон призводить до ерозії прирічкової території, замулювання та засмічення річок, що в свою чергу спричиняє додаткові зміщення русел.

Дослідження руслових деформацій річок потребує комплексного підходу до моніторингу з використанням дистанційних методів, ГІС-аналізу та гідроморфологічного моделювання, що забезпечуватиме можливість прогнозування тенденцій зміни русла та розробки адаптивних заходів управління водними ресурсами.

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних теоретичних та експериментальних робіт можемо зробити наступні висновки:

1. Розроблено структурну схему основних етапів дослідження руслових процесів річки Дністер.
2. Моніторинг горизонтальних руслових зміщень досліджуваної рівнинної частини річки Дністер проведений за матеріалами дистанційного зондування Землі – космічними знімками та топографічними картами за 150-річний період (1875-2025рр.) з використанням геоінформаційної системи ArcGIS 10.8.
3. Обчислено показники стійкості та звивистості русла досліджуваної частини річки Дністер.
4. Створено синтезовані зображення за космічними знімками, отриманими із супутників Landsat 7, Landsat 8 та Sentinel - 2 для кращого розпізнавання гідрографічних об’єктів. Встановлено, що оптимальною є комбінація каналів 4, 5, 3 супутника Landsat 7, каналів 5, 6, 4 супутника Landsat 8 та каналів 4, 3, 8 супутника Sentinel - 2. Для покращення просторового розрізнення зображень до 15 метрів використано технологію Pansharpening для супутників Landsat 7 та Landsat 8.
5. Проведений моніторинг рівнинної частини річки Дністер за 150-річний період свідчить про істотні зміщення його русла. Встановлено, що м а к
6. Побудовано водоохоронні зони для русла досліджуваної частини річки Дністер за 1875, 1988 та 2025 роки. Вибір водоохоронних зон за чинними нормативними документами свідчить про те, що вони не враховують руслових процесів річок, які призводять до горизонтальних зміщень русел, особливо на великих вигинах протягом тривалого періоду. Тому для ефективного використання прируслових територій у нормативних документах необхідно враховувати нестійкість русел річок на окремих ділянках.

н і

з м і щ е н н я

р у с л а з

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Шевчук В. Методика моніторингу рік на урбанізованих територіях / В.Шевчук, Х.Бурштинська // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип . 75. – С . 73-82.
2. (53) Burshtynska K., Hrytskiv N., Zayats I., Babiy L., Fijalkovska A., Bakuła K. Monitoring of channel deformations of the Lower Dniester using topographic maps and satellite imagery with the implementation of GIS technologies. Water (Switzerland), 2024, Vol. 16, Iss. 15.
3. Геологічна служба США (USGS – United States Geological Survey). Електронний ресурс [Режим доступу]: https://earthexplorer.usgs.gov.
4. Програма Європейського Союзу з дослідження Землі - Copernicus Data Space Ecosystem Browser. Електронний ресурс [Режим доступу]: https://browser.dataspace.copernicus.eu.
5. Старовинні карти. Електронний ресурс [Режим доступу]: https://freemap.com.ua/ivano-frankovskaya-oblast/galichskij-rajon/.
6. Лохтин В. М. Река Днестр, её судоходство, свойства и улучшение / В. М. Лохтин. – Одесса, 1996. – 119 с.
7. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). Київ: Ніка-Центр, 2001. – 27 с.
8. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-морфологічний аналіз / І. П. Ковальчук – Львів: Інститут українознавства, 1997. – 440 с.
9. Маккавеев Н. И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 1998. – 293 с.
10. Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 285 с.
11. Даус М. Є. Динаміка руслових потоків і руслові процеси: конспект лекцій / М. Є. Даус – Одеса, ОДЕКУ, 2017. – 158 с.
12. Ободовський О. Г., Корнієнко В. О., Перевозчиков І. М. Сучасні умови формування стійкості русел річок району річкового басейну Дніпра (в межах України). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 1 (67).
13. Лохтин В. М. О механизме речного русла. Казань, 1895. С. 76.
14. Кирилюк О. В., Кирилюк С. М. Геогідроморфологічне обґрунтування методики оцінки стану басейнових систем малих річок (на прикладі річок Гукова, Дерелую та Виженки) : монографія. — Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. – 256 с.
15. Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Гребінь В.В. та ін. Загальна гідрологія : підручник для студентів вищих навчальних закладів. - Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 399 с.
16. Ржаницын Н. А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 285 с.
17. Бурштинська Х., Бабушка А., Дзюба М. Аналіз стійкості русла річки Свіча в місцях переходу об’єктів паливно-енергетичної інфраструктури. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2021. Вип. I (41). С. 132–139.
18. Чалов Р. С., Маккавеев Н. И. Русловые процессы. М.: МГУ, 1986. – 264 с.

19. Транскордонне співробітництво в басейні р. Дністер. Електронний ресурс [Режим доступу]: http://dnister.meteo.gov.ua/ua/about_dnister.
20. Burshtynska, K., Kokhan, S., Pfeifer, N., Halochkin, M., & Zayats, I. (2023). Hydrological Modeling for Determining Flooded Land from Unmanned Aerial Vehicle Images – Case Study at the Dniester River. Remote Sensing, 15(4), 1071. https://doi.org/10.3390/rs15041071.
21. Shevchuk V., Burshtynska K., Korolik I., Halochkin M. Monitoring of horizontal displacements and changes of the riverine area of the Dniester River. Journal of Water and Land Development, 2021, No. 49 (IV–V), 1–15. DOI: https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137091.
22. Вимоги до виконання кваліфікаційних робіт. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт для студентів другого (магістерського) РВО спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» освітньо-професійної програми «Аерознімання з безпілотних літальних апаратів» / уклад.: Н.З. Грицьків – Львів: кафедра ФГІ, 2025. 31 с.