

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ**

Кафедра геодезії, землевпорядкування та кадастру

На правах рукопису

**ПОГРАНИЧНА СВІТЛАНА МИКОЛАЇВНА
АНАЛІЗ ЗМІНИ РУСЛА Р. СТОХІД ЗА ДАНИМИ
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій
Освітня програма Геодезія та землеустрій
Робота на здобуття другого (магістерського) освітнього рівня

Науковий керівник:
Уль Анна Володимирівна
доктор технічних наук, професор

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ
Протокол №
засідання кафедри геодезії,
землевпорядкування і кадастру
Від . .2024 р.

Завідувач кафедри
д.т.н., проф. А.В. Уль _____

ЛУЦЬК - 2024

Анотація

Погранична С.М. Аналіз зміни русла р. Стохід за даними дистанційного зондування Землі. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. –ВНУ імені Лесі Українки, МОН України, Луцьк, –2024. -61 с.

У роботі проведено розрахунки звивистості русла, досліджено гео-топографічний параметр. Проаналізовано показники синусості, за допомогою яких здійснено розрахунок показників звивистості русла р. Стохід на ділянці протяжністю 18 км поблизу м. Любомль. Встановлено, що синусоїдальність русла значно зменшувалась до середни першої декади 2000-х років, після чого звивистість почала відновлюватись до показників 1994 року.

Ключові слова: супутникові знімки, дистанційне зондування, руслові процеси, меандри, синусоїдальність русла.

Annotation

Pogranichna S.M. Analysis of changes in the channel of the Stokhid River according to remote sensing data. Qualification work on the rights of the manuscript. -Lesya Ukrainka National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lutsk, - 2024. -61 s.

In this work, the channel sinuosity is calculated, the geo-topographic parameter is studied. The sinuosity indices were analyzed, which were used to calculate the sinuosity of the Stokhid riverbed on a section of 18 km near the city of Lyuboml. It has been established that the sinusoidality of the channel significantly decreased until the middle of the first decade of the 2000s, after which the tortuosity began to recover to the 1994 values.

Keywords: satellite images, remote sensing, channel processes, meanders, sinusoidality of the channel.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ	7
1.1. Суть руслових процесів.....	7
1.2. Класифікація річок та їх морфометричні характеристики	11
РОЗДІЛ 2. ТИПИ МЕАНДРУВАННЯ ТА ОСНОВНІ ЇХ ЧИННИКИ .	13
2.1. Типи меандрування.....	13
2.2. Основні чинники, які впливають на руслові процеси.....	15
2.3. Звивистість та стійкість річок.....	19
2.4. Горизонтальні руслові деформації та метод їх визначення	22
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН РУСЛА Р.СТОХІД.....	30
3.1. Загальна характеристика р. Стохід	30
3.2. Системи ДЗЗ	32
3.3. Ресурси для отримання ДЗЗ.....	35
3.4. Просторова і спектральна роздільна здатність	36
3.5. Результати дослідження.....	40
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

Перелік умовних позначень, символів, одиниць і термінів

ДЗЗ – Дистанційне зондування Землі

ГІС – Геоінформаційні системи

ООН – Організація об'єднаних націй

ЄС – Європейський Союз

ЛЕП – Лінія електропередач

ІЧ – Інфрачервоний

GMES – Глобальний моніторинг навколишнього середовища та безпеки
Global Monitoring for Environment and Security

ЄКА (ESA) – Європейське космічне агентство European Space Agency

Вступ

Актуальність теми.

У житті людей і довкіллі річки та руслові процеси відіграють важливу роль, тому їх дослідженнями займаються роками в різних галузях науки і техніки (гідродинаміки, гідрології, геоматики). У руслі відбувається взаємодія води та природного середовища, що формують режим і стан річки. З роками річки змінюють як своє горизонтальне, так і висотне положення. Наприклад, внаслідок повеней чи паводків за пів століття річка може зміститися. Таке зміщення може дорівнювати ширині власного русла, може бути більшим чи меншим. Крім того, можуть з'являтися нові рукави та притоки. Основними причинами таких явищ є фізико-географічні, кліматичні, антропогенні чинники. Це і часті повені, розмивні породи ґрунтів, вирубка лісів, адже ліси укріплюють берег річок. Збільшення кількості сезонних опадів зумовлює не лише зростання рівня води річки, а й появу нових рукавів річки, зміну русла та утворення меандрів. Такі зміни в руслі впливають на ландшафт поблизу річки та господарську діяльність людини. Антропогенна діяльність людей, будівництво і гірничодобувні роботи у долинах ріки також зумовлюють зміни в руслі [1]. При будівництві доріг, прокладання газо- і нафтопроводів, а також ліній зв'язку та електропередач русло річки стає перешкодою. Розмив берегів спричиняє розриви газо- та нафтопроводів, що може призвести до вибухів і пожеж, призводить до екологічної катастрофи і є причиною руйнування споруд. Підмиви опор мостів та ліній електропередач спричиняють значні збитки для економіки країни. У зв'язку з цим виникає науковий і практичний інтерес дослідження русла річок.

Об'єкт дослідження руслові процеси ділянки р. Стохід

Предмет дослідження геоінформаційні та дистанційні методи в завданнях моніторингу руслових процесів річок

Мета дослідження Метою даної роботи є визначення показників звивистості русла р. Стохід на основі порівняння даних дистанційного зондування Землі та результатів їх геоінформаційної обробки в період з 1994 по 2024 рр.

Мета цієї роботи передбачає виконання наступних **завдань**:

1. Вивчення руслових процесів та їх досліджень за матеріалами ДЗЗ та ГІС.
2. Дослідження фізико-географічного положення річки Західний Буг.
3. Проведення дистанційного моніторингу руслових процесів річки Стохід.

Методи дослідження — під час виконання роботи використовувались методи спостереження, аналізу, синтезу, дедукції, моделювання, збору інформації, її обробки.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що запропонована методика аналізу показників звивистості русла річки Стохід на ділянці понад 18 км поблизу м. Любешів із використанням даних ДЗЗ є ефективною і дозволяє оперативно відстежувати зміни в руслових процесах.

Структура і обсяг роботи - Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 91 найменування. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок основного тексту, у тому числі 10 таблиць та 12 рисунків

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

1.1. СУТЬ РУСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

Під терміном русловий процес розуміють зміну морфологічної будови русла ріки під впливом потоку води [3, 4]. Проте, згідно [74, 75, 76, 77] – це геоморфологічний процес, який передбачає горизонтальне зміщення алювіального річкового русла через заплаву. У деякій літературі [6, 7, 8, 9] вказано, що гідролого-морфологічний напрямок теорії руслових процесів ґрунтується на узагальнені форм русла і його утворень, а також на визначенні швидкості переміщення з метою прогнозування руслових процесів. Як зазначалося, [5] руслові процеси залежать від природних та антропогенних впливів, фізичних умов та середовища, що характеризує ландшафт водозбору.

За кілька століть вивчення річкових русел стало окремим предметом дослідження гідрології, геоморфології, гідротехніки та гідродинаміки. Внаслідок чого вирішено багато проблем руслових процесів. Вивчення руслових процесів має велике значення для розв'язання завдань, висунутих численними запитами практики, допомагає запобіганню катастроф та економічних втрат.

Перший учений, який дослідив динаміку водних потоків та руслових процесів є Чалов Р.С. Він зробив висновок, що руслові процеси пов'язані з докільцям, дослідив морфологію русла та заплав [10, 11, 12, 13]. Учений Маккавєєв Н.І. досліджував проблеми ерозії ґрунтів та руслових процесів, флювіальної та динамічної геоморфології, пов'язаних із формуванням русел на судноплавних річках [12, 15, 16]. Попов І.В. дослідив морфологію річкових русел та розробив метод раціонального використання, заснував гідроморфологічну теорію, проаналізував акумулятивні процеси та створення форм рельєфу [17, 18].

В Україні руслові процеси досліджували В. М. Лохвін, З. В. Горецька, Н. Й. Дрозд, О. Н. Кафтан, М. І. Кирилук, О. Г. Ободовський, С. М. Перехрест та інші.

Н.С. Лесявський спробував дослідити швидкісну структуру річкових потоків, працював над виправленням річок для покращення судноплавних умов і мав можливість спостерігати за кінематикою потоку на перекатах і плесах. Саме ним були отримані схеми течій, різко відмінні від існуючих уявлень про паралельно струминність потоків. [19].

Інженер-шляховик В. М. Лохтін заклав наукові основи теорії руслових процесів: деформації річкових русел і заплав, морфологічні утворення в руслі і на заплаві. Він вивчав формування русел малих рік, запропонував показник стійкості русла та проаналізував вплив гідрологічного режиму річок [2].

Але потрібно зазначити, що сьогодні існує значна кількість новітніх матеріалів, методик та технологій вивчення ерозійних та руслових процесів річок та їх басейнів.

У результаті руслових процесів утворюються звивини русла або меандри. Меандруючі ріки розташовуються у родючих долинах, де найбільш цінні зони для сільського господарства. Крім того, повноводні ріки мають значний вплив на промисловість та населені пункти [77]. Тому систематично потрібно проводити захисні заходи від повеней, посилювати контроль над ерозією берега та меандруванням ріки. Адже діяльність річок впливає на будівництво мостів, водозаборів, набережних та інших споруд. Окрім цього, споруди можуть змінювати потік річки і викликати ряд певних явищ в руслоформуєчій діяльності, які потрібно передбачити, щоб зберегти функціонування споруди. Важливою сферою для застосування теорії руслових процесів є сільське господарство, адже найродючіші угіддя знаходяться на заплавах річок; необхідно враховувати діяльність рік при створенні проектів їх меліорації. Проектувальні роботи з регулювання русел річок, будівництва на їх берегах та в самому руслі слід обґрунтовувати прогнозами руслових зміщень, які будуть опиратися на знання умов та закономірностей формування русел рік. Інженерні розрахунки можуть бути обґрунтованими тоді, коли враховують напрям та інтенсивність руслових процесів, можливі зміни у різних умовах та специфіку їх проявів, як у природному середовищі, так і через вплив господарських захисних

заходів. Використання рік у господарстві призводить до суттєвих змін в їхньому гідрологічному режимі. Важливим є пояснення співвідношення між горизонтальним зміщенням та режимом глибин на перекатах та перекатних ділянках, виявленням сезонних, річних та багаторічних зміщень русла річки [20, 2].

Відомо, що розорювання заплавної земель може призводити до змиву ґрунтів та перетворювати луки у непродуктивну територію на тривалий час [21]. Усі ці проблеми відбуваються не лише на території України, вони також присутні у багатьох інших державах, наприклад Італії, Франції, Німеччини та Польщі. Якщо планувати населені пункти без координації заходів з активністю річки, це створюватиме значні витрати на протипаводкові заходи. Тому необхідно врахувати стійкість русла на довгострокову перспективу. Пріоритетом нової політики землекористування є встановлення максимальних охоронних зон з перспективою на меандрування рік, адже освоєння заплави призводить до високих рівнів повені.

Останніми роками в Україні різко збільшилися повені, які призвели до соціальних та економічних втрат. Протягом ХХ століття спостерігалось значне підвищення водності річок у межах річних циклів, що призводило до катастрофічних повеней у Карпатах. Літом 2008 року під час сильних дощів на заході України стався паводок, внаслідок якого піднялася вода в річках. Ця



повінь вважається найбільшою на території України за останнє пів століття. Втрати від цієї повені були величезні: зруйновані берегові укріплення, житлові будинки, транспортні комунікації та мости (рис. 1.1). Природні стихії в поєднанні з антропогенними чинниками завдають значної економічної шкоди регіону. Щорічні збитки від водних стихій становлять більше 4,5 млрд грн, а у 2008 році ці збитки були оцінені на суму 7 млрд гривень [2].

Знаємо, що паводки – явище нерегулярне. Але локальні катастрофічні паводки спостерігаються вже майже через кожні два-три роки або й щорічно.

У
році

2018



Рис. 1.2 Наслідки повені

відбулася велика повінь в Карпатському регіоні, яка завдала значних економічних та господарських втрат. На рис. 1.2 показано наслідки цієї повені на значній території. Повінь повністю зруйнувала міст та утворила новий рукав русла. Такі екологічні катаклізми відбуваються через масову вирубку лісів. На території України вирубка лісів проводиться із 1960-х років. Це призводить до знищення значного лісового покриву і неспроможністю ґрунтом утримувати вологу на території Карпат.

Усі ці катастрофи показують актуальність, своєчасність та необхідність моніторингу руслових процесів річок у нашій країні.

Крім вирубки лісів, основними причинами трансформації річок є затоплення та видобуток піску та гравію з річок.

Отже, вивчення руслових процесів допомагає спрогнозувати майбутні паводки та повені і вчасно вжити захисних заходів (побудувати захисні споруди або дамби тощо), покращити експлуатацію інженерних споруд (мостів, причалів, трубопроводів, водозаборів). Крім того, дозволяє передбачати переформування русла річки в майбутньому та регулювання їхнього стоку до водосховищ і покращення судноплавних шляхів.

1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ РІЧОК ТА ЇХ МОРФОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Існують певні закономірності у формуванні річкових русел як в природних умовах, так і під дією впливу господарської діяльності. Аналіз цих явищ дозволяє встановити визначені закономірності для створення різних класифікацій річок. При розв'язанні гідрологічних завдань, для визначення кількісних характеристик стійкості та звивистості русла річки використовують класифікацію та морфометричні характеристики річок. Класифікацію річок подають для створення охоронних зон рік та прибережних зон.

У таблиці нижче показано класифікацію річок за розміром їх басейнів та довжиною [22].

Таблиця 1.1

Класифікація річок за розміром басейну та довжиною [22]

Великі	річки з площею $> 50\ 000\ \text{км}^2$	більше 500 км
Середні	річки з площею в межах $2\ 000\text{-}50\ 000\ \text{км}^2$	100-500 км
Малі	річки з площею $< 2\ 000\ \text{км}^2$	10-100 км
Струмки	річки з площею $< 50\ \text{км}^2$	до 10 км

Захисні смуги для різних типів річок: малі річки та струмки – 25 м; середні річки – 50 м; великі річки – 100 м [22].

У зарубіжній літературі [16, 17, 78] ріки класифікують за певними ознаками, а саме: типом живлення, характером перебігу й режимом.



Рис. 1.3 Класифікація рік

Щоб з'ясувати причину горизонтальних зміщень рік потрібно мати інформацію про основні морфометричні характеристики річки, яку досліджують І.В. Криленко, Є.В. Дзаганія [23, 81, 82].

Ці характеристики включають;

- Довжину річки L (км);
- Глибину річки h (м);
- Ширину річки B (м);
- Падіння річки ΔH (м);
- Ухил річки I (м/км);
- Звивистість русла річки K .

РОЗДІЛ 2. ТИПИ МЕАНДРУВАННЯ ТА ОСНОВНІ ЇХ ЧИННИКИ

2.1. ТИПИ МЕАНДРУВАННЯ

Як зарубіжна, так і вітчизняна література займається питанням поділу річкових русел на типи. Розробкою класифікації русел займалися різні вчені, наприклад, Россинський К.І., Попов І.В., Кондратьєв Н.Є., Ржаніцин Н.А., Чалов Р.С., Маккавєєв Н.І., Алтунін С.Т., Крошкін А.Н., Snishchenko V.F. & Koraliani Z.D., Rosgen D.L., Mosley M.P. та інші.

Такий поділ необхідно робити для того, щоб визначити характер русла ріки, тому що від цього залежить зміщення самого русла.

Класифікація рік, створена на плановій формі річок. В основу класифікації закладено дві мети [2]:

- 1) визначення термінології для опису морфологічних ситуацій природних річок;
- 2) ідентифікація морфологічної ситуації, що ґрунтується на регулюванні чинника.

Перший випадок обмежується геометричним описом і може містити опис певних явищ. Другий – пов’язує визначену геометричним способом планову форму з комбінацією морфодинамічних параметрів. Ці параметри регулюють процес формування горизонтальної форми [78].

Завдяки накопиченню інформації про форму русел, їхні зміщення та застосування нових методів дослідження руслових процесів покращило та доповнило раніше запропоновану класифікацію, дало можливість розробляти нові її схеми. Крошкін А.Н. більше 100 років тому розрізнув два види вигину русла – звивини, що формуються, і врізані меандри, що відповідають вільним і врізаним вигинам в сучасній термінології [24]. Щукін І.С. [25] виділив первинні та вторинні вигини річки. Первинні пов’язував з особливостями рельєфу, а вторинні – з їх формуванням у результаті роботи самого водяного потоку. До окремої групи віднесив річки з островами на рукавах.

Однією з перших кваліфікацій із стійкості русла було розглянуто в роботі Шинкевича М. В. [26], де русло ріки поділене на стійке й нестійке. Пізніше запропонували декілька модифікацій цієї класифікації. Великанов М.А., наприклад, виділив чотири типи за стійкістю [27, 28]:

- 1) річки підвищеної стійкості;
- 2) річки нормальної стійкості;
- 3) рівнинні річки меншої стійкості;
- 4) нестійкі річки.

І врешті Алексеєвський Н. І. виділив три основні класи річкових русел – гірський, передгірський та рівнинний тип річок, які відрізнялися кінетичністю водних потоків, морфологією та формою руслового рельєфу й значною відмінністю руслової діяльності [26].

У ХХ столітті з'явилися нові підходи до класифікації русел, які враховували умови транспортування наносів й транспортну властивість потоку. Кондратьєв А. Н. та Попов І. В. [29, 17] класифікували типи русла (руслових процесів) в певній послідовності:

- 1) стрічково-грядовий тип руслового процесу;
- 2) побічний тип руслового процесу;
- 3) обмежене меандрування;
- 4) вільне меандрування;
- 5) незавершене меандрування;
- 6) заплавна багаторукавність;
- 7) осередковий тип руслових процесів. (рис. 1.4)

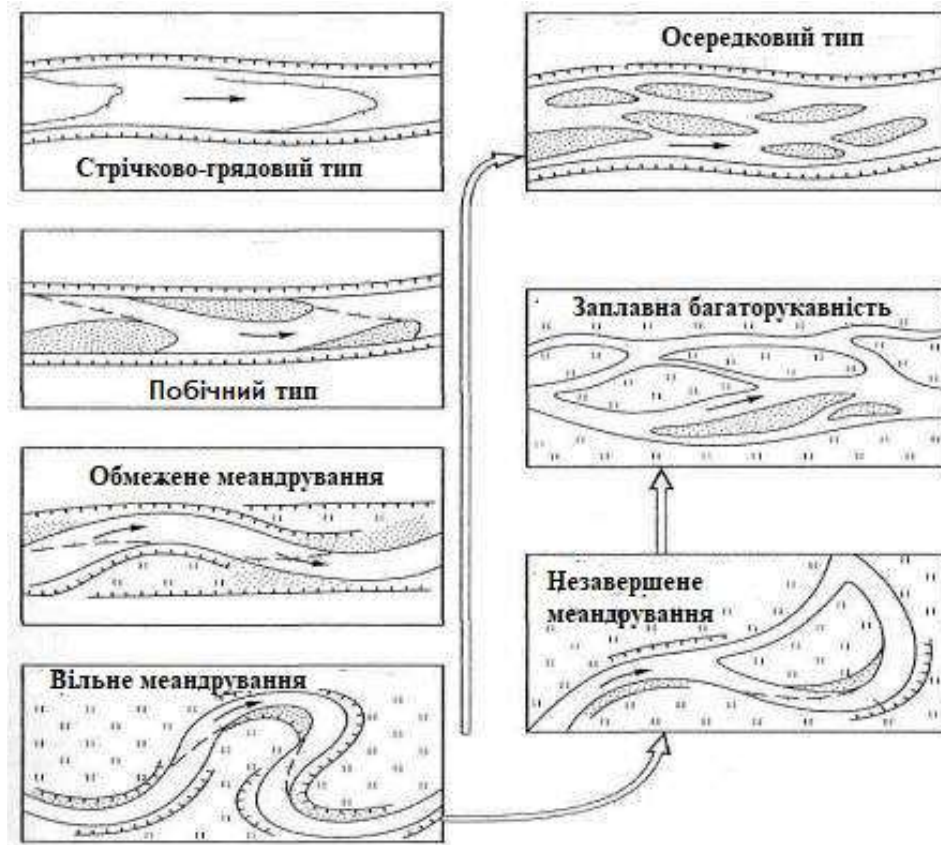


Рис. 1.4 Класифікація типів русел

Були запропоновані класифікації річки за звивистістю та осередкованим параметром [79]; на основі планової форми, островів, основних форм руслових процесів та активність бокових рукавів ріки [80]. У статті [81] річки поділенні на категорії, які базуються на нахилі русла, відношенні глибини до ширини, звивистості та змоченому периметрі.

Через значну кількість класифікацій термінологія опису типів у плані річок ще не є уніфікованою.

2.2. ОСНОВНІ ЧИННИКИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА РУСЛОВІ ПРОЦЕСИ

Загальновідомо, що кожен річку слід досліджувати окремо, адже кожна має свої певні особливості. Виділено дві групи чинників, які впливають на деформаційні процеси русел річок: природні і антропогенні. З антропогенних виокремлюють безпосередні та опосередковані чинники.

Спираючись на аналіз літератури, яка вивчає основні чинники, що впливають на процеси річок різної структури, можна їх класифікувати як показано в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Класифікація основних чинників, які впливають на зміщення русла[20]

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

Природні руслові потоки характеризуються в конкретних умовах певним водним режимом, осипами та зсувами берегів, умовами стоку наносів, які залежать від особливостей клімату і рельєфу. Стоки наносів вважають фактором руслоформування. По-перше, кількість наносів та їхній склад не залежать від стану руслової системи і є зовнішнім фактором. По-друге, притік наносів у потік можливий з руслових відкладень, які є результатом попереднього стану русла

річки або від розмиву берегів. У такому випадку стік наносів є функцією водного стоку і руслового режиму [30]. На думку Чалова Р.С., залишається не вирішене питання визначення транспортування потоків стосовно донних наносів, що потребують подальшої методики розрахунку[13]. Через виноси наносів з гір і паводків річок Передкарпаття, їхні русла активно міняються. Частота ерозії й руслових процесів залежать від обсягу стоку води, від кута поверхні території, від піддатливості ґрунтів до ерозії й вивітрювання[14]. Як уже зазначалося, інтенсивність випадіння опадів є важливим фактором, який впливає на зміщення русла. Часто на потік впливають льодові явища взимку; геолого-морфологічна будова, що дає вільні, або навпаки, обмежені умови зміщень; особливості розвитку рослинності на території русла; вітер, який впливає на швидкість течії та поверхню води. Від цих чинників залежить ширина долини і заплави русла. Важливим фактором є стік наносів. Його розмір, величина частинок визначаються особливостями формування стоку води і геолого-геоморфологічної будови. Це головні чинники для руслоформування, які поділяються на активні (стоком води) та пасивні (геолого-геоморфологічна будова) [31]. В.М. Лохтін вважає, що при вивченні руслового режиму варто враховувати якнайбільше факторів [35].

Вище перераховані чинники є основними у формуванні русла і є в усіх річках. Від їхньої взаємодії між собою залежить характер формування русла річки.

Учений Криленко І.В. вважає, що збільшення кількості людей як промислового, так і сільськогосподарського виробництва зумовило посилений вплив антропогенних чинників на ріки[32]. Чалов Р.С. запропонував класифікувати весь комплекс антропогенних змін в залежності від характеру їх дії на природні фактори або саме русло:

- 1) заходи в басейні річки;
- 2) заходи в долинах річок: значне гідротехнічне будівництво (водосховища, регулювання стоку); освоєння заплав;

3) заходи в руслах і на берегах річок: суцільне виправлення, днопоглиблення і спрямлення русел; інтенсивний водозбір і водонадходження; будівництво інженерних споруд; г) розробка руслових кар'єрів [12].

Першими вченими, хто сформулював цю проблему, були Снищенко Д.В., Месерлянци Г.Г. [33], які показали ефективність системного підходу до оцінки впливу на руслові процеси чинників інженерних споруд й зростання населення на берегах річок. Також він була розроблена методика прогнозування змін у руслі на урбанізованих ділянках рік. До активних чинників відносять будівництво мостів, дамб, гребель та інше. До пасивних – гідротехнічні об'єкти, які знаходяться в самому руслі й можуть змінити його хід лише на місцевому рівні, наприклад: водозабори, лінії зв'язку, газопроводи, ЛЕП та інше. Є вчені, які вважають цю класифікацію недосконалою у зв'язку з обмеженим впливом важливих чинників на руслові процеси. Але є науковці, які навпаки, вважають цю класифікацію основою і виділяють лише ті чинники, які вагомо змінюють потоки та хід русла річки, не розглядаючи чинників, які впливають на якість води і санітарний стан водопотоку.

Як уже зазначалося, чи не найбільші зміни русла відбуваються через видобування гравію чи піску з русла рік, що прискорювало швидкі змінами морфології русла [87, 88].

Для захисту від руйнування та розмиву берегів застосовують габіони, стінки та інші споруди, які обмежують або припиняють горизонтальне зміщення русла. Інтенсивне видобування валунно- гальково- гравійно-піщаних сумішей з русел призводить до підмивання мостів, зниження рівня річок, опір ЛЕП і трубопроводів, порушення стійкості споруд. Природній стік наносів, що може тривати багато років, не завжди або не повністю компенсує видобуток алювіальних наносів.

Подана структура чинників руслових процесів може в майбутньому доповнюватись і модернізуватись. Вона в основному показує і розвиває різні підходи до оцінки ролі чинників щодо руслових процесів, які розроблені в ерозійно-аккумулятивній теорії руслових процесів [13].

2.3. ЗВИВИСТІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ РІЧОК

Досліджуючи зміщення річки варто враховувати звивистість русла ріки. Бо чим більша звивистість, тим більше річка буде меандрувати. Є винятки коли розраховується коефіцієнт звивистості каньйонної частини, яка є дуже звивистою, проте не меандруючою, через види порід, через види порід, що створюють каньйон і саму ширину заплави.

Звивистість русла визначають із залежності [34]:

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

де Li' - довжина русла, L - відстань між крайніми точками русла, вимірними по прямій.

Типи звивистості русла визначають згідно таблиці 1.3:

Таблиця 1.3

Типи звивистості русла [62]

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

Як ступінь протидії розмиву, важливою характеристикою русел річок є їх стійкість. Вченні Маккавєєв Н.І. та Чалов Р.С. [34] визначили, що поняття «стійкість русла» застосовується для порівняння річок за їх швидкістю розвитку руслових зміщень. Оцінюють як кількісну, так і якісну характеристику руслових зміщень, які впливають на форму русла від ступеня його рухливості. Річки з нестійкими руслами характеризуються діленням на рукави та відсутністю

типових закрутів. Є ділянки річок, де змінюється тільки дно, на інших переважають горизонтальні зміни при відносній незмінності дна. Тому треба враховувати стійкість не тільки ложа, але й берегів, рухливість яких залежить від міцності корінних порід, від цементації та крупності відкладень, від наявності та стану рослинного покриву тощо.

Стійкість русла визначає інтенсивність руслових зміщень, а зниження стійкості сприяє суттєвому розвитку зміщень через поєднання руслових й заплавних потоків [20]. Динамічно стійкі алювіальні ділянки русел, як стверджує Ободовський О.В., знаходяться там, де русловий процес визначений трьома гідроморфологічними чинниками: витрата води, ухил русла, крупність наносів. При порушеному режимі добавляється четвертий чинник – витрати донних наносів [20]. Класифікація ділянок русел за їхньою стійкістю не є стандартизованою, тому різні автори по-різному їх класифікували.

Основний коефіцієнт стабільності, виходячи із місцевості та основних русел, який визначається із математичних виразів.

Широко вживане число (показник) Лохтіна [23, 35]

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

де d – середній діаметр наносів;

I – ухил водної поверхні на відрізок русла.

Найпростішим коефіцієнтом стійкості є модифікований коефіцієнт Лохтіна [35]:

$$L_0 = \frac{d}{\Delta H} * \frac{B}{h} * A, \quad (1.3)$$

де ΔH – перепад висоти ріки;

B – середня ширина русла в межень;

h – середня глибина водної поверхні при меженному рівні води;

A – коефіцієнт ерозії залежно від еродованості ґрунтів.

Макавєєв Н.І. [36] змінив коефіцієнт Лохтіна додавши до виразу середню ширину (B):

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

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

Коефіцієнт стійкості Великанова:

$$\psi = \frac{d}{h \cdot I}, \quad (1.5)$$

Глушков В.Г. [23] на підставі обробки великого гідрометричного матеріалу, встановив рівняння співвідношення між шириною і середньою глибиною русла:

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

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

$$K_u = \sqrt{\frac{d \cdot B}{h \cdot I}}, \quad (1.7)$$

Ржаніцин Н.А. [37] вважав, що потрібно додавати до виразу ухил водної поверхні на відрізку русла:

$$K_r = \frac{d \cdot B}{h \cdot I}, \quad (1.8)$$

Чалов Р.С. [12] зробив класифікацію ділянок русел за ступенем стійкості русла (табл. 1.4):

Таблиця 1.4

Класифікація ділянок русла за ступенем стійкості [12]

Характеристика стійкості	Показник стійкості	
	Л	Кс
Нестійкі	<2	<6
Слабко стійкі	2-5	6-15
Відносно стійкі	5-10	15-20
Стійкі	>10	>10
Абсолютно стійкі	>10	>10

Таблиця 1.5 показує класифікацію гальково-валунних русел за ступенем їх умовної стійкості за показниками Маккавеева та Шатаєвої [38]. Проте характеристики стійкості у певній мірі є умовні, адже в загальній системі русел гайково-валунні повністю стійкі.

Класифікація гальково-валунних русел за ступенем їх умовної стійкості

Характеристика умовної стійкості		Показник стійкості		
А		Кс		
		Звивини	Прямолінійні ділянки	Розгалуження
Нестійкі	<1,4	<610	-	<310
Слабо стійкі	1,4 – 7	610 – 780	<110	310 – 330
Відносно стійкі	1,7 – 2,0	780 – 950	110 – 230	330 – 350
Стійкі	>2,0	>950	>230	>350

Різні автори та вчені, що подали ці залежності, не враховують усіх чинників, які можуть впливати на русловий процес. Тому питання залишається відкритим з метою розвитку та врахуванням усіх чинників, наприклад, характер заплави, змінна ландшафту, ерозійні деформації тощо.

2.4. ГОРИЗОНТАЛЬНІ РУСЛОВІ ДЕФОРМАЦІЇ ТА МЕТОД ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Конкретне проявлення руслових процесів на зміну положення і розмірів русла, заплави і окремих руслових утворень, а також на розмив або намив дна і берегів називається деформацією русла [2].

Руслові деформації поділяють на вертикальні, якщо зміни відбуваються на позначках дна русла, і горизонтальні, якщо відбуваються зміни в поперечнику русла. Вище сказані деформації проходять одночасно, проте інколи переважають перші, а інколи – другі види деформацій [21]. У цій роботі розглядаються лише горизонтальні деформації річки Західний Буг.

Горизонтальні переміщення – це і є горизонтальні руслові деформації, які й призводять до розмиву берегів та створенню заплав. Основними умовами цих процесів слугує кінематична структура потоку та геолого-геоморфологічні умови формування русла. Саме ці чинники зумовлюють утворення різних форм і типів русел.

Вище перераховані деформації русла можуть спостерігатися по усій довжині річки, вони називаються загальними деформаціями, а деформації, що проходять на обмежених ділянках русла, називаються локальними або місцевими.

Оперативними методами державного моніторингу водних об'єктів для спостереження стану дна, берегів, змінами морфометричних особливостей та застосуванням водоохоронних зон є: маршрутні морфологічні зйомки, гідрометричний, картометричний, геодезичний та дистанційне зондування.

Методи класифікують за тривалістю дослідження (короткі, середні та довгі). Для короткострокових досліджень (до 10 років) використовують супутникові знімки. Середньострокові дослідження (в період 10 – 50 років) варто застосовувати аерофотограметрію, а для довгострокових досліджень (більше 100 років) слід оцінювати з картографічних джерел. Для найкращої ефективності дослідження русла для усіх методів є поєднання маршрутного морфологічного обстеження.

Аналіз руслового процесу поділяють на три етапи: попереднє вивчення руслового процесу, маршрутні дослідження руслового процесу; узагальнення даних попередніх камеральних і польових робіт, проведення остаточних розрахунків деформацій русла і заплави, складання прогнозів розвитку руслового процесу [2].

Маршрутні морфологічні зйомки робляться перед геодезичним моніторингом чи дистанційним зондуванням. Це робиться для отримання якісних і кількісних показників та характеристик русла, оцінки зміни лінії берегу, висотних та горизонтальних деформацій дна, впливу руслових процесів й заплав сторонніх об'єктів та їхньої небезпеки. Ці дослідження проводять в

період меженню. Маршрутні морфологічні зйомки проводяться інструментальним та візуальним методами [21].

При маршрутному дослідженні руслового процесу за наявними картографічними матеріалами можна [21]:

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

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

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

Кінцевим етапом камеральних робіт і маршрутних досліджень є отримання схеми розвитку руслового процесу, кількісних характеристик, основних закономірностей та зв'язків з визначальними чинниками і з'являється можливість проведення інженерних розрахунків й прогнозованого місця зміщення русла річки.

Внаслідок виконання маршрутних морфологічних обстежень складаються загальні описи, абриси, карти, що характеризують стан берегової лінії, руслових процесів водотоків і водоохоронних зон. Результатом таких обстежень є рекомендації щодо проведення більш детальних досліджень з використанням інших методів і технічних засобів, а також рекомендації щодо проведення водоохоронних заходів [39].

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

Геодезичні методи широко використовуються для вивчення динаміки річкових русел. Їх поділяють на мобільні та стаціонарні.

Стаціонарні геодезичні методи проводяться протягом тривалого часу, проте охоплюють лише незначну ділянку або декілька ділянок у характерних місцях. Ці ділянки вибирають з аеровізуальних обстежень чи з великомасштабних карт. Головним критерієм для вибору ділянки є прояв руслових процесів на вибраній території. На цих ділянках встановлюють геодезичні прилади для постійного моніторингу за мостовими переходами чи для розміщення гідротехнічних споруд. Мобільні геодезичні методи охоплюють значну частину русла річки і проводяться влітку, іноді в осінньо-весняний період.

Для вивчення руслових деформацій виділяють методи дослідження вертикальних, горизонтальних та просторових деформацій.

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

Для визначення горизонтального зміщення русла використовується повторне тахеометричне знімання й лінійно-кутові виміри на гідрмережі.

Методами наземного лазерного сканування, наземної фотограмметрії визначаються просторові зміщення.

Перевагою геодезичного методу є висока точність отриманих результатів до міліметра чи сантиметра, що дозволяє знайти реальну швидкість протікання руслових процесів. Проте ці методи не дають повної інформації про руслові процеси. Окрім цього, параметри зміщень русла мають точкову прив'язку до місць встановлення геодезичних пунктів, пікетів та реперів. Основним недоліком

мобільних геодезичних методів є суб'єктивність в оцінці руслових процесів між періодами спостережень внаслідок інтерполяції результатів вимірювань.

Гідрометричний метод – це результат вимірювання даних про морфометричні характеристики русла річки, даних про гранулометричний склад наносів, динамік дна водойми, даних про параметри мікроформ русла та про швидкість течії й ухил водної поверхні у різні пори року.

Для довготривалого прогнозу та вимірювання зміщення русла використовують дані стандартних гідрометричних вимірювань. Гідрометричний створ встановлюють на найменш деформованій та найбільш рівній ділянці річки. Зважаючи на це, значення руслової деформації можуть розглядатися як максимальні для найбільш стійких ділянок, що відповідає завданням проектування, які орієнтовані на визначення значень гідрологічних характеристик та будівництву водогосподарських споруд, проектування переходів доріг, високовольтних ліній, трубопроводів у найбільш стабільних ділянках.

Виконання гідрометричних робіт проводять у два етапи: на початку та під час повені. Ці роботи передбачають вибір, закріплення, розбивку, зйомку гідрометричних профілів, прив'язку водомірних постів, проведення підводної зйомки дна річки, виміру товщі льоду та облаштування канатної перетяжки, якщо є на це необхідність.

Під час паводку виконують водомірні спостереження на постах, вимірювання миттєвих ухилів вільного потоку поверхні, вимір швидкості течії, вимірювання поверхневих швидкостей та напрямків течії за допомогою поплавків, а також спостереження за траєкторіями руху крижин.

Отже, гідрометричний метод дозволяє отримати гідрометричні характеристики річки, хоч він є неспроможним для вимірювання при великій швидкості та глибині річки.

Дослідження руслових процесів методами дистанційного зондування поділяють на авіаційні та супутникові, також розділяють за типом використаних пристроїв. Цей метод використовує цифрові, спектральні й гіперспектральні,

оптичні, інфрачервоні камери, радіолокаційні системи, лазерні та мікрохвильові радіометри. Від поставленого завдання та мети залежить вибір обладнання. Перевагою оптичних камер є можливість отримання зображень у різних спектрах, однак їх використання обмежене погодними умовами. Незалежними від погодних умов є радіолокаційні системи. Для дослідження горизонтальних зміщень русел використовуються оптичні та багатоспектральні камери, радіолокаційні знімки та результати повітряного лазерного сканування. Для дослідження водної поверхні великих річок використовують методи супутникової альтиметрії. Авіаційні методи знімання мають вищу точність визначення зміщень русел, яка сягає кількох сантиметрів. Однак авіаційні методи охоплюють менші площі знімання в порівнянні з супутниковими. Найбільш ефективним є застосування безпілотних літальних апаратів, що дозволяє у порівнянні із супутниковим методом оперативно провести високоточне знімання невеликих територій річок. Результати знімання територій з високою точністю відображення рельєфу отримуються при оснащенні безпілотних літальних апаратів лазерними сканерами типу LIDAR.

Завдяки даним дистанційного зондування та програмним комплексам з їх обробки можна вирішувати важливі завдання, пов'язані з дослідженням руслових процесів, а саме [2]:

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

Використання оптичних систем не завжди є ефективним для дослідження руслових процесів, адже в районах повеней завжди присутня хмарність. Тому варто застосовувати дані з супутників, які оснащені радіолокаційною апаратурою, наприклад це супутники TerraSAR-X, RADARSAT-2, COSMO-SkyMed-1-3 [40]. Вони усі обладнанні сучасними радарми, які дозволяють виконувати знімання земної поверхні з високою просторовою роздільною

здатністю. Радіолокаційні дані дають змогу проводити моніторинг повеней та частково прогнозувати їх.

Проводити моніторинг стану водозбору і водоохоронної зони, зокрема рослинного та лісового покриву, ерозійних процесів, забруднення територій, техногенних та антропогенних впливів дозволяють знімання, виконані в оптичному і гіперспектральному діапазонах. Це дозволяє спрогнозувати вплив різноманітних чинників на руслові процеси і планувати природоохоронні заходи.

Зроблені в різний час супутникові та аеро- знімки дозволяють оцінити динаміку зміщення русел річок за останні десятиліття і спрогнозувати їх подальший розвиток, що є важливим для проектування і експлуатації гідротехнічних об'єктів. Своєчасне виявлення небезпечного гідрологічного явища дозволяє застосувати систему заходів підтримки безперебійного функціонування лінійних споруд, які перетинають водні об'єкти. За даними дистанційного зондування встановлено, що швидкість горизонтальних зміщень може становити навіть до 1 км на рік [41].

Однак перевагою супутникових методів є одночасне дослідження цілих річкових систем, що неможливо виконати методами аерознімання. Проте максимальна точність супутникових методів відповідає величинам 0,5 – 1 м. у порівнянні з сантиметровою точністю аерознімання.

При вивченні річкових систем застосовують картографічний метод. Вихідними даними для нього є історичні карти, аерофотознімки, топографічні карти та супутникові знімки. Архівні картографічні матеріали – це джерело знань про земельний розвиток і географічне середовище. Учені мають можливість порівнювати геометричні параметри русла річки, яке було визначене в історичних та топографічних картах, з сучасними картографічними матеріалами, супутниковими та аерофото знімками, також оцінювати і аналізувати зміни в навколишньому середовищі у певний відрізок часу.

За даними топографічних карт визначають важливі характеристики річки (виділяють зону водозбору, виміряють ширину русла, виміряють утворення піщаної гряди, розраховують параметри вигину і виявляють старе русло). За

картами різного періоду часу можна визначити горизонтальне зміщення русла. Цей метод є обтяжливим і часозатратним, тому для цього є важливий ГІС, який дозволяє оперативно провести аналіз та інтерпретацію матеріалів.

Умовою використання потенціалу історичних карт є максимально точна адаптація до сучасних картографічних матеріалів. Таку можливість дають різні види програмного забезпечення, як геодезичні, так і з поля геоінформаційних систем (ГІС) [89, 90, 91].

Тому у цій роботі дослідження на річці Західний Буг проводяться саме картографічним методом із поєднанням ГІС. Вихідними даними були топографічна зйомка 2001 року у порівнянні із супутниковими знімками 2020 року.

Отже, проаналізувавши літературу, бачимо, що картометричний метод широко застосовується для визначення горизонтальних зміщень русел річок. Він є оптимальним в отриманні результатів деформацій річкових систем за значні періоди часу, що дозволяє виконувати довгострокові прогнози зміни русел річок. Цей метод можна використовувати для управління земельними ресурсами та планування інженерної інфраструктури. На жаль, цей метод не є ефективний при вивченні впливу сучасних техногенних процесів та інженерних споруд на деформації русел. Визначені картометричним методом параметри зміщень є узагальненими за значний проміжок часу, що є важливим прогнозним матеріалом, але ці результати можуть мати суттєві розбіжності з сучасними (миттєвими) деформаційними процесами, викликаними техногенним навантаженням територій.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН РУСЛА Р.СТОХІД

3.1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА Р. СТОХІД

Стохід — найдовша та найчистіша річка Волині. Довжина 188 км, сточище 3125 км². Долина у верхній течії чітко окреслена, завширшки до 4—4,5 км, нижче — невиразна, завширшки до 7—10 км. Заплава двобічна, заболочена, завширшки від 0,4 км (у верхів'ї) до 2,5 км (у пониззі). Річище простежується переважно у верхій течії, де місцями його ширина 20—25 м, глибина 0,5—1,5 м. Річище (особливо нижче села Заячівки) ділиться на численні рукави (звідси назва — «сто-хід») завширшки 5—15 м (найбільше — 60 м), завглибшки до 8—26 м. (на плесах). Найбільша глибина 16,4 м яка знаходиться між м. Любешів та с. Зинови, глибина утворена джерелами, якими живиться річка; є багато стариць. Найбільше поселення біля річки — м. Любешів. На протяжності 50 км річище поглиблене й випрямлене.



Рис. 3.1. Річка Стохід на картосхемі річок Волинської області

Витік розташований біля с. Сірнички Володимирського району. Впадає в Прип'ять біля с. Сваловичів Камінь-Каширського району.

Річка бере початок на північних схилах Волинської височини. Далі протікає Поліською низовиною (Волинське Полісся). Напрямок течії переважно північно-східний.

Річкова долина у верхній частині окреслена чітко, завширшки до 4–4,5 км, у нижній — нечітка, завширшки до 7–10 км. Глибина: на перекатах 0,5–1,5 м, на плесах 8–10 м. Найбільша глибина (нижче с-ща Любешова) становить 16,4 м у місці джерел річки. У пониззі є багато стариць і рукавів.

Річка має добре виражене весняне водопілля, літньо-осінню та зимову межені. Замерзає у грудні, скресає у березні. Середньорічна витрата води біля с. Малинівки (верхня і середня частина басейну) становить 2,01 м³/с, мінімальна середньорічна — 0,2 м³/с, максимальна — 15 м³/с. Хімічний склад води гідрокарбонатно-кальцієвий з мінералізацією, що змінюється за сезонами: від 440 мг/дм³ навесні до 559 мг/дм³ взимку.

Живлення мішане з переважанням снігового.

Найбільші притоки

Ліві: Стобихівка, Ясинівка, Локниця.

Праві: Осина, Череваха, Гривка, Червища.

Тваринний світ

Іхтіофауна Стоходу — бл. 30 видів риб.

Антропогенний тиск за рахунок скидів стічних вод мінімальний, оскільки вдовж річки відсутні міста і промислові об'єкти. У 1960-х—1970-х у верхній та середній частині басейну було споруджено 15 осушувальних систем (площею від 1 тис. га до понад 21 тис. га), серед яких найбільшою є «Верхів'я р. Стохід» (21,1 тис. га). Річці була відведена роль водоприймача дренажних вод — протягом 50 км русло спрямлене, річка каналізована. Але з кінця 1990-х багато осушувальних систем не експлуатують, що призводить до повторного заболочування територій.

У пониззі річки розташовано Національний природний парк «Прип'ять-Стохід» (засновано 2007). Заплави річок Стохід та Прип'ять, що входять до складу парку, мають статус водно-болотних угідь міжнародного значення і

згідно з Рамсарською конвенцією (глобальна угода з охорони та збереження водно-болотних угідь; діє від 1971) на них поширено особливий охоронний режим.

3.2. СИСТЕМИ ДЗЗ

Основним джерелом дистанційного дослідження земної поверхні є космічні знімки, в основі яких лежить складний процес перетворення енергії сонячного випромінювання, відбитого від земної поверхні, та електромагнітні імпульси, що записуються у цифровому вигляді. Тож спостереження за поверхнею Землі авіаційними і космічними засобами, оснащеними різноманітними видами знімальної апаратури, які вимірюють енергію, що випромінюється від земної поверхні, називається дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ) [67].

Є чотири типи основних характеристик сенсорних систем, які визначають придатність одержаних даних для вирішення того чи іншого завдання:

- спектральна розрізненість;
- просторова розрізненість;
- радіометрична розрізненість;
- темпоральна (часова) розрізненість.

Спектральна розрізненість – це здатність сенсорної системи реєструвати електромагнітне випромінювання специфічного частотного діапазону, що визначається кількістю каналів супутника, тобто інтервалів довжин хвиль електромагнітного спектра, до яких чутливий сенсор [67].

Увесь діапазон довжин хвиль ДЗЗ, можна поділити на чотири ділянки – інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, теплове випромінювання, радіохвилі, видиме світло. Цей поділ є умовним і він сформувався через відмінності взаємодії електромагнітних хвиль і земної поверхні, відхиленням у процесах, що визначають випромінювання та електромагнітне відбиття. Спектральна розрізненість найбільше застосовується в наукових дослідженнях і має оптичний діапазон, що поєднує видиму (380...720 нм), ближню інфрачервону (720...1300 нм) і середню інфрачервону (1300...3000 нм) області. У цьому діапазоні відбита

сонячна радіація несе в собі інформацію здебільшого про біохімічні процеси об'єктів земної поверхні.

Залежно від кількості каналів, що відповідають певним ділянкам електромагнітного спектра, сенсорні системи поділяються на панхромні, багатоспектральні, мультиспектральні, гіперспектральні (рис. 3.2).

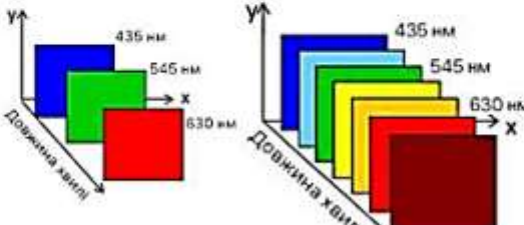
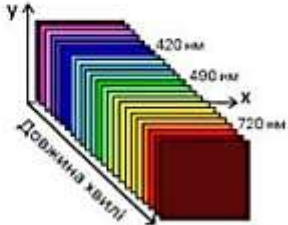
Панхромні	Багато-, мультиспектральні	Гіперспектральні
<p>один широкий діапазон (переважно у видимій області спектра)</p> 	<p>від 2 до 12 каналів (видимий, ІЧ, мікрохвильовий, радіодіапазони)</p> 	<p>13 каналів і більше (переважно у видимій і ближній ІЧ області спектра)</p> 

Рис. 3.2. Схема панхроматичних, мульти- та гіперспектральних космічних зображень [68]

Як правило, оптична зйомка ведеться відразу у всьому видимому діапазоні (панхроматичний режим зйомки) або в декількох більш вузьких зонах спектра (багатозональна зйомка). Панхроматичні зображення займають увесь видимий діапазон електромагнітного спектра (0,45–0,90 мкм) і мають зазвичай вищу просторову розрізненість, ніж мультиспектральні зображення, тому і використовуються для уточнення меж об'єктів, зокрема в топографії [67].

Гіперспектральні сенсори навпаки ділять спектр на безліч вузьких діапазонів. Це допомагає точніше розрізнити об'єкти за їхнім фізико-хімічним складом, ідентифікувати видовий склад і стан рослинного покриву, визначати геологічну структуру, виявляти хімічний склад води тощо.

Розмір найменшого об'єкта земної поверхні, що розрізняється на знімку (фактично – це розмір пікселя) є просторовою розрізненістю. Відтак з комерційно доступних знімків найкращою вважають саме просторову розрізненість 30 см – супутник WorldView 3 (фрагмент наведено із сайту

компанії Tvis (рис. 3.3, в)) [67]. Це означає, що об'єкт розміром 30×30 см відобразиться на знімку у вигляді одного пікселя. Таким чином, на знімку можна побачити легковий автомобіль, при кольоровому знімку визначити колір автомобіля. Але реєстраційний номер, конструктивні особливості, що допомагають визначити марку і модель, тобто більш дрібні деталі, на знімку читатися не будуть.

За просторовою розрізненістю космічні знімки класифікують:

- дуже низька – 10 000–1 000 м;
- низька – 30–1 000 м;
- середня – 10–30 м;
- висока – 1–10 м;
- дуже висока – 0,3–1 м [67].



Рис. 3.3 Детальність зображення (просторова розрізненість) знімків на прикладі ділянки масиву Оболонь в м. Києві: 30 м – Landsat 8 (а), 10 м – Sentinel 2 (б), 1,24 м – WorldView 3 (в) [67]

Для різних картографічних сервісів (Google Maps, Bing, Яндекс Карты) матеріали космічної зйомки супутником WorldView 3 постачає компанія DigitalGlobe.

Число можливих кодованих значень спектральної яскравості у файлі даних для кожної зони спектра, що вказується числом біт, називається радіометричною розрізненістю. Радіометрична розрізненість визначається кількістю градацій значень кольору, відповідних переходів від яскравості абсолютно «чорного» до абсолютного «білого» і виражається в кількості біт на піксель зображення (рис. 3.4) [67].



Рис. 3.4 Приклад градації кольорів восьмибітного зображення, де за допомогою одного байта можна закодувати 256 кольорів (наприклад, відтінків сірого). Чорному відповідає код «0», а білому відповідає код «255» [90]

Проміжок часу, який минає між двома зйомками тієї самої території, є темпоральна розрізненість. Якщо супутник з'являється над об'єктом частіше, то вищою є темпоральна розрізненість. Для супутників ДЗЗ темпоральна розрізненість визначається параметрами супутникової орбіти, кількістю парних супутників, а також шириною смуги зйомки сенсору. Крім того, слід зазначити, що оператори спроможні коригувати орбіту супутників для підвищення частоти повторюваності знімання (табл. 3. 1) [67].

Таблиця 3.1

Приклад періодичності знімання різних супутників

Супутник	Час	Ширина смуги зйомки, км
NOAA	30 хв	2900
Aqua/MODIS	0,5 доби	2300
Landsat 8	16 діб	185
Sentinel 2A, 2B	5 діб	290
RapidEye	5 діб	77
PlanetScope	1 доба	24
WorldView-3	1 доба	13,1

3.3. РЕСУРСИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ДЗЗ

Дистанційне зондування Землі розвивається швидкими темпами. Крім того, постійно розширюється спектр фільмування поверхні планети, збільшується роздільна здатність, поліпшується якість отримуваних зображень. Нині знімки середньої роздільності з деяких супутників (наприклад, супутника «Sentinel», нещодавно запущеного Європейським космічним агентством) є

безкоштовними для наукових досліджень. Якщо ж дослідження має довготривалий ретроспективний характер, то вчені найчастіше користуються базою даних, отриманих у межах американської програми Landsat.

Copernicus Open Access Hub – це вебплатформа для безкоштовного користування радарних знімків Sentinel 1 та оптичних мультиспектральних знімків Sentinel 2.

Для отримання доступу до супутникових знімків зареєструватися на сайті SciHub - [https:// scihub.copernicus.eu/dhus/#/home](https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home).

Програма Landsat є найтривалішим підприємством для отримання супутникових знімків Землі . Це спільна програма NASA / USGS . 23 липня 1972 року був запущений супутник Earth Resources Technology Satellite . Згодом його було перейменовано на Landsat 1 у 1975 році. Останній із них, Landsat 9 , було запущено 27 вересня 2021 року.

Прилади на супутниках Landsat отримали мільйони зображень. Зображення, заархівовані в Сполучених Штатах і на приймальних станціях Landsat по всьому світу, є унікальним ресурсом для дослідження глобальних змін і застосування в сільському господарстві , картографії , геології , лісовому господарстві , регіональному плануванні , нагляді та освіті , і їх можна переглядати через США. Веб-сайт Геологічної служби (USGS) "EarthExplorer". Дані Landsat 7 мають вісім спектральних смуг із просторовою роздільною здатністю від 15 до 60 м (від 49 до 197 футів); тимчасове дозвіл становить 16 днів. Зображення Landsat зазвичай розділені на сцени для зручного завантаження. Кожна сцена Landsat має приблизно 115 миль у довжину та 115 миль у ширину (або 100 морських миль у довжину та 100 морських миль у ширину, або 185 кілометрів у довжину та 185 кілометрів у ширину).

3.4. ПРОСТОРОВА І СПЕКТРАЛЬНА РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ

На Landsat 1-5 був встановлений мультиспектральний сканер Landsat (MSS). Landsat 4 і 5 мали як інструменти MSS, так і Thematic Mapper (TM). Landsat 7 використовує сканер Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Landsat 8

використовує два інструменти: Operational Land Imager (OLI) для оптичних діапазонів і Thermal Infrared Sensor (TIRS) для теплових діапазонів. Позначення смуг, смуги пропускання та розміри пікселів для приладів Landsat: [19]

Таблиця 3.2

Мультиспектральний сканер Landsat 1–5 (MSS)

Landsat 1–3 MSS	Landsat 4–5 MSS	Довжина хвилі (мікрометри)	Роздільна здатність (метри)
Смуга 4 – зелений	Смуга 1 – зелена	0,5 – 0,6	60*
Смуга 5 – червона	Смуга 2 – червона	0,6 – 0,7	60*
Діапазон 6 – ближній інфрачервоний діапазон (NIR)	Діапазон 3 – NIR	0,7 – 0,8	60*
Смуга 7 – NIR	Смуга 4 – NIR	0,8 – 1,1	60*

* Оригінальний розмір пікселя MSS був 79 x 57 метрів; виробничі системи тепер повторно дискретизують дані до 60 метрів.

Таблиця 3.3

Тематичний картограф Landsat 4–5 (TM)

Смуги	Довжина хвилі (мікрометри)	Роздільна здатність (метри)
Смуга 1 – синя	0,45 – 0,52	30
Смуга 2 – зелений	0,52 – 0,60	30
Смуга 3 – червона	0,63 – 0,69	30
Смуга 4 – NIR	0,76 – 0,90	30
Діапазон 5 – короткохвильовий інфрачервоний (SWIR) 1	1,55 – 1,75	30
Смуга 6 – Теплова	10.40 – 12.50	120* (30)
Діапазон 7 – SWIR 2	2.08 – 2.35	30

* TM Band 6 було отримано з роздільною здатністю 120 метрів, але продукти повторно дискретизуються до 30-метрових пікселів.

Таблиця 3.4

Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

Смути	Довжина хвилі (мікрометри)	Роздільна здатність (метри)
Смуга 1 – синя	0,45 – 0,52	30
Смуга 2 – зелений	0,52 – 0,60	30
Смуга 3 – червона	0,63 – 0,69	30
Смуга 4 – NIR	0,77 – 0,90	30
Діапазон 5 – SWIR 1	1,55 – 1,75	30
Смуга 6 – Теплова	10.40 – 12.50	60* (30)
Діапазон 7 – SWIR 2	2.09 – 2.35	30
Смуга 8 – панхроматична	0,52 – 0,90	15

* ETM+ Band 6 отримано з роздільною здатністю 60 метрів, але продукти повторно дискретизуються до 30-метрових пікселів.

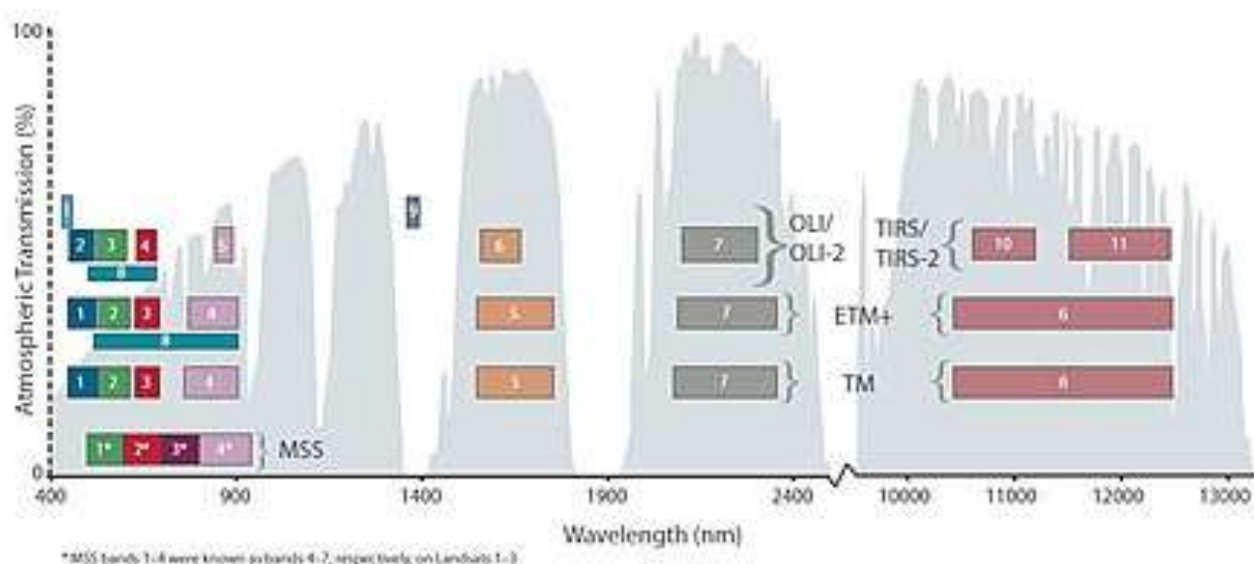


Рис. 3.5. Розташування спектральних смуг для кожного датчика Landsat

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) та тепловий інфрачервоний датчик (TIRS) [20]

Гурти	Довжина хвилі (мікрометри)	Роздільна здатність (метри)
Смуга 1 - Ultra Blue (прибережний/аерозоль)	0,435 – 0,451	30
Смуга 2 - синя	0,452 – 0,512	30
Смуга 3 - зелений	0,533 – 0,590	30
Смуга 4 – червона	0,636 – 0,673	30
Діапазон 5 – NIR	0,851 – 0,879	30
Діапазон 6 – SWIR 1	1,566 – 1,651	30
Діапазон 7 – SWIR 2	2,107 – 2,294	30
Смуга 8 – панхроматична	0,503 – 0,676	15
Смуга 9 – Перисті	1,363 – 1,384	30
Діапазон 10 – Термічний 1	10.60 – 11.19	100* (30)
Смуга 11 – Теплова 2	11.50 – 12.51	100* (30)

* Діапазони TIRS отримано з роздільною здатністю 100 метрів, але повторно дискретизується до 30 метрів у наданому продукті даних.

Перевагою зображень Landsat і дистанційного зондування в цілому є те, що вони надають дані на синоптичному глобальному рівні, які неможливо відтворити за допомогою вимірювань на місці. Однак існують компроміси між локальними деталями вимірювань (радіометрична роздільна здатність, кількість спектральних смуг) і просторовим масштабом області, що вимірюється. Зображення Landsat мають грубу просторову роздільну здатність порівняно з використанням інших методів дистанційного зондування, таких як зображення з

літаків. Порівняно з іншими супутниками, просторова роздільна здатність Landsat є відносно високою, але час повторного відвідування відносно рідше.

3.5. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження нами була обрана ділянка річки Стохід в межах від с. Березичі до північної околиці м. Любешів загальною протяжністю 11 920 м.

В якості даних ДЗЗ було обрано дані сузір'я супутників Landsat, оскільки вони найбільш цілісно покривають часовий діапазон між 1994 та 2024 роками .

Нами було завантажено зображення Landsat на весняний період з 1.03 по 30.04 для 1994, 2004, 2014 та 2024 років відповідно із хмарністю <5%.

Для дослідження було обрано комбінацію каналів 4-5-1 (рис. 3.6), оскільки вона найбільш якісно дозволяє виділити відкрите водне плесо.

Для кожного зображення було оцифровано водне плесо у вигляді мультиполігонального шару. Результати оцифрування представлено на рис. 3.7.

В подальшому ми провели оцінку фрагментів русла, що були втрачені та нові, що з'явилися між періодами 1994-2004 рр, 2004-2014 рр, 2014-2024 рр та 1994-2024 рр. Результати порівняння представлені на рис. 3.8.

На основі отриманих полігонів було розраховано площі на кожен рік:

Загальна площа русла в 1994 році: 6064769.58 м²

Загальна площа русла в 2004 році: 5511378.67 м²

Загальна площа русла в 2014 році: 6081521.58 м²

Загальна площа русла в 2024 році: 6207098.10 м²

Також було розраховано зміну площ водного плеса між роками

Зміна площі між 1994 і 2004: -553390.91 м²

Зміна площі між 2004 і 2014: 570142.91 м²

Зміна площі між 2014 і 2024: 125576.52 м²

В якості оцінки стабільності русла пропонується розрахувати площі перекриття русла між досліджуваними періодами.

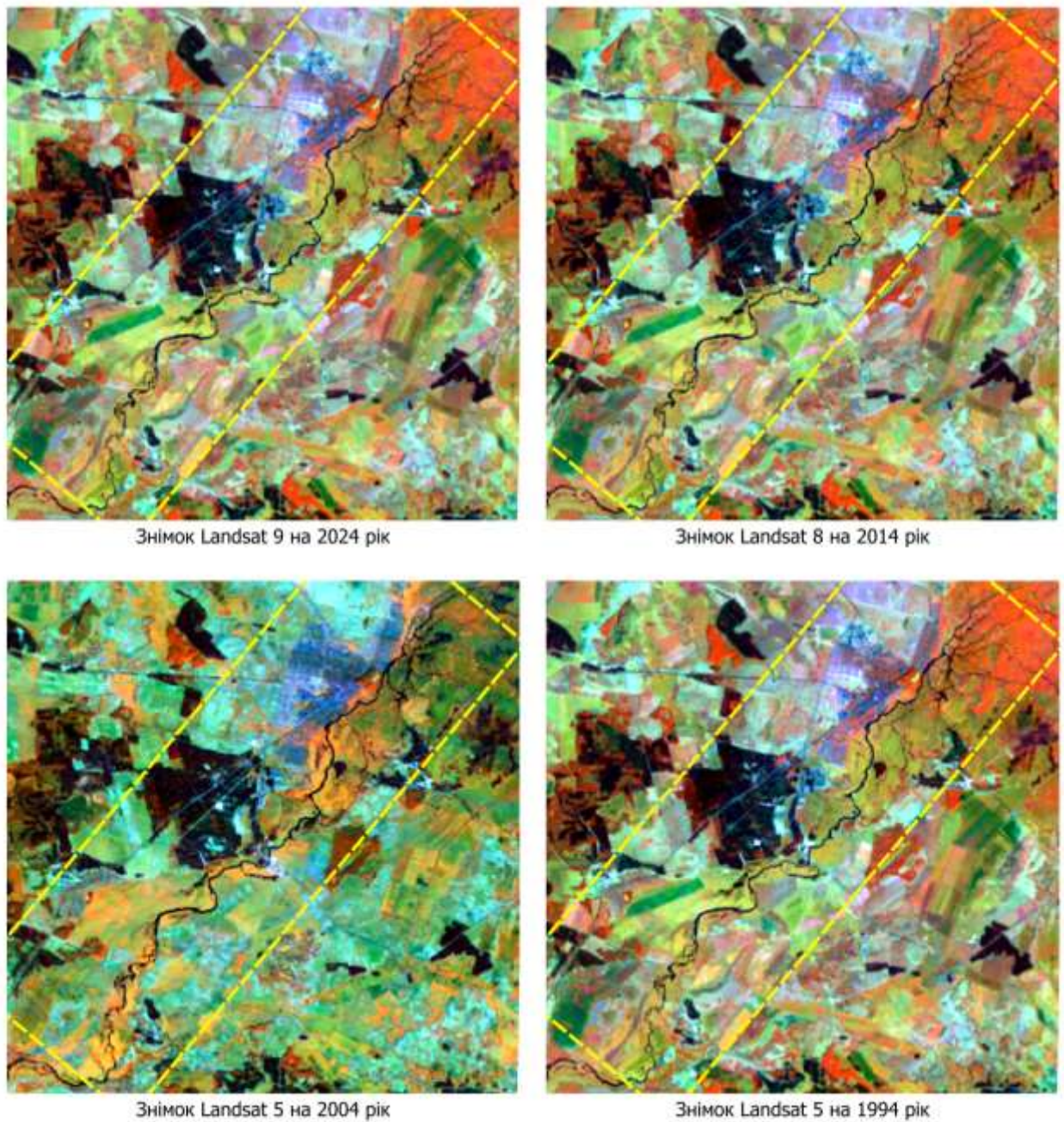


Рис. 3.6. Зображення Landsat для 1994, 2004, 2014 та 2024 років із виділеною областю інтересу.

В загальному нами було отримано наступні значення:

Перекриття 1994-2004: 4001693.56 м²

Перекриття 2004-2014: 3995610.02 м²

Перекриття 2014-2024: 4095923.03 м²

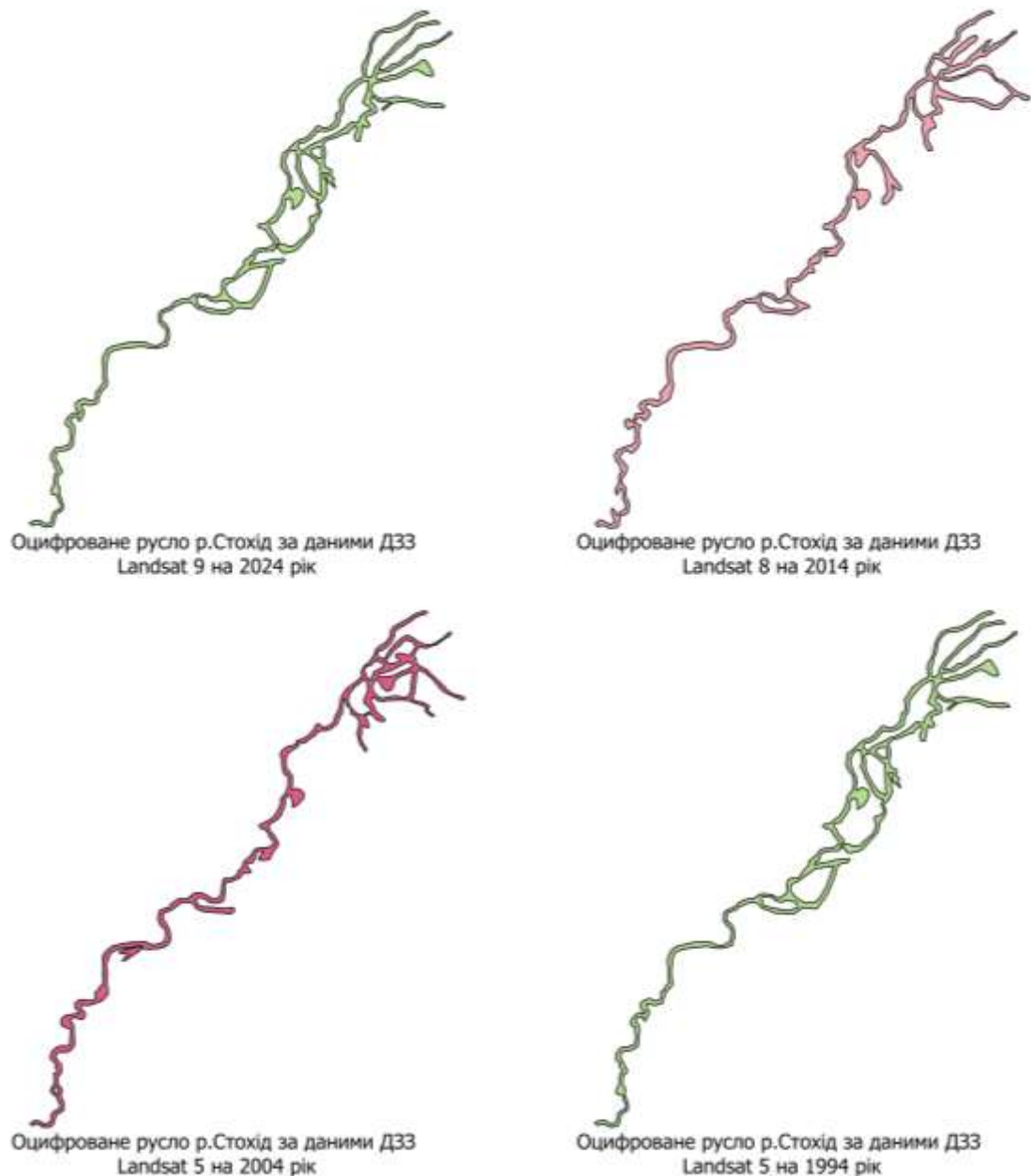


Рис. 3.7. Результати оцифрування русла р. Стохід

Поняття синусоїдальності використовується для визначення ступеня меандрування річки, за яким потім встановлювалися геоморфологічні типи річок. Існують різноманітні синусоїдальні показники, кожен з яких описує певний гео-топографічний параметр.

- Тотальний (повний) метод синусоїдальності, що базується на коефіцієнті між довжиною русла річки, її початком і кінцем.
- Метод Бріца, індекс, який виражається як відношення між довжиною русла річки та довжиною осі меандрів.

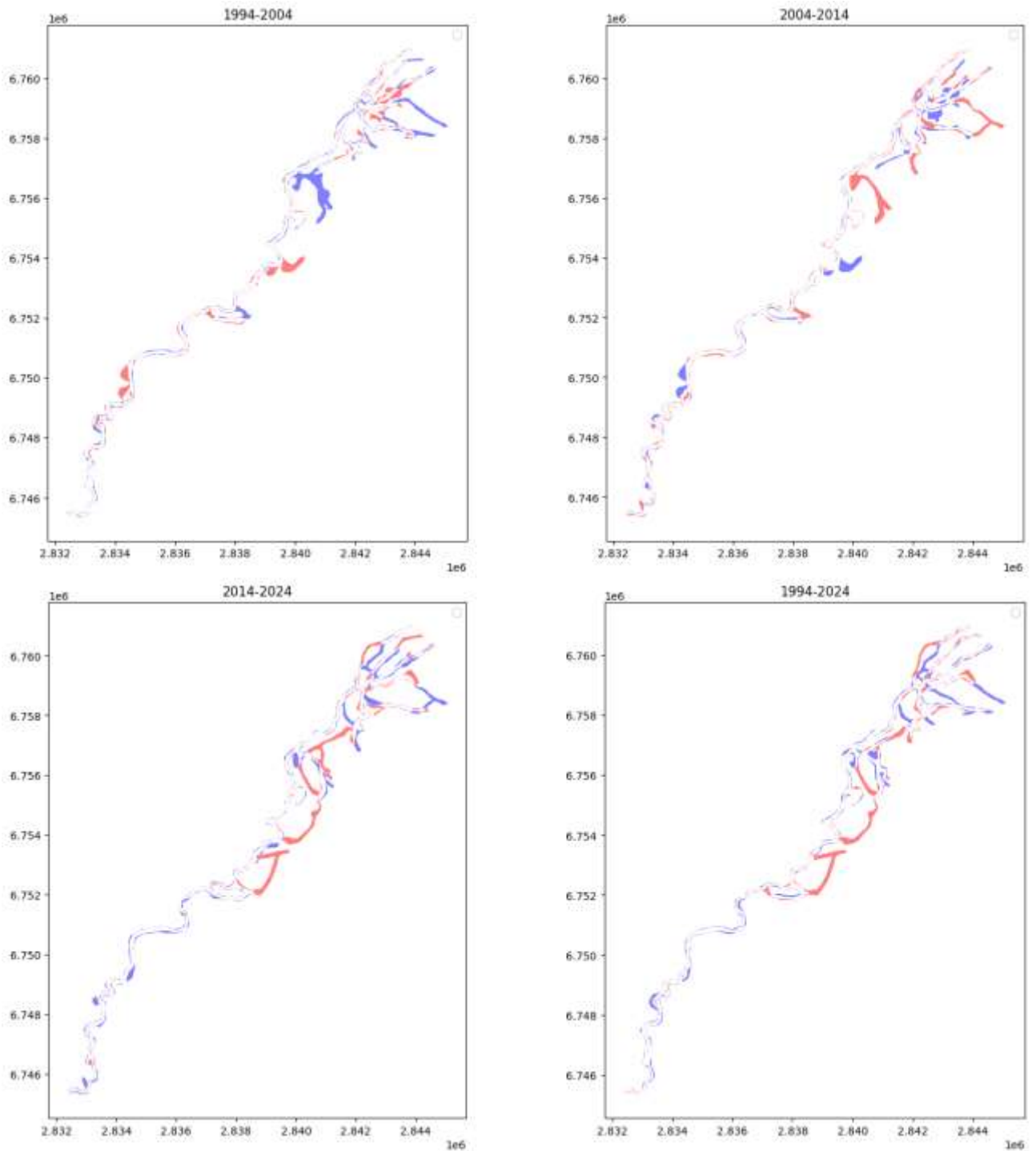


Рис. 3.8. Порівняльна оцінка змін русла (синій колір – втрачені, червоний - новоутворені)

- Метод перегину синусоїдальності отримується шляхом зв'язування всіх точок перегину ряду меандрів з розбитою лінією, при цьому ця лінія використовується як знаменник формули.

- Метод Леопольда і Вольмана полягає у поділі довжини тальвега (канал) на довжину долини.

- Гідравлічний метод синусоїдальності русла формулюється як коефіцієнт між довжиною русла річки та середньою довжиною долини.

- Метод топографічної синусоїдальності визначається як відношення середньої довжини долини з найменшою відстанню між початком і кінцем русла річки. Описані вище шість методів, мають як переваги, так і недоліки у їх використанні.

Нами було розраховано показники синусоїдальності за тотальним методом:

Синусоїдальність 1994 року: 1.94

Синусоїдальність 2004 року: 1.36

Синусоїдальність 2014 року: 1.76

Синусоїдальність 2024 року: 1.90

ВИСНОВКИ

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

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

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

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

5. Розглянуто отримання, опрацювання та візуалізація супутникових знімків. Описано основні характеристики супутникових знімків та ресурси для їх отримання.

6. Розглянуто отримання, опрацювання та візуалізація супутникових знімків. Проаналізовано дані дистанційного зондування та роботу супутників серії Landsat..

Запропонована методика моніторингу руслових процесів із використанням даних космічного знімання дозволяє отримувати регулярні дані та значно економити ресурси в порівнянні із інструментальними вишукуваннями. Завдяки проведеному аналізу, можна чітко встановити ділянки для більш детальних геоморфологічних, інженерно-геологічних та геодезичних досліджень.

Подальші дослідження можуть бути вдосконалені комплексним аналізом карт четвертинних відкладів, побудовою точних цифрових моделей місцевості, аналізу заболоченості територій за даними дистанційного зондування та прогнозуванням змін русла в період повеней.

Список використаних джерел

1. Бурштинська Х. В. Дослідження горизонтальних зміщень частини річки Дністер з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технології / Х. В. Бурштинська, С. К. Третяк, М. К. Галочкін // Геодинаміка. – 2017. – №2. – С. 14–24.
2. Третяк С.К. ДИСЕРТАЦІЯ МОНІТОРИНГ ГІДРОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ:
<https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1605/tretyak.pdf> С.15.
3. Алексеевский Н. И. Руслловые процессы в устьях рек с большим стоком наносов (на примере р. Терек). / Н. И. Алексеевский. – Москва: МГУ, 1981. – С. 25
4. Байрак Г. Р. Різночасові та сучасні дослідження активності руслових процесів на Верхньобескидській ділянці Дністра / Г. Р. Байрак. // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – №66. – С. 216–225.
5. Даус М. Є. Динаміка руслових потоків і руслові процеси: конспект лекцій – Одеса, ОДЕКУ, 2017. 158с.
6. Біланюк В. І. Практикум із загальної гідрології / В. І. Біланюк. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Франка, 2004. – 60 с.
7. Вишневецький В. І. Гідрологічні характеристики річок України / В. І. Вишневецький, О. О. Косовець. // К.: Ніка-Центр. – 2003. – С. 324.
8. Горбачова Л. О. Сучасні пріоритети та напрямки гідроекологічних досліджень річкових басейнів / Л. О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Наук. Збірник. – 2006. – Том 11. – С. 338–341.
9. Кирилюк М.І. Еколого-гідроморфологічна оцінка басейну річки Гуків для цілей сталого розвитку / О. В. Кирилюк, С. М. Кирилюк // Географія та туризм. - 2011. - Вип. 15.
10. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов / Р. С. Чалов // Москва : Изд-во Моск. ун-та. - 1979 – С. 232.

11. Чалов Р. С. Русловедение : теория, география, практика / Р. С. Чалов // Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. – М. : И-во ЛКИ. - 2008. – Т. 1. – С. 608.
12. Чалов Р.С. Русловые процессы / Р.С. Чалов, Н.И. Маккавеев // М.: МГУ . - 1986. – С. 264.
13. Чалов Р. С. Сток наносов, транспортирующая способность потоков и их роль в формировании речных русел / / Р. С. Чалов // Москва : Изд-во Моск. ун-та. – 2011. – С. 20-27.
14. Маккавеев Н.И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки / Н.И. Маккавеев // Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова . – 1998 – С. 293.
15. Маккавеев Н.И. Общие закономерности эрозионно-русловых / Н.И. Маккавеев // Гидрометеиздат. – 1976. – С. 8-12.
16. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне / Н.И. Маккавеев // Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова . – 1955 – С. 353.
17. Попов И.В. Загадки речного русла / И.В. Попов // Гидрометеиздат. — 1977. — С. 168.
18. Попов И.В. Методологические основы гидроморфологической теории руслового процесса / И.В. Попов // Избранные труды. — СПб. : Издательство 'НесторИстория'. — 2012. — 304 с.
19. Барышников Н. Б. Динамика русловых потоков и русловые процессы / Н. Б. Барышников, И. В. Попов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 456 с.
20. Ободовський О. Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський // К.: Ніка-Центр. – 2001. – 274с.
21. Макаревич А.А. Речной сток и русловые процессы / А.А. Макаревич // Минск : БГУ. – 2016. – С. 12.
22. Водний кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР) [Електронний ресурс]. – 1995. – Режим доступу до ресурсу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80/page>.

23. Крыленко И.В. Оценка устойчивости русел горных рек / И.В. Крыленко, Е.В. Дзаганя, В.В. Крыленко, В.И. Крыленко // [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: <https://www.proza.ru/2011/07/06/225>

24. Крошкин А.Н. К определению гидроморфологических характеристик и средней весовой концентрации влекомых наносов на горных реках / А.Н. Крошкин // Движение наносов в открытых руслах. М.: Наука. – 1970. - С. 111-119.

25. Щукин И.С. Общая морфология суши / И.С. Щукин // Новосибирск: ОНТИ. - Т. 1. - 1933. – С. 366.

26. Львович М.И. Опыт классификации рек России / М.И. Львович // Труды ГГИ. – № 6. – 1938. - С. 209-217.

27. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. / М.А. Великанов // М.: Гостехиздат. – Наносы и русло. –№ 2. – 1955. – С. 324.

28. Великанов М.А. Русловой процесс / М.А. Великанов // М.: Госфизматиздат. – 1958. – С.104.

29. Кондратьев А. Н. Причины образования извилистости: меандрирование рек и других природных потоков / А. Н. Кондратьев // Известия АН. Серия Географическая. – 2000. – № 4. – С. 42–44.

30. Резников П.Н. Сток наносов и его проявления в морфодинамике речных русел / П.Н. Резников // [Электронный ресурс]. –Режим доступа до автореферату : <http://earthpapers.net/stok-nanosov-i-ego-proyavleniya-v-morfodinamike-rechnyh-rusel>

31. Чалов Р.С. Зональные особенности и региональная специфика русловых процессов и их факторы / Р.С. Чалов // Гидрофизические процессы в реках, водохранилищах и окраинных морей . - М.: Наука. - 1989. - С. 5-18.

32. Крыленко И.В. О типизации антропогенных воздействий на русла, поймы и водосборные бассейны горных рек / И.В. Крыленко, В.И. Крыленко, Е.В. Дзаганя // [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті: www.proza.ru/2011/07/06/236

33. Сنيщенко Д.В., Месерлянец Г.Г. Развитие руслового процесса на участках выемок речного аллювия / Д.В. Сنيщенко, Г.Г. Месерлянец // Динамика русловых потоков. - Вып. 83. - Л.: Гидрометеиздат. - 1983.
34. Добровольский А.Д. Гидрология / А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов, В.Н. Михайлов // Высшая Школа. – Москва. – 2007. – С. 463.
35. Лохтин В.М. О механизме речного русла / В. М. Лохтин // Казань. - 1885. - С. 76.
36. Ободовський О. Г. Оцінка стійкості русел річок Українського Полісся / О. Г. Ободовський // Вісник КУ. Географія. - К.: Київський ун-тет. - 1995. - № 41. - С. 142-151.
37. Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек / Н.А. Ржаницын // Л.: Гидрометеиздат. – 1985. – С. 264.
38. Кирилюк М.І. Гідролого–руслознавчий словник–довідник / О.В. Кирилюк, С.М. Кирилюк // Чернівецький нац. ун–т. – 2013. – 52 с.
39. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 октября 2014 г. № 432 "Об утверждении Методических указаний по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части наблюдений за состоянием дна, берегов, состоянием и режимом использования водоохраных зон и изменениями морфометрических особенностей водных объектов или их частей" / [Электронный ресурс]. – Режим доступа до статті : <http://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767544.htm>
40. Никольский Д.Б. Современные тенденции в радиолокационном дистанционном зондировании Земли / Д.Б. Никольский // Геопрофи. — 2008. — № 4. — С.19–24.
41. Бриллиантов А. Н. Данные ДЗЗ для мониторинга русловых процессов и диагностики технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов / А. Н.Бриллиантов, А. В. Глотко, Г. Д. Жуков, И. Н. Каргаполова. // Геоматика. – 2009. – №1. – С. 66–70.
42. Руденко Ф.А. Гидрогеология Украинской ССР. – К.: Вища школа. 1972, 176 с.

43. Забокрицька М.М., Хільчевський В.К., Манченко А.П. Гідроекологічний стан басейну Західного Бугу на території України. – К.: Ніка Центр, 2006. – 184 с.
44. Вишневский П.Ф. Влияние хозяйственной деятельности в бассейне р. Западный Буг на изменение поверхностного стока // Труды УкрНИГМИ, 1972. – Вип.116. – С. 57-64.
45. Мовчан К.Л., Самойленко В.М. Використання води і характеристика джерел забруднення в басейнах транскордонних річок Західної України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2002, - Т.4 – С.137-140.
46. Струев М.И. Львовско-Волынский каменноугольный бассейн: геолого-промышленный очерк / Гол.ред. М.И. Струев. – К.: Наук.думка, 1984. – 232 с.
47. Иванов Є.А. Еколого-ландшафтознавчий аналіз гірничопромислових територій (на прикладі Львівської області): Автореф. дис.. ... к.геогр.н. 11.00.11 / Київський національний університет імені Тараса Шевченка – К., 2001. – 20 с.
48. Ковальчук І.П., Хільчевський В.К. Гідроекологічні проблеми Поліського регіону // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія, 2003. – Т.5. – С. 179-194.
49. Курганевич Л.П. Еколого-геоморфологічний аналіз басейну Західного Бугу: Автореф. дис.. ... к.геогр.н. 11.00.04 / Львівський національний ун-т імені Івана Франка – Л., 2001. – 21 с.
50. Хільчевський В.К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра. – К.: ВПЦ «Київ.університет», 1996. – 222 с.
51. Вишневський В.І., Косоєць О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К., 2003. – 324 с.
52. Малі річки України: Довідник / Під ред.. А.В. Яцика. – К.: 1991. – 296 с.
53. Левківський С.С., Падун М.М. Раціональне використання і охорона водних ресурсів: Підручник. К.: Либідь, 2006. 280 с.
54. Геренчук К.І. Природа Волинської області // Видавниче об'єднання

- «Вища школа». Вид-во при Львівському ун-ті, 1975. 147 с.
55. Руководство по контролю качества водных ресурсов в системе Госводхоза Украины. – К.: ТВиСМ, 1994, - 107 с.
56. Ковальчук І., Курганевич Л., Михнович А. Гідрологічний аналіз басейнової системи Західного Бугу // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія, 2002. – Т.4 – С. 89-100.
57. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / под. ред.: М.С. Каганера. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 884 с.
58. Водний кодекс України <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
59. Моніторинг якості поверхневих вод в басейні річки Західний Буг <https://vodres.gov.ua/node/79>
60. Романенко В.Д. Экологическая оценка качества вод при их трансграничном диагностическом анализе // Гибриобиологический журнал, 1990, Т.35, №1. – С 53-56.
61. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради "Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики" https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text
62. Руденко Л.Г., Разов В.П., Жукинський В.М., Оксіюк О.П., Гриб Й.В., Чернявська А.П., Васенко О.Г., Верниченко Г.А. Методика картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води. – К., 1998. – 48 с.
63. Чиста вода – чисте довкілля. Шляхи інтеграції України до Європейського Союзу. – К.: Артєк, 2001. – 32 с.
64. Програма ТАСІС по розвитку трансграничного співробітництва по річці Буг в Білорусі // Інвентаризаційний звіт – Грабанов, 2001. – 85 с.
65. Луцишин Н.П., Луцишин П.В. Еколого-господарська ситуація на території Єврорегіону «Буг» // Науковий вісник ВДУ ім. Лесі Українки. Географічні науки. – №2. – 2001. – С.116-119.

66. Річний звіт про діяльність Західно-Бузького басейнового управління водних ресурсів по комплексному використанню водних ресурсів в басейні р. Західний Буг за 2013 рік // Волинське обласне управління водних ресурсів - Луцьк, 2014. - 127 с.
67. Довгий С.О., Бабійчук С.М., Кучма Т.Л., Томченко О.В., Юрків Л.Я. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах // Навчально-методичний посібник, 2020. – 10-16 с.
68. Цифрове зображення <https://cutt.ly/erAs9tI>
69. Царенюк Ю.Ю. Система автоматизованої кореєстрації оптичних та радарних супутникових знімків земної поверхні – Київ, 2019 р. – 25-26 с.
70. Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Головн. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2020. – Вип. 73. – с. 194-204.
71. Бурштинська Х. В. Моніторинг руслових процесів та повеневих явищ ріки Дністер за космічними зображеннями / Х. Бурштинська, Л. Мовчко, В. Шевчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Вип. 1. – С. 124–128.
72. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). – К. : Ніка-Центр, 2001. – 274 с.
73. Чалов Р.С. Русловые процессы / Р.С. Чалов, Н.И. Маккавеев // М.: МГУ . -1986. –С.264.
74. Basin. R. Verdin ating hydrologic and hydraulic processes throughout the Amazon River / E. Beighley, K.G.Eggert, T. Dunne, Y. He, V. Gummadi // Hydrological processes. – 2009. – Vol. 23. - p. 1221–1235.
75. Bierman P. R. Key Concepts in Geomorphology / P. R. Bierman, R. D. Montgomery // New York: W.H. Freeman. - 2014. – p. 544.
76. Buffington J. M. Geomorphic classification of rivers / J. M. Buffington, D. R. Montgomery, J. Shroder, E. Wohl // Treatise on Geomorphology. Fluvial Geomorphology, 2013. - Vol. 9. - pp. 730-767.
77. Buffington J.M. Fluvial Processes in Puget Sound Rivers and the Pacific Northwest. In Restoration of Puget Sound Rivers Woodsmith / J.M. Buffington, D.B.

Booth, D.R. Montgomery, S. Bolton, I. Wall // University of Washington Press, Seattle, WA. – 2014. – pp. 46-78.

78. Muhar S. Restoring riverine landscapes: successes and deficits in the context of ecological integrity / S. Muhar, M. Jungwirth, G. Unfer, C. Wiesner, M. Poppe, S. Schmutz, H. Habersack // 6th Intern. Gravel Bed Rivers Workshop, Lienz, Austria, 5-9 September 2005. – pp. 779-803.

79. Pramanik M. K. Morphometric Characteristics and Water Resource Management of Tista River Basin Using Remote Sensing and GIS Techniques / M. K. Pramanik // Hydrogeol Hydrol Eng 5:1. (2016). Doi : 10.4172/2325-9647.1000131

80. Ramesh D. Morphometric characteristics of Nandiyar river basin, Tamil Nadu, India / D. Ramesh, D.K. Raju, R. Jaganathan // Nature Environment and Pollution Technology, (2009-09). – Vol. 8 (3). – pp. 545-550.

81. Bridge J.S. Flow and sedimentary processes in river bends: comparison of field observations and theory. In: River Meandering, Proc. of the Conf. Rivers '83, 24-26 Oct. 1983, New Orleans, Louisiana, U.S.A / J.S. Bridge, C.M. Elliott // ASCE, New York. – 1984. - pp. 857-872.

82. Carson M.A. The inherent asymmetry of river meander planforms / M.A. Carson, M.F. Lapointe // Journal of Geology, 1983. - Vol. 91. - pp. 41-55.

83. Kellerhals R. Classification and analysis of river processes / R. Kellerhals, M. Church, D.I. Bray // Journal of Hydraulic Division, ASCE, 1976. - Vol.102. - No.HY7. - pp. 813-829.

84. Rosgen D.L. A practical method of computing streambank erosion rate / D.L. Rosgen // In Proc. 7th Federal Interagency Sedimentation Conf. II, Denver, Colo.: U.S., 2001. – Vol. 1, str. 9-17. [Electronic resource]. Access mode: https://pubs.usgs.gov/misc/FISC_1947-2006/pdf/1st-7thFISCs-CD/7thFISC/7Fisc-V1/7FISC1-2.pdf.

85. Łajczak A. The impact of river regulation, 1850–1990, on the channel and floodplain of the Upper Vistula River, Southern Poland / A. Łajczak, E. J. Hickin // River Geomorphology. Wiley, Chichester, 1995. - s. 209–233.

86. Korpak J. Morfologiczna rola budowli regulacyjnych w górskich systemach fluwialnych / J. Korpak // Rozprawa doktorska, archiwum IG i GP UJ, Kraków, 2007.
87. Wolski J. Błędy i niepewność w procesie tworzenia map numerycznych / Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 2012. - nr 16. – str. 15-32.
88. Zachwatowicz M. Detekcja historycznych przemian pokrycia terenu z zastosowaniem logiki rozmytej / M. Zachwatowicz // Źródła Kartograficzne w Badaniach Krajobrazu Kulturowego. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego. Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec. – 2012. - nr 16. – str. 84 94.
89. Bug and Latorica-Uzh Transboundary Water Quality Monitoring and Assessment / 1997 TACIS CBC. – Kyiv, 2001. – 167 p.
90. Mehta N., Shahensha S., Devireddy R., Ranjan Gartia M. SingleCell Analysis Using Hyperspectral Imaging Modalities. 2018. https://www.semanticscholar.org/paper/Single-Cell-Analysis-UsingHyperspectral-Imaging-Mehta-Shaik/683c599323807f468d5b3031d6_a3b92cadeec690
91. Mueller, J. R. An Introduction to the Hydraulic and Topographic Sinuosity Indexes./ J. R Mueller // *Annals of the Association of American Geographers*, 1968, Vol.58, No.2, 371-385