

Христина БУРШТИНСЬКА¹, Ігор БУБНЯК², Ірина ЗАЯЦЬ¹, Софія БЛАЖКО³,
Назар ГРИЦЬКІВ¹

¹ Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, ел. пошта: khrystyna.v.burshtynska@lpnu.ua, iryna.v.dolynska@lpnu.ua, nazar.z.hrytskiv@lpnu.ua, ¹<https://orcid.org/0000-0002-6013-0873>,

² Кафедра інженерної геодезії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, ел. пошта: ihog.m.bubniak@lpnu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3548-8785>

³ Служба статистики у Кракові, вул. Казімежа Віки, 3, Краків, Польща, ел. пошта: sofia.k.tretiak@lpnu.ua

<https://doi.org/10.23939/jgd2024.01.012>

ВПЛИВ ГЕОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР НА ХАРАКТЕР РУСЕЛ ПРАВОБЕРЕЖНИХ ПРИТОК РІЧКИ ДНІСТЕР

У запропонованому дослідженні поставлено завдання визначити вплив геологічних структур на характер русел найбільших правобережних приток річки Дністер – Стрия, Бистриці й Лімниці. З цією метою здійснено районування річки за морфометричними та гідрологічними характеристиками. Виділено три частини: гірську, передгірську і рівнинну, які кардинально відрізняються характеристиками русел, їхніми змінами в часі та деформаційними процесами. **Мета дослідження.** На підставі дистанційних методів отримання зображень різної розрізняювальної здатності, використання різночасових історичних карт та спеціальних карт дослідити русла правобережних приток Дністра: Стрия, Лімниці й Бистриці від витоків до гирлової частини, де вони впадають у річку Дністер, залежно від геологічних та структурно-літологічних особливостей поверхні. Основні методи дослідження – перетворення різних матеріалів дистанційного зондування, історичних та спеціальних карт з метою дослідження специфічних явищ руслових процесів. Методика передбачає підготовку вхідних матеріалів: історичних топографічних карт; геологічних карт; космічних знімків; прив'язку карт та знімків; опрацювання космічних знімків; векторизацію русел; аналіз русел річок залежно від геологічних структур. **Результати.** Враховуючи особливості морфології, ширину долини, проявлення і розвиток руслових процесів, річки Стрий, Бистрицю, Лімницю розділено на три ділянки: гірську; передгірську та рівнинну із розвиненими акумулятивними формами. В гірській частині русла всіх трьох річок однорукавні, в передгірській частині простежується багаторукавність, яка зменшується із переходом від ХІХ ст. до ХХІ ст. щодо ширини багаторукавності й кількості рукавів, що свідчить про зменшення модуля стоку. Для рівнинних ділянок русел із нерозвиненими акумулятивними формами простежується чітка тенденція до залежності типу русла від структурно-літологічних особливостей. **Оригінальність.** Встановлено залежність руслових процесів правобережних приток річки Дністер від геологічних та седиментологічних структур Скибових Карпат та Передкарпатського прогину. **Практична значущість.** Результати моніторингу руслових процесів необхідно враховувати під час вирішення низки завдань, а саме: будівництва гідротехнічних споруд, проектування мереж електропередач на перетині з річками, розвитку газопроводів, визначення зон затоплення та наслідків руйнування після повеней, освоєння заплавної землі, встановлення меж водоохоронних зон, управління рекреаційними та прикордонними землями та встановлення міждержавного кордону вздовж річок.

Ключові слова: руслові процеси; правобережні притоки; річка Дністер; геологічні та седиментологічні структури; космічні знімки; Скибові Карпати; Передкарпатський прогин; багаторукавність.

Вступ

В останні десятиліття у зв'язку зі змінами клімату, продовольчою проблемою, яка загострюється на деяких континентах і в наші дні, дефіцитом енергоносіїв і водних ресурсів, зокрема питної води, однією із найактуальніших є проблема збереження природних ресурсів. Тому ще у 1992 р. у Ріо-де-Жанейро прийнято Стратегію збалансованого управління природними ресурсами, за якою темпи відновлення природних ресурсів повинні випереджувати темпи їх витрачання. З метою постійного моніторингу природних ресурсів відповідні рішення провідних країн світу ґрунтуються на використанні інформації, яку отримують методами ДЗЗ за допомогою спеціальної апаратури, встановленої на борту космічних

літальних апаратів та безпілотних носіїв апаратури. Проблематика науково-технічних розробок, пов'язаних зі збереженням ресурсів в Україні, є пріоритетною для подальшого розвитку нових наукових, управлінських та народногосподарських завдань, пов'язаних із річками, та вимагає поглибленого вивчення довкілля.

У Директиві № 2007/60/ЕС Європейського парламенту і Ради ЄС про оцінку і управління ризиками, які спричиняють повені, подано план заходів з оцінювання та управління ризиками повеней, що безпосередньо стосується дослідження характеру річок, зниження негативних наслідків для здоров'я людей, довкілля, культурної спадщини та економічної діяльності. Розробленням

плану з протипаводкового захисту займається Експертна група, яка напрацювала конкретні рекомендації щодо захисту від паводків. В Польщі опрацьовано проєкт ISOK “Програмна система захисту країни від надзвичайних загроз”, спрямований на створення системи, що покращить захист економіки та суспільства від надзвичайних загроз, зокрема від повеней (ISOK).

Аналіз літературних джерел

Урахування розвитку руслових процесів, питання деформацій русел річок у природних умовах та умовах антропогенного навантаження потребують детального дослідження. Зауважимо, що через різні умови кожну річку досліджують окремо. Вивчення стійкості річкових русел тісно переплітається із дослідженнями їх горизонтальних перетворень, чинників, які на них діють, їх напрямку та інтенсивності. На ці основні причини дослідження руслових процесів вказано в працях [Шуляренко, 1998; Burshtynska et al., 2023].

Через винесення з гір значної кількості наносів і паводковий режим річок Передкарпаття їх русла активно змінюються, деформуються. У різних умовах на потік впливає геолого-геоморфологічна будова, яка визначає вільні або обмежені умови розвитку руслових зміщень, від чого залежить ширина дна долини, русла і заплави. Власне стік води і геолого-геоморфологічна будова є провідними природними чинниками руслових процесів. [Ободовський, 2001; Hooke, 2006].

У роботі [Beighley et al, 2009] подано гідрологічну модель, яка фіксує річний загальний стік, річні піки, сезонні моделі та добові коливання рівня води для басейну Амазонки.

Дослідження, яке уможливилось завдяки новим технологіям та підходам до моніторингу руслових процесів, подано в роботах [Burshtynska et al., 2019; Kokhan et al., 2020]. Воно засвідчує істотну відмінність між значеннями горизонтальних зміщень правобережних та лівобережних приток Дністра, які розташовані на різних геологічних структурах: правобережні – в межах Скибових Карпат та Передкарпатського прогину, лівобережні – на Волино-Подільській височині. У цій самій роботі проаналізовано математичні вирази для визначення стабільності русел, які запропонували різні автори. Враховуючи особливості морфології, ширину долини, прояв і розвиток руслових процесів, притоки Дністра, річки Стрий, Бистрицю, Лімницю розділено на три ділянки: гірську, передгірську та рівнинну. В гірській частині русла всіх трьох річок однорукавні, в передгірській частині простежується багатурукавність із різною шириною багатурукавності й кількістю рукавів. Багатурукавність зменшується із переходу від XIX ст. до XXI ст. Для рівнинних ділянок русел із нерозвиненими акумулятивними формами простежується чітка тенденція до залежності типу русла від структурно-літологічних особливостей.

Цікаві дослідження стосовно впливу геологічних структур на стан долини і заплави річки Західний Буг подано в праці [Ostrowski et al., 2021]. Автори розглядають вплив алювіальних субстратів у формуванні морфодинаміки дна низинної річкової долини річки Бугу, великої річки Польської низовини. Вісімдесят одне геологічне буріння у руслі дало змогу виділити 11 зон субалювіальних виступів корінних порід, побудованих із ерозійно-стійких відкладень.

Визначення морфології поверхні дна долини ґрунтувалося на багатоспектральних супутникових зображеннях високої розрізненості в природних і ближньому інфрачервоному кольорах, що дало змогу здійснити геолого-геоморфологічне картування поверхні дна долини. На підставі отриманих результатів вказано, що ключовими факторами, які контролюють морфодинаміку цієї заплави, є виступи субалювіальних корінних порід. За умов середньої та малої течії вони приховані під шаром руслових відкладень. Однак, під час значних паводків, рівень води на гірських течіях збільшується, поверхня виступів оголюється, що впливає на структуру паводкових потоків і змушує їх виходити на заплаву в певних, повторюваних зонах. Результатом такого явища є створення характерних комплексів акумулятивних та ерозійних форм рельєфу. Виявлено тринадцять типів таких форм. Аналіз торкався морфології та літології дна долини та охоплював ділянку дна долини р. Буг, яка зазнала впливу сучасних паводкових потоків, тобто зони голоценової заплави. Уздовж досліджуваного розрізу в межах плейстоценової верхньої тераси також виявлено сліди сучасних паводкових потоків. Завдяки цьому спостереженню сучасну форму поверхні слід розглядати як частину активної заплави. Однак вона відрізняється від типової голоценової заплави, що характеризує річкові долини.

У роботі [Волосецький та Шпирналь, 2014] вказано, що на зміни правої притоки Дністра річки Стрий істотно впливають природні ландшафти та господарська діяльність людини. З іншого боку, антропогенна діяльність, зокрема, гірничодобувні та будівельні роботи у долинах річки спричиняють зміну русла річки і масштабні екологічні проблеми. Великі горизонтальні зміщення русла річки Стрий, пов'язані із особливостями літологічної будови, а також гідролого-екологічними порушеннями русла та її заплави, розглянуто в працях [Рудько та Петришин, 2014, Burshtynska et al., 2021].

Власне специфічна геологічна будова Передкарпатського прогину з його потужними відкладами гравію і піску стала не тільки місцем видобування цієї цінної сировини, а й територією значних екологічних порушень і втрат. Автори зауважують, що валунно-гравійно-піщані породи у межах України поширені доволі нерівномірно. Великі запаси їх зосереджені в Передкарпатському крайовому прогині. Їх формують алювіальні, делювіальні, флювіогля-

ціальні та еолові відклади четвертинного віку. Залягають вони у вигляді лінз і пластових покладів потужністю до 20–25 м на глибині 0–3 м. Валунно-гравійно-піщані породи використовують у будівельній галузі. Тільки одне підприємство, як вказано в матеріалах Жидачівського управління водного господарства, несанкціоновано видобуло за два роки (2006–2008 рр.) 65 тис. т гравію.

Цікаві дослідження змін русел та прируслових територій через паводки, видобування сировини подано в працях [Fryirs & Brierley, 2013; Morris & Kokhan, 2007].

На необхідність враховувати місцеві умови протікання річок, їх тектонічну активність, зокрема процеси ерозії та осаду, з метою подання інформації про ландшафтні зміни річок та розв'язання управлінських завдань вказано в [Buffington, et al., 2014; Miller et al., 2001].

У праці [Biedenharn et al., 2000] звернено увагу на рослинність берегової лінії, стійкість берега та навіть конфігурацію русла, які істотно впливають на руслові процеси природного русла порівняно зі стійким руслом.

У випадку низинних річкових долин, де русла річок розвинулися в межах алювіальних відкладень (так звані алювіальні річки), флювіальні процеси залежать передусім від гідрологічного режиму водозбору. Велика потужність алювіальних відкладень у таких випадках дає змогу руслу вільно адаптуватися до умов течії. В результаті еволюція річкової системи фіксується в морфології та літології заплави [Grenfell et al., 2014; Krzemien, 2006].

На морфометричні характеристики річки Тиса та особливості горизонтальних зміщень вказано в роботах [Pramanik, 2016; Burshtynska et al., 2016].

Морфологія заплави зазвичай використовується для оцінювання морфодинаміки річкових середовищ. Окремі набори форм рельєфу можуть не тільки відображати гідрологічний режим річки, але й сприяти оцінюванню динаміки окремих явищ, що супроводжують формування поверхні заплави. Вони можуть бути пов'язані із послідовними стадіями затоплення, полегшуючи оцінку динаміки таких подій, і потенційно корисні для побудови прогнозів перебігу повеней [Wierzbicki et al., 2018; Burshtynska et al., 2023; Ковальчук, 2003]. Виявлення специфічного морфогенезу поверхні заплави може слугувати використанням природних явищ для управління територією. Концентрація окремих типів рельєфу також може свідчити про специфіку перебігу флювіальних процесів на окремих ділянках долини.

У праці [Janicke, 2000] йдеться про роботу комісії для контролю за станом річок Західної Австралії. Стверджується, що багато річок Західної Австралії деградує унаслідок негативної діяльності людини стосовно водних шляхів, а також через зовнішні наслідки землекористування водозбірної басейну.

Ерозія берегів і заростання бур'янами, а також нищення дикими тваринами є однією із найнагальніших проблем дослідження [Watson & Busher, 2006]. У багатьох річках якість води погіршується через забруднення, надмірне навантаження відкладами, багато річок стають все засоленішими.

Мета дослідження

На підставі дистанційних методів отримання зображень різної розрізняювальної здатності, використання різночасових історичних карт та спеціальних карт – дослідити русла правобережних приток Дністра: Стрия, Лімниця та Бистриця від витоків до гирлової частини, де вони впадають у річку Дністер, залежно від геологічних та структурно-літологічних особливостей поверхні.

Завдання дослідження. На підставі опрацьованої методики моніторингу річкових систем за топографічними картами та космічними зображеннями різного розрізнення за довготривалий період дослідити русла правобережних приток Дністра та зміну їх характеристик залежно від ділянки протікання. Проаналізувати залежність морфометричних характеристик правобережних приток від типу геологічних структур, визначити зв'язок типу русла з цими структурами.

Об'єктом дослідження є особливості русла Стрий, Бистриця, Лімниця та їх багаторічна морфодинаміка впродовж XIX–XXI ст. Розглядаючи основні природні чинники, що впливають на тип русла і його характеристики, особливу увагу ми звернули на геологічні та седиментологічні структури у регіоні, де протікають ці річки. Застосовуючи програмний пакет ArcGIS, здійснили моніторинг річок за 130 років, використовуючи топографічні, геологічні, ґрунтові карти та космічні зображення різних періодів та різного розрізнення.

Річки протікають у межах дії двох структур – Скибових Карпат та Передкарпатського прогину. Правобережні притоки (Бистриця, Лімниця, Стрий та ін.), які починаються в Карпатах, перетинають зовнішні та внутрішні межі Передкарпатського прогину.

Матеріали і методи досліджень

У дослідженні розглянуто вплив геологічних структур на правобережні притоки Дністра: Стрий, Лімницю і Бистрицю.

Схему розташування правобережних приток у басейні Дністра подано на рис. 1.

Відповідно до морфометричних характеристик річок та аналізу їх поділено на три частини: гірську, передгірську і рівнинну.

Основні процеси методики зафіксовано на структурній схемі (рис. 2). До них належать: підготовка історичних топографічних карт; геологічних карт; космічних знімків; прив'язка карт та знімків; опрацювання космічних знімків; векторизація русел; накладання русел на геологічну карту; аналіз русел річок відповідно до геологічних структур.

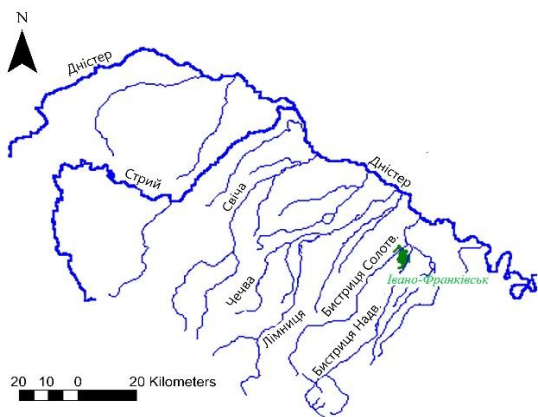


Рис. 1. Положення правобережних приток у басейні р. Дністер

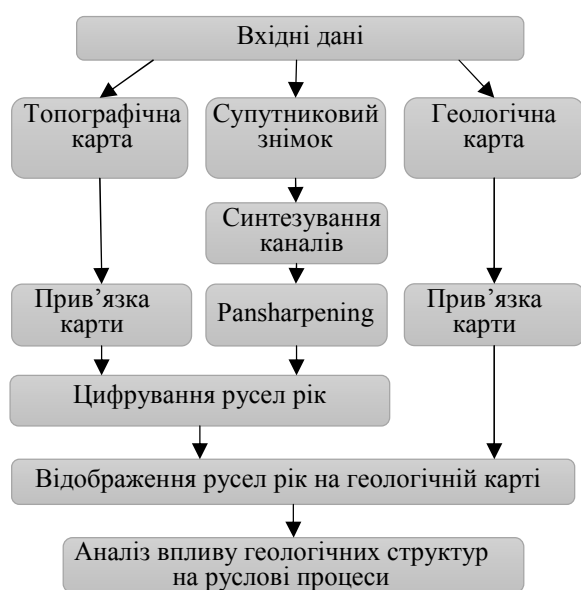


Рис. 2. Структурна схема досліджень

Геологічні та седиментологічні структури

Правобережні річки Дністра перетинають дві структури вищого порядку – складчасто-насувний пояс Українських Карпат та Передкарпатський прогин, який накладений також на платформу. В складчасто-насувному поясі виділено низку структур – покривів [Бубняк І., Бубняк А., 1997]. Вони протікають через два покриви Українських Карпат – Кросненський та Скибовий. Два інших покриви – Бориславсько-Покутський та Самбірський належать до Передкарпатського прогину [Nakapelyukh et al., 2018]. До цих структур зі сходу примикає Більче-Волицька зона (зовнішня) Передкарпатського прогину, що є автохтонною тектонічною одиницею. Всі перераховані покриви (крім Самбірського) складені утвореннями віку від крейди до неогену. Основна маса покривів складена перешаровуванням пісковиків, алевролітів та аргілітів, що утворюють так званий фліш. Товщина флішового комплексу в насувному стані становить 12 км.

Крейдові відклади в досліджуваному регіоні формувались у двох різко відмінних тектонічних та палеогеографічних умовах – платформних та геосинклінальних. Напрямок русла більшої частини річок зумовлений тектонічними чинниками, а саме поперечними до Карпат регіональними розломами. Частина приток річки Стрий контролюється також розломами менших порядків і тріщинуватими зонами, із доволі регулярним розташуванням [Гинтов та ін., 2011]. Хоча є винятки, наприклад, меандр річки Стрий у районі с. Рибник може бути зумовлений складом та механічними властивостями гірських порід.

Істотно відрізняється ситуація у Більче-Волицькій зоні Передкарпатського прогину. Прогин виповнений верхніми моласами та четвертинними відкладами, які за літологічним складом та механічними властивостями відрізняються від флішу. Тут, на нашу думку, головними чинниками, що впливають на деформацію русла, є літологічні.

Дослідження річки Стрий

Стрий – найбільша права притока Дністра, яка починається у Скибових Карпатах на висоті 1120 м. Довжина річки – 232 км, площа басейну 3060 км². У гірській частині річка протікає у вузькій долині, середня ширина русла становить 30–50 м. У горбистій частині ширина всіх рукавів може сягати 120 м. У рівнинній частині ширина не перевищує 80 м.

Для моніторингу річки Стрий використано: топографічні карти масштабів 1:100000 (1886 р. та 1989 р.); космічні зображення, отримані із супутника Landsat 7 (2000 р.) та Sentinel 2 (2016 р.), для гірської частини використано знімок високого розрізнення із сервісу Bing; карти четвертинних відкладів (1970 р.) та ґрунтову карту масштабу 1:200000 (1967 р.). Методику моніторингу річки Стрий з деталями досліджень подано в [Burshtynska et al., 2021; Третяк, 2018].

Основні гідрологічні та морфометричні характеристики р. Стрий наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики річки Стрий

Характеристики річки	Гірська частина	Передгірська частина	Рівнинна частина
Основні гідрологічні та морфометричні характеристики			
Ширина, м	10–90	30–120	30–80
Глибина, м	0,5–1,5	1,0–2,5	3,5–4,0
Швидкість, м/с	0,9	0,4	0,2
Похил м/км	5	1,7	0,8
Метеорологічні та гідрологічні характеристики			
Атмосферні опади, мм	1200	900	800
Середній річний стік, м ³ /с	20	35	50

Гірська частина. Гірську частину річки характеризує наявність одного русла. Перепад висот від витоків до виходу річки на горбисту територію – близько 750 м на ділянці протяжністю 150 км, тобто в середньому 5 м/км.

Фрагмент ділянки русла р. Стрий у гірській частині подано на рис. 3.

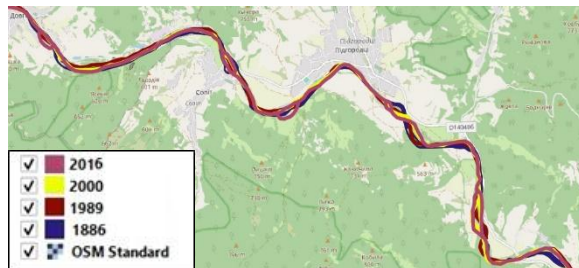


Рис. 3. Фрагмент оцифрованих русел гірської ділянки р. Стрий

Оскільки долина протікання річки у гірській частині переважно вузька, зі стрімкою течією, у цій частині для визначення зміщень русла вибрано декілька точок у місцях найбільших відхилень, оскільки в цій частині русла практично накладаються. Максимальне значення зміщень за 1886–2016 рр. становить – 200 м, тобто зміщення є порівняно незначними і досягають за 130-річний період 100–150 м.

Передгірська частина. Як показують результати моніторингу, під час виходу з гірської частини на передгірську для всіх досліджуваних правобережних приток Дністра спостерігаємо таке явище, як багатуруканість, що залежить від морфометричних та гідрологічних характеристик русла (рис. 4). В табл. 2 подано значення ширини багатуруканості та кількість рукавів русла, визначені за різні роки.

Таблиця 2

Кількість рукавів і виміряна ширина багатуруканості

№ точок	1886 р.		1989 р.		2000 р.		2016 р.	
	Ширина багатуруканості, м	К-сть рукавів	Ширина багатуруканості, м	К-сть рукавів	Ширина багатуруканості, м	К-сть рукавів	Ширина багатуруканості, м	К-сть рукавів
1	1520	4	445	3	450	2	0	1
2	670	2	430	3	0	1	0	1
3	1355	5	235	1	0	1	0	1
4	945	4	565	2	375	3	1035	4
5	390	3	595	2	560	5	255	2
6	520	3	0	1	55	2	260	2
7	785	5	0	1	0	1	0	1
8	1170	4	0	1	240	2	0	1
9	810	2	190	2	685	2	0	1

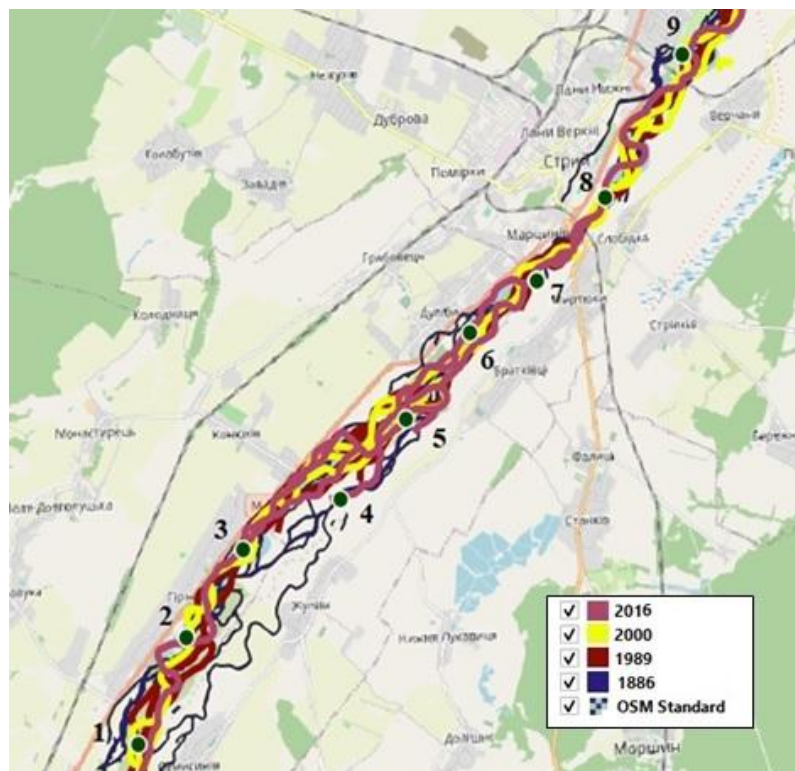


Рис. 4. Фрагмент оцифрованих русел передгірської ділянки р. Стрий

У 1886 р. ширина між крайніми рукавами русла досягала 1,5 км, кількість рукавів – 4–5. В останні десятиріччя (1989, 2016) ширина багатуруканості зменшується вдвічі, однак у 2016 р. на четвертій ділянці спостерігаємо багатуруканість 1,0 км з чотирма рукавами. Загальна тенденція зменшення багатуруканості спричинена насамперед зміною клімату і антропогенними чинниками, зокрема відбиранням води для населених пунктів і промислових об'єктів.

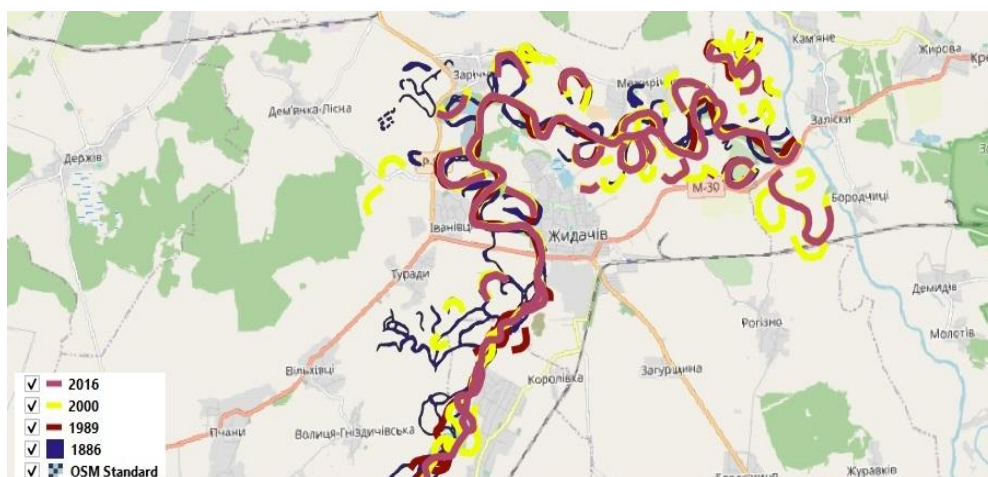


Рис. 5. Розташування річки Стрий у рівнинній частині

Найцікавіші меандри річка утворює біля села Рибник та міста Жидачів, де впродовж кількох кілометрів тече в декількох різних напрямках. Ця частина русла річки найбільше залежна від геоморфологічної будови, яка характерна для Передкарпатського прогину. Четвертинні відклади Передкарпатського прогину в цій ділянці представлені чотирма типами: давнім, середнім, новим і сучасним. Новий тип пов'язаний із суцільним покривом лесоподібних суглинків. До сучасного типу належать піскувато-гальково-глинисті відклади заплав річкових долин, конуси виносу, болота, алювіально-делювіальні утворення ерозійних процесів як самих русел, так і прирічкової території. Одним із загрозливих процесів є інтенсивний відбір із русел річок гравію й піску, розроблення родовищ валунно-гравійно-піщаних порід у гірських річках Дністер, Стрий, Свіча, Опір на території Львівської області, що негативно впливає на екологічний стан довкілля [Рудько та Петришин, 2014]. Горизонтальні зміщення русла річки Стрий сягають 1100 м, 1350 м і є найбільшими в серії досліджень горизонтальних зміщень русел Дністра та його приток [Burshtynska et al., 2021, Третяк, 2018].

У табл. 3 подано кількість стариць та островів, обчислено загальну площу стариць для рівнинної частини р. Стрий поблизу м. Жидачів.

Зменшену площу стариць у 1989 р. можна пояснити тим, що на карті позначено тільки більші за розмірами стариці, а також ті, які істотно відзнялись на місцевості за контрастом.

Рівнинна частина. Найскладнішою стосовно змін та водного режиму ділянкою річки є русло Стрия, що протікає у рівнинній частині місцевості аж до впадіння в річку Дністер (рис. 5). Довжина рівнинної частини р. Стрий (від смт. Гніздичів Стрийського району до впадіння у р. Дністер біля м. Жидачів Львівської області) 18 км.

У цій частині Стрий має дуже звивисте русло зі значною кількістю меандрів та залишених стариць, на деяких ділянках місцевість заболочена [Горішний, 2014].

Таблиця 3

Кількість стариць та островів

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

Стариці як частини давнішого русла дають змогу відновити течію русла і вивчати його зміни залежно від природних чи антропогенних чинників. Космічні зображення для цієї мети мають істотні переваги порівняно із картографічним матеріалом.

Аналіз руслових процесів річки Бистриця

Річка Бистриця утворена злиттям Бистриці Солотвинської та Бистриці Надвірнянської. Довжина Бистриці 17 км, а її приток: Бистриці Надвірнянської – 94 км і Бистриці Солотвинської – 82 км. Майже щорічно на річці Бистриці трапляються весняні та літні паводки [Дубіс та Кузьо, 2016; Третяк, 2018].

Основні гідрологічні та морфометричні характеристики: річкова долина асиметрична, правий берег стрімкий (край Покутської височини), висо-

кий, переважно вкритий лісом; лівий пологий, розораний. Русло звивисте, його ширина 35–80 м, глибина 0,2–4 м. Похил річки 1,57 м/км. Середня густота річкової мережі 1,3 км/км², середній багаторічний модуль стоку води – 18,68 дм³/с/км². Трапляються паводки. Середня витрата води становить 29 м³/с [Дубіс та Кузьо, 2016].

Моніторинг здійснено за 106-річний період за топографічними картами масштабу 1:100 000 (1910 та 1989 рр.), космічними знімками Landsat 7 – 2000 р. та Sentinel 2 – 2016 р., картами масштабу 1:200000: четвертинних відкладів 1970 р. та ґрунтового покриття 1969 р. Бистрицю Надвірнянську поділено на три частини: гірську, передгірську та рівнинну. Притоку Бистриці Бистрицю Солотвинську поділено на дві частини: гірську із передгірською та рівнинну.

Річка Бистриця протікає у рівнинній частині території, яка належить до Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину. Притоки Бистриці – Бистриця Солотвинська та Бистриця Надвірнянська витікають зі Скибових Карпат, їх поділено на дві частини: гірську та передгірську.

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

Довжина гірської частини р. Бистриця Надвірнянська 12 км (від с. Максимець до с. Пасічна Надвірнянського району Івано-Франківської області). Довжина гірської частини притоки Бистриці Солотвинської 33 км (від підніжжя гір Сивулі до с. Пороги Івано-Франківського району Івано-Франківської області). На рис. 6 показано русла гірських частин річок Бистриця Надвірнянська та Бистриця Солотвинська, накладені на карту 1989 р. [Дубіс та Кузьо, 2016].

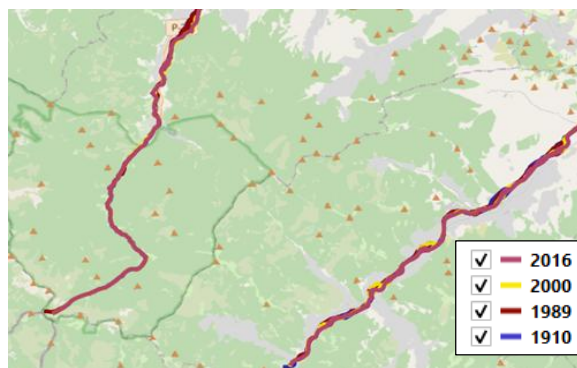


Рис. 6. Загальний вигляд оцифрованих русел гірської частини приток Бистриця Надвірнянська та Бистриця Солотвинська

Виміряно по три точки руслових зміщень для обох приток. Зміщення в цій частині досягають: для Бистриці Надвірнянської – 540 м (1910–

1989 рр.), для Солотвинської – 285 м (1910–1989 рр.). Середні значення зміщень за періоди (1989–2000 рр.) і (2000–2016 рр.) становлять близько 100–150 м [Третяк, 2018].

Передгірська частина. В передгірській частині для річки Бистриці Надвірнянської характерна багаторукавність та переплетіння русел на деяких частинах русла (рис. 7). Зауважено дві ділянки зі значною багаторукавністю, виміряно ширину обох ділянок. Дані наведено в табл. 4.

Найбільша ширина багаторукавності 710–755 м, русло розділяється на два – три рукави.

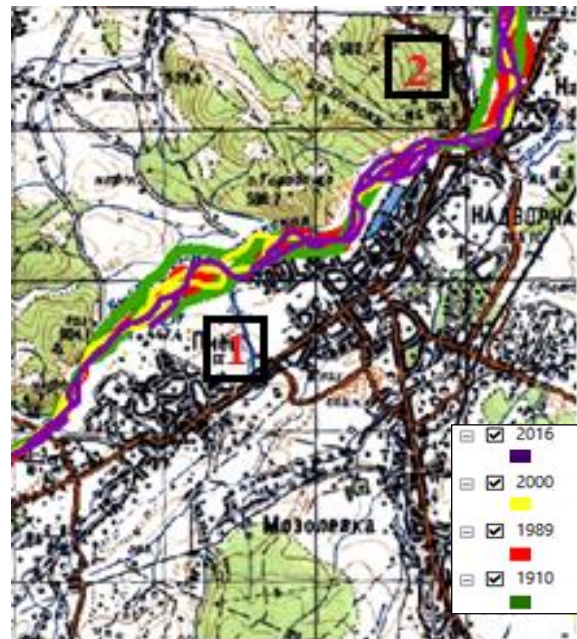


Рис. 7. Загальний вигляд оцифрованих русел Бистриці Надвірнянської у передгірській частині

Таблиця 4

Ширина багаторукавності передгірської частини річки Бистриці Надвірнянської

Роки	Максимальна ширина багаторукавності, м			
	1 ділянка		2 ділянка	
	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів	Ширина багаторукавності (м)	К-сть рукавів
1910	330	2	512	2
1989	545	2	700	3
2000	565	3	710	2
2016	755	1	670	3

На рис. 8 тип русла Бистриці наближається до руслових розгалужень. Вузол злиття Бистриці Солотвинської і Бистриці Надвірнянської та початок власне Бистриці – це особлива ділянка для трьох річок (рис. 8) [Дубіс та Кузьо, 2016].

У декількох точках Бистриці Солотвинської виміряно ширину багаторукавності та кількість рукавів, результати подано в табл. 5.

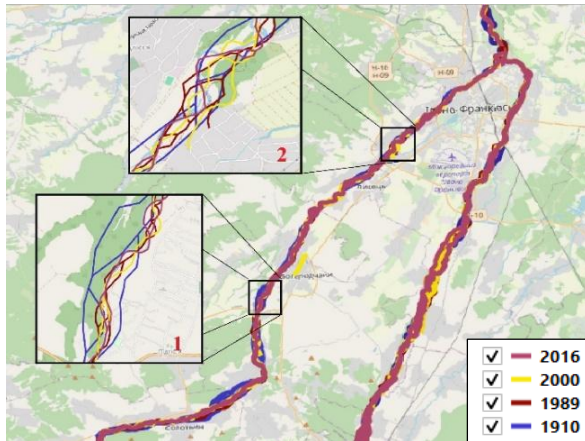


Рис. 8. Загальний вигляд оцифрованих русел передгірської частини Бистриці із притоками Бистриця Надвірнянська та Солотвинська

Таблиця 5
Кількість рукавів і виміряна ширина відстані між крайніми рукавами у передгірській частині річки Бистриці Солотвинської

Роки	Максимальна ширина багатурукавності, м			
	1 ділянка		2 ділянка	
	Ширина багатурукавності, м	К-сть рукавів	Ширина багатурукавності, м	К-сть рукавів
1910	760	3	340	2
1989	510	3	600	3
2000	280	2	330	2
2016	180	2	—	1

За відображенням ділянки 1910 р. видно наявні рукави, ширина смуги руслоформування – 300–800 м, русло розділяється на два – три рукави. На карті радянського періоду ширина багатурукавності менша, максимальне значення становить 600 м. На знімку 2000 р. можна побачити деяку зміну багатурукавності порівняно із руслом 1989 р., ширина багатурукавності зменшується і становить до 400 м. За сучасними космознімками 2016 р. ширина багатурукавності зменшується до значення 180–200 м.

Рівнинна частина. Крім багатурукавності, зауважено ділянку плетіння річки Бистриця. Фрагмент плетіння річки Бистриці в рівнинній частині відображено на рис. 9.

Щодо аналізу цього явища в спеціальній літературі існують різні пояснення. В праці [Starkel et al., 2015] автори зосереджують увагу на еволюції річкових систем у Центральній-Східній Європі, яка відображає основні фази кліматичних змін протягом періоду 60–8 тис. р.т., зареєстрованих у ядрах льоду Гренландії та їх ізотопних кривих. Ізотопна крива Гренландії показує набагато більше коливань і етапів, ніж річковий

запис того самого часу, особливо упродовж міжльодовикової фази.

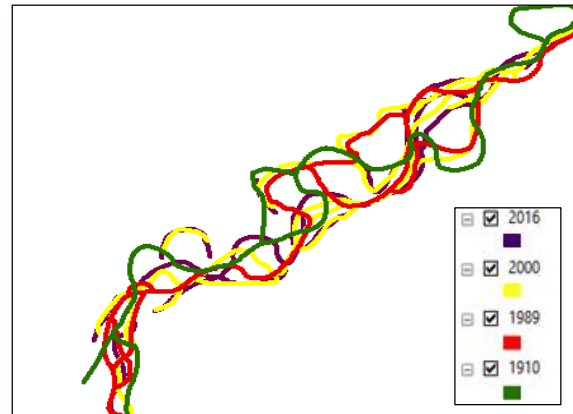


Рис. 9. Фрагмент плетіння річки Бистриці в рівнинній частині при впадінні в Дністер

Певний час цей регіон був зайнятий вічною мерзлотою, хоча протягом частини досліджуваного періоду співіснувало тепле літо, що сприяло появі лісового покриву. Ці чинники разом контролювали особливості річкового режиму та навантаження наносів, створюючи змінні тенденції дії ерозії чи аградації від меандрування до плетіння. Вічна мерзлота змінювалась паводками і таненням снігу, що спричинило плетіння. Густа рослинність зменшила подавання наносів і стабілізувала звивистість русла. Наголошено на виразних змінах, які відбулися у долинах річок, оточених горами, особливо під час нестабільного міжпольового гляціалу, коли збільшилось подавання навантаження із вищих рослинних зон. Ця система, що контролювалася кліматом і рослинністю, була змінена іншими чинниками, ураховуючи тектоніку, активність вітру в посушливі періоди, блокування долин льодовими щитами, надходження талої води та коливання рівня моря.

Інакше пояснення, яке не зачіпає історичних епох розвитку річкових систем східноєвропейської частини континенту, знаходимо в [Zolezzi et al., 2012]. В цій праці наголошено на тому, що плетіння є результатом складних залежностей між швидкістю води і характеристиками підстильної поверхні дна і берегів. За достатньої інтенсивності коливання ширини русла виникають перехідні форми між звивистістю та плетінням. На основі моделювання автори досліджують морфодинамічні зв'язки між просторовою кривиною та коливаннями ширини в річкових меандрах і пов'язаних моделях дна.

Оскільки річка Бистриця протікає в густозаселеному регіоні (м. Івано-Франківськ), здійснюють заходи із охорони річки Бистриці, серед яких можна виділити: заліснення берегів; укріп-

лення берегів річки від паводків; розділення промислових і господарсько-побутових стоків для забезпечення їх очищення перед скиданням у річку; використання водоочисних систем промисловими підприємствами; створення гідрологічних пам'яток природи.

Для річного стоку води правобережних приток характерні часті підйоми рівня води протягом усього року. В багатоводні роки паводки виникали доволі часто: 1955 р., 1969 р., 1980 р., 2001 р., 2008 р., 2020 р., в період із вересня до грудня спостерігаються стійкі рівні води. Зокрема повені, які сталися влітку 2008 р. та 2020 р. через інтенсивні грозові дощі, і різке підвищення рівня води в річках унаслідок цього завдали значної шкоди господарству міст та інфраструктурі Західної України. Вони призвели до значних економічних і екологічних збитків і були одними з найбільших в історії Західної України за останнє сторіччя [Дубіс та Кузьо, 2016].

Аналіз руслових процесів річки Лімниця

Довжина річки Лімниця – 122 км. Річище Лімниці кам'янисте, усередині розгалужується на рукави.

Вигляд річки проаналізовано за 106-річний період за топографічними картами масштабу 1:100 000 (1910 та 1989 рр.), космічними знімками Landsat 7 (2000 р.), Sentinel (2016 р.) і картами масштабу 1:200000: четвертинних відкладів (1970 р.) та ґрунтового покриву (1969 р.). Цю річку поділено умовно на три частини: гірську, передгірську та рівнинну.

Гірська частина. На рис. 10 відображено русла різних часових періодів, накладені на карту 1989 р. гірської частини річки Лімниця.

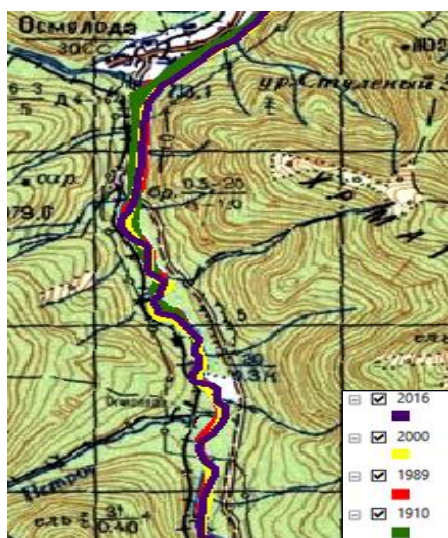


Рис. 10. Фрагменти оцифрованих русел гірської частини річки Лімниця за топографічними картами та космічними знімками

У гірській частині річки Лімниці майже не зауважено зміщень. Зафіксовано тільки одну ділянку зі зміщенням, яке дорівнює за період 1910–1989 рр. 250 м. У 1989–2000рр. та 2000–2016 рр. зміщення русел у межах похибки вимірювання.

Передгірська частина. Ця ділянка болотиста, її довжина 29 км (від с. Ясень Рожнятівського району до с. Тужилів Калуського району Івано-Франківської області). Калуська місцева прокуратура встановила факт незаконного видобування піщано-гравійної суміші на території Калуського району із русла річки Лімниця.

Річка характеризується багаторукавністю, русло розділяється на три рукави (рис. 11).

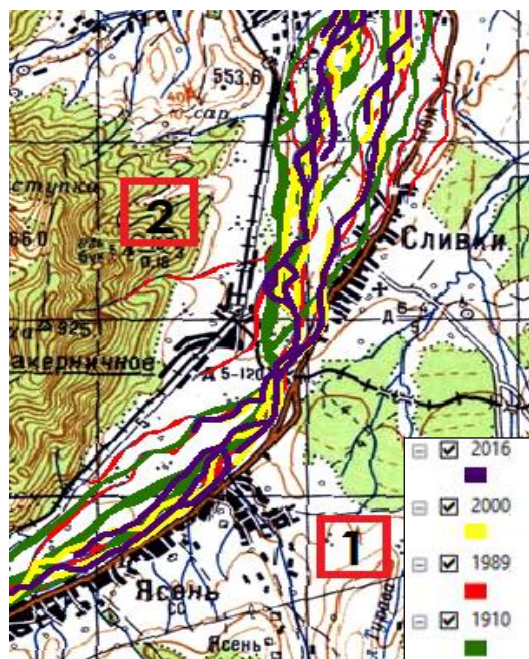


Рис. 11. Фрагменти оцифрованих русел горбистої частини річки Лімниця.

Вибрано дві ділянки, де зауважено значну багаторукавність, виміряно її ширину за різні часові періоди (табл. 6).

Таблиця 6

Ширина багаторукавності передгірської частини річки Лімниця

Роки	Ширина багаторукавності, м			
	1 ділянка		2 ділянка	
	Ширина	К-сть рукавів	Ширина	К-сть рукавів
1910	1280	3	1236	4
1989	1470	3	1145	5
2000	812	2	1346	3
2016	775	2	1287	2

Ширина багаторукавності досягає близько 1,5 км. Але, як видно з табл. 6, на ділянці № 1 (рис. 10) у 2016 р. вона вже зменшилась до 775 м, на ділянці № 2 ширина багаторукавності не змінилася.

Рівнинна частина річки Лімниці. Довжина цієї частини річки 35 км (від с. Тужилів Калуського району до місця, де річка впадає у р.

Дністер (Калуський район Івано-Франківської області). Найбільші повені на річці Лімниця були в 1929, 1941 і 2008, 2020 рр.

Ця частина подібна до попередньої тим, що вона теж болотиста. Для русла річки характерне плетіння (рис. 12).

Здійснено вимірювання горизонтальних максимальних зміщень русла на двох ділянках (рис. 12). Максимальне значення зміщень, отримане за 1910–1989 рр., становить 490 м, за 1989–2000 рр. – 250 м, за 2000–2016 рр. – 190 м. Найбільші зміщення відбулися у 1910–1989 рр. На деяких точках річка зміщувалась у бік природного русла 1910 р. [Третяк, 2018].

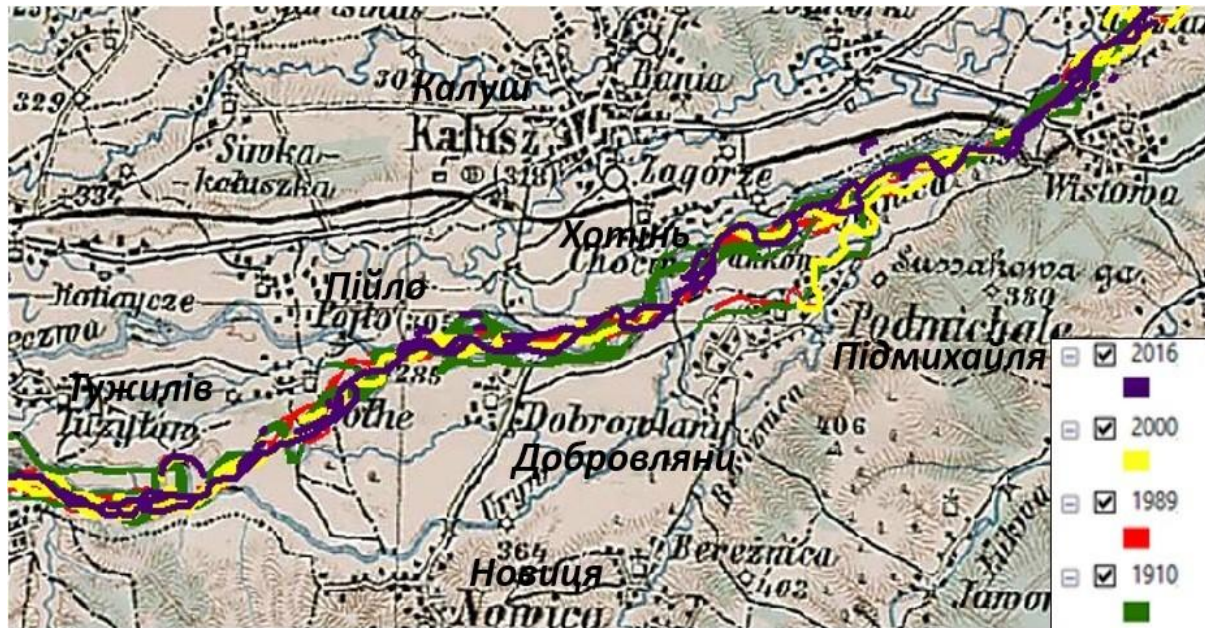


Рис. 12. Фрагменти оцифрованих русел рівнинної частина річки Лімниця

У деяких місцях русла різних років розгалужуються на два рукави і переплітаються. Ширина долини в цій ділянці значна і становить 3,5 км.

Аналіз ґрунтових та геологічних карт правобережних приток

Аналіз карти четвертинних відкладів річки Стрий свідчить про звивистість русла із зображеннями як стариць старшого періоду, так і стариць нового періоду. Вказано такі основні відклади: пісок із галькою, галечник, глина, алювіальні відклади. На четвертинній карті подано різноманітні за літологічним складом утворення, пов'язані із терасовою будовою заплави, зокрема вирізняються суцільний покрив лесових суглинків та піскуватогальково-глинисті відкладення. [Buffington et al., 2014; Бубняк І. та Бубняк А., 1997]. Заплавна місцевість рівнинної частини річки Стрий характерна дерново-супіщаними і суглинковими, дерново-опідзоленими, оглєсними та лучними глейовими ґрунтами, їх механічною основою є піски та легкі суглинки, що легко розмиваються.

Поблизу русла річки основними відкладами річки Бистриці є еолово-делювіальні та делювіальні. Літологічний склад характеризується

нааявністю суглинків, супісків та глини, на деяких ділянках спостерігаються щебінь та торф. Прируслова територія річки Бистриці характеризується лучними ґрунтами переважно на алювіальних та делювіальних відкладах та дерновими ґрунтами. Зауважено також болотні та торфо-болотні ґрунти. Механічний склад: піски, супіски та щебінь.

На карті четвертинних відкладів річки Лімниці подано основні відклади, якими є галечники, глина, алювіальні відклади. На четвертинній карті наведено різноманітні за літологічним складом утворення, пов'язані із терасовою будовою заплави, зокрема вирізняється руслова фація та еолово-делювіальні відкладення. Також зауважено виходи корінних порід. Прируслова територія річки Лімниці характеризується дерново-супіщаними і суглинковими, дерново-опідзоленими, оглєсними та лучними глейовими ґрунтами, їх механічною основою є піски та легкі суглинки, що легко розмиваються та спричиняють зміщення русла [Кравчук, 1999; Третяк, 2018].

Результати

Аналіз зв'язку руслових процесів правобережних приток із геологічними структурами

Нанесемо файли правобережних річок Дністра різних років, використаних для досліджень впливу геологічних структур, на тектонічну карту масштабу 1:200 000 (рис. 13).

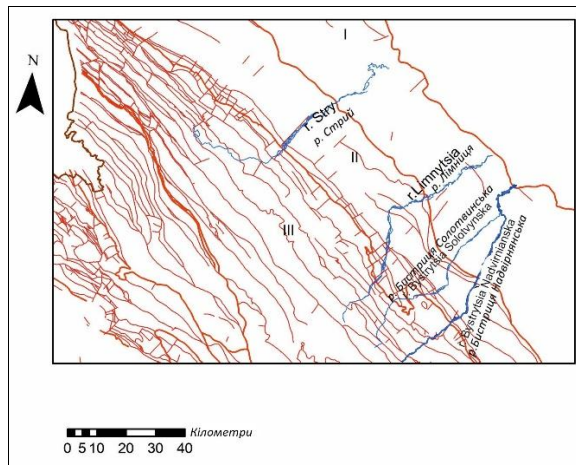


Рис. 13. Карта основних геологічних структур із нанесеними досліджуваними річками. Ці карти визначають такі зони:

I – зовнішня зона Українського передгір'я Карпат;
II – внутрішня зона Українського передгір'я Карпат;
III – Карпати

На карті показано межі тектонічних пластів та зони їх з'єднання. Зона I представляє основний тектонічний складчасто-насувний пояс Українських Карпат; зона Передкарпатського прогину складається із двох структур, які характеризуються істотними відмінностями. Внутрішній Передкарпатський прогин – зона II і зовнішній Передкарпатський прогин, накладений також на платформу, – зона III.

Початок річок Стрий, Лімниця та Бистриця у Карпатах. Гірська частина витоку правобережних приток належить до складчасто-насувного поясу Карпат. Карпати є молодими складчастими горами, складеними шарами різних осадових гірських порід – це м'який мергель, твердий пісковик, гнучка глина та вапняк. Вони відклалися на дні давнього мезозойського моря, а в епоху гороутворення були підняті на поверхню. Перед фронтом Карпат розташований Передкарпатський прогин, виповнений моласовими утвореннями. Ці тектонічні елементи визначають вигляд річкової системи досліджуваного регіону.

У гірській частині русло річки Стрий однорукавне, однак в цій частині, що не притаманно для інших річок – Бистриці та Лімниці (рис. 15), спостерігається меандрування між складками структури, а далі річка різко повертає на північний схід. Тектонічні розломи структур мають чітке північно-східне спрямування і течія Стрия збігається із розломами у поперечному напрямку до Скибових Карпат і частини Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину.

У внутрішній частині Передкарпатського прогину річці Стрий (рис. 14) притаманна багатурукавність. У зовнішній частині Передкарпатського прогину (Більче-Волицька структура) річка меандрує, а в гирловій частині через неоднорідність структур й істотний вплив літологічних відкладів, складених міоценовими моласами, утворених глинами, пісковиками та іншими відкладами, відзначається найбільшою серед приток нестабільністю, що чітко видно на карті четвертинних відкладів (рис. 15).

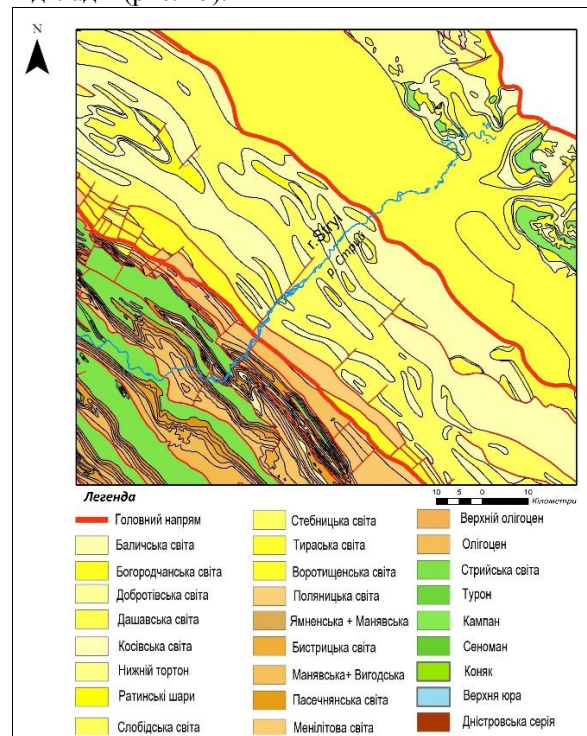


Рис. 14. Карта тектонічних структур із нанесеною річкою Стрий

Річки Лімниця і Бистриця мають різко відмінні характеристики у Скибовій зоні та у Передкарпатському передовому прогині. Для Карпат характерні прямолінійні ділянки русел та відсутність меандрів та багатурукавності. Для зовнішньої зони характерні меандрування та багатурукавність зазначених рік. У випадку із складчасто-насувною частиною досліджуваного району (рис. 13) наявність розломів, шарів та складок у гірських породах може спрямовувати потоки води і впливати на напрям течії річки. Досліджувані річки у цій частині часто течуть уздовж розломів. Також тріщини, де основа, як у випадку з розломами, фрагментована, часто визначають напрям річок. Напрямок річок у гірській частині збігається із основними напрямками тріщин. Ці особливості впливу тектонічних особливостей також характерні для внутрішньої зони Передкарпатського прогину, де розвинені складки та розломи. Поперечні розломи впливають на формування русел річок (рис. 13).

У внутрішній зоні Передкарпатського (Бориславсько-Покутські складки) прогину на вигляд русел, зокрема на появу багатуруканості, впливає літологічний склад порід. Моласові утворення за механічними властивостями набагато слабші, ніж флішові утворення, і вони легко еродують. Тому в цій частині досліджуваного району спостерігаємо появу багатуруканості. Зовнішня зона складена м'якими гірськими породами, характеризується невисоким рельєфом, що також сприяє розвитку меандр та багатуруканості. Сучасна тектонічна активність впливає на нахил річки і відповідно на її енергію та ерозійну здатність. Така активність значно більше проявляється у гірській частині й відповідно створює характерні долини рік. Зовнішня зона пов'язана із низькою тектонічною активністю. Для цієї частини характерне незначне опускання, що впливає на формування русел рік.

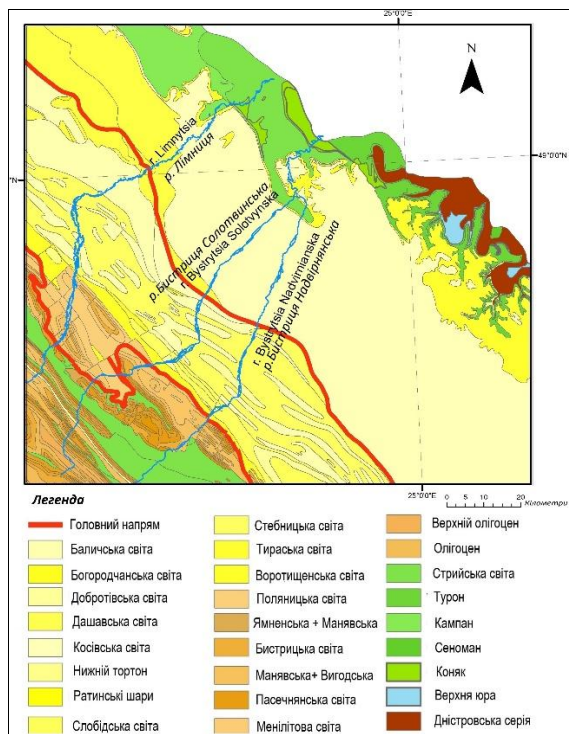


Рис. 15. Карта основних геологічних структур із нанесеними правобережними річками Лімниця, Бистриця із притоками Бистриця Надвірнянська і Бистриця Солотвинська

Впливає на русла зазначених рік також клімат. Кількість опадів впливає на рівень води в річці та її ерозійний потенціал.

Оригінальність

Встановлено залежність руслових процесів правобережних приток річки Дністер від геологічних та седиментологічних структур Скибових

Карпат та Передкарпатського прогину.

Практична значущість

Результати моніторингу руслових процесів необхідно враховувати під час вирішення завдань, а саме: будівництва гідротехнічних споруд, проєктування мереж електропередач під час перетину річок, розвитку газопроводів, визначення зон затоплення та наслідків руйнування після повеней, освоєння заплавних земель, встановлення меж водоохоронних зон, управління рекреаційними та прикордонними землями та встановлення міждержавного кордону вздовж річок.

До перспективних напрямів дослідження руслових процесів належать оцінка ризику повеней, екологічних проблем, розроблення та запровадження різних типів проєктів, пов'язаних із гідротехнічним будівництвом, а також проєктів сталого відновлення та впровадження ефективних заходів щодо збереження та відновлення річкових систем та збільшення біорізноманіття прируслових територій.

Висновки

1. Враховуючи особливості морфології, ширину долини, проявлення і розвиток руслових процесів, річки Стрий, Бистриця, Лімниця розділено на три ділянки: гірську, передгірську та рівнинну із розвиненими акумулятивними формами.

2. У гірській частині русла всіх трьох річок однурукані, в передгірській частині простежується багатуруканість, яка зменшується із переходом від XIX ст. до XXI ст. зі зменшення ширини багатуруканості і кількості рукавів русла, що свідчить про зменшення модуля стоку.

3. Для рівнинних ділянок русел із нерозвиненими акумулятивними формами простежується чітка тенденція до залежності типу русла від структурно-літологічних особливостей.

4. Багатуруканість річки Стрий збігається із поперечними розломами Скибових Карпат і розломами внутрішньої зони Передкарпатського прогину. Багатуруканість річки Лімниці розпочинається у Скибових Карпатах і продовжується у Передкарпатському прогині, а багатуруканість Надвірнянської та Солотвинської Бистриці відзначається у внутрішній зоні Передкарпатського прогину.

5. Значне меандрування річки Стрий спостерігається у гирловій частині, де геологічною основою є тектонічні структури, складені верхніми моласами зовнішньої зони Косівської світи.

6. Плетення річки Лімниці пов'язане із фундаментом Передкарпатського прогину, а річка Бистриця – із зовнішньою зоною Передкарпатського прогину Косівської світи.

Список літератури

Бубняк І., Бубняк А. (1997). Про природу Стрийського юрського прогину. *Праці НТШ Т. I. Геологія, геофізика, хемія, біохемія,*

- матеріалознавство, механіка матеріалів. С. 69–72.
- Волосецький, Б. І., Шпирналь, Т. Г. (2013). Дослідження перенесення гравійно-галькових мас у руслі р. Стрий за даними геодезичного моніторингу. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Вип. 77. С. 115–121. <https://science.lpnu.ua/istcgcap/all-volumes-and-issues/volume-77-2013/research-about-gravel-and-pebble-mass-transfer>
- Гінтов, О. Б., Бубняк, І. Н., Віхоть, Ю. М., Муровська, А. В., Накапелюх, М. В. (2011). Еволюція напружено-деформованого стану і динаміка Скибового покриву Українських Карпат. *Геофізичний журнал*. Т. 33, № 5. С. 17–34. <https://journals.uran.ua/geofizicheskiy/article/view/116847>
- Горішний П. (2014). Горизонтальні деформації нижньої течії русла річки Стрий у 1896–2006 рр. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. С. 68–74.
- Дубіс Л., Кузьо Н. (2016). Типи русла річки Бистриця Надвірнянська. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. Вип. 1. С. 261–274. http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeomorpal_2016_1_24.
- Ковальчук І. П. (2003). Гідролого-геоморфологічні процеси в Карпатському регіоні України. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка. XII: Екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського регіону*. С. 101–125. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/73587>
- Кравчук Я. С. (1999). Геоморфологія Передкарпаття. *Меркатор*. 188 с.
- Ободовський О. Г. (2001). Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). К.: Ніка-Центр. 274 с.
- Рудько Г. І., Петришин В. Ю. (2014). Характеристика родовищ валунно-гравійно-піщаних порід у Львівській області та їх вплив на екологічний стан природного середовища місцевості. *Мінеральні ресурси України*. № 1. С. 39–47. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru_2014_1_15
- Третяк С. К. (2018). Моніторинг планових зміщень русел правобережних приток річки Дністер. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, Вип. II (36). С. 77–86. <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/02bbe8ad-007c-41e4-95ef-505dc1dbb8d9/content>
- Шуляренко І. П. (1998). Оцінка горизонтальних руслових деформацій та стійкості русел малих і середніх річок басейну Дніпра (в межах України): дис. канд. геогр. наук: 11.00.07. Київський ун-т ім. Т.Шевченка. 178 с.
- Beighley, R. E., Eggert, K. G., Dunne, T., He Y., Gummadi, V., & Verdin, K. L. (2009). Simulating hydrologic and hydraulic processes throughout the Amazon River. *Hydrological Processes*, No. 23(8), 1221–1235. <https://doi.org/10.1002/hyp.7252>
- Biedenharn, D. S., & Copeland, R. R. (2000). Effective Discharge Calculation: A Practical Guide. P.60. <https://erdc-library.erd.cdrn.mil/jspui/bitstream/11681/2042/1/CHETN-VIII-4.pdf>.
- Buffington, J. M., Woodsmith, R. D., Booth, D. B., & Montgomery, D. R. (2003). Fluvial processes in Puget Sound rivers and the Pacific Northwest. *Restoration of Puget Sound Rivers*, 46–78..
- Burshtynska K., Shevchuk V., Tretyak S., Vekliuk V. (2016). Monitoring of the riverbeds of rivers Dniester and Tisza of the Carpathian region. [XXIII ISPRS Congress, Commission VII. 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic]. Vol. XLI-B7, 177–182. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B7-177-2016>.
- Burshtynska, K., Zayats, I., Halochkin, M., Bakula, K., & Babiy, L. (2023). The Influence of the Main Factors on the Accuracy of Hydrological Modelling of Flooded Lands. *Water (Switzerland)*, 15(18), 3303. ISSN 20734441, <https://doi.org/10.3390/w15183303>
- Burshtynska, Kh. V., Kokhan, S. S., Babushka, A. V., Bubniak, I. M., & Shevchuk, V. M. (2021). Long term hydrological and environmental monitoring of the Stryi River using remote sensing data and GIS technologies. *Journal Geology, Geography Geoecology*, 30(2), 215–230. <https://doi.org/10.15421/112119>.
- Burshtynska, K. V., Babushka, A. V., Bubniak, I. M., Babiy, L. V., Tretyak, S. K. (2019). Influence of geological structures on the nature of riverbed displacements for the rivers of the Dniester basin upper part. *Geodynamics*. 2019, 2 (27), 24–38. <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.024>
- 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>
- Fryirs, K. A. and Brierley, G. J. (2013) Geomorphic Analysis of River Systems: An Approach to Reading the Landscape. *Wiley-Blackwell, Hoboken*. P. 345.
- Grenfell, M. C., Nicholas, A. P., Aalto, R. (2014). Mediative adjustment of river dynamics: The role of chute channels in tropical sand-bed meandering rivers. *Sedimentary Geology*, No. 301, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.06.007>.

- Hooke, J. M. (2006). Hydromorphological adjustment in meandering river systems and the role of flood events. *Sediment dynamics and the Hydromorphology of fluvial systems*. (Proceedings of a symposium held in Dundee. UK. July 2006). IAHS Publ. No. 306, 127–135. <https://iahs.info/uploads/dms/13542.20-127-135-10-306-Hooke.pdf>
- ISOK (Informatyczny System Osiony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami). <http://www.gugik.gov.pl/projekty/isok>
- Janicke S. (2000). Stream channel processes: Fluvial geomorphology. East Perth, W.A. *Water & Rivers Commission Ser. River restoration*. Report. No. 6 p. 1–12.
- Kokhan, S., Dorozhynskyy, O., Burshtynska, K., Vostokov, A., & Drozdovskiy, O. (2020). Improved approach to the development of the crop monitoring system based on the use of multi-source spatial data. *Journal of Ecological Engineering*, 21(7).
- Krzemien, K. (2006). Badania struktury i dynamiki koryt rzek karpaccich. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN*, Kraków. Vol. 4(1), 131–142. <https://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-ca1b887a-5e43-4e47-b27a-0bda7cbf223a>
- Miller, J., Germanoski, D., Waltman, K., Tausch, R., & Chambers, J. (2001). Influence of late Holocene hillslope processes and landforms on modern channel dynamics in upland watersheds of central Nevada. *Geomorphology*, 38(3–4), 373–391. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00106-9](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00106-9)
- Morris, A., Kokhan, S. (2007). Classification of Remotely Sensed Data. Geographic Uncertainty in Environmental Security. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6438-8_14
- Nakapelyukh, M., Bubniak, I., Bubniak, A., Jonckheere, R., & Ratschbacher, L. (2018). Cenozoic structural evolution, thermal history, and erosion of the Ukrainian Carpathians fold-thrust belt. *Tectonophysics*, 722, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.11.009>
- Ostrowski P., Falkowski T., & Utratna-Łukowska M. (2021). The effect of geological channel structures on floodplain morphodynamics of lowland rivers: A case study from the Bug River, Poland” <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105209>.
- Pramanik M. K. (2016). Morphometric Characteristics and Water Resource Management of Tista River Basin Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering*, 5:1. <https://doi.org/10.4172/2325-9647.1000131>
- Starkel, L., Michczynska, D., Gbicka, P., Kiss, T., Panin, A., & Persoiu, I. (2015). Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Europe (60–8 ka cal BP). *Quaternary International*, 388. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.04.017>.
- Watson, A. J., & Basher, L. R. (2006). Stream bank erosion: A review of processes of bank failure, measurement and assessment techniques, and modeling approaches. Landcare ICM. *Report Monitoring of horizontal displacements and changes of the riverine area of the Dniester River*, 15, No. 2005–2006/01. https://icm.landcareresearch.co.nz/knowledgebase/publications/public/ICM_report_bank_erosion.pdf
- Wierzbicki, G., Ostrowski, P., Falkowski, T., & Mazgajski, M. (2018). Geological setting control of flood dynamics in lowland rivers (Poland). *The Science of the total environment*, 636, 367–382. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.250>.
- Zolezzi, G., Luchi, R., & Tubino, M. (2012). Modeling morphodynamic processes in meandering rivers with spatial width variations. *Reviews of Geophysics*, Vol. 50, RG4005. <https://doi.org/10.1029/2012RG000392>.

Khrystyna BURSHTYNSKA¹, Ihor BUBNIAK², Iryna ZAYATS¹, Sophiia BLAZHKO³, Nazar HRYTSKIV¹

¹ Department of photogrammetry and geoinformatics, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, email: khrystyna.v.burshtynska@lpnu.ua, iryna.v.dolynska@lpnu.ua, nazar.z.hrytskiv@lpnu.ua

² Department of engineering geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, email: ihor.m.bubniak@lpnu.ua

³ Statistical Office in Krakow, 3, Kazimierza Wyka str., Krakow, Poland, email: sofia.k.tretiak@lpnu.ua

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL STRUCTURES ON THE CHARACTER OF THE CHANNELS OF RIGHT-BANK TRIBUTARIES OF THE DNIESTER RIVER

The proposed study aims to determine the influence of geological structures on the features of the channels of the largest right-bank tributaries of the Dniester River – the Stryi, Bystrytsia, and Limnytsia rivers. For this purpose, we conducted zoning of the river based on morphometric and hydrological characteristics. Three parts

were identified: mountainous, pre-mountainous area and plain area, which differ significantly in channel properties, their changes over time, and deformation processes. **Objective.**

Based on remote sensing images of various resolutions, the use of historical maps over time, and specialized maps, to investigate the nature of the channels of the right-bank tributaries of the Dniester: Stryi, Limnytsia, and Bystrytsia, from their sources to the estuarine part where they flow into the Dniester River, depending on the geological and lithological features of the surface. The main research methods involve the transformation of various materials from remote sensing, historical, and special maps for the purpose of studying specific phenomena of river processes. The methodology involves the preparation of input materials, including historical topographic maps, geological maps, satellite images, maps and images georeferencing, satellite image processing, river channel vectorization, analysis of river channels depending on geological structures. **Results.** Considering the morphology, valley width, manifestation, and development of channel processes, the Stryi, Bystrytsia, and Limnytsia rivers were categorized into three sections: mountainous, pre-mountainous and plain area with developed accumulative forms. In the mountainous section, all three rivers have single channels, while in the pre-mountainous section, multichannel patterns are observed, which have decreased from the 19th to the 21st century in terms of the width of multichannelity and the number of channels. This indicates a decrease in the flow modulus. For the plain sections of channels with undeveloped accumulative forms, a clear tendency towards dependence of channel type on structural-lithological features is traced. **Originality.** The paper has established the dependence of channel processes of right-bank tributaries of the Dniester River on geological and sedimentological structures of the Skole Beskids and Subcarpathian Depression. **Practical significance.** The results of monitoring channel processes need to be considered in addressing a range of tasks, including the construction of hydraulic structures, designing power transmission networks at river crossings, developing gas pipelines, determining flood zones, assessing the consequences of erosion after floods, land reclamation, establishing water protection zones, managing recreational and border lands, and establishing interstate borders along rivers.

Key words: channel processes; right-bank tributaries; The Dniester River; geological and sedimentological structures; satellite images; Skole Beskids; Precarpathian Depression; multichannelity.

Надійшла 26.02.2024 р.