

Порівняльний аналіз деформації русла річки Прут з використанням ГІС систем

Олександр ЗАКРЕВСЬКИЙ¹  <https://orcid.org/0000-0002-0581-560X>

УДК 551.578.48+528.952

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
кафедра географії України та регіоналістики

Листування – zakrevskyi.oleksandr@chnu.edu.ua

Ключові слова: річка Прут, ГІС, центроїд, русло, меандрування, довжина русла, зміщення русла, геоморфологія, антропогенні фактори, гідрологія

Анотація: У статті аналізуються зміни локальної ділянки русла річки Прут у Чернівецькій та Івано - Франківській області України за період з 1783 по 2021 роки з використанням методів геоінформаційного аналізу (ГІС) у QGIS. Дослідження ґрунтується на порівнянні картографічних даних, включно з довжиною, площею та положенням центроїдів русла, щоб виявити геоморфологічні трансформації, такі як випрямлення, меандрування та зміщення.

Паралельно з аналізом деформації русла досліджували можливі причини, зокрема, вплив кількості опадів у поєднанні з температурою довкілля, що дало змогу оцінити їхню роль у зміні гідрологічного та геоморфологічного режиму річки. Методологія включає обчислення геометричних параметрів, перевірку геометрії та візуалізацію змін з використанням інструментів програмного комплексу QGIS. Результати дослідження мають значення для розуміння гідрологічних та геоморфологічних процесів у регіоні, а також для планування водогосподарських заходів

1. ВСТУП

Річка Прут — одна з найбільших річок даної території Чернівецької та Івано – Франківської області, бере початок на південно-східному схилі гори Говерла, за 15 км на південний захід від села Ворохта, у гірському масиві Лісистих Карпат (Чорногора). Вона впадає в річку Дунай з лівого берега на 164-му кілометрі від гирла, за 0,5 км на південний схід від села Джурджулешти. Річка протікає територією України та Республіки Молдова. Її довжина становить 967 км, а площа водозбору сягає 27 540 км². Загальне падіння річки — 1577 м, середній ухил — 1,63‰, середній зважений ухил — 1,41‰, а коефіцієнт звивистості — 2,10.

Основними правими притоками Пруту є річки Лючка (42 км), Пістинка (57 км), Рибниця (56 км), Черемош (80 км), Дерелуй (34 км), Башеу, Жижія та Єлану-луй. Ліві притоки включають струмок Турка (41 км), річки Чернява (63 км), Белелуя (30 км), Совіца (39 км), Стара Кордонь (33 км), Рингач (42 км), Черлена (36 км), Вілія (50 км), Лопатинка (57 км), Раковець (67 км), Чугур (90 км), Кам'янка (93 км), Гірламаре (40 км), Деля (30 км), Нирнова (49 км), Гура-Лапушна (70 км), Сарата (59 км) і Тигеч (43 км), (Настюк 2010).

Водозбір річки Прут витягнутий із північного заходу на південний схід, має вузьку, асиметричну форму з більш розвиненим правобережжям у верхній і середній частинах. Середня ширина басейну становить близько 51 км. Верхня частина басейну до селища Делятин і правобережна частина до гирла річки Черемош розташовані в межах Лісистих (Східних) Карпат. Ця частина басейну представляє собою ланцюг гір із крутими, місцями прямовисними схилами, сильно розчленованими долинами річок і струмків, де густота яружно-балкової мережі становить 1,0-1,25 км/км² (Ющенко 2019).

Лівобережна частина басейну та інші частини правобережжя лежать на Волинсько-Подільському плато (Покуття). Рельєф цієї частини горбистий, сильно пересічений ярами і балками з густотою яружно-балкової мережі 1,0-1,1 км/км². Пагорби висотою від 15-20 до 60-100 м мають м'які обриси, пологі та помірно круті схили. У пониженнях між пагорбами зрідка зустрічаються невеликі болота й озера.

Частина басейну, розташована в межах Карпат, в основі складена мезозойськими відкладеннями — сланцями та кварцитами, які перекриті зверху флішем (пісковик, глини, мергелі, вапняки) третинного віку та товщею четвертинних елювіальних щебеневих утворень (Паланичко 2010).

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження змін русла річки Прут у межах Чернівецької та Івано – Франківської області України, а саме на ділянці від міста Коломия Івано – Франківської області, до села Мамаївці Чернівецької області. Дослідження базувалося на картографічних і географічних даних за період з 1977 по 2020 роки. Основні матеріали включали, топографічні карти Генштабу СРСР масштабу 1:100 000 за 1977 рік, що містять інформацію про положення, довжину і форму русла річки, (Карти генштабу (з прив'язкою для GPS) 2025).

Сучасні картографічні дані за 2020 рік, отримані на основі супутникових зображень Google Earth (Google earth) і топографічних карт, оброблених у цифровому форматі.

Історичні дані за 1783 і 1861 роки, витягнуті з архівних картографічних матеріалів і наукових публікацій, з уточненням проекції системи координат WGS-87, (Старовинні карти 2025).

Кліматичні дані про кількість опадів і температуру довкілля 1979-2024 роки, отримані з інформаційного інтернет ресурсу (Climate change chernivtsi - meteoblue 2025).

Першим етапом дослідження була побудова векторних шарів, що відображають контури русла річки Прут, на основі картографічних матеріалів за 1977 і 2020 років. Для цього використовувалися методи геоприв'язки та векторизації в програмному забезпеченні QGIS версії 3.32.0-Lima (Spatial without Compromise · QGIS Web Site 2023), які передбачали ручне й автоматичне виділення меж русла з використанням інструментів Polygonize, Raster Calculator і подальшого коригування геометрії через Check Geometry and Fix Geometry.

Надалі проводилося обчислення геометричних центрів (або центрів мас) кожного векторного шару із застосуванням функції Vector > Geometry > Centroids (Zyhar 2024; Zyhar та ін. 2021), що дало змогу визначити середнє розташування ділянок русла та провести аналіз їхніх просторових змін. Формула для координат центру (QGIS resources · QGIS Web Site 2023):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i + x_{i+1}) \cdot (x_i \cdot y_{i+1} - x_{i+1} \cdot y_i)}{6 \cdot A}, \#(1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i + y_{i+1}) \cdot (x_i \cdot y_{i+1} - x_{i+1} \cdot y_i)}{6 \cdot A}, \#(2)$$

де $\mathcal{A}$ - це площа полігону, яка вираховується за формулою:

$$\mathcal{A} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_{i+1} - x_{i+1} \cdot y_i), \#(3)$$

де індекс $i + 1$, означає наступну вершину,

Для наочної демонстрації змін русла річки Прут було створено картографічні матеріали, представлені на рисунках. Мапа Фрідріха фон Міґа 1779 – 1783 років (Рис.1) ілюструє векторні шари контурів русла за 1977 рік, відображаючи їхнє положення, довжину та форму на історичній мапі регіону.

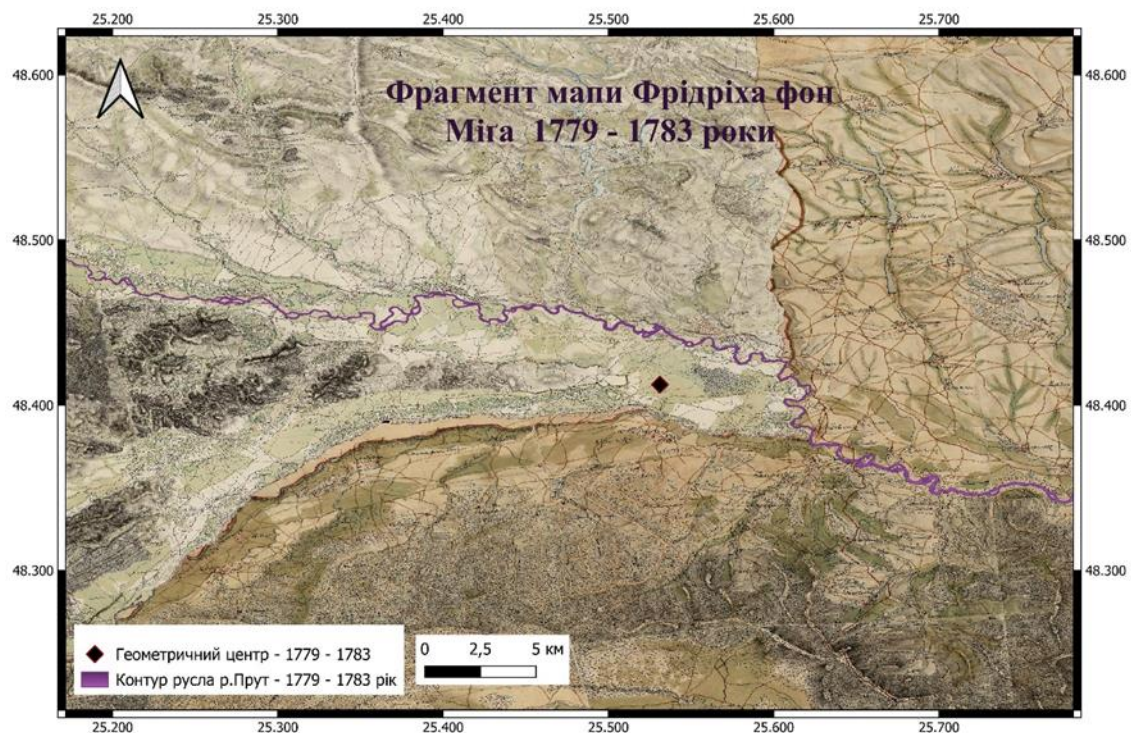


Рис. 1 Фрагмент історичної мапи редакції Фрідріха фон Міґа 1779 – 1783 років



Рис. 2 Фрагмент історичної мапи Галичини та Буковини 1861 – 1864 років

Аналогічний векторний шар створений на фрагментах мап Галичини та Буковини 1861 – 1864 років (Рис.2), генштабу СРСР масштабу 1:100 000 за 1977 рік (Рис.3).

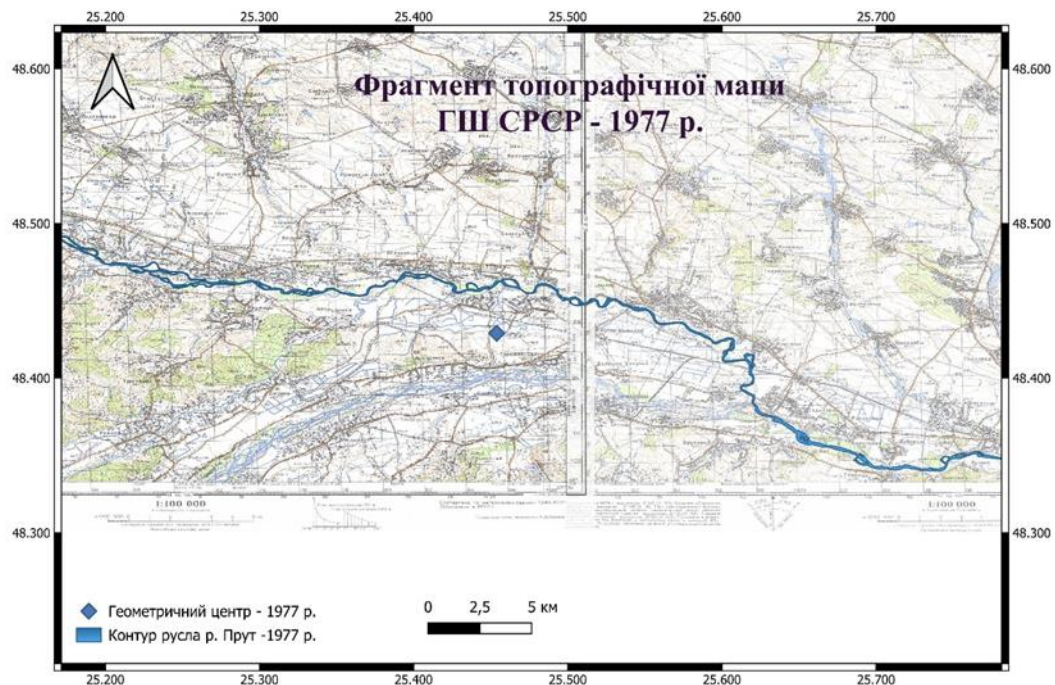


Рис. 3 Фрагмент топографічної мапи Генштабу СРСР масштабу 1:100 000 за 1977 рік

Наступна (Рис.4) мапа відображає сучасний стан русла станом на 2020 - 2021 рік.

О. Закревський

Порівняльний аналіз деформації русла річки Прут з використанням ГІС систем

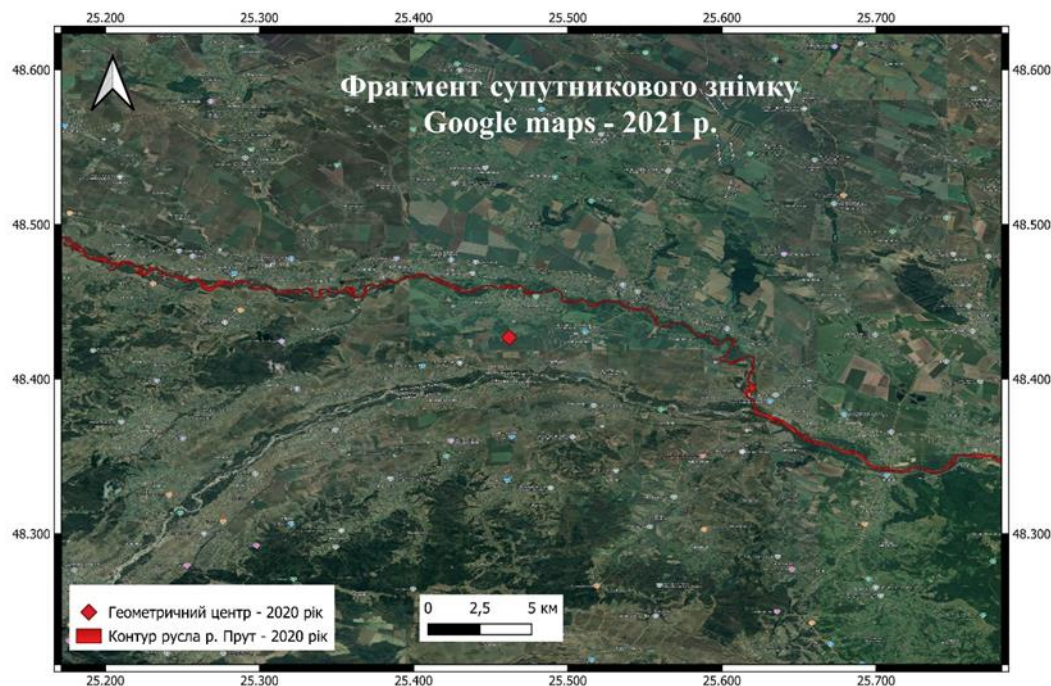


Рис. 4 Фрагмент супутникового знімку 2020 – 2021 рік

Мапи були підготовлені з використанням інструментів стилізації та експорту в QGIS, забезпечуючи високу точність і наочність для інтерпретації результатів.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Під час опрацювання картографічних матеріалів та супутникових знімків встановлено, що геометричні центри (центроїди) векторних шарів, накладених на контури русла річки Прут, за 1783 рік демонструють суттєве зміщення в східному напрямку порівняно з центроїдами, відображеними на мапах за 1861, 1977 і 2020 роки (Рис. 5). Це зміщення чітко відображено в положенні геометричного центру русла, мапи 1783 року, який розташований східніше центроїдів наступних періодів. Таке значне просторове відхилення може вказувати на довготривалі геоморфологічні зміни русла.

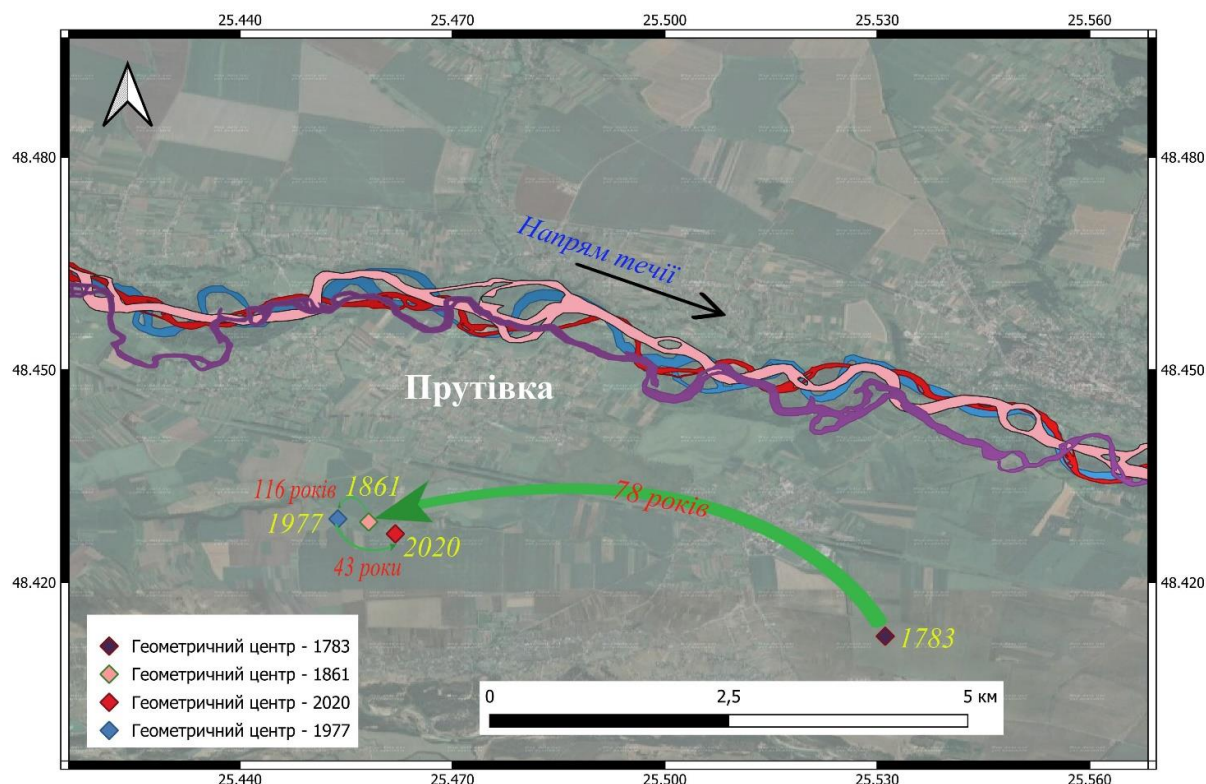


Рис. 5 Геометричні центри (центроїди) векторних шарів, накладених на контури русла річки Прут 1783 – 2020 роки

Значний внесок у формування геометрії русла річки Прут зробила сучасна права притока — річки Рибниця, яка на сьогодні є невеликою річкою з обмеженим стоком. Однак аналіз картографічних матеріалів за 1783 рік виявив, що на місці дельти річки Рибниці на той час відображалася повноводна частина русла річки Прут, що вплинуло на зміщення центру мас геометрії на схід.

Причинами такої різкої зміни напрямку локальної ділянки русла річки Прут, зокрема західного зміщення геометричних центрів (центроїдів) її ділянок, може бути низка факторів. Серед них варто виділити геодинамічні процеси, зокрема землетруси, адже відомо, що протягом XVIII–XIX століть на досліджуваній території, зокрема в межах впливу активної зони гір Вранча, відбулася низка катастрофічних сейсмічних подій. Ці землетруси могли спричинити значні геологічні зрушення, що вплинули на структуру русла та берегів річки. Унаслідок цього геологічний матеріал, активований вивільнений або перерозподілений через такі процеси, був змушений транспортуватися річкою, що призводило до утворення меандрів. Саме ці меандри, посилені ерозією та відкладенням наносів, могли спричинити західне зміщення центроїдів ділянок русла, як це було зафіксовано в аналізі за 1977–2020 роки. Крім того, у зазначений історичний період (XVIII–XIX століття) запруженість гідротехнічними спорудами була значно меншою, що дозволяло природним геодинамічним і гідрологічним процесам діяти без значного антропогенного впливу, сприяючи формуванню складної геометрії русла.

Звісно, методи та технічні засоби картографів XVIII століття не були настільки досконалими в порівнянні з сучасними технологіями, зокрема через обмеження точності вимірювань, масштабів та доступних інструментів, таких як цифрові прилади та ранні геодезичні методи. Проте, як науковці, ми не можемо ігнорувати історичні картографічні

О. Закревський

Порівняльний аналіз деформації русла річки Прут з використанням ГІС систем

матеріали, адже вони надають унікальну інформацію про еволюцію географічних об'єктів, зокрема русла річки Прут, за довготривалий період.

Для якісної оцінки змін русла річки Прут упродовж досліджуваного періоду (1783, 1861, 1977 та 2020 роки) необхідно було провести кількісний аналіз його геометричних параметрів. З цією метою було обчислено площі та довжини русел за кожен із зазначених періодів (Рис.6).

Таблиця 1. Порівняльна таблиця змін довжини та площі русла річки Прут

Рік	Довжина русла разом з меандрами (км)	Відсотки зміни довжина русла	Площа (Га) разом з меандрами	Відсотки зміни площі русла
1783	257	100%	911	100%
1861	252	98%	1413	155%
1977	238	94%	1283	91%
2020	217	91%	794	62%

На основі порівняльної таблиці змін довжини та площі русла річки Прут було побудовано графік залежності площі русла від довжини за період 1783 – 2020 років (Рис. 7).

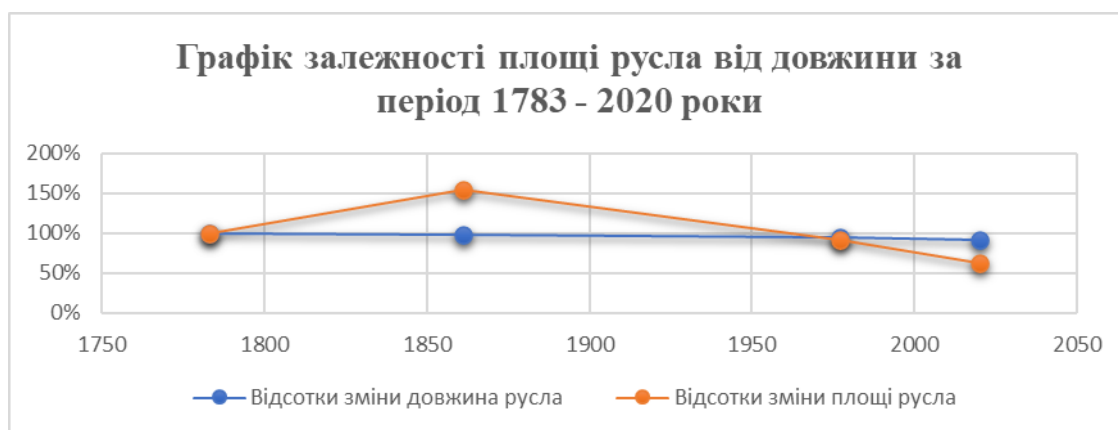


Рис. 6 Графік залежності площі русла від довжини за період 1783 – 2020 років

Аналізуючи графік динаміки довжини русла річки Прут за період 1783, 1861, 1977 і 2020 років, можна спостерігати чітку тенденцію до зменшення довжини русла до 2020 року, коли вона скоротилася до 91% м порівняно з 94% у 1977 році. Це зменшення на 3% свідчить про ймовірне прагнення русла до спрямлення, що може бути пов'язане з природними геоморфологічними процесами, такими як ерозія перешийків меандрів, або антропогенними факторами, зокрема меліоративними роботами чи гідротехнічним втручанням у басейні річки. Таке спрямлення відображає тенденцію до скорочення довжини русла шляхом усунення його вигинів, що підтверджується також зменшенням площі русла.

Ще одним із ключових факторів, що впливають на трансформацію русла річки Прут, є зміни клімату. За даними Міжнародного моніторингового центру Meteoblue — метеорологічної служби, створеної при Базельському університеті, Швейцарія ([Climate change chernivtsi - meteoblue 2025](#)), за період з 1979 по 2020 роки спостерігається підвищення середньої температури повітря на 2,9 °C (Рис. 8). Це підвищення, у свою чергу, впливає на вязкість води в річці: зі збільшенням температури води її вязкість зменшується, що знижує силу тертя, що чинить опір перенесенню зважених речовин, зокрема продуктів вивітрювання

О. Закревський

Порівняльний аналіз деформації русла річки Прут з використанням ГІС систем

гірської породи. Через недостатність сил для подолання та просування мас ґрунту річка прагне "зрізати" шлях, прориваючи меандри та залишаючи позаду стариці. Цей процес сприяє спрямленню русла, що узгоджується з виявленим скороченням його довжини.

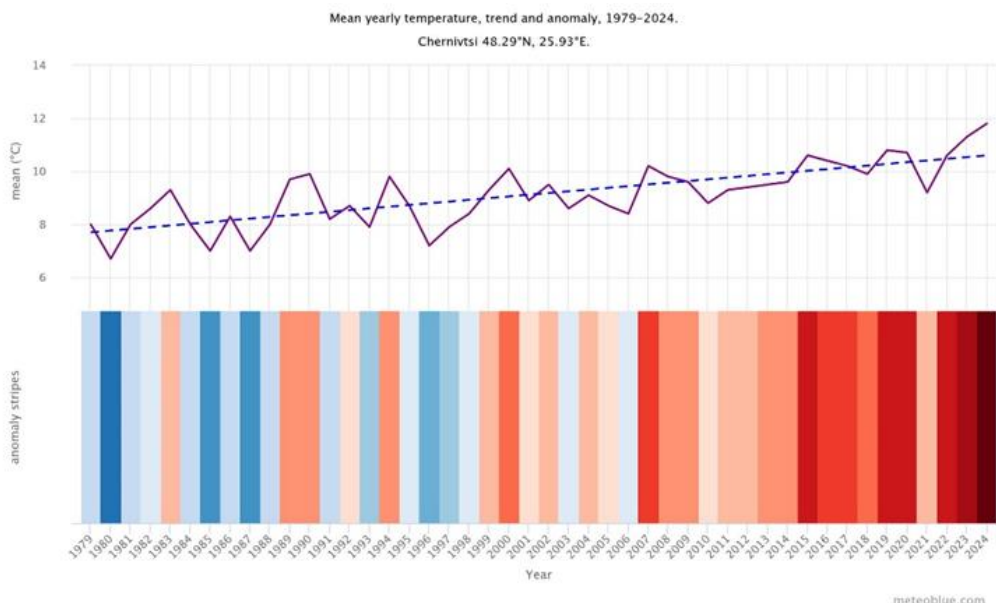


Рис. 7 Графік зміни температури повітря за період 1979 – 2024 рік

У підтвердження цього факту аналіз даних Meteoblue показав, що середня кількість опадів у басейні річки Прут за період 1979–2020 років знизилася з 695,5 мм до 642,3 мм. Оцінюючи загальну кількість опадів, включаючи сніг і дощ, за 45 років спостережень, їхнє зменшення склало 53,2 л/м² площі водозбору річки Прут (Рис. 9).

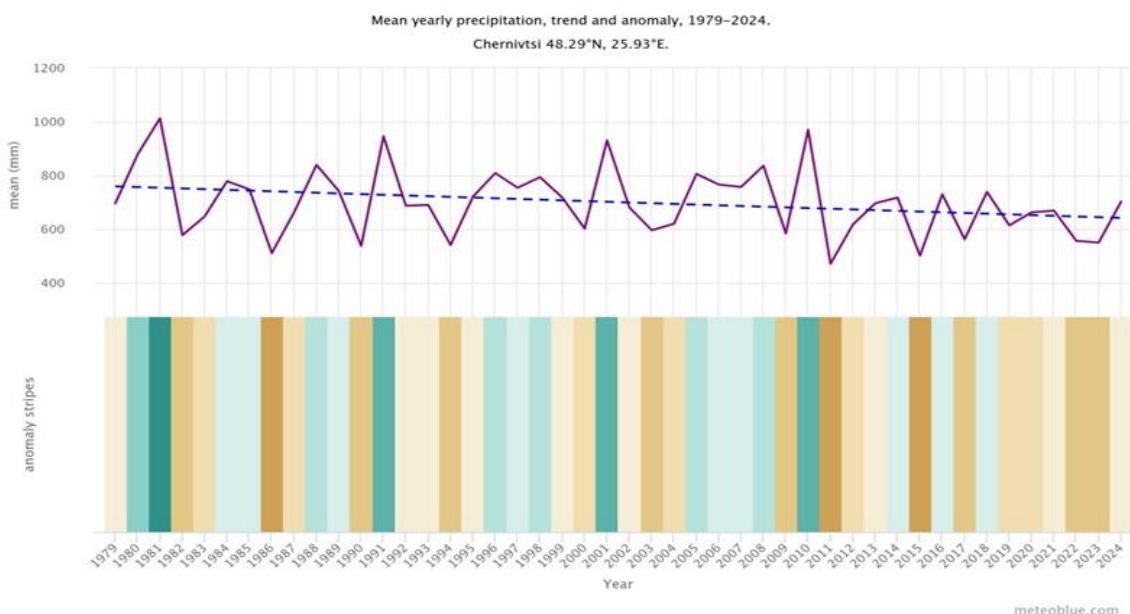


Рис. 8 Графік зміни кількості опадів м. Чернівці за період 1979 – 2024 рік

Зменшення опадів, у поєднанні з підвищенням температури, могло призвести до зниження стоку, що, у свою чергу, вплинуло на гідрологічний режим річки.

4. ВИСНОВКИ

О. Закревський

Порівняльний аналіз деформації русла річки Прут з використанням ГІС систем

Під час опрацювання картографічних матеріалів та супутникових знімків встановлено, що геометричні центри (центроїди) векторних шарів, накладених на контури русла річки Прут, за 1783 рік демонструють суттєве зміщення в східному напрямку порівняно з центроїдами, відображеними на картах за 1861, 1977 і 2020 роки. Це зміщення чітко відображено в положенні геометричного центру русла, мапи 1783 року, який розташований східніше центроїдів наступних періодів. Таке значне просторове відхилення може вказувати на довготривалі геоморфологічні зміни русла, пов'язані з природними.

Причинами такої різкої зміни напрямку локальної ділянки русла річки Прут, зокрема західного зміщення геометричних центрів (центроїдів) її ділянок за 1977–2020 роки, може бути низка факторів. Серед них варто виділити геодинамічні процеси, зокрема землетруси. Ці землетруси потенційно могли спричинити значні геологічні зрушення, що вплинули на структуру русла та берегів річки. Унаслідок цього геологічний матеріал, активовано вивільнений або перерозподілений через такі процеси, був змушений транспортуватися річкою, що призводило до утворення меандрів. Саме ці меандри, посилені ерозією та відкладенням наносів, могли спричинити західне зміщення центроїдів ділянок русла, як це було проілюстровано в аналізі.

Для якісної оцінки змін русла річки Прут упродовж досліджуваного періоду (1783, 1861, 1977 та 2020 роки) було проведено кількісний аналіз його геометричних параметрів. З цією метою обчислено площі та довжини русел за кожен із зазначених періодів із використанням геоінформаційних інструментів QGIS.

На основі порівняльної таблиці змін довжини та площі русла річки Прут побудовано графік залежності площі від довжини за період 1783–2020 років. Аналізуючи графік динаміки довжини русла за цей період, можна спостерігати чітку тенденцію до її зменшення до 2020 року, коли довжина скоротилася до 91% (94% у 1977 році). Це зменшення на 4% свідчить про ймовірне прагнення русла до спрямлення, що може бути пов'язане з природними геоморфологічними процесами, такими як ерозія перешийків меандрів, або антропогенними факторами, зокрема меліоративними роботами чи гідротехнічним втручанням у басейні річки.

Ще одним із ключових факторів, що впливають на трансформацію русла річки Прут, є зміни клімату. За даними Міжнародного моніторингового центру, за період з 1979 по 2020 роки спостерігається підвищення середньої температури повітря на 2,9 °C.

Це підвищення, у свою чергу, впливає на вязкість води в річці: зі збільшенням температури води її вязкість зменшується, що знижує силу тертя, що чинить опір перенесенню зважених речовин, зокрема продуктів вивітрювання гірської породи. Через недостатність сил для подолання та просування мас ґрунту річка прагне "зрізати" шлях, прориваючи меандри та залишаючи позаду стариці. Цей процес сприяє спрямленню русла, що узгоджується з виявленим скороченням його довжини. У підтвердження цього факту аналіз даних Meteoblue показав, що середня кількість опадів у басейні річки Прут за період 1979–2020 років знизилася з 695,5 мм до 642,3 мм.

Оцінюючи загальну кількість опадів, включаючи сніг і дощ, за 45 років спостережень, їхнє зменшення склало 53,2 л/м². Зменшення опадів у поєднанні з підвищенням температури могло призвести до зниження стоку, що, у свою чергу, вплинуло на гідрологічний режим річки.

Отримані результати мають важливе значення для розуміння гідрологічних і геоморфологічних процесів у басейні річки Прут, а також для планування водогосподарських заходів у Чернівецькій області з урахуванням природних і антропогенних факторів.

5. ПОДЯКИ

Зигарю Андрію Володимировичу провідному інженеру, Департаменту ремонтів, гідротехнічного відділу, апарату управління ПрАТ «Укргідроенерго».

О. Закревський

Порівняльний аналіз деформації русла річки Прут з використанням ГІС систем

ЛІТЕРАТУРА

1. **Настюк, М. Г.** (2010). Деякі особливості руслоформування річок басейнів Прута і Сірету за даними експедиційних досліджень та гідрологічних спостережень. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 4((21)), 41–49. [Nastiuk, M. H. (2010). Deiaiki osoblyvosti rusloformuvannia richok baseiniv Pruta i Siretu za danymy ekspedytsiinykh doslidzhen ta hidrolohichnykh sposterezhen. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 4((21)), 41–49.]
2. **Паланичко, О. В.** (2010). *Закономірності руслоформування річок Передкарпаття* [Неопубл. автореф. дис. канд. геогр. наук]. КНУТШ.
3. **Ющенко, Ю. С.** (2019). Інтегроване басейново-просторове планування. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, (3 (54)), 91–93. [Iushchenko, Yu. S. (2019). Intehrovane baseinovo-prostorove planuvannia. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, (3 (54)), 91–93]
4. **Zyhar, A.** (2024). The practical aspects of remote land sensing study of the causes of water penetration on ground hydraulic structures. *Scientific Herald of Chernivtsi University. Geography*, (847), 23–33. <https://doi.org/10.31861/geo.2024.847.23-33>
5. **Zyhar, A., Savchyn, I., Yushchenko, Y., & Zakrevskyi, O.** (2021). Evaluation of changes in rock characteristics based on analysis and interpretation of seismicacoustic observations in the area of the natural and technical system of Dnister PSPP. *У International conference of young professionals «geoterrace-2021»*. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215k3008>

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

6. **Google earth.** (2025). Google Earth. - [Джерело](#)
7. **Карти генштабу** (з прив'язкою для GPS). (б. д.). Старовинні карти. [Karty henshtabu (z pryviazkoiu dlia GPS). (b. d.). - [Джерело](#)
8. **Старовинні карти.** (2025). Старовинні карти. - [Джерело](#)
9. **Climate change chernivtsi - meteoblue.** (2025). meteoblue. - [Джерело](#)
10. **Spatial without Compromise · QGIS Web Site.** (2023) Spatial without Compromise · QGIS Web Site. - [Джерело](#)
11. **Spatial without Compromise · QGIS Web Site.** (2023). Spatial without Compromise · QGIS Web Site. - [Джерело](#)

O.Zakrevsky

Comparative analysis of the deformation of the Prut River bed using GIS systems

Keywords: Prut River, GIS, centroid, channel, meandering, riverbed extent, channel displacement, geomorphology, anthropogenic factors, hydrology.

Abstract: This article analyses the changes in the local section of the Prut River basin in the Chernivtsi and Ivano-Frankivsk regions of Ukraine for the period from 1783 to 2021 using geographic information system (GIS) methods in QGIS. The research is based on a comparison of cartographic data, including the length, area and position of the channel centroids, to identify geomorphological transformations such as straightening, meandering and displacement.

In tandem with the analysis of channel deformation, possible causes were investigated, including the impact of precipitation in combination with ambient temperature, to assess their role in changing the hydrological and geomorphological regime of the river. The methodology includes the calculation of geometric parameters, geometry verification, and visualisation of changes using the tools of the QGIS software package. Results of the study are important for understanding hydrological and geomorphological processes in the region, as well as for planning water management measures.