

DOI: [10.30970/gpc.2026.1.5207](https://doi.org/10.30970/gpc.2026.1.5207); УДК 551.435.1:504.064.3

## Сезонна та багаторічна динаміка витрат і гранулометричного складу завислих наносів річки Бистриця (Львівська область)

Ольга Пилипович<sup>1\*</sup> (orcid.org/0000-0002-7972-9202), Андрій Михнович<sup>1</sup> (orcid.org/0000-0003-3907-5491), Тетяна Павловська<sup>2</sup> (orcid.org/0000-0003-4931-0803), Іван Ковальчук (orcid.org/0000-0002-2164-1259)

<sup>1</sup> Львівський Національний університет імені Івана Франка,

<sup>2</sup> Волинський Національний університет імені Лесі Українки, Луцьк,

<sup>3</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

\* olha.pylypovych@gmail.com

**Анотація.** В умовах сучасних кліматичних змін і зростаючого антропогенного навантаження закономірно відбуваються зміни у механізмах формування і транспортування річкових наносів. Метою дослідження є виявлення тенденцій, масштабів, інтенсивності довготермінових змін стоку наносів та їхнього гранулометричного складу у багаторічному і сезонному аспектах з окресленням порушень природних закономірностей і можливого впливу на них сторонніх чинників. Об'єктом вивчення є правобережний доплив Дністра у Львівській області — річка Бистриця. Дослідження виконано географічними методами із залученням низки математичних і статистичних методів: стаціонарних і напівстаціонарних спостережень, польових обстежень, статистичного і кореляційного аналізів, моделювання, графопобудов тощо. Базовим матеріалом для дослідження стали дані моніторингових спостережень на гідропості Бистриця (Озимина).

За результатами виконаних досліджень встановлено стійку тенденцію до зростання середньорічного стоку наносів з виражено циклічним характером. Найінтенсивніше збільшився стік наносів у зимові місяці, натомість найменших змін зазнали осінні. Підтвержені суттєві непропорційні відмінності між ходом стоку води і наносів, взаємозв'язки між якими хоч і оцінюються коефіцієнтом кореляції 0,64, проте мають нелінійний характер. Встановлений суттєвий вплив водності року і фази гідрологічного режиму на гранулометричний склад завислих наносів. За проаналізований період часу виявлено тенденцію до збільшення стабільності розподілу наносів за фракціями, що можна вважати наслідком поступового згладжування сезонних коливань у розподілі наносів. Останнє, ймовірно, пояснюється поступовим заростанням колишніх сільськогосподарських угідь у басейні і збільшення його лісистості. На основі отриманих результатів здійснено орієнтовну оцінку потенціалу акумуляції наносів у нижче розташованому водосховищі Новошицької малої ГЕС. Отримані станом на сьогодні результати і перспективи подальших досліджень засвідчують важливість і необхідність урахування наносного режиму під час оцінки тривалої експлуатації водосховища та прогнозування його екологічного стану.

Результати досліджень дозволили зробити низку припущень щодо домінування тих чи інших чинників у проявах виявлених змін та залежностей, однак встановлення рівня впливу різних чинників на тісноту кореляції потребує окремого детального вивчення.



**Ключові слова:** завислі наноси; стік наносів; стік води; денудація; гранулометричний склад; річковий басейн; мала гідроенергетика; математичні методи.

## Seasonal and long-term dynamics of the suspended sediments runoff and granulometric composition in the Bystrytsia River (Lviv region)

**Olha Pylypovych**<sup>1\*</sup> (orcid.org/0000-0002-7972-9202), **Andriy Mykhnovych**<sup>1</sup> (orcid.org/0000-0003-3907-5491), **Tetiana Pavlovska**<sup>2</sup> (orcid.org/0000-0003-4931-0803), **Ivan Kovalchuk**<sup>2</sup> (orcid.org/0000-0002-2164-1259),

<sup>1</sup>*Ivan Franko National University of Lviv,*

<sup>2</sup>*Lesia Ukrainka Volyn National University, Luts'k,*

<sup>3</sup>*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv*

\* olha.pylypovych@gmail.com

**Summary.** In the conditions of recent climatic change and raising anthropogenic pressure, the changes of river sediments forming and transporting mechanisms are observed. The aim of research is ascertaining of the trends, scales, intensity of the long-term changes in suspended sediments runoff regime and their granulometric composition as well in yearly and seasonal aspects, determining some regularities and possible causes of these changes. The study site is the right tributary of the Dnister River in Lviv region — Bystrytsia. The investigations were realized applying geographic, statistical and mathematical methods: stationary and semi-stationary observations, field investigations, statistical and correlation analyses, GIS-modelling, graphs building and others. The basic study materials were hydro-meteorological monitoring data of Bystrytsia (Ozymyna) gauging station.

As the result of the research the stable tendency to increasing of mean annual suspended sediments runoff with clearly reflected cyclic character of the dynamics has been ascertained. The most intensive increasing of the sediments runoff is characteristic for winter season months. The weakest changes are typical in autumn months. The noticeable non-proportional differences between the water discharge and suspended sediments runoff dynamics have been revealed. Although the correlation coefficient is 0.64 the relations have non-linear character. The mean year water runoff and the hydrological regime phase have the noticeable impact on the granulometric composition of the suspended sediments. The tendency to increasing of the stability of particle size fractions distribution by the portion during the analyzed period has been ascertained. Possibly, it can be explained by gradual smoothing of the seasonal fluctuations in the sediments runoff dynamics for a long period. Such smoothing, probably, can be caused by slow gradual overgrowth by former agricultural lands and increasing forestry due to succession processes. On the base of achieved results, the indicative assessment of the potential accumulation of sediments in the lower situated water reservoir of the small hydropower plant near Novoshychi village has been don. Achieved results and the future achievements of continued investigations can testify about importance and necessity of taking into account the sediments runoff regime by evaluation of long-term functioning of water reservoir and prediction of its ecological state in the nearest future.

The achieved results made possible also to make some assumptions concerning domination of those or others factors in the detected changes and regularities developing. However, the impact level of particular role of a separate factor can be ascertained on the base of more detail quantitative analysis only.

**Key words:** suspended sediments, sediments runoff, water discharge, denudation, granulometric composition, river basin, small hydropower plant, mathematical methods, statistical analysis.

**Вступ.** Завислі наноси є одним із важливих елементів річкового стоку, який відображає інтенсивність ерозійних процесів у межах водозбірного басейну, характер руслових процесів, морфологічні характеристики русла, а опосередковано може свідчити про рівень антропогенного навантаження на басейнову систему, геологічну будову, характер рослинного покриву тощо. Динаміка стоку завислих наносів та їхній гранулометричний склад тісно пов'язані зі змінами гідрологічного режиму річки, морфології, кліматичних умов, рослинного покриву. Саме тому дослідження стоку наносів мають важливе значення у контексті оцінки геоecологічного стану річково-басейнових систем.

В умовах сучасних кліматичних змін, що проявляються у зміні режиму опадів, зростанні частоти прояву та рівня екстремальності гідрометеорологічних явищ, підвищенні температур повітря та скороченні тривалості льодоставу (Balabukh et al., 2018), спостерігається закономірна поступова трансформація механізмів формування стоку і транспорту наносів. Особливо чутливими до таких змін є річки Карпатського регіону, для яких характерні значні ухили схилів, наявність піддатливих до ерозії відкладів, виражений паводковий режим стоку, інтенсивні ерозійно-акумулятивні процеси (Ковальчук, 1997; Ковальчук та ін., 2008; Пилипович, Ковальчук, 2017; Goudie, 2020; Cendrero et al., 2022).

З іншого боку, інтенсивна ерозія і хімічне вивітрювання силікатних мінералів у межах карпатських басейнів сприяють поглинанню атмосферного CO<sub>2</sub>, що робить ці процеси придатними для довгострокової стабілізації клімату. За таких умов математичний аналіз рядів даних багаторічних спостережень за витратами завислих наносів дозволяє виявити як певні сезонні закономірності, так і з більшою чи меншою ймовірністю окреслити довгострокові тенденції змін твердого стоку, а також оцінити потенційний внесок транзитної денудації річкових басейнів у регулювання глобального вуглецевого балансу (Larsen et al., 2014; Owens, 2020).

**Об'єктом** досліджень є басейн річки Бистриця (зазначеної у водному кадастрі під назвою Бистриця Тисменицька, відомої у науковій літературі як Бистриця Підбузька) до місця розташування гідрологічного поста Озимина. На відміну від Бистриці, що протікає у Тисменицькому районі Івано-Франківщини, досліджувана річка розташована у межах Львівської області, протікає через селище Підбуж і є правим допливом річки Дністер. Басейн Бистриці розташований у межах двох геоморфологічних областей: верхня частина – в межах Підбузького підрайону геоморфологічного району Верхньодністерські Бескиди області Скибових Карпат, а нижня частина – в межах району Дрогобицької денудаційно-акумулятивної височини області Передкарпаття (Кравчук, 2005).

Спостереження за витратами та гранулометричним складом завислих наносів у річці здійснюються з 1958 року на пункті гідрометеорологічного моніторингу с. Озимина. Спостереження за стоком води розпочаті у 1956 р. Площа водозбору до моніторингового гідроствору Озимина становить 206 км<sup>2</sup>, а довжина річки до вказаного гідропоста становить 38 км. Середній похил річки – 9,1 ‰, похил

басейну – 152 % (Пилипович та ін., 2024а). В межах досліджуваного водозбору домінують дернові середньо- та сильно-опідзолені ґрунти.

Бистриця є типовою річкою Карпат та Передкарпаття, басейн якої зазнає суттєвого антропогенного впливу, зокрема внаслідок сільськогосподарського освоєння, вирубування лісів і змін лісового покриву, порушення умов землекористування у межах прибережно-захисних смуг та локальних розробок заплавно-руслових кар'єрів з видобутком гравійно-галькової суміші (Ковальчук та ін., 2010; Olago, 2022; Пилипович та ін., 2024; Пилипович, Ковальчук, 2024). Доволі значна кількість наукових публікацій останніх років, присвячених різнобічному і багатоаспектному вивченню особливостей і закономірностей походження, розвитку, функціонування, господарського освоєння, екологічного оцінювання, природоохоронної і процесо-регулювальної діяльності у басейні Бистриці (Сельський, Ковальська, 2007; Романчук, Нагаєва, 2020; Pylypovych et al., 2023; Койнова, Рожко, 2024; Пилипович та ін., 2024а,б; Бонішко та ін., 2024; Яцишин, 2016, 2024; Байрак, 2024; Burshtynska et al., 2024; Kruhlov et al., 2024 та ін.) у поєднанні з наявністю тривалого ряду гідрометеорологічних спостережень у пункті с. Озимина створює передумови для кількісного аналізу довготермінових змін режиму стоку наносів і зіставлення цих змін з динамікою стоку води та режимом випадання атмосферних опадів. Наявність для гідропоста Озимина доволі тривалих рядів даних щодо гранулометричного складу наносів дає змогу узгоджувати виявлені взаємозалежності між параметрами стоку води і наносів, гранулометричним складом і процесами акумуляції у руслі, а також порівнювати їх з результатами інших дослідників (Ющенко та ін., 2010; Давидов, Муркалов, 2023). Додаткову наукову й практичну цінність має вивчення гранулометричного складу наносів ще й тому, що він залежить від гідродинамічних умов водного потоку, визначає процеси осідання твердого матеріалу, а отже — замулення русел, ставків і водосховищ, чим впливає і на ерозійно-акумулятивні процеси в руслі, і на якість води у водоймах.

Отже, дослідження сезонної та багаторічної динаміки стоку і гранулометричного складу завислих наносів річки Бистриця є актуальним та необхідним для поглиблення уявлень про сучасні тенденції розвитку і функціонування інших річкових систем Карпат та Передкарпаття.

Отже, *метою* дослідження є виявлення тенденцій, масштабів, інтенсивності довготермінових змін стоку наносів та їхнього гранулометричного складу у досліджуваному басейні в багаторічному і сезонному аспектах з окресленням порушень природної циклічності і можливого впливу на них сторонніх чинників. Зокрема, потребували виконання такі *завдання*:

- 1) виокремлення тенденцій і масштабів багаторічних змін у ході середньорічних витрат наносів;
- 2) оцінка циклічності, варіабельності і стабільності багаторічних змін;
- 3) аналіз внутрішньо-сезонного розподілу стоку наносів і багаторічні тенденції і масштаби змін стоку наносів за місяцями;
- 4) кількісна оцінка тісноти кореляційних зв'язків між показниками стоку води і стоку наносів;
- 5) характеристика змін гранулометричного складу наносів у багаторічному і сезонному вимірах;

- б) окреслення місця і практичного значення досліджень режиму стоку наносів у забезпеченні функціонування Новошицького водосховища і прогнозуванні змін його екологічного стану.

**Методика досліджень.** Для вивчення та аналізу динаміки процесів транзитної денудації, вираженої стоком наносів, застосовують комплекс взаємодоповнювальних методів, зокрема: методи стаціонарних та напівстаціонарних спостережень, експериментальні дослідження, статистичний аналіз рядів даних гідрологічних спостережень, порівняльний і кореляційний аналіз, ГІС-моделювання.

Інформаційним матеріалом для досліджень слугували багаторічні ряди даних гідрометеорологічного моніторингу, що відображають режим стоку води і наносів у межах річкового басейну Бистриці (Озимина). Зокрема, проаналізовано дані спостережень за стоком води і завислих наносів, та за гранулометричним складом завислих наносів, отримані установами Українського гідрометеорологічного центру, а також матеріали Дністерського басейнового управління водних ресурсів. Аналізом охоплений період 1958–2024 рр. щодо стоку наносів, а також 2000–2023 рр. — щодо їхнього гранулометричного складу. Крім цього, в дослідженні використані результати польових обстежень річкової системи Бистриці впродовж 2024–2025 рр.

Основним способом вимірювання стоку завислих наносів є відбір проб і вимірювання швидкостей течії на двох точках вертикалі: на глибинах 0,2 м та 0,8 м. Проби брали спеціальними приладами — батометрами-пляшками (моделі ГР-15М). Взяті проби води надсилали для подальшого аналізу до гідрометричної лабораторії, де визначали кількість завислих наносів (твердих частинок) в одиниці об'єму води, або каламутність потоку у  $\text{г/м}^3$ . Каламутність потоку є базовим показником для розрахунку інших показників стоку: витрат завислих наносів і модуля стоку завислих наносів. Витрата завислих наносів (твердий стік) — це маса завислих наносів, що проходить через поперечний переріз потоку за одиницю часу. Її обчислюють за формулою (Ющенко, 2023):

$$Q_s = Q_w \rho_s,$$

де:  $Q_s$  — витрата наносів ( $\text{кг/с}$ );

$Q_w$  — витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$\rho_s$  — каламутність стоку ( $\text{г/м}^3$ ).

Виміряну каламутність у  $\text{г/м}^3$  переводили у  $\text{кг/м}^3$  і з урахуванням визначеної швидкості потоку отримували показник витрати завислих наносів у  $\text{кг/с}$ . Для отримання порівнюваних показників для річкових басейнів різної площі витрату наносів переводять у модуль стоку наносів, що характеризує величину стоку з одиниці площі за одиницю часу.

Каламутність водного потоку вимірюють один раз на декаду (Екологічний..., 2009). Відповідні обчислені показники витрати наносів стають основою для розрахунків середньомісячних витрат завислих наносів.

Розраховані у такий спосіб показники мають важливе екологічне значення, оскільки пов'язані як з інтенсивністю ерозійно-аккумулятивних процесів у руслі річки, так і з масштабами транзитної денудації у всьому річковому басейні, а також з якістю води у руслі і руслових водоймах.

Щодо даних, які використано під час дослідження гранулометричного складу завислих наносів Бистриці, зазначимо, що вони отримані та опрацьовані

структурами колишнього Укргідрометцентру й опубліковані у регулярних щорічниках. Проби для визначення гранулометричного складу завислих наносів брали батометром-пляшкою у різні фази гідрологічного режиму на облікових вертикалях. За одне вимірювання проби зливали в одну ємність і надсилали в лабораторію на аналіз. Виділення окремих фракцій завислих наносів виконували у лабораторних умовах за прийнятою градацією, виходячи з гідравлічного розміру часточки (швидкістю осідання за температури 15°C у мм/с).

База даних про гранулометричний склад завислих наносів за 1991–2022 рр. сформована у програмі MS Office Excel і проаналізована статистично на предмет середніх, максимальних і мінімальних показників, неоднорідності даних. Вивчення гранулометричного складу завислих річкових наносів у контексті розвитку флювіальних процесів спиралося на апробовані методики (Walling & Moorehead, 1989). Для визначення багаторічних тенденцій зміни частки різних фракцій будували та аналізували графіки багаторічної динаміки показників. Для оцінки нестабільності величини частки фракції визначали кратність перевищення максимальної величини над мінімальною впродовж одного року. Побудовою графіків багаторічної динаміки визначали тренди багаторічних змін. Приуроченість певного відсоткового розподілу часток фракцій визначали візуально способом побудови зведеної гістограми розподілу для різних фаз гідрологічного режиму. З об'єктивних причин у базі відсутні дані спостережень за 2001 рік. Дані за 2014 та 2016 рр. вилучили з аналізу як такі, що не пройшли верифікацію за критерієм однорідності / статистичної значущості. Дані за 2015 рік не аналізували статистично з огляду на наявний лише один показник.

**Результати та їхнє обговорення. Багаторічний режим стоку наносів.** Згідно з виконаними статистичними розрахунками даних систематичних гідрометеорологічних спостережень середньо-багаторічна витрата завислих наносів у р. Бистриця Тисменицька (с. Озимина) за весь період спостережень (1958–2023) становить 0,90 кг/с. Розклавши цей показник за однаковими 20-річними періодами, визначили послідовні його величини за роками: 1964–1983 — 0,79; 1984–2003 — 1,08; 2004–2023 — 1,12. Як бачимо, ці дані підтверджують отримані багатьма дослідниками результати: найінтенсивніше збільшення стоку води і наносів у річках заходу України відбувалось у 1980-х роках і пов'язують це збільшення з інтенсифікацією господарського освоєння басейнів, що не оминуло Бистрицю, як зазначалось у попередніх працях (Пилипович та ін., 2024). Циклічність змін стоку наносів і характеристику етапів проаналізовано нижче.

Максимальні показники витрат завислих наносів спостерігають здебільшого у час літніх паводків, зрідка — під час весняної повені. Наприклад, у червні 1998 р. під час видатного паводку витрата завислих наносів становила 730 кг/с (максимальна добова витрата завислих наносів за весь період спостережень). В інші роки максимальні добові витрати завислих наносів під час паводків становили 580 кг/с (липень 2008 р.), 550 кг/с (березень 2006 р.), 190 кг/с (березень 2018 р.).

При цьому простежуємо суттєву різницю у величині стоку наносів багатоводних і маловодних років. У багатоводні роки середні місячні витрати завислих наносів сягають значно вищих значень: наприклад, у 2008 році вони перевищували показники маловодного 2015 року у понад 100 разів (рис. 1).

Проаналізовано зв'язки витрат завислих наносів з сумами опадів та витратами води за 2003–2023 рр. Результати вказують на тісну позитивну кореляцію між усіма трьома параметрами.



Рис. 1. Середньомісячні витрати завислих наносів для багатоводного 2008 р. та маловодного 2015 р.

Fig. 1. Mean monthly suspended sediments runoff in the abundant in water year 2008 and the low in water year 2015

Кореляційним аналізом встановлено, що здебільшого, за високих показників сум опадів та витрат води відбувається значне, дуже часто непропорційне збільшення показника витрати завислих наносів. Водночас, помітний нелінійний характер зв'язків, коли незначне збільшення витрат води може спричинити значно більший стрибок витрат завислих наносів, на основі чого можемо припустити, що інтенсивність ерозії залежить не тільки від суми опадів, а й від їхньої інтенсивності, охопленої площі, тривалості, насиченості водою ґрунту, шляхів потрапляння поверхневого стоку з продуктами площинного змиву безпосередньо у русло, або потрапляння у русло тимчасових водотоків ярів.

Аналіз рядів моніторингових даних, а також результати попередніх досліджень (Ковальчук та ін., 2010; Obodovskyi et al., 2022; Пилипович, Ковальчук, 2024; Пилипович та ін., 2024a,б) може засвідчити, що основна частина річного обсягу стоку наносів переноситься під час коротких інтенсивних одно- або багатопікових паводків, коли основна частина витрат води проходить у межах русла. І навпаки, іноді доволі високі витрати води не супроводжуються пропорційно високими витратами наносів (наприклад, пізньої осені або взимку), що, можливо, пов'язано з помітно меншим проявом ерозійних процесів у ці періоди.

Відсутність щоденних спостережень за стоком наносів ускладнює кореляційний і факторний аналіз, синхронні побудови з динамікою стоку води та атмосферних опадів. Довести вплив на формування стоку наносів інших чинників, окрім стоку води і атмосферних опадів можна, якщо узгодити ряди вимірних, а не усереднених показників, і проаналізувати їхні коефіцієнти кореляції, що стане предметом наступного дослідження.

Для характеристики довготермінового ходу стоку наносів, тенденцій його змін і циклічності поглянемо на суміщені графіки середньорічних показників стоку води і наносів за весь досліджуваний період — впродовж 1958–2023 рр. (рис. 2). На рисунку 2 представлено хід модуля стоку наносів, який є прямим відображенням витрати наносів, лише обчислений для одиниці площі для зручності порівняння з іншими річковими басейнами.

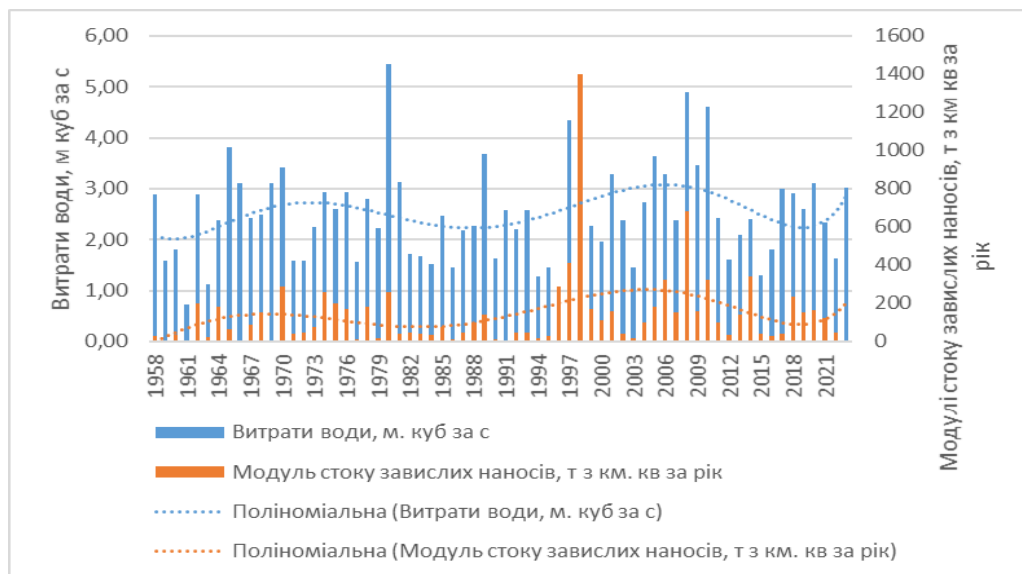


Рис. 2. Багаторічна динаміка витрат води та модулів стоку завислих наносів (побудовано за даними Львівського регіонального центру з гідрометеорології)  
Fig. 2. Long-term dynamics of the water discharge and suspended sediments runoff modules (according to the data of Lviv Regional Centre on Hydrometeorology)

У басейні Бистриці середньобогаторічне значення модуля стоку завислих наносів становить  $150 \text{ т/км}^2$  за рік, що є достатньо високим показником, порівняно з іншими річковими басейнами карпатської частини Дністра. Зокрема, для басейну р. Орява (Святослав), який за площею є аналогічним басейну Бистриці, значення цього показника становить лише  $64 \text{ т/км}^2$  за рік. Детальний порівняльний аналіз обидвох річок верхньої частини сточища Дністра нами наведено в одній з попередніх публікацій (Пилипович та ін., 2024a). А зараз проаналізуємо змінність тенденцій і циклічність цих змін. Як бачимо (рис. 2), поліноміальна лінія тренду з 6-м ступенем демонструє три великі цикли у досліджуваному періоді 1958–2023 рр. Перший цикл починається фазою збільшення стоку наносів, досягаючи піку на початку 1970-х. Далі, аж до початку 1980-х років, вона змінюється фазою зменшення стоку, досягаючи нижньої точки у 1984 р., після чого формується наступний великий цикл, поступово змінюючи тривалу тенденцію збільшення стоку (до 2005 р.) зворотним трендом зменшення. Саме на фазу зростання цього циклу припадає найінтенсивніше збільшення річного стоку наносів у другому обліковому 20-річному періоді. Другий цикл

завершується у 2019 році, після чого спостерігається поступове збільшення, яке відбувається сьогодні і, очевидно, починає третій цикл.

Фази підвищених значень модулів стоку завислих наносів загалом узгоджуються з періодами підвищеної водності, однак характеризуються дещо більшою амплітудою, що теж підтверджує нелінійний характер зв'язку між стоком наносів, стоком води і кількістю атмосферних опадів, про що вже зазначено вище. Загалом збігаються також і цикли, хоча вершини першого і другого циклів стоку води і наносів зміщені між собою на 2–5 років (див. рис. 2).

І все ж, як видно з рис. 2, між модулем стоку завислих наносів та витратами води таки існує певний кореляційний зв'язок, який зазнає порушень під впливом тих чи інших сторонніх чинників. У басейні Бистриці до гідропоста в с. Озимина встановлено достатньо високий коефіцієнт кореляції між модулем стоку завислих наносів і витратою води ( $r = 0,64$ ), що можна пояснити відсутністю значного регулювання стоку та істотних водозаборів у межах досліджуваної ділянки, адже Новошицька МГЕС разом з акумуляційною водоймою розташовані нижче за течією від пункту гідрометеорологічного моніторингу, тому її вплив на формування виявлених закономірностей не варто вважати визначальним. Однак встановлення рівня впливу різних чинників на тісноту кореляції, як уже зазначено, потребує окремого детального вивчення у подальшому.

У багатоводні роки (1998, 2008) зазвичай спостерігається висока інтенсивність транзитної денудації. Однак в окремі роки з високими витратами води (1965, 1980) значення транзитної денудації є суттєво нижчими, ніж можна було б очікувати, що можна пояснити як особливостями режиму випадання опадів у ці роки, так і особливостями морфології русла і витрат води, які проходять у межах берегів, не виходячи на заплаву.

Можливим чинником формування високих показників транзитної денудації є низька лісистість водозбору р. Бистриця, яка становить лише 27 %, що є нижчим за рекомендований для Карпатського регіону рівень у 35 %. Спроба з'ясувати масштаб впливу лісистості на стік води і наносів на прикладі порівняння Бистриці і Оряви (Пилипович та ін., 2024а) не дала однозначної відповіді, адже під час порівняння режимів стоку Оряви і Бистриці ми не врахували вплив морфології русла і його відкладів, які в обидвох річках є дуже різними. Характер руслової ерозії в обидвох річках теж потребує детальнішого і прискіпливішого вивчення із застосуванням польових методів досліджень.

Не варто також недооцінювати і доволі значний рівень сільськогосподарського освоєння рівнинної частини басейну Бистриці, зокрема збільшення площі сільськогосподарських угідь нижче за течією від с. Винники (рис. 3).

#### ***Внутрішньосезонний розподіл стоку наносів і його багаторічні зміни.***

Щодо внутрішньорічного розподілу стоку наносів у досліджуваному басейні зазначимо: аналіз середньомісячних витрат завислих наносів за багаторіччя показав, що найбільші середні значення та коливання (стандартне відхилення) спостерігали у березні, травні, червні і липні (рис. 4).

У різні роки середні витрати наносів різних місяців мали значні коливання (рис. 5–8) Наприклад, найменші середньомісячні значення для місяців літа можуть бути близькими до нуля, але в окремі роки (2008, 2010, 2020) сягати

десятьків кг/с, (до 33 кг/с (липень 2008 р.), що є наслідком розвитку короткочасних інтенсивних паводків у час зливових дощів.

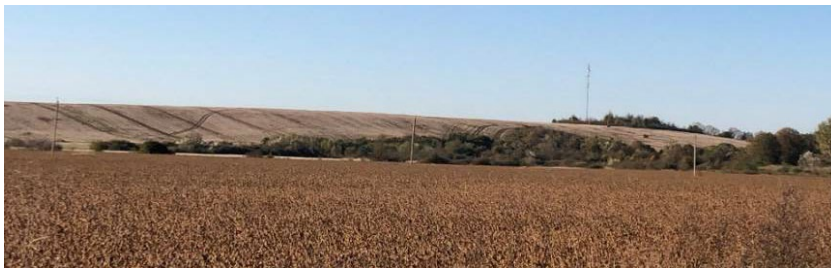


Рис. 3. Приклад сільськогосподарського освоєння басейну р. Бистриця у межах Передкарпаття (околиці с. Ступниця, 17.10.2024 р., фото О. Пилипович)

Fig. 3. The example of agricultural development in the Bystrytsia catchment within the Precarpathians (near Stupnytsia village, 17.10.2024, photo O. Pylypovych)

Найменші середні витрати і їхні коливання за багаторічний період спостерігаємо у жовтні, листопаді, грудні та січні (рис. 5–8). Витрати наносів у зимовий період переважно мінімальні і наближаються до нуля. Винятком є лютий 2004 (0,59 кг/с), лютий 2010 (0,63 кг/с), лютий 2017 (0,84 кг/с), лютий 2021 (7,0 кг/с) і лютий 2023 років (1,0 кг/с). Такі піки пов'язані з інтенсивними зимовими відлигами, поєднаними з дощами, що часто може спричинити інтенсивну схилу ерозію на незахищених рослинністю ділянках. Це характерно для багатьох освоєних басейнів річок Карпатського регіону.

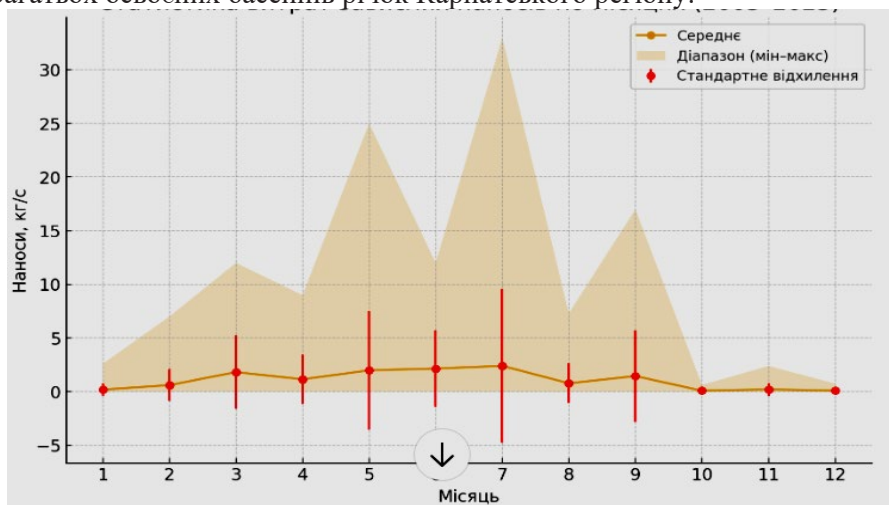


Рис. 4. Стандартне відхилення середніх багаторічних витрат наносів за окремими місяцями за 2003–2023 рр.

Fig. 4. Standard deviation of the mean monthly suspended sediments runoff for the period 2003–2023

Графіки багаторічної динаміки середніх витрат наносів демонструють, що на фоні найнижчих показників стоку наносів у період осінньо-зимової межени

останніми роками (2019–2023) взимку витрати наносів помітно зростають (див. рис. 5). Ймовірною причиною може бути загальна тенденція до підвищення середніх зимових температур, а отже — зменшення тривалості льодоставу або його відсутність, часті відлиги та дощі взимку, а також раннє танення снігу. Однак підтвердити таке припущення можна лише після детального аналізу багаторічних змін льодового і термічного режиму Бистриці і порівняння їх з ходом кліматичних показників. Інші ймовірні причини можуть стосуватись змін температурного режиму ґрунтів на водозборах, режиму їхнього зволоження і зміни ерозійної стійкості. Це може означати розширення весняного водопільного періоду до лютого.

Такий висновок з обережністю можна обґрунтувати з огляду на незначне зменшення витрат стоку води для класичних місяців весняної повені – березня і квітня (рис. 6–7).

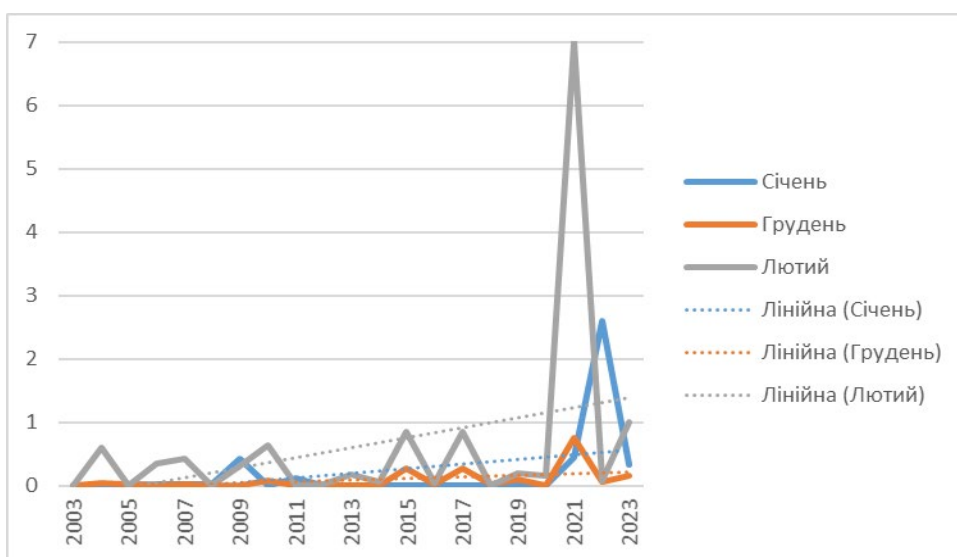


Рис. 5. Багаторічна динаміка витрат завислих наносів у р. Бистриця у зимові місяці впродовж 2003–2023 рр

Fig. 5. Long-term dynamics of the suspended sediments runoff in winter months for the period 2003–2023

Щодо багаторічної динаміки витрат наносів в осінні місяці, то різко виділяється екстремум вересня 2008 року (рис. 8), коли внаслідок масштабних літніх опадів, результатом яких стало формування екстремального літнього паводку, пройшов дощовий вересень і сприяв інтенсифікації як схилової ерозії, так і активізації руслових процесів. Якщо абстрагуватися від цього екстремуму, осінні місяці в загальних рисах характеризуються доволі стійким ходом витрат наносів упродовж досліджуваного періоду часу.

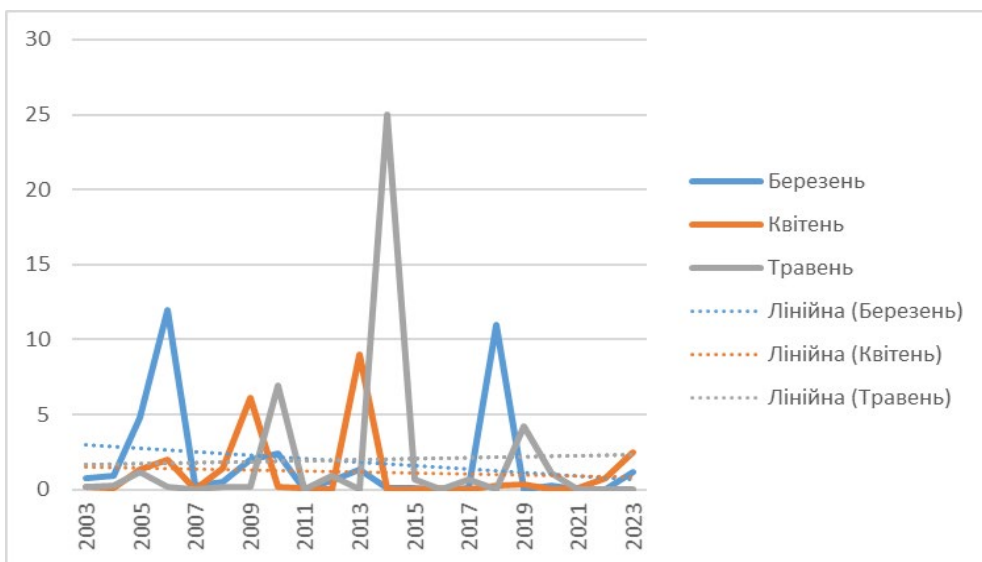


Рис. 6. Динаміка витрат завислих наносів у р. Бистриця у весняні місяці впродовж 2003–2023 рр.

Fig. 6. Long-term dynamics of the suspended sediments runoff in spring months for the period 2003–2023

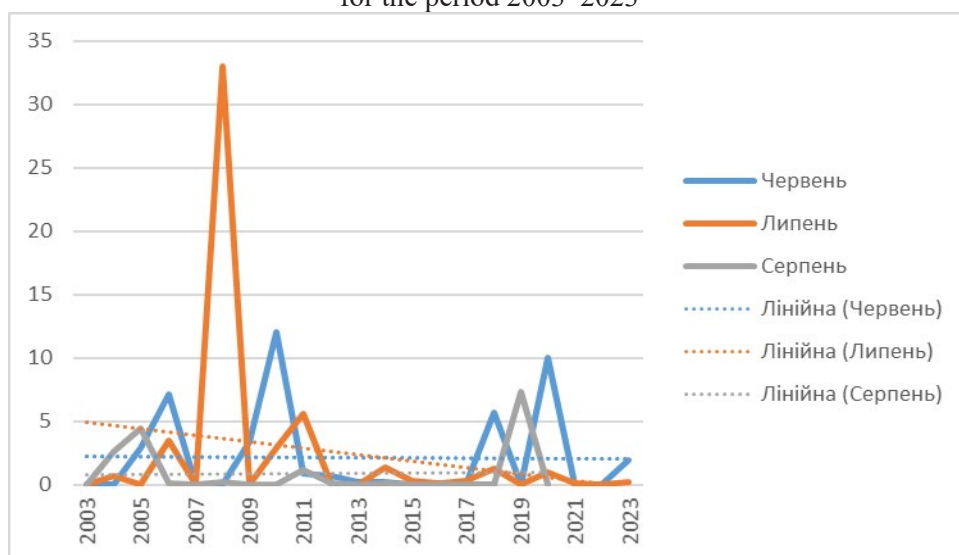


Рис. 7. Динаміка витрат завислих наносів у р. Бистриця у літні місяці впродовж 2003–2023 рр.

Fig. 7. Long-term dynamics of the suspended sediments runoff in summer months for the period 2003–2023

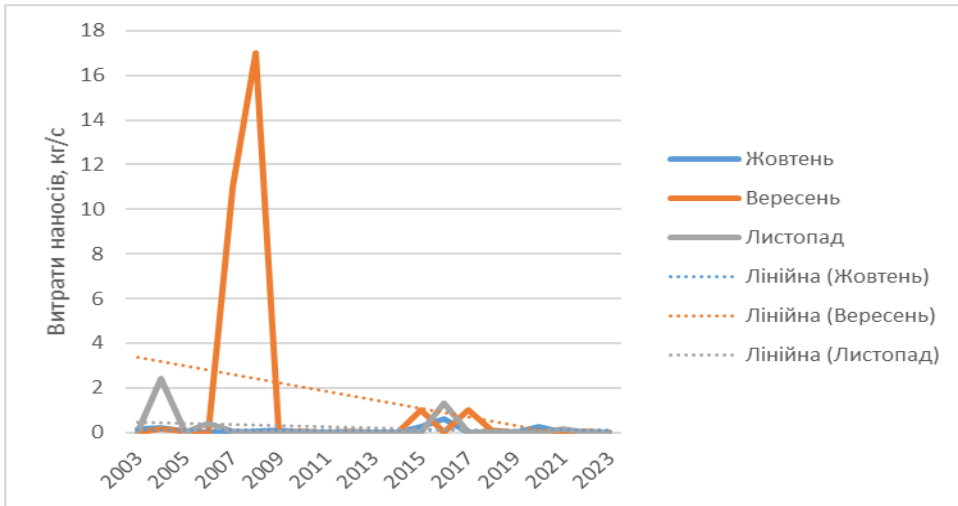


Рис. 8. Динаміка витрат завислих наносів у р. Бистриця в осінні місяці впродовж 2003–2023 рр.

Fig. 8. Long-term dynamics of the suspended sediments runoff in autumn months for the period 2003–2023

При цьому не варто нехтувати й певним можливим впливом антропогенних чинників, які часто здатні підсилювати ефект кліматичних змін у регіоні. Наприклад, факти розорювання прибережних земель, які ми спостерігали під час польових досліджень у жовтні 2025 р. (рис. 9), потребують окремого вивчення на предмет масовості поширення, протиерозійного захисту. Для виокремлення впливів різних груп чинників необхідний прискіпливіший факторний і кореляційний аналіз з побудовами відповідних кривих залежностей та використанням інших математичних способів. Такий аналіз буде виконаний на наступному етапі наших досліджень, що дасть змогу науково підтвердити чи спростувати висловлені у цій публікації припущення і висновки.



Рис. 9. Приклад розорювання прибережної захисної смуги вздовж русла Бистриці (с. Смільна, 26.10.2025 р., Фото О. Пилипович)

Fig. 9. The example of the river bank zone plowing across the river bed (Smilna village, 26.10.2025, photo O. Пилипович)

**Гранулометричний склад завислих наносів.** Гранулометричний аналіз засвідчив, що у багатководний 2008 рік склад завислих наносів був різноманітнішим, із підвищеним вмістом як дрібних, так і відносно більших часток. У маловодний 2015 рік спостерігали домінування дрібнодисперсної фракції (0,01–0,005 мм), частка якої була найвищою серед усіх розглянутих років. Показники середнього за водністю 2019 року займають проміжне положення, відображаючи збалансований розподіл часток. Загалом результати засвідчують суттєвий вплив водності року на гранулометричний склад завислих наносів (рис. 10).

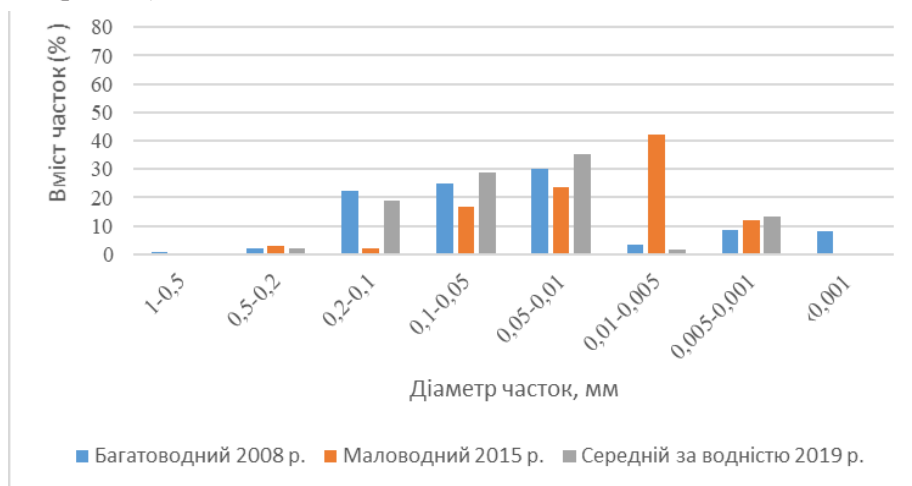


Рис. 10. Розподіл завислих наносів за діаметром часток у багатоводний (2008), маловодний (2015) та середній за водністю (2019) роки

Fig. 10. Granulometric composition of the suspended sediments in the abundant (2008), mean (2019), and low (2015) in water years

Аналіз розподілу завислих наносів між фракціями виявив незмінну присутність фракції від 0,001 до 0,5 мм. Часточки розміром менше 0,001 мм і понад 0,5 мм трапляються зрідка і спонтанно, причому випадки їхнього фіксування значно скоротилися в останні 12–14 років. Частка найбільшої і найдрібнішої фракції різко зменшилася з 1991 року, подекуди у декілька разів. Натомість у рази збільшився вміст часток розміром 0,01–0,1 мм. Частка наступної за величиною фракції залишилася без суттєвих змін (рис. 11).

Щоб з'ясувати, чи має така перебудова гранулометричного складу завислих наносів антропогенне походження, варто згрупувати усі дані аналізів за фазою гідрологічного режиму і рівнем води у руслі відносно берегів. Адже фракційна структура безпосередньо залежить від швидкостей і турбулентності потоку води у руслі. Виявлення відмінностей під час порівняння гранулометричного складу в подібних гідродинамічних умовах дасть підстави вважати ймовірним вплив зовнішніх чинників, серед яких можуть бути зміни інтенсивності ерозійних процесів.

За досліджуваній період найчастіше у гранулометричному складі домінувала фракція 0,01–0,05 мм. До 2000 року найчастіше на другому місці за часткою перебувала або найдрібніша (<0,001 мм) або фракція 0,001–0,005 мм. В останні

два десятиліття на другому і третьому місцях за відсотковим вмістом зазвичай опиняється фракція 0,1–0,2 мм, що попередньо можна пояснити зміною руслового рівневого режиму, тобто гідродинамічних умов.

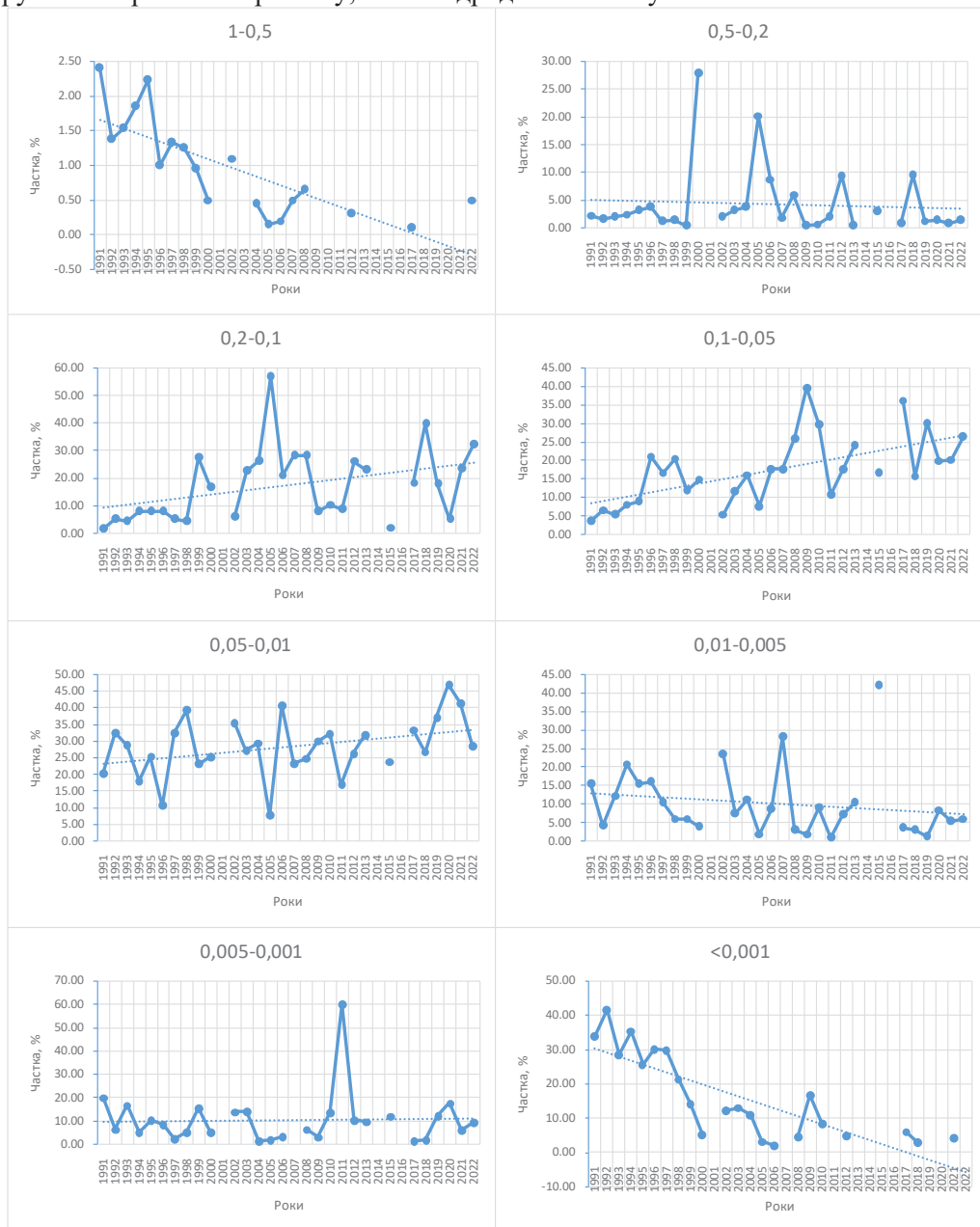


Рис. 11. Багаторічна динаміка середньорічної частки фракцій завислих наносів різного діаметру в басейні Бистриці впродовж 1991–2022 років

Fig. 11. The long-term dynamics of the mean annual portion of the different particle size fraction in suspended sediments

Щодо багаторічної стабільності фракційного складу відкладів упродовж одного року, то за досліджуваний період виявлена тенденція до збільшення

стабільності розподілу наносів за фракціями. Зокрема, кратність перевищення максимальної частки відповідної фракції над мінімальною впродовж одного року зменшилася у всіх фракціях, за винятком 0,001–0,005 і 0,005–0,01 мм (рис. 12).

Окремо проаналізовано гранулометричний склад відкладів у різні фази гідрологічного режиму (повінь, межень, підняття паводка, його пік і спадання). Зокрема, у час виходу води на заплаву і зменшення швидкості домінують дрібні фракції. Під час невисоких паводків, коли більша частина води проходить у межах берегів, проте з більшою швидкістю течії, помітно збільшується частка великих фракцій (рис. 13). Не виключено, що різниця у частці дрібних фракцій між літнім і осіннім спадом, окрім гідродинамічних умов, може бути наслідком впливу площинного стоку з угідь і ярів. Але для доведення цього припущення необхідно порівнювати висоту паводків та умови їхнього проходження у руслі.

Спостереження за завислими наносами та їхнім гранулометричним складом має неабияке практичне значення з огляду на функціонування у басейні Бистриці Новошицької МГЕС із створеним для її потреб Новошицьким водосховищем. Гідроелектростанція функціонує з 2013 р. і має встановлений ліміт забору води з Бистриці. Відповідно до правил експлуатації, дозвіл становить 277 тис. м<sup>3</sup> на добу, або 88,514 млн м<sup>3</sup> за рік (Правила..., 2024). Водойма розташована нижче за течією від пункту гідрометеорологічного моніторингу і є акумулятором для завислих наносів, що транспортує річка. Зменшення швидкості течії в межах водойми створює сприятливі умови для осідання дрібнозернистого матеріалу, який формує основну частину завислих наносів. Як зазначено вище, басейн Бистриці характеризується високими значеннями модуля стоку завислих наносів (146 т/км<sup>2</sup> за рік за увесь період спостережень), а в окремі багатоводні роки — в рази більшими значеннями. Це означає, що у періоди інтенсивних паводків значні обсяги твердого матеріалу надходять у чашу водосховища. Орієнтовну оцінку потенційної акумуляції завислих наносів у водосховищі можна виконати на основі середньорічного модуля стоку завислих наносів і площі водозбору вище створу. З урахуванням доступних у наявних публікаціях даних (Рябенко, Стрілець, 2011; Ющенко, 2023), для руслових водосховищ малих гідроелектростанцій, до яких належить Новошицька ГЕС, коефіцієнт затримання завислих наносів зазвичай становить 0,5–0,7. Новошицьке — це руслове водосховище малого об'єму, порівняно з річковим стоком. У таких водоймах значна частина дрібних наносів проходить транзитом через греблю або турбіни. Вибір коефіцієнта затримання у межах 0,5–0,7 зумовлений морфометричними особливостями чаші водосховища та зафіксованими швидкостями течії під час паводкових періодів, що сприяє транзиту дрібнодисперсних фракцій наносів.

Результати аналізу гранулометричного складу і гідравлічного розміру наявних фракцій дають змогу робити орієнтовні розрахунки частки принесеного матеріалу, яка може осідати на дно, і частки, яка може виноситися за межі водосховища і продовжувати свій рух руслом річки. Оскільки найістотніша частка фракцій більшого розміру характерна для фаз підняття і зниження інтенсивних літньо-осінніх паводків, які водночас формують основну частину річного твердого стоку, то в ці періоди й відбуватиметься найінтенсивніше замулення чаші. Враховуючи виявлене нами домінування дрібнодисперсних фракцій у маловодні роки та зростання частки середніх і великих фракцій у

багатоводні періоди, можна очікувати селективну акумуляцію матеріалу в межах водойми, що з часом може спричинити зменшення її корисного об'єму, зміни властивостей донних ґрунтів.

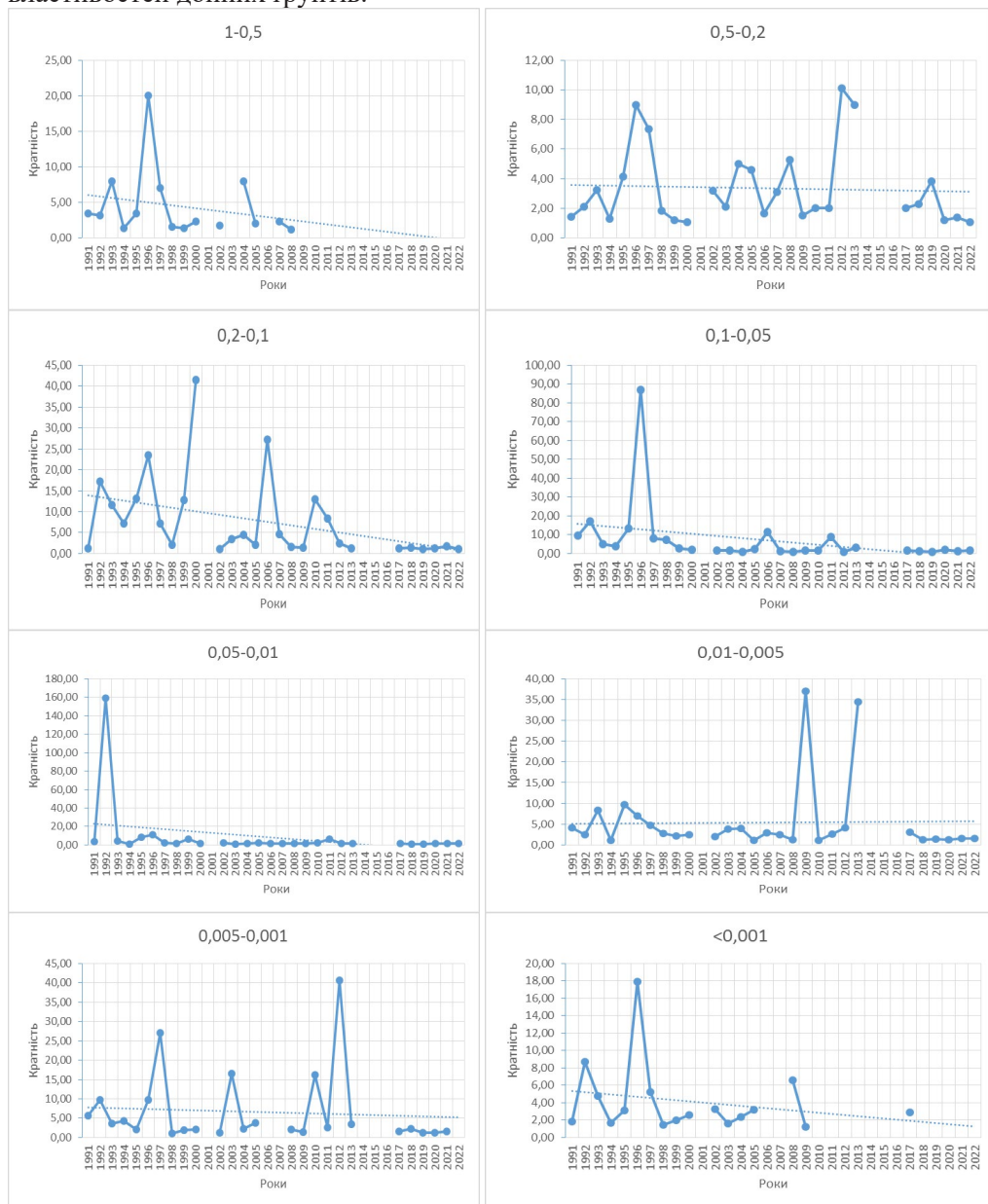


Рис. 12. Стабільність частки фракції завислих наносів упродовж одного року в басейні Бистриці впродовж 1991–2022 років, виражена кратністю перевищення максимального її вмісту над мінімальним

Fig. 12. Yearly stability of the portion of the different particle size fraction in suspended sediments during the period 1991–2022, which is reflected by the multiplicity of excess between maximum and minimum

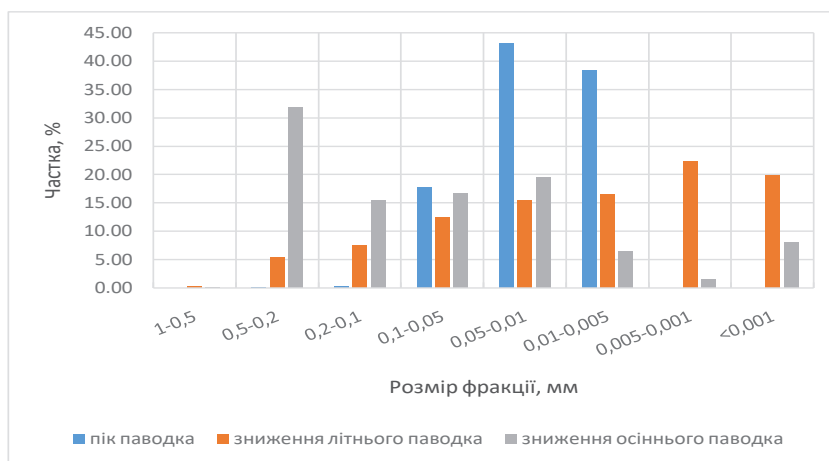


Рис. 13. Розподіл фракцій завислих наносів в умовах різних фаз гідрологічного режиму на гідропості Бистриця (Озимина) у 1980 році

Fig. 13. The distribution of the particle size fractions in the condition of different hydrological regime phases in the Bystrytsia (Ozymyna) in 1980

Щоб розрахувати об’єм наносів, який накопичено у водосховищі з 2013 року, ми використали формулу розрахунку річної маси завислих наносів (Ющенко, 2023):

$$G_s = M_s \cdot F,$$

де:  $G_s$  – річна маса завислих наносів, т/рік;

$M_s$  – середній модуль стоку завислих наносів за обліковий період, т/км<sup>2</sup>·рік;

$F$  – площа водозбору, км<sup>2</sup>.

Для розрахунку маси завислих наносів за період існування водосховища обчислюємо середній модуль стоку за період 2013–2023 роки. Підставимо відповідні величини у формулу та отримуємо:

$$G_s = 126,355 \cdot 206 = 26029,13 \text{ т.}$$

Далі розраховуємо річний об’єм  $V_s$  акумульованих наносів за формулою:

$$V_s = \frac{G_s}{\rho},$$

де:  $G_s$  – річна маса завислих наносів, т/рік;  $\rho$  – об’ємна маса наносів, т/м<sup>3</sup>.

Для гірсько-передгірських річок  $\rho$  становить 1,3 т/м<sup>3</sup> (Ющенко, 2023; Ющенко та ін., 2010) — це обґрунтоване середнє значення з огляду на гранулометричний аналіз завислих наносів, а саме — домінування фракцій 0,005–0,01 мм. За результатами досліджень, у басейні Бистриці на ці фракції припадає 45,75 %. Відповідно, поділивши річну масу наносів 26 029,13 т на об’ємну масу 1,3, отримуємо річний об’єм наносів, який становить 20 022,41 м<sup>3</sup>/рік.

Щоб розрахувати ймовірний сумарний об’єм акумуляції за період існування Новошицької МГЕС і її водойми, охопленій даними спостережень (2013–2023), використовуємо формулу:

$$V = V_s \cdot T \cdot k,$$

де:  $T$  – обліковий період експлуатації (років);

$k$  – коефіцієнт затримання наносів (0,5–0,7).

Зважаючи на спокійні гідродинамічні умови водойми, маємо підстави взяти при обчисленні мінімальний коефіцієнт 0,5. Тоді:

$$V = 20\,022,41 \cdot 11 \cdot 0,5 = 110\,123,242 \text{ м}^3.$$

Отже, за період 2013–2023 рр. у водоймі Новошицької МГЕС могло осісти на дно 110 123 м<sup>3</sup> наносів. Виходячи з площі Новошицького водосховища, яка становить 27 га (Правила..., 2024), можна розрахувати середню потужність донних відкладів, які могли сформуватись за розрахованим об'ємом завислих наносів за обліковий період:  $110\,123 / 270\,000 = 0,41$  м. Ця величина не враховує ущільнення відкладів, а також швидкості осідання кожної фракції, що не дає встановити частку наносів, яка буде винесена за межі водосховища, з огляду на відсутність даних про гідродинамічні умови водойми. Детальні вимірювання швидкостей потоку на вертикалях і побудова епюр швидкостей дадуть змогу виокремити розмір і масу тих часток, які здатні осідати на дно.

Тим не менше, вже зараз є підстави стверджувати, що Новошицьке водосховище відіграє помітну роль у перерозподілі твердого стоку Бистриці, перехоплюючи певну частину завислих наносів і впливаючи на руслові процеси у нижній течії річки, після нижнього б'єфу водосховища. І отримані на сьогодні результати вивчення, і майбутні результати подальших перспективних досліджень засвідчують важливість і необхідність врахування наносного режиму під час оцінки тривалої експлуатації водосховища та прогнозування його екологічного стану.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** У багаторічному ході середньорічних витрат наносів виявлено поступову односпрямовану тенденцію до їхнього збільшення. Середній показник витрати стоку наносів збільшився з 0,79 (1964–1983) до 1,08 (1984–2003) і до 1,12 кг/с (2004–2023) і помітно перевершив середній показник за весь період спостережень 0,90 кг/с. Нерівномірний хід збільшення загалом відповідає періоду максимального господарського навантаження на басейнову геосистему на початку 1980-х років. Аналіз поліноміальної лінії тренду дав змогу виокремити три великі цикли у досліджуваному періоді 1958–2023 років. Перший повний цикл тривав упродовж 1958–1983, другий — 1984–2020, і з 2021 помітне чергове збільшення стоку наносів, що розпочало третій цикл.

Найбільша частина стоку завислих наносів формується під час короткочасних одно- і багатопікових паводків здебільшого в літній період, а також упродовж весняної повені. Найбільші середні значення та коливання спостерігають у березні, травні, червні та липні. Найменші середні витрати і їхні коливання за багаторічний період — у жовтні, листопаді, грудні та січні. Витрати наносів у зимовий період здебільшого мінімальні і часто наближаються до нуля, за винятком окремих синоптичних подій — інтенсивних відлиг і зимових дощів. Водночас останніми роками (2019–2023) взимку витрати наносів помітно зростають, що можна пояснити підвищенням температури, частими відлигами, скороченням тривалості льодоставу, змінами температурного режиму ґрунтів і режиму їхнього зволоження та ерозійної стійкості. Відносно стійкими в плані багаторічних змін виявилися весняні та осінні місяці.

Щоб підтвердити або спростувати висловлені припущення, наступним перспективним завданням цих досліджень є детальний аналіз багаторічного ходу і змін льодового і термічного режиму Бистриці та їхнього порівняння з ходом

кліматичних показників. Виявлені польовими обстеженнями факти розорювання прибережних земель також потребують ширшого вивчення на предмет масовості поширення, й ерозійного ефекту. Для виокремлення впливів окремих груп чинників необхідний детальний факторний і кореляційний аналіз із застосуванням низки математичних методів і побудови відповідних кривих залежностей. Такий аналіз виконуватимемо на наступному етапі досліджень.

Дослідженнями підтверджено суттєві непропорційні відмінності між стоком наносів багатоводного, середнього за водністю і маловодного років. У багатоводні роки середньомісячні витрати завислих наносів сягають на порядки вищих значень, подекуди перевищуючи стік наносів у маловодні роки у сто разів. Результати вказують на тісну позитивну кореляцію між стоком наносів, води та сумами атмосферних опадів. Попри те, характер зав'язків має виражений нелінійний характер. Отже, інтенсивність ерозії та формування завислих наносів залежить не тільки від суми, інтенсивності, площі охоплення, тривалості опадів, а й від стану ґрунту, наявності площинного змиву, потрапляння у русло стоку з тимчасових водотоків ярів. Високий коефіцієнт кореляції між модулем стоку завислих наносів і витратою води ( $r = 0,64$ ), очевидно, можна пояснити відсутністю значного регулювання стоку та істотних водозаборів у межах досліджуваного басейну, проте встановлення рівня впливу різних чинників на тісноту кореляції потребує окремого детального вивчення.

Відсутність щоденних спостережень за стоком наносів ускладнює кореляційний і факторний аналіз, синхронні побудови з динамікою стоку води і атмосферних опадів. Довести вплив на формування стоку наносів інших чинників, окрім стоку води і атмосферних опадів, можна, якщо узгодити ряди вимірних, а не обчислених показників, і проаналізувати їхні коефіцієнти кореляції, що теж стане предметом наступних досліджень.

Загалом отримані результати засвідчують суттєвий вплив водності року на гранулометричний склад завислих наносів. Зокрема, у багатоводний рік фракційний склад є різноманітнішим із суттєвим збільшенням частки більших і найдрібніших фракцій. У маловодному році домінує фракція 0,005–0,01 мм.

Встановлені зміни структури фракційного складу (зменшення великих і найдрібніших часток та зростання середніх) може означати зміни у гідродинаміці потоку, менше сильних паводків, загальне зниження швидкості течії. Зменшення великих фракцій є ознакою того, що енергії потоку стало менше, ніж раніше. Крім того, за досліджуваний період виявлено тенденцію до збільшення стабільності розподілу наносів за фракціями. Зокрема, кратність перевищення максимальної частки відповідної фракції над мінімальною впродовж одного року зменшилася у всіх фракціях, за винятком 0,001–0,005 і 0,005–0,01 мм. Це може вказувати про поступове згладжування сезонних коливань у розподілі наносів.

Припускаємо, що різниця у частці дрібних фацій між літнім і осіннім спадам, окрім гідродинамічних умов, може бути наслідком впливу площинного стоку з угідь і ярів. Але для доведення цього припущення необхідно порівнювати висоту паводків та умови їхнього проходження в руслі. Відмінності у розподілі фракцій на однаковій фазі гідрологічного режиму можна вважати перспективною індикаційною ознакою стороннього втручання у формування стоку наносів, що і стане предметом подальшого їхнього вивчення.

Результати аналізу гранулометричного складу та гідравлічного розміру наявних фракцій дали змогу зробити орієнтовні розрахунки частки принесеного матеріалу, яка може осідати на дно, і частки, яка може виноситися за межі водосховища і продовжувати свій рух руслом річки. На основі отриманих результатів здійснено орієнтовну оцінку потенційної акумуляції завислих наносів у водосховищі. І сьогоднішні результати вивчення і майбутні результати подальших перспективних досліджень засвідчують важливість і необхідність врахування наносного режиму під час оцінки довгострокової експлуатації водосховища та прогнозування його екологічного стану.

**Подяки.** Дослідження виконано в рамках теми П2-БФ "Географічні основи збалансованого використання басейнових систем в умовах зміни клімату".

#### БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- Байрак Г. Морфодинаміка р. Бистриці на Передкарпатті протягом 147-річного періоду // Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій. 2024. Вип. 2 (17). С. 112–129. DOI : <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4561>.
- Бонішко О., Дубіс Л., Луцишин О. Гідрохімічна характеристика якості води басейну річки Бистриці (Львівська область) // Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій. 2024. Вип. 2 (17). С. 83–95. DOI : <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4558>.
- Бурштинська, Х. В., Третяк С., Галочкін М. Дослідження горизонтальних зміщень русла річки Дністер з використанням даних ДЗЗ та ГІС-технологій // Геодинаміка, 2017. Вип. 2(23), С. 14–24. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.014>
- Давидов О., Муркалов О. Гранулометричний склад наносів берегової системи як індикатор літодинамічних процесів (на прикладі берегової системи Кінбурнська-Покровська-Довгий, Чорне море. // Науковий вісник ХДУ Серія Географічні науки. 2023. № 19, С. 42–52 . DOI : <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2023-19-5>.
- Екологічний моніторинг регіону: експертна оцінка стану і функціонування: науково-навчальне видання / за ред. проф. І. Ковальчука. Львів : Опілля, 404 с.
- Кравчук Я. Геоморфологія Скибових Карпат. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2005. 232 с.
- Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів : Вид-во Інституту українознавства, 1997. 440 с.
- Ковальчук І. П., Ободовський О. Г., Ющенко Ю. С. Гідроекологічні дослідження річок Українських Карпат: передумови, методичні засади, здобутки, проблеми // Географія в інформаційному суспільстві : зб. наук. праць. Київ : ВГЛ "Обрії", 2008. Т. І. С. 110–119.
- Ковальчук І., Пилипович О., Венгринович О. Кількісна оцінка механічної денудації в карпатській частині басейну Дністра: природна та антропогенна складова // Фізична географія та геоморфологія. Київ : ВГЛ "Обрії", 2010. Вип. 1 (58). С. 78–87.
- Койнова І., Рожко І. Антропогенна трансформація соціоекосистем у басейні річки Бистриця (Українські Карпати) // Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій. 2024. Вип. 2 (17). С. 14–27. DOI : <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4553>.
- Пилипович О., Ковальчук І. Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра : монографія / за наук. ред. І. П. Ковальчука. Львів–Київ : ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. 284 с.
- Пилипович О., Ковальчук І. Багаторічна динаміка сучасних ерозійно-аккумулятивних процесів у басейнових системах Верхнього Дністра // Морфодинамічні процеси у Західному регіоні України: розвиток та екологічні наслідки : монографія / за ред. Р. М. Гнатюка, Л. Ф. Дубіс. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2024. С. 118–125.
- Пилипович О., Ковальчук І., Михнович А., Андрейчук Ю. Зміни транзитної денудації у річково-басейнових системах Східних Карпат // Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій. 2024. Вип. 2 (17). С. 40–55. DOI : <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4555> (a).
- Пилипович О., Ковальчук І., Біланюк В., Грабар І. Гідрологічна характеристика та оцінка екологічного стоку води у р. Бистриці Тисменицькій (правої притоки р. Дністер) //

- Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій. 2024. Вип. 18 (25). С. 85–101. DOI : <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2025.1.4880> (6).
- Правила експлуатації Новошицької водогосподарської системи на р. Бистриця Тисменицька. ТОВ “Гідроінжиніринг”. Київ. 2024. 73 с.
- Романчук М. Є., Нагаєва С. П. Порівняльна характеристика екологічної оцінки якості води р. Дністер та його приток за методиками 1998 та 2012 років // *Водні ресурси та аквакультура*. 2020. Вип. 2. С. 236–250. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.2.19>
- Рябенко О. А., Стрілець О. Р. Гідравліка річкових русел : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2011. 238 с.
- Сельський В., Ковальська Л. Природно-історичний аспект формування русла р. Бистриця. // *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: географія*, 2007. Вип. 2. С. 26–30. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/25008>.
- Ющенко Ю. С. Загальна та річкова гідравліка : навчальний посібник. Чернівці : Чернівецький Національний університет ім. Ю. Федьковича, 2023. 342 с.
- Ющенко Ю., Кирилюк А., Опеченик В. Аналіз гранулометричного складу руслоформуючих наносів Верхнього Пруту // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2010. Т. 18. С. 84–91. Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe\\_2010\\_18\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2010_18_12)
- Яцишин А. Геоморфологічна будова передкарпатської ділянки долини Бистриці-Підбузької // *Вісник Львів. ун-ту. Сер. геогр.* 2016. Вип. 50. С. 395–411.
- Яцишин А. Етапи формування рівнинної частини долини Бистриці-Підбузької // *Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій*. 2024. Вип. 2 (17). С. 96–111. DOI : <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4559>.
- Balabukh, V., Lavrynenko, O., Bilaniuk, V., Mykhnovych, A., & Pylypovych, O., 2018. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes. In *Extreme Weather*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77306>
- Cendrero A., Remondo J., Beylich A. A. et al. 2022. Denudation and geomorphic change in the Anthropocene: a global overview. *Earth-Science Reviews*. Vol. 233. 104186. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825222002707>.
- Goudie A. S. 2020. The human impact in geomorphology – 50 years of change. *Geomorphology*. Vol. 366. 106660. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.002>.
- Kruhlov I., Smaliychuk A., Svatko Y. 2024. Hybrid delineation of landforms: Case of BystrytsiaPidbuzka drainage basin. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Карпат та прилеглих територій*. Вип. 2 (17). 148–159. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4563>.
- Larsen I. J., Montgomery D. R., Greenberg H. M. 2014. The contribution of mountains to global denudation. *Geology*. Vol. 42, No. 6. P. 527–530. DOI: <https://doi.org/10.1130/G35136.1>.
- Obodovskyi O. G., Perevozchikov I. M., Grebin V. V., Korniienko V. O. 2022. Spatio-Temporal Dynamics of Sediment Runoff as an Integrated Indicator of Changes in the Stability of Riverbeds (on the Example of Rivers of the Dnipro Basin Within Ukraine). 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Nov 2022. Vol. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580224>.
- Olago D. 2022. Earth’s sediment cycle during the Anthropocene. *Nature Reviews Earth and Environment*. Vol. 3. P. 1–15. URL: <https://www.nature.com/articles/s43017-021-00253-w>.
- Owens P. W. 2020. Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: a review of human impacts during a period of rapid global environmental change. *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 20. P. 4115–4143. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-020-02815-9>.
- Pylypovych O., Kovalchuk Iv., Mykhnovych A., Kovalchuk Ir. 2023. Dynamics of Erosion-Accumulation Processes in the Upper Dnister River Basin Systems Based on the Sediments Runoff Data. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023». Oct 2023. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510048>.
- Walling D. E. & Moorehead P. W. 1989. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. // *Sediment dynamics, transport and deposition, and distributions*. Volume 176, Pages 125–149.

## REFERENCES

- Balabukh, V., Lavrynenko, O., Bilaniuk, V., Mykhnovych, A., & Pylypovych, O., 2018. Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes. In *Extreme Weather*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77306>
- Bayrak H., 2024. Bystritsia River morphodynamics in the Precarpathian upland since 147 years ago. *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 2 (17). 112–129. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4561>. (in Ukrainian).
- Bonishko O., Dubis L., Lutsyshyn O., 2024. Hydrochemical characteristics of water quality of the Bystritsia River basin (Lviv region). *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 2 (17). 83–95. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4552> (in Ukrainian).
- Burshtynska C., Tretiak S., Halochkin M., 2017. Investigations of the horizontal deformations of the Dnister River channel applying remote sensing and GIS technologies. *Geodynamics* Vol. 2(23), 14–24. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.014>. (in Ukrainian).
- Cendrero A., Remondo J., Beylich A. A. et al., 2022. Denudation and geomorphic change in the Anthropocene: a global overview. *Earth-Science Reviews*. Vol. 233. 104186. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825222002707>.
- Davydov O., Murkalov O., 2023. Granulometric composition of the sea coast system sediments as an indicator of the lytho-dynamical processes (on the example of the sea coast system Kinbourg-Pokrovs'ka-Dovhyi, Black Sea. *Scientific journal of the Kherson State University*. Series Geographic Sciences Vol. 19, 42–52. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2023-19-5>. (in Ukrainian).
- Ecological monitoring of the region: expert assessment of the state and functioning*. Prof. I. Kovalchuk Ed. Lviv, Opillia. 404. (in Ukrainian).
- Goudie A. S. 2020. The human impact in geomorphology – 50 years of change. *Geomorphology*. Vol. 366. 106660. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.002>.
- Kovalchuk, I., 1997. *Regional environmental-geomorphologic analysis*. Lviv : Publ. Institute of Ukrainian Studies, 440. (in Ukrainian).
- Kovalchuk, I., Obodovs'kyi, O., Yushchenko, Y., 2008. Hydroecological researches of the rivers of the Ukrainian Carpathians: preconditions, methods, achievements, problems. In *Geography in the information society*. Kyiv : Publ. "Obriyi". I., 110–119. (in Ukrainian).
- Kovalchuk, I., Pylypovych, O., Venhrynovych, O., 2010. Quantitative assessment of the mechanical denudation in the Carpathian part of the Dnister basin: natural and man-made components. In *Physical Geography and Geomorphology*. Kyiv : Publ. "Obriyi". 1/58, 78–87. (in Ukrainian).
- Koynova I., Rozhko I., 2024. Anthropogenic transformation of socio-ecosystems in the river basin of the Bystritsia (Ukrainian Carpathians). *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 2 (17). 14–27. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4553> (in Ukrainian).
- Kravchuk, Y., 2005. *Geomorphology of the Lump Carpathians*. Lviv : Ivan Franko LNU Publ., 232 (in Ukrainian).
- Kruhlov I., Smaliychuk A., Svatko Y. 2024. Hybrid delineation of landforms: Case of BystritsiaPidbuzka drainage basin. *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 2 (17). 148–159. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4563>
- Larsen I. J., Montgomery D. R., Greenberg H. M. 2014. The contribution of mountains to global denudation. *Geology*. Vol. 42, No. 6. P. 527–530. DOI: <https://doi.org/10.1130/G35136.1>.
- Obodovskyi O. G., Perevozchikov I. M., Grebin V. V., Korniienko V. O. 2022. Spatio-Temporal Dynamics of Sediment Runoff as an Integrated Indicator of Changes in the Stability of Riverbeds (on the Example of Rivers of the Dnipro Basin Within Ukraine). *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Nov. 2022. Vol. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580224>.
- Olago D. 2022. Earth's sediment cycle during the Anthropocene. *Nature Reviews Earth and Environment*. Vol. 3. P. 1–15. URL: <https://www.nature.com/articles/s43017-021-00253-w>.

- Owens P. W. 2020. Soil erosion and sediment dynamics in the Anthropocene: a review of human impacts during a period of rapid global environmental change. *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 20. P. 4115–4143. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11368-020-02815-9>.
- Pylypovych, O., Kovalchuk, I., 2017. *Geocology of the Upper Dnister River basin system*. Monography. I. Kovalchuk Ed. Lviv – Kyiv : Ivan Franko LNU Publ., 284. (in Ukrainian).
- Pylypovych, O., Kovalchuk, I., 2024. Long-term dynamics of the recent erosion-accumulation processes in the Upper Dnister river basin systems. *Morphodynamical processes in the Western region of Ukraine: development and environmental effects*. R. Hnatiuk and L. Dubis Eds. Lviv, the Ivan Franko National University of Lviv. 118–125. (in Ukrainian).
- Pylypovych, O., Kovalchuk, I., Bilaniuk V., Hrabar I., 2024. Hydrological characteristics and evaluation of the ecological water runoff in the Bystrytsia River (right tributary of the Dnister River). *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 18 (25). 85–101. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2025.1.4880> (b). (in Ukrainian).
- Pylypovych, O., Kovalchuk, I., Mykhnovych A., Andreychuk Y., 2024. The changes of the transit denudation in the river basin systems of the Eastern Carpathians. *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 2 (17). 40–55. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4555> (a). (in Ukrainian).
- Pylypovych, O., Kovalchuk, Iv., Mykhnovych, A., Kovalchuk, Ir., 2023. Dynamics of ErosionAccumulation Processes in the Upper Dnister River Basin Systems Based on the Sediments Runoff Data. *International Conference of Young Professionals "GeoTerrace-2023"*, Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers. Vol. 2023. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023510048>
- Riabenko O., Strilets O. *Hydraulics of river beds*. Rivne, NUWMP. 238. (in Ukrainian).
- Romanchuk M., Nahayeva S., 2020. Comparative characteristics of the environmental assessment of water quality in the Dnister River and the tributaries by the methods of 1998 and 2012. *Water resources and aquaculture* Vol. 2 236–250. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.2.19>. (in Ukrainian).
- Sels'kyi V., Koval'ska L., 2007. Natural-historical aspect of the Bystrytsia River bed forming. *Scientific Papers of the Ternopil National Pedagogical University*. Series Geography. Vol. 2. 26–30. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/25008>. (in Ukrainian).
- The exploitation rules of the Novoshychi water-economical system on the Bystrytsia Tysmenytsia River, 2024*. Kyiv, "Hydroengineering" Ltd. 73. (in Ukrainian).
- Walling D. E. & Moorehead P. W. 1989. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. *Sediment dynamics, transport and deposition, and distributions*. Vol. 176. 125–149.
- Yatsyshyn A., 2016. Geomorphologic structure of the precarpathian segment of the Bystrytsia-Pidbuz'ka River valley. *Scientific Bulletin of the Lviv University*. Series Geographic. Vol. 50. 395–411. (in Ukrainian).
- Yatsyshyn A., 2024. Stages of formation of the plain part of the Bystrytsia Pidbuz'ka river valley. *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*. Issue 2 (17). 96–111. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2024.2.4559>. (in Ukrainian).
- Yushchenko Y., 2023. *General and river hydraulics*. Chernivtsi, The Yuriy Fed'kovych National University of Chernivtsi. 342. (in Ukrainian).
- Yushchenko Y., Kyryliuk A., Opechenyk V., 2010. Granulometric composition analysis of the river bed forming sediments in the Upper Prut River. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Vol. 18. 84–91. (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію 07.03.2026

Прийнято до друку 29.04.2026

Дата публікації 19.05.2026