Вісник ЛДУБЖД
Bulletin of Lviv State University of Life Safety
https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk
ISSN 2078-4643 (print), ISSN 2708-1389 (online)

UDC 504.61 (477.8)
DOI: 10.32447/20784643.32.2025.01

This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Я. О. Адаменко, В. Є. Майкович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5665-7958 – Я. О. Адаменко
https://orcid.org/0009-0007-6373-270X – В. Є. Майкович
yarad1964@gmail.com

АНАЛІЗ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНИХ РИЗИКІВ БУДІВНИЦТВА МАЛИХ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ У ТУРИСТИЧНО-РЕКРЕАЦІЙНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Проблема забезпечення України електроенергією набуває особливої актуальності в умовах часткового руйнування або захоплення ключових енергетичних об'єктів країною-агресором. Одночасно спостерігається зростання інтересу до відновлювальних джерел енергії, таких як вітер, сонячна енергія та гідроенергія малих і середніх річок, що пов'язано з міжнародними зобов'язаннями України щодо зниження викидів парникових газів. У Карпатському регіоні будівництво малих гідроелектростанцій викликає суперечливі оцінки: з одного боку, вони сприяють енергетичній безпеці та розвитку «зеленої» економіки, з іншого – створюють гідроекологічні, гідрологічні та соціальні ризики у вразливих гірських ландшафтах, особливо в туристично-рекреаційних зонах.

Метою дослідження було оцінити гідроекологічні ризики будівництва малих гідроелектростанцій у туристично-рекреаційному регіоні Українських Карпат та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо збереження екологічної безпеки водних екосистем.

Методологія включала комплексну оцінку природно-техногенної безпеки гідроекосистем із визначенням кількісного та якісного потенціалу використання водних ресурсів. В основу кількісної оцінки було покладено мінімальну середньомісячну витрату води маловодного року з 75% забезпеченістю, а також аналіз внутрішньорічної динаміки стоку річки Прут та її приток. Для практичної перевірки запропонованої методики проведено оцінку 15 інвестиційних проєктів малих гідроелектростанцій у Івано-Франківській області, включаючи розрахунок санітарних попусків, моделювання гідрологічного режиму та визначення оптимальних періодів будівництва для збереження іхтіофауни.

Основні результати показали, що впровадження каскаду чотирьох малих гідроелектростанцій на річці Білий Черемош забезпечує виробництво електроенергії без значущих змін у водних ресурсах, ґрунтових і поверхневих водах, за умови дотримання санітарних витрат для рибохідних споруд. Гідробіологічні дослідження підтвердили необхідність застосування рибохідних конструкцій типу Деніела для забезпечення міграції цінних видів риб, включаючи червонокнижні. Моделювання ймовірності руйнування гребель показало, що водосховища не створюють ризику техногенних катастроф, а негативні впливи будівельно-монтажних робіт є короткостроковими та піддаються мінімізації.

Висновки дослідження свідчать, що каскад Голошинських малих гідроелектростанцій може експлуатуватися з мінімальними екологічними ризиками при дотриманні природоохоронних норм та застосуванні запропонованих інженерно-технічних заходів. Автори пропонують: забезпечувати оптимальні санітарні попуски води для рибохідних споруд; планувати будівництво у періоди, які не збігаються з нерестом риб; застосовувати деріваційні типи станцій для збереження природного русла річки; контролювати якість води та наносів у процесі експлуатації; розвивати малі гідроелектростанції як еколого-туристичні об'єкти для підтримки рекреаційного потенціалу Карпат.

Ключові слова: малі гідроелектростанції, Карпати, гідроекологічні ризики, відновлювальні джерела енергії, природно-техногенна безпека, рибохід, санітарний попуск, туристично-рекреаційний регіон.

Ya. O. Adamenko, V. Ye. Maykovych
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH ON HYDROPOWER RISKS ASSOCIATED WITH THE CONSTRUCTION OF SMALL HYDROPOWER PLANTS IN THE TOURIST-RECREATIONAL REGION OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

The problem of providing Ukraine with electricity becomes particularly urgent in the conditions of partial destruction or capture of key energy facilities by the aggressor country. At the same time, there is growing interest in renewable energy sources, such as wind, solar, and hydropower from small- and medium-sized rivers, which is associated with Ukraine's international obligations to reduce greenhouse gas emissions. In the Carpathian region, the construction of small hydroelectric power plants causes contradictory assessments: on the one hand, they contribute to energy security and the development of a "green" economy; on the other hand, they create hydroecological, hydrological, and social risks in vulnerable mountain landscapes, especially in tourist and recreational areas.

The aim of the study was to assess the hydroecological risks associated with the construction of small hydroelectric power plants in the tourist and recreational region of the Ukrainian Carpathians and to develop scientifically based recommendations for preserving the ecological safety of aquatic ecosystems.

The methodology included a comprehensive assessment of the natural and man-made safety of hydroecosystems, with the determination of the quantitative and qualitative potential of water resources use. The quantitative assessment was based on the minimum average monthly water flow of a low-water year with 75% availability, as well as an analysis of the intra-annual dynamics of the Prut River and its tributaries. For practical verification of the proposed methodology, an assessment of 15 investment projects of small hydroelectric power plants in the Ivano-Frankivsk region was conducted, including the calculation of sanitary releases, modeling of the hydrological regime, and determining the optimal construction periods for the preservation of ichthyofauna. The main results showed that the implementation of a cascade of four small hydroelectric power plants on the Bilyi Cheremosh River ensures electricity production without significant changes in water resources, groundwater, and surface waters, provided that sanitary costs for fish-feeding structures are observed. Hydrobiological studies have confirmed the need to use Daniel-type fish-passage structures to ensure the migration of valuable fish species, including Red Book species. Modeling the probability of dam failure has shown that reservoirs do not pose a risk of man-made disasters, and the negative impacts of construction and installation work are short-term and can be minimized.

The conclusions of the study indicate that the Goloshyn cascade of small hydroelectric power plants can be operated with minimal environmental risks, provided that environmental standards are observed and the proposed engineering and technical measures are applied. The authors propose: to ensure optimal sanitary water releases for fish-passage structures; to plan construction in periods that do not coincide with fish spawning; to use derivation types of stations to preserve the natural riverbed; to control the quality of water and sediments during operation; to develop small hydroelectric power plants as ecological and tourist facilities to support the recreational potential of the Carpathians.

Keywords: small hydroelectric power plants, Carpathians, hydroecological risks, renewable energy sources, natural and man-made safety, fish passage, sanitary release, tourist and recreational region.

Вступ

Останнім часом питання забезпечення України електроенергією набуло особливої важливості. Це зумовлено, зокрема, частковим знищенням або захопленням ключових енергетичних об’єктів з боку країни-агресора. Відновлення енергетичної інфраструктури вимагатиме десятиліть і значних фінансових витрат. Ще з моменту проголошення незалежності в Україні розпочався розвиток будівництва електростанцій, що працюють на основі відновлюваних джерел енергії – таких як вітер, сонячна енергія та гідроресурси малих і середніх річок. У поєднанні з викликами, пов’язаними з глобальним потеплінням, це свідчить про зростання актуальності використання альтернативних, нетрадиційних джерел енергії.

Однак, у Карпатському регіоні України питання впливу малих гідроелектростанцій (МГЕС) на довкілля набуло значного наукового та суспільного резонансу. Попри загальносвітову тенденцію до декарбонізації енергетичного сектора та активного впровадження відновлюваних джерел енергії, результати численних досліджень засвідчують наявність складних екологічних, гідрологічних і соціальних ризиків, пов’язаних із масштабним будівництвом МГЕС, особливо у вразливих гірських ландшафтах.

Парникові гази, особливо CO_2, суттєво впливають на глобальне потепління. В Україні головними джерелами їх викидів залишаються промисловий сектор, енергетика та транспорт. Для пом’якшення наслідків кліматичних змін необхідно зменшувати викиди CO_2, зокрема шляхом переходу на відновлювану енергетику, підвищення енергоефективності та впровадження екологічно чистих технологій. Досягненню цих цілей сприяють міжнародна співпраця та виконання зобов’язань за Паризькою угодою [1].

Незважаючи на зусилля щодо зменшення викидів, прогнози показують, що до 2030 року

рівень CO_2 може скоротитися лише на 2%. Водночас для досягнення кліматичних цілей необхідне зниження на 43% від рівня 2019 року. Це наголошує на необхідності більш рішучих заходів і активнішої міжнародної співпраці у боротьбі зі зміною клімату. За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), до 2011 року сукупні викиди CO_2, метану та оксиду нітрогену спричинили підвищення температури на +2,82 Вт/м². Водночас аерозолі, зокрема сульфати й органічний вуглець, мали охолоджувальний ефект на рівні -0,9 Вт/м². У результаті загальний вплив людської діяльності з 1750 року оцінюється в потепління на 2,3 Вт/м² [2].

Виходячи з цього можна констатувати, щоб зменшити парниковий ефект необхідно використовувати енергетично-ефективні технології з використанням відновлювальних джерел енергії і це обґрунтовується так:

- по-перше – нетрадиційні енергоресурси є відновлювальними;
- по-друге – сировину для таких електростанцій не треба видобувати, а це означає що кумулятивний ефект зменшується;
- по-третє – такі електростанції на викидають парникових газів;
- по-четверте – вони не потребують багато капіталовкладень, мають відносно високий рівень окупності;
- по-п’яте – вплив на довкілля від діяльності електростанцій з використанням нетрадиційних енергоресурсів оцінюється як локальний та незначний.

Слід відмітити, що під час громадських обговорень звітів з оцінки впливу на довкілля будівництва таких електростанцій як вітрові (ВЕС), сонячні (СЕС) та малі ГЕС (МГЕС) виникає багато негативних питань щодо будівництва та експлуатації таких об’єктів [3]. Одним з основних впливів на довкілля вважаються: для СЕС – це велика територія для розташування об’єкта будівництва; для ВЕС – загроза загибелі птахів і летючих мишей; для МГЕС – перешкода міграції риб під час нересту.

Україна з часів незалежності вже зробила декілька кроків до використання відновлювальних джерел енергії. Так наприклад розвиток МГЕС в Україні з 1990 по 2025 рік характеризується такими етапами:

- на кінець 1990-х років в Україні залишилося близько 150 малих ГЕС, з яких лише 49 працювали із сумарною потужністю 93,3 МВт та річним виробництвом 249 млн кВт×год. електроенергії;
- станом на кінець 2008 року в Україні експлуатувалося 78 МГС потужністю близько 110 МВт, які щорічно виробляли 300-390 млн кВт×год електроенергії;
- у 2012 році було впроваджено диференційований «зелений тариф» для МГЕС залежно від їхньої потужності, що стимулювало відновлення та будівництво нових станцій та на кінець 2021 року в Україні налічувалося близько 177 МГЕС із загальною потужністю 120 МВт, а у 2022 році – 153 МВт (частка у виробництві електроенергії становила 0,1%).

В Україні активне будівництво та відновлення малих ГЕС почалося після встановлення у 2008 році так званого «зеленого тарифу» [4]. Енергетична стратегія України на період до 2050 року» (затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 №373-р), закладає основи для поступового переходу до низьковуглецевої економіки та визначає стратегічну мету інтеграції енергетичного ринку України до внутрішнього енергетичного ринку Європейського Союзу шляхом виконання зобов’язань за Договором про Енергетичне Співтовариство [5].

Як вказувалось що, серед громадськості існує неоднозначна думка щодо доцільності будівництва нових малих ГЕС у західному регіоні України. Громадськість вважає нібито МГЕС можуть завдати непоправної шкоди стану навколишнього середовища туристично-рекреаційної зони Українських Карпат і знизити потенціал розвитку «зеленого» туризму Українських Карпат [6,7]. Але світова практика показує що у діяльності таких енергетичних об’єктів є і позитивна сторона. Електростанції, які використовують енергію вітру, сонця та малих і середніх річок є у своєму роді туристичними об’єктами, як своєрідний еколого-енергетичний хаб. Так наприклад, у Бернських Альпах (Швейцарія) однією з туристичних дистанцій є екскурсії на МГЕС. У цих горах фірма Kraftwerke Oberhasli AG використовує силу води на тринадцяти електростанціях та перетворює її на електроенергію для мільйона людей [8]. Або, наприклад, у регіоні Ізер (Франція) фірма EDF Hydrelec Museum пропонує тури на місцеві міні-ГЕС, де проявляються сила та магія гідроенергетики. Завдяки цим трьом унікальним об’єктам відвідувачі можуть відкрити для себе гідроелектростанцію, від її народження наприкінці XIX-го століття до відвідування найпотужнішої гідроелектростанції у Франції – електростанції Гранд Мезон [9]. Тобто, такий енергетичний хаб, будь-то СЕС, ВЕС або МГЕС – це не тільки екологічна чиста енергія, не тільки забезпечення електрикою населення чи розвиток місцевого бізнесу, а ще й залучення туристів, що

також сприятиме збільшенню доходів на місцевому та регіональному рівні.

Якщо взяти такий рекреаційно-туристичний регіон як Українські Карпати, то лише в межах Івано-Франківської області на сьогодні експлуатується чотири МГЕС: Снятинська (відновлена у 2004 році), Золотолипська (відновлена у 2011 році), Пробійнівська-1 (збудована у 2009 році), Пробійнівська-2 (збудована у 2013 році). За оцінками фахівців в межах Івано-Франківської області є гідроенергетичний потенціал для будівництва ще близько 150 МГЕС [10].

Однак, на початку 2010 року, через значний суспільний резонанс та протести екологів і місцевих громад було накладено вето на будівництво електростанцій на річках Українських Карпат. Тому реалізація цих проєктів була призупинена або скасована. Сьогодні, на тлі подій що відбуваються в Україні неможливо розглядати відновлення енергосистеми без будівництва енергетичних об’єктів, які будуть використовувати відновлювальні природні ресурси.

Саме тому провели комплекс наукових екологічних оцінок нових інвестиційних проектів будівництва малих ГЕС на річках Українських Карпат [11-14].

Тому метою нашої статті є оцінити гідроекологічні ризики будівництва малих гідроелектростанцій у туристично-рекреаційному регіоні Українських Карпат.

Методи дослідження

Починаючи з 2010 року у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти та газу протягом останніх років ведуться науково-практичні дослідження екологічного оцінювання інвестиційних проектів, які в тій чи іншій мірі можуть впливати на навколишнє середовище, в тому числі й об'єкти енергетичного комплексу.

Проведені нами дослідження в рамках господарсько-договірних робіт ґрунтувалися на положеннях Законів України «Про оцінку впливу на довкілля» [15], «Про стратегічну екологічну оцінку» [16], державних будівельних норм з ОВНС [17], науково-методичних рекомендаціях щодо підготовки звіту ОВД при будівництві малої ГЕС [18] та інш.

Наші дослідження були проведені для п’ятнадцяти проєктів будівництва малих гідроелектростанцій на річках Івано-Франківської та Закарпатської областей – річки Білий Черемош, Тересва, Шопурка, Дземброня, Пробійнівка. Для дев’яти проєктів були отримані позитивні висновки від Міндовкілля України [3] та деякі вже збудовані і запущені в експлуатацію.

Проведені роботи дозволили практично запровадити раніше розроблені нами теоретико-методологічні засади підвищення рівня екологічної безпеки будівництва та експлуатації об'єктів малої гідроенергетики [19, 20] та підтвердити екологічну безпеку цих об'єктів [21].

Запропонована методологія оцінки природно-техногенної безпеки гідроекосистем передбачає оцінку двох її головних складових – якісної та кількісної [22]. Головна ідея методології полягає в тому, що гідроекосистема залишатиметься в стані гомеостазу, якщо техногенне навантаження розраховуватиметься лише на її кількісно-якісний потенціал [23].

Під потенціалом гідроекосистеми ми розуміємо ту частину гідроресурсів, яка може бути використана народногосподарським комплексом при збереженні екологічної безпеки та при мінімальному техногенному ризику, що підлягає управлінню [24]. Ґрунтуючись на визначенні гідроекологічного потенціалу, розрахунок кількісної його складової проводився, ґрунтуючись на твердженні, що з метою збереження екологічної безпеки в річці необхідно залишати в незмінному природному стані витрату, рівну ґрунтовому живленню. У розрахунках цієї величини за основу було прийнято мінімальну середньомісячну витрату маловодного року [25].

Визначення частини гідроресурсів, які можуть використовуватися для одержання гідроенергетичного потенціалу при збереженні екологічної безпеки та за мінімального техногенного ризику ґрунтувалося на аналізі внутрішньорічної динаміки стоку. Тобто, у числовому вираженні кількісної складової природно-техногенної безпеки відповідає частка стоку, яка більша за мінімальну середньомісячну витрату маловодного року. Цей потенціал може бути використаний для водопостачання населених пунктів [26]. На величину потенціалу розраховуємо максимально можливу величину скидання стічних вод – резерв для самоочищення поверхневих вод. Цю воду можна акумулювати у водозбірних басейнах тощо.

Величина кількісної складової природно-техногенної безпеки гідроекосистем дорівнює різниці фактичної витрати за розрахунковий період часу та мінімальної середньомісячної витрати маловодного року 75% забезпеченості, яку ми прийняли за нульовий кількісний потенціал природно-техногенної безпеки гідроекосистеми:

$$Q_S = Q_f - Q_{min75\%}, \quad (1)$$

де Q_S – кількісний потенціал, м³/с; Q_f – витрата води у створі спостереження (за розрахунковий

період), м³/с; $Q_{min75\%}$ – середньомісячна витрата маловодного року 75% забезпеченості, м³/с.

Наявність бази даних щоденних витрат води для всіх пунктів спостережень туристично-рекреаційного регіону Західної України дозволили розрахувати параметри кількісної складової природно-техногенної безпеки гідроекосистем та на їх основі отримати функціональні просторові закономірності розподілу кількісного показника (модуля стоку) з абсолютною висотою місць [24].

Наприклад, для Прут-Сіретської гідроекосистем в межах Українських Карпат була отримана функціональна залежність збільшення стоку з висотою (рис. 1):

$$M_{\text{П}-\text{С}} = -0.058 + 0.123(\ln H_{\text{П}-\text{С}})^2;\ R^2 = 0.886; \quad (2)$$

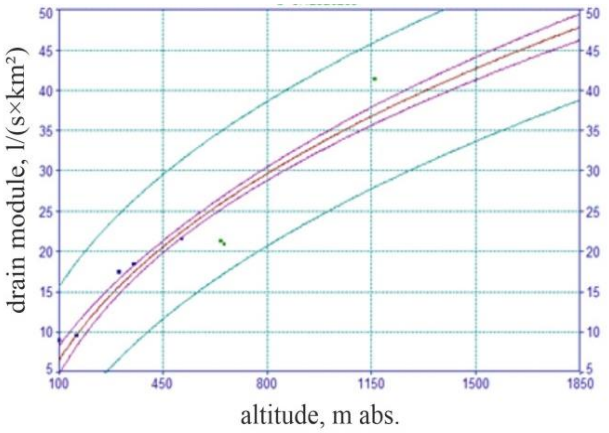

Рисунок 1 – Апроксимована функціональна залежність норми кількісного стану Прут-Сіретської гідроекосистеми з висотою місцевості в межах Українських Карпат

Критичні значення критерію Фішера були за стандартними таблицями. Висунута гіпотеза підтвердилася, за умов, коли рівень значимості приймався 5%, 1% і навіть 0,1%. Таким чином, зв'язок між факторами оцінюється як суттєвий. За отриманою математичною моделлю пропонується визначати норму кількісного потенціалу в будь-якій точці гідроекосистеми річки Прут у межах західних областей України.

Результати дослідження

Впроваджуючи запропоновану методологію, автори отримали дані, які дозволили аргументувати технічні рішення та природоохоронні рекомендації для мінімізації техногенного впливу на гідроекосистему річки Білий Черемош при впровадженні інвестиційного проекту будівництва каскаду чотирьох малих ГЕС у селі Голошина Івано-Франківської області (рис. 2).

Площа водозбору створу нижньої за течією з каскаду малих ГЕС становить 371 км², верхньої – 362,5 км². Висота створу забору води нижньої станції становить 675,5 м, верхньої – 737,0 м. Застосовуючи функціональну залежність норми кількісного стану Прут-Сіретської гідроекосистеми, отримуємо середньо-багаторічний модуль стоку на рівні 20,0 л/с×км². Розрахункові середньомісячні витрати води у створах каскаду малих ГЕС за умов середнього за водністю року, маловодного (75%) і багатоводного років наведено у табл.1. За мінімальних екологічних ризиків та збереження високого рівня рекреаційно-туристичного потенціалу станції каскаду малих ГЕС характеризується так:

- верхня мала ГЕС (деріваційного типу, потужністю 990 кВт) зможе працювати на повну проєктну потужність, при споживаній витраті води 6,2 м³/с три повні місяці в маловодний рік, п'ять місяців у середній по водності рік і шість місяців на рік у багатоводні роки;

- наступна вниз за течією в каскаді мала ГЕС (деріваційного типу, потужністю 980 кВт) зможе працювати на повну проєктну потужність при споживаній витраті води до 10,0 м³/с шість повних місяців у маловодний рік, сім місяців у середньому по водності рік та дев'ять місяців на рік у багатоводні роки;

- третя в каскаді мала ГЕС (деріваційного типу, потужністю 980 кВт) зможе працювати на повну проєктну потужність при споживаній витраті води 4,05 м³/с від шести до восьми повних місяців у різні по водності роки;

- найнижча за течією з каскаду мала ГЕС (руслового типу, потужністю 480 кВт) може працювати на повну проєктну потужність при споживаній витраті води 8,7 м³/с майже три повні місяці в маловодний рік, п'ять місяців у середній по водності рік і шість місяців на рік у багатоводні роки. Половину потужності МГЕС буде забезпечено водою від трьох до шести місяців у різні по водності роки.

Рисунок 2 – Територія дослідження

Таблиця 1

Розрахункові середньомісячні витрати води (м³/с) у створах каскаду Голошинських малих ГЕС для умов різних водних років

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Середній по водності рік												
верхній створ	2,73	3,05	5,84	13,1	15,3	13,1	11,8	8,89	5,91	4,12	4,22	3,43
нижній створ	2,66	2,97	5,69	12,73	14,96	12,73	11,49	8,67	5,76	4,02	4,11	3,34
Маловодний рік												
верхній створ	1,88	3,09	4,21	8,77	14,52	8,63	5,66	5,99	3,49	3,16	5,21	3,94
нижній створ	1,84	3,02	4,1	8,55	14,16	8,41	5,52	5,84	3,41	3,09	5,07	3,85
Багатоводний рік												
верхній створ	3,17	2,72	9,36	14,27	19,29	15,98	13,24	13,93	6,86	4,69	6,67	3,95
нижній створ	3,09	2,65	9,13	13,9	18,81	15,58	12,91	13,58	6,69	4,57	6,5	3,85

Нестача водних ресурсів на всіх малих ГЕС каскаду на річці Білий Черемош буде відчутною в осінньо-зимову межу, що є характерною для Карпатських річок.

Згідно з ДБН В.2.5-74:2013 величина санітарного попуску повинна бути не меншою за мінімальну середню середньодобову витрату водотоку в побутовому гідрологічному режимі літньої та зимової межі року 95% забезпеченості [27]. У розглянутому інвестиційному проекті передбачено забезпечення попуску витрати води на рибоходи каскаду малих ГЕС у кількості 0,357 м³/с, яка обґрунтована як санітарна витрата за проектом на рівні 75% мінімальної добової витрати маловодного року 95% забезпеченості. Але, на думку авторів, така витрата є недостатньою для збереження гідробіонтів річки Білий Черемош, що підтверджується іхтіологічними дослідженнями фахівців інституту гідробіології Національної Академії Наук України.

Перші три гідроелектростанції з каскаду малих ГЕС на річці Білий Черемош – станції деріваційного типу. У перших двох ГЕС уся вода, що забирається для пропуску через турбіну, потрапляє назад у річку в нижньому б'єфі в повному обсязі через 168 метрів деріваційних тунелів, які спрямовують дві природні меандри річки. Для третьої станції вся вода, що відбирається для пропуску через турбіну, потрапляє в нижній б'єф у повному обсязі через 168 метрів деріваційного тунелю та 1512 метрів напірного трубопроводу. Тому, питання санітарних попусків цих трьох станцій в природне русло меандр річки Білий Черемош і 1,5 км природного русла річки, де постійно перебуватиме лише обсяг санітарного попуску, а також можливі об'єми води при переливі в повінь і паводки, і визначатиме екологічні ризики, пов'язані з життєдіяльністю вод. Сумарна довжина ділянок, у яких протягом року буде

знижено рівень води порівняно з природним рівнем внаслідок роботи каскаду малих ГЕС, дорівнює 4,142 км, що становить близько 8% довжини русла річки Білий Черемош.

Основні вимоги до санітарного попуску на зазначених ділянках – забезпечення прийнятної для риби швидкості потоку та глибини (не менше 24 см). У період меженних витрат ширина русла, згідно з дослідженнями авторів, становить 6,0 м. При швидкості перебігу 0,9 м/с і глибині не менше 0,24 м, санітарна витрата води становитиме близько 1,3 м³/с в період нересту риб і не менше 0,4 м³/с в інші періоди.

Гідробіологічними дослідженнями, була встановлена наявність таких червонокнижних видів: Міног угорська (*Eudontomyzon danfordi* Regan, 1911); Лосось дунайський (*Hucho hucho* Linnaeus, 1758); Харіус європейський (*Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758); Марена звичайна (*Barbus barbus* Linnaeus, 1758); Марена дунайсько-дністровська (*Barbus petenyi* Heckel, 1852); Ялець-андруга (*Telestes souffia* Risso, 1827) в річці Білий Черемош. У зв'язку з цим виникла потреба змінити конструкції проєктних рибоходів на водозабірних греблях для пропуску обох видів на всіх станціях каскаду малих ГЕС. З таким завданням найкраще справляється рибохід Деніела [28]. Рибохід Деніела є комбінацією типових секцій для руху риби та басейнів для відпочинку риби (рис.3). Його легко застосувати для різних перепадів висот, оскільки в секціях для руху риби зберігається постійна швидкість течії. Для проходу риби в перегородках влаштовують так звані впливні отвори, які розташовують по черзі то з однієї, то з іншої сторони лотка. Залежно від наявності у річці риб з поверхневим або придонним способом життя, отвори роблять або донними (*orifices*) – для марени, миня та ін., або поверхневими (*notches*) – для дунайського лосося, форелі та ін. За необхідності пропуску і тих і інших риб у перегородках роблять обидва отвори, чергуючи їх в шаховому порядку по довжині та ширині каналу.

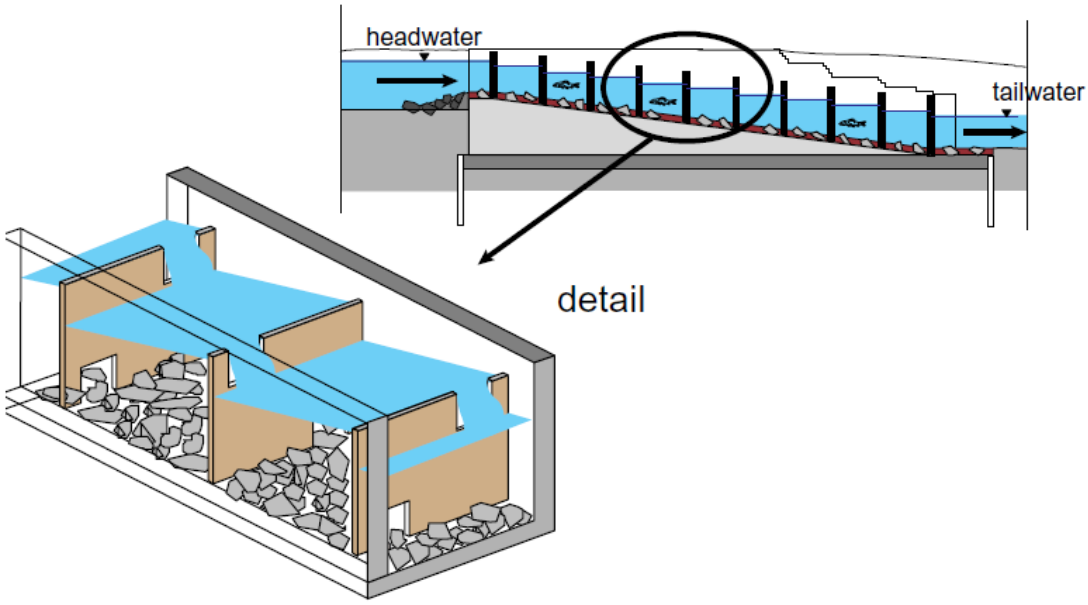

Рисунок 3 – Рибохід Деніела [28]

Аналізуючи гідробіологічні дослідження встановлено, що будівництво та експлуатація малих гідроелектростанцій може негативно впливати на нерест риб. Основний період нересту іхтіофауни приходиться на квітень-червень, окрім нересту форелі (листопад-грудень).

Тому, враховуючи проєктні пропозиції та проведену екологічну оцінку, оптимальний період будівництва з точки зору збереження іхтіофауни може відбуватися з липня по жовтень та у січні-лютому і першій декаді березня (табл. 2).

Таблиця 2

Місяці нересту іхтіофауни у р. Білий Черемош

Види риб	Червона книга України (+/-)	Місяць року											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Харіус європейський (*Thymallus thymallus Linnaeus*)	+												
Лосось дунайський (*Hucho hucho Linnaeus*)	+												
Мінога карпатська (*Eudontomyzon danfordi Regan*)	+												
Марена звичайна (*Barbus barbus Linnaeus*)	+												
Марена дунайсько-дністровська (*Barbus petenyi Heckel*)	+												
Ялець звичайний (*Leuciscus leuciscus Linnaeus*)	-												
Ялець-андруга (*Telestes souffia Risso*)	+												
Форель струмкова (*Salmo trutta var. Fario*)	-												
Головень європейський (*Squalius cephalus*)	-												
Підуст звичайний (*Chondrostoma nasus*)	-												

Найнижча в каскаді малих ГЕС – станція руслового типу, в якій вся вода, що відбирається для пропуску через турбіну, потрапляє назад у річку (нижній б'єф) у повному обсязі вже через 60 метрів. За проєктом для цієї станції буде споруджено високу водозабірну греблю (6,5 м). Тому питання санітарних попусків для цієї станції вирішувалося проєктними розрахунками рибоходу, який дозволить рибі добиратися з нижнього б'єфу до верхнього та навпаки. Основні вимоги до рибоходу – це забезпечення прийнятної для риби швидкості потоку та прийнятних глибин у конструкціях. Рекомендується в такому випадку передбачити рибохід Деніела з конструкцією із шести секцій руху та п'яти басейнів для відпочинку риби. Витрата води, яка повинна пропускатися через рибохід для забезпечення прийнятної для риби швидкості, становитиме 0,6-0,7 м³/с.

Для водного середовища району розташування каскаду малих ГЕС в Українських Карпатах будуть характерні прямі впливи, які полягатимуть у промисловому використанні річкового стоку рік Білий Черемош додати річки, що призведе до зміни динамічних властивостей водотоку та зміни морфології русла річки. При облаштуванні підпору (греблі) очікується деградація русла в місці спорудження.

До потенційних впливів на водне середовище, які відбуватимуться в результаті впровадження розглянутого інвестиційного проекту, належать: збільшення кількості наносів через пошкодження ґрунту при влаштуванні водозабірних споруд, будівельного майданчика та прокладанні доріг і ліній електропередач (ЛЕП). Впливи будуть підвищеними під час проведення будівельно-монтажних робіт, та зменшуватимуться з часом через природну стабілізацію, із застосуванням відновлювальних заходів з рекультивацією порушеного ґрунтового покриву. Здійснення будівельних робіт відбуватиметься протягом відносно короткого періоду (до року), тому більшість негативних впливів прогнозуються короткостроковими.

До суттєвого ризику природно-техногенної небезпеки належить побудова греблі. Автори статті розробили модель ймовірності її руйнування та небезпеки утворення паводкової хвилі, яка описана нижче. У каскаді малих ГЕС лише одна станція руслового типу, де передбачена гребля заввишки 6,5 м. Інші – водозабірні споруди гребельного типу заввишки 2,0-4,5 м. За нашими розрахунками стійкість греблі повинна бути розрахована на максимальну витрату 1,0% забезпеченості. Найбільша виміряна витрата у створі річки Білий Черемош зареєстрована в селі Яблуниця (нижче за течією території проектного каскаду) та становила 750,0 м³/с під час повені 26.07.2008 року.

За проектом найбільше водосховище (проектним об'ємом 40164,0 м³) буде утворене на нижній за течією малій ГЕС. Розглянемо ситуацію, коли водосховище не наповнено наносами, тобто при проходженні паводку 1% забезпеченості з витратою 500,0 м³/с водосховище зможе утримати максимум до 31,5 м³/с води, отже через водозливну греблю має пройти до 468,5 м³/с руслового стоку. Таким чином, у зв'язку з малими розмірами паводково-регулююча роль водосховищ у каскаді Голошинських ГЕС відсутня.

Для розрахунку ймовірності настання події – прориву дамби використана проста логічна модель. Події поділимо на:

– подія А: надходження паводку достатньої витрати, щоб створити загрозу, тобто – витрата, яка перевищує здатність системи/відтік через споруди й призводить до потенційного затоплення/ штучного наповнення, ми вважатимемо це як «потенційна ситуація прориву»;

– подія В: фактичне руйнування дамби (прорив) за умови, що відбулася подія А.

Тоді річну (або для конкретної події) ймовірність руйнування можна записати як:

$$P_{\text{руйнування}} = P(A) \times P(B|A). \quad (4)$$

У нашому випадку прирівнюємо подію А до того, що приходить паводок більший ніж розрахунковий пропуск (468,5 м³/с). Проєктом максимальний пропуск води через греблю під час 1% паводку дорівнює $Q_{1\%}$= 500 м³/с – отже за проєктною оцінкою $P(Q{\geq}500)=0{,}01P$ (0,01=1% на рік). Оскільки 468,5<500,0 будь-який паводок рівня 1% ймовірно буде вже умовою, яка створює надлишок, тобто $P(A)$ приблизно дорівнює 0,01 (вважаємо, що подія «паводок ≥ 468,5» має ймовірність не меншу за 1%; для простоти приймаємо $P(A)$=0,01).

Критична невідомість $P(B|A)$ – це ймовірність, що дамба реально прорве за умови приходу такого паводку. Цей параметр залежить від типу дамби, матеріалів, технічного стану, часу дії навантаження, наявності дефектів, ерозійної стійкості, швидкості і висоти хвилі, наявності заходів захисту тощо. Оскільки ці дані зараз відсутні, розраховуємо кінцеву ймовірність як інтервал:

– консервативний (відносно міцна конструкція, наявні запобіжні заходи, невисока ерозійна вразливість): $P(B|A) \approx 0{,}2 - 0{,}4\ (20 - 40\%)$;

– реалістичний/середній: $P(B|A) \approx 0{,}5 - 0{,}7\ (50 - 70\%)$;

– критичний (слабка конструкція, дамба без захисту, тривала дія хвилі, попередні дефекти): $P(B|A) \approx 0{,}8 - 0{,}95\ (80 - 95\%)$.

Ці інтервали – приблизні, такий підхід як правило використовують для попереднього кількісного ризико-аналізу.

Проведемо інтерпретацію цих ризиків у річних інтервалах. Для цього $P(A)$=0,01 (1% на рік, тобто проєктна подія). Тоді:

– нижня оцінка (консервативна): $P(B|A) = 0{,}3 \rightarrow P_{\text{руйнування}} = 0{,}01 \times 0{,}3 = 0{,}003 = 0{,}3\%$ (річна ймовірність);

– середня (реалістична) оцінка: $P(B|A) = 0{,}6 \rightarrow P_{\text{руйнування}} = 0{,}01 \times 0{,}6 = 0{,}006 = 0{,}6\%$ на рік;

– висока (песимістична): $P(B|A) = 0{,}9 \rightarrow P_{\text{руйнування}} = 0{,}01 \times 0{,}9 = 0{,}009 = 0{,}9\%$ на рік.

Переклад у середній очікуваний інтервал:

– 0,3% → імовірність 1 раз за ≈ 333 років;

– 0,6% → ≈ 167 років;

– 0,9% → ≈ 111 років.

Ця інтерпретація: при річній ймовірності 0,006 очікувана частота близько 1/0,006 ≈ 167 років.

За реально виміряною витратою під час повені 26.07.2008 р. $Q_{1\%}$=750 м³/с. Якщо вважати, що ця подія ~0.2% на рік (приблизно 1 випадок на 500 років, p=0,002) або 0,5% (1/200 років), тоді:

– для p=0,002 і припущення $P(B|Q) = 750 = 0{,}9$ річна ймовірність руйнування $\approx 0{,}002 \times 0{,}9 = 0{,}0018 = 0{,}18\%$;

– для p=0,005 (1/200) → 0,005×0,9 = 0,45%.

Таким чином, за проєктними даними ($Q_{1\%}$=500 м³/с) і за припущенням, що при такому паводку дамба має значний ризик (з огляду на малі ємності водосховища), реалістична оцінка річного ризику руйнування лежить приблизно в інтервалі 0,3%-0,9% на рік (тобто приблизно 1 випадок в 111-333 років), залежно від фактичної вразливості конструкції.

Якщо враховувати спостереження 2008 року ($Q_{1\%}$=750 м³/с), і якщо таке явище не є надзвичайно рідкісним, ризик може бути порівнянним або вищим – усе залежить від реальної гідрологічної частоти виникнення паводку з витратою 750 м³/с.

Якщо змоделювати техногенну катастрофу з проривом проєктованої дамби, то висота хвилі прориву і швидкість її поширення залежать від об'єму (40164,0 м³) і глибини водосховища (2,77 м), площі дзеркала водного басейну (14510,0 м²), розмірів прориву, різниці рівнів статичних умов русла річки та її заплави. У районі нульового створу (тіло греблі) висота хвилі прориву за розрахунками може становити 3,6 м. Швидкість поширення хвилі прориву для гірських та передгірських районів приймають до 100,0 км/год. Швидкість руху хвилі прориву 2,5-5,0 м/с приймається для зон катастрофічного затоплення та небезпечного затоплення, а ділянок можливого затоплення 1,5-2,5 м/с. При цьому статичний тиск потоку води не менше 20,0 кПа з тривалістю дії не менше 0,25 годин.

За проведеними експертними розрахунками навіть за умови повного раптового руйнування греблі, нижче за течією ситуація складеться не гірше, ніж під час дощових паводків, які спостерігаються з певною періодичністю в межах території басейну річки Білий Черемош, що розглядається. Наприклад, ситуація повені 1% забезпеченості (повторюваність раз на 100 років), коли по руслу річки за добу проходить близько 40,0 млн м³ води, дозволяє повністю спустити всю воду з водосховища за кілька хвилин.

Вибір ситуації відповідно залежатиме від величини прориву греблі, але в цілому можна зробити висновок, що водосховища, які створюються, не відносяться до техногенних об'єктів, що ймовірно можуть створити ситуацію, яка виходитиме за межі природних коливань водності річки в досліджуваних створах.

Таким чином, будівництво каскаду Голошинських малих ГЕС у рекреаційно-туристичній зоні Українських Карпат за умови забезпечення рекомендованих для рибоходів попусків води не призведе до виснаження водних ресурсів річки Білий Черемош так само, як і будь-яких якісних змін у ґрунтових та поверхневих водах.

Висновки

Внаслідок впровадження інвестиційного проекту будівництва каскаду малих ГЕС у регіоні Українських Карпат очікуються як позитивні, так і негативні впливи на довкілля. Останні не можна вважати значущими. Мінімізація або уникнення встановлених негативних впливів можлива шляхом повної відповідності запланованих дій існуючому природоохоронному законодавству України та проектованих техніко-технологічних рішень із впровадженням комплексу заходів, спрямованих на охорону навколишнього середовища. Запропоновані інженерно-технічні рішення мінімізують техногенний вплив, зменшать екологічні ризики у рекреаційно-туристичному регіоні.

Подяка

Висловлюємо подяку професору Людмилі Архиповій за надану консультативну допомогу та матеріали для проведення дослідження.

Список літератури:

1. Паризька угода : Закон України від 14 лип. 2016 р. № 1469-VIII // *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. – 2016. – № 35. – С. 595.

2. Institute and Faculty of Actuaries, Institute of Actuaries of Australia, Casualty Actuarial Society, Society of Actuaries. *Climate Science: A Summary for Actuaries – What the IPCC Climate Change Report 2021 Means for the Actuarial Profession* [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/359519641

3. Е-ОВД | ЕкоСистема [Електронний ресурс]. – Без дати. – Режим доступу: https://eco.gov.ua/categories/e-ovd.

4. Кабінет Міністрів України. *Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року* : розпорядження від 09 груд. 2022 р. № 1134-р [Електронний ресурс] // *Законодавство України / Верховна Рада України*. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-р (дата звернення: 12.08.2025).

5. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. *Звіт про стратегічну екологічну оцінку (СЕО)* [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: https://mev.gov.ua/sites/default/files/2024-12/zvit-seo.pdf (дата звернення: 12.08.2025).

6. Klymchuk, I., Matiyiv, K., Arkhypova, L., Korchemlyuk, M. *Mountain tourist destination – the quality of groundwater sources* [Електронний ресурс] // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. – 2022. – Vol. 23, No. 3. – С. 208–214. – DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/147764.

7. Pobihun, O., Arkhypova, L., Korobeinykova, Y., Kachala, S., Hryniuk, V. *An Analysis of Tourists' Use and Assessment of Tourist Infrastructure in the Ivano-Frankivsk and Transcarpathian Regions of Ukraine* [Електронний ресурс] // *Studia Regionalne i Lokalne (Special Issue)*. – 2024. – С. 89–104. – Режим доступу: https://doi.org/10.7366/15094995S2407.

8. Grimselwelt. Information [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.grimselwelt.ch/en/information (дата звернення: 11.08.2025).

9. EDF Hydrélec Museum. Musée EDF Hydrélec [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.vaujany.com/en/edf-hydrelec-museum/ (дата звернення: 11.08.2025).

10. Консевич, Л. М. *Гідроекологічний потенціал Українських Карпат і перспективи його використання* : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / Л. М. Консевич ; Український НДІ екологічних проблем. – Харків, 2000. – 21 с.

11. Адаменко, Я. О., Архипова, Л. М., Пернеровська, С. В. *Наукова еколого-експертна оцінка проектів малих ГЕС в Івано-Франківській області* // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування* : наук.-техн. журнал / засн. ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ, 2013. – № 2(8). – С. 26–31.

12. Arkhypova, L., Korchemluk, M., Horoshkova, L., Khlobystov, I., Stakhmych, Y. *Regularities of changes in the recreation ecosystems' quality parameters in space* // *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. – 2022. – С. 1–5. – DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580002.

13. Klymchuk, I., Arkhypova, L. *Modeling the groundwater potential of Nadvirna district using analytical hierarchy and GIS methods* // *Proceedings of the 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. – 2023. – С. 1–4. – DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520136.

14. Glibovytska, N., Rashevska, H., Arkhypova, L., Adamenko, Y., Orfanova, M. *Impact of electric power facilities on natural phytocenotic diversity* // *Ukrainian Journal of Forest and Wood*

Science. – 2024. – Т. 15, № 2. – С. 8–22. – DOI: https://doi.org/10.31548/forest/2.2024.08.

15. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23 трав. 2017 р. № 2059-VIII [Електронний ресурс] // *Верховна Рада України*. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19 (дата звернення: 20.08.2025).

16. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20 берез. 2018 р. № 2354-VIII [Електронний ресурс] // *Верховна Рада України*. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19 (дата звернення: 20.08.2025).

17. ДБН А.2.2-1:2021 *Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС)* : затв. наказом Мінрегіону України від 30.12.2021 № 366 [Електронний ресурс] // *Міністерство розвитку громад та територій України*. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98038 (дата звернення: 21.08.2025).

18. Оцінка впливу на довкілля для малих гідроелектростанцій : звіт [Електронний ресурс] / *Energy Ukraine*. – 2019. – Режим доступу: https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2019/06/report-EIA_hydro-final.pdf (дата звернення: 06.08.2025).

19. Консевич, Л. М., Адаменко, Я. О. *Прогноз екологічних наслідків побудови малих гідроелектростанцій на річці Прут* // *Наукові записки. Серія: Географія*. – 2004. – № 2. – С. 104–110.

20. Архипова, Л. М. *Природно-техногенна безпека гідроекосистем* : монографія. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2011. – 355 с.

21. Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод : наказ Мінприроди України від 14 січ. 2019 р. № 5 [Електронний ресурс] // *Верховна Рада України*. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text (дата звернення: 15.08.2025).

22. Архипова, Л. М. *Науково-методологічні основи природно-техногенної безпеки поверхневих гідроекосистем Карпатського регіону* : дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01. – Івано-Франківськ, 2012. – 432 с.

23. Kravchynskyi, R. L., Korchemlyuk, M. V., Khilchevskyi, V. K., Arkhypova, L. M., Plichko, L. V. *Criteria for identification of landslides in the upper Prut river basin on satellite images* // *Geoinformatics*. – 2021. – С. 1–6. – DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521003.

24. Arkhypova, L., Vinnychenko, I., Kinash, I., Horoshkova, L., Khlobystov, E. *Theoretical substantiation of modeling of recreational systems* // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. – 2022. – Т. 23, № 5. – С. 99–108. – DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/151758.

25. Архипова, Л. М. *Моделювання рекреаційних систем Карпатського регіону* // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2015. – Т. 53, № 2. – С. 14–20.

26. Matiyiv, K., Klymchuk, I., Arkhypova, L., Korchemlyuk, M. *Surface water quality of the Prut river basin in a tourist destination* // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. – 2022. – Т. 23, № 4. – С. 107–114. – DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/150311.

27. Державний інститут «УкрНДІводоканалпроект». *ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування* [Електронний ресурс]. – Київ : Державний інститут «УкрНДІводоканалпроект», 2013. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54058 (дата звернення: 21.08.2025).

28. FAO/DVWK. *Fish passes: Design, dimensions and monitoring* [Електронний ресурс]. – Рим : *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2002. – Режим доступу: https://www.fao.org/4/y4454e/y4454e00.htm (дата звернення: 22.08.2025).

References:

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2016). *Paris Agreement: Law of Ukraine No. 1469-VIII of July 14, 2016* [Paryzʹka uhoda : Zakon Ukrayiny vid 14.07.2016 № 1469-VIII]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR)*, 35, 595.

2. Institute and Faculty of Actuaries; Institute of Actuaries of Australia; Casualty Actuarial Society; Society of Actuaries. (2022). *Climate science: A summary for actuaries – What the IPCC climate change report 2021 means for the actuarial profession* [Electronic resource]. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/359519641

3. EcoSystyma. (n.d.). *E-OVD | EcoSystyma* [Electronic resource]. Retrieved from https://eco.gov.ua/categories/e-ovd

4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, December 9). *On approval of the Water Strategy of Ukraine until 2050: Resolution No. 1134-r* [Rozporyadzhennya vid 09 hrud. 2022 r. № 1134-r]. Retrieved August 12, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-p

5. Ministry for Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2024). *Report on strategic environmental assessment (SEA)* [Zvit pro

strukturnu ekolohichnu otsinku (SEO)] [Electronic resource]. Retrieved August 12, 2025, from https://mev.gov.ua/sites/default/files/2024-12/zvit-seo.pdf

6. Klymchuk, I., Matiyiv, K., Arkhypova, L., & Korchemlyuk, M. (2022). Mountain tourist destination – the quality of groundwater sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, *23*(3), 208–214. https://doi.org/10.12912/27197050/147764

7. Pobihun, O., Arkhypova, L., Korobeinykova, Y., Kachala, S., & Hryniuk, V. (2024). An analysis of tourists' use and assessment of tourist infrastructure in the Ivano-Frankivsk and Transcarpathian regions of Ukraine. *Studia Regionalne i Lokalne (Special Issue)*, 89–104. https://doi.org/10.7366/15094995S2407

8. Grimselwelt. (n.d.). *Information* [Electronic resource]. Retrieved August 11, 2025, from https://www.grimselwelt.ch/en/information

9. EDF Hydrélec Museum. (n.d.). *Musée EDF Hydrélec* [Electronic resource]. Retrieved August 11, 2025, from https://www.vaujany.com/en/edf-hydrelec-museum/

10. Konsevych, L. M. (2000). *Hydro-ecological potential of the Ukrainian Carpathians and prospects for its use* [Hidroekolohichnyy potentsial Ukrayins′kykh Karpat i perspektivy yoho vykorystannya] (Author's Abstr. PhD Thesis). Ukrainian Research Institute of Ecological Problems, Kharkiv.

11. Adamenko, Ya. O., Arkhypova, L. M., & Pernerovska, S. V. (2013). Scientific ecological-expert assessment of small HPP projects in the Ivano-Frankivsk region [Naukova ekoloho-ekspertna otsinka proektiv malykh HES v Ivano-Frankivskyi oblasti]. *Ekologichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya*, (2(8)), 26–31.

12. Arkhypova, L., Korchemluk, M., Horoshkova, L., Khlobystov, I., & Stakhmych, Y. (2022). Regularities of changes in the recreation ecosystems' quality parameters in space. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (pp. 1–5). https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580002

13. Klymchuk, I., & Arkhypova, L. (2023). Modeling the groundwater potential of Nadvirna district using analytical hierarchy and GIS methods. In *Proceedings of the 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* (pp. 1–4). https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520136

14. Glibovytska, N., Rashevska, H., Arkhypova, L., Adamenko, Y., & Orfanova, M. (2024). Impact of electric power facilities on natural phytocenotic diversity. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, *15*(2), 8–22. https://doi.org/10.31548/forest/2.2024.08

15. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017). *On environmental impact assessment: Law of Ukraine No. 2059-VIII of May 23, 2017* [Pro otsinku vplyvu na dovkillya : Zakon Ukrayiny vid 23.05.2017 № 2059-VIII]. Retrieved August 20, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19

16. Verkhovna Rada of Ukraine. (2018). *On strategic environmental assessment: Law of Ukraine No. 2354-VIII of March 20, 2018* [Pro stratehichnu ekolohichnu otsinku : Zakon Ukrayiny vid 20.03.2018 № 2354-VIII]. Retrieved August 20, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19

17. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. (2021). *DBN A.2.2-1:2021 Composition and content of materials for environmental impact assessment (OVNS): approved by Order of the Ministry of Regional Development of Ukraine No. 366 of December 30, 2021* [Sklad i zmist materialiv otsinky vplyviv na navkolyshnie seredovyshche (OVNS)]. Retrieved August 21, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98038

18. Energy Ukraine. (2019). *Environmental impact assessment for small hydropower plants: Report* [Otsinka vplyvu na dovkillya dlya malykh hydroustanovok] [Electronic resource]. Retrieved August 6, 2025, from https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2019/06/report-EIA_hydro-final.pdf

19. Konsevych, L. M., & Adamenko, Ya. O. (2004). Forecast of ecological consequences of construction of small hydropower plants on the Prut river [Prognoz ekologichnykh naslidkiv pobudovy malykh HES na richtsi Prut]. *Naukovi zapysky. Seriia: Heohrafiia*, (2), 104–110.

20. Arkhypova, L. M. (2011). *Natural-technogenic safety of hydro-ecosystems* [Pr yrodno-tehnogenna bezpeka hidro-ekosystem] (Monograph). Ivano-Frankivsk: IFNTUNG.

21. Ministry for Environmental Protection of Ukraine. (2019, January 14). *Methodology for assigning a surface water body to one of the classes of ecological and chemical condition, and for assigning an artificial or substantially changed surface water body to one of the classes of ecological potential of an artificial or substantially changed surface water body: Order No. 5* [Metodyka vnesennya masyvu poverkhnevykh vod do odnogo z klasiv ekolohichnoho ta khimichnoho stanu …] [Electronic resource]. Retrieved August 15, 2025, from zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text

22. Arkhypova, L. M. (2012). *Scientific-methodological foundations of natural-technogenic safety of surface hydro-ecosystems of the Carpathian region* [Naukovo-metodolohichni osnovy pryrodno-

tehnogennoi bezpeky poverkhnevykh hydro-ekosystem Karpatskoho rehionu] (Doctoral Thesis). Ivano-Frankivsk.

23. Kravchynskyi, R. L., Korchemlyuk, M. V., Khilchevskyi, V. K., Arkhypova, L. M., & Plichko, L. V. (2021). Criteria for identification of landslides in the upper Prut river basin on satellite images. *Geoinformatics*. doi.org/10.3997/2214-4609.20215521003

24. Arkhypova, L., Vinnychenko, I., Kinash, I., Horoshkova, L., & Khlobystov, E. (2022). Theoretical substantiation of modeling of recreational systems. *Ecological Engineering & Environmental Technology, 23*(5), 99–108. https://doi.org/10.12912/27197050/151758

25. Arkhypova, L. M. (2015). Modeling of recreational systems of the Carpathian region [Modeliuvannia rekreatsiinykh system Karpatskoho rehionu]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, 53*(2), 14–20.

26. Matiyiv, K., Klymchuk, I., Arkhypova, L., & Korchemlyuk, M. (2022). Surface water quality of the Prut river basin in a tourist destination. *Ecological Engineering & Environmental Technology, 23*(4), 107–114. https://doi.org/10.12912/27197050/150311

27. Ukrainian Research Institute "UkrNDIvodokanalproekt". (2013). *DBN V.2.5-74:2013 Water supply. External networks and facilities. Basic design provisions* [Vodopostachannia. Zovnishni merezhi ta sporydy. Osnovni polozhennia proektuvannia] [Electronic resource]. Retrieved August 21, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54058

FAO/DVWK. (2002). *Fish passes: Design, dimensions and monitoring* [Electronic resource]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved August 22, 2025, from https://www.fao.org/4/y4454e/y4454e00.htm

© Я. О. Адаменко, В. Є. Майкович, 2025.
Науково-методична стаття.
Надійшла до редакції. 29.08. 2025.
Прийнято до публікації 26.11.2025.