

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГНАТІВ ІГОР РОМАНОВИЧ

УДК 502/504.064/4.054/453/556.314/574.52

ДИСЕРТАЦІЯ

**АНТРОПОГЕННА ТРАНСФОРМАЦІЯ ПРИРОДНИХ ФУНКЦІЙ
ВОДОЗБІРНОЇ ЕКОСИСТЕМИ РІЧКИ СТРИЙ**

101 – Екологія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І. Р. Гнатів

Науковий керівник – **Снітинський Володимир Васильович**, доктор біологічних наук, професор, академік НААН

Львів – 2022

АНОТАЦІЯ

Гнатів І. Р. Антропогенна трансформація природних функцій водозбірної екосистеми річки Стрий. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 101 «Екологія». – Львівський національний університет природокористування, Львів, 2022.

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальне науково-прикладне завдання підвищення рівня екологічної безпеки водних екосистем, шляхом обґрунтування комплексного підходу до визначення антропогенного впливу та удосконалення системи екологічного моніторингу і басейнового принципу управління екологічною безпекою.

Проаналізовано наявні наукові літературні джерела про гідрогеологічні умови, геоморфологічні особливості, гідрологічні параметри, екологічні та гідрохімічні показники якості води в басейні р. Стрий. Встановлено головні види антропогенного навантаження та проведена оцінка вагомості їх впливу на якість природних вод досліджуваного регіону. Обґрунтовано вплив геоморфологічних, гідрологічних та гідроекологічних умов басейну р. Стрий на процеси природного самоочищення поверхневих вод і вплив на них гідродинамічно активних ділянок в руслах річок.

Збільшення кількості населення, за умов урбанізації території їх проживання, спричиняє активізацію антропогенних впливів на водні об'єкти. Значна густина населення і зростання промислового потенціалу зумовлюють збільшення кількості джерел забруднень із цих територій, що надходять до водних об'єктів. Ці закономірності визначають зростання об'ємів забруднень, а також необхідності для їх санітарного та екологічного контролю. Необхідно аналізувати особливості динаміки річкових течій та руслових процесів разом з екологічними показниками на карпатських територіях для оцінювання впливу вказаних чинників на становище прилеглої мережі річок.

В нашій країні недостатньо ефективна система моніторингу якості природних та питних вод, яка негативно впливає на екологічну і епідемічну ситуацію. Діючий порядок спостережень в системі моніторингу проводиться на певних пунктах за спеціально розробленою кожним відомством програмою контролю водних ресурсів. Це призводить до порушення комплексності та систематичності спостережень, застосування єдиних показників якості води і методів їх визначення.

Водні екосистеми річок Прикарпатського регіону знаходяться під постійним впливом природних та антропогенних факторів, причому роль останніх постійно зростає, що вимагає спеціальних досліджень. Обґрунтовано доцільність застосування екосистемного підходу за басейновим принципом для дослідження формування техногенно змінених водних екосистем.

Вдосконалено і використано методику досліджень факторів формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий, яка поєднує басейновий та ландшафтно-геохімічний підходи. Вона дозволяє інтегрально порівнювати найрізноманітніші природні та антропогенні впливи і виділити найважливіші параметри для проведення їхнього детального аналізу. Поєднання цих підходів дало можливість вдосконалити методику екологічного аналізу басейну р. Стрий, яка дозволяє просторово диференціювати та гідрохімічно інтегрувати фактори формування хімічного складу природних вод.

В басейнових територіях річки Стрий за максимального збереження природних ландшафтів порівняно з рештою районів на Західній Україні в сучасних умовах спостерігається зростання шкідливих антропогенних впливів на показники якості річкових вод. На підвищення дієвості природного самоочищення важливий вплив мають гідродинамічно-активні ділянки (ГАД) річок, де відбувається основне збагачення киснем водних потоків та активізуються біохімічні та біологічні процеси самоочищення річкової води.

Проведено експериментальні лабораторні та натурні дослідження сезонної зміни основних гідрохімічних показників якості річкових вод басейну за врахування впливу урбанізованих територій. Розроблено рекомендації для

захисту територій від паводків та зменшення антропогенного впливу на якісні показники вод гірських річок. Для перевірки результатів теоретичних та натурних досліджень удосконалено діючу експериментальну установку, яка забезпечувала умови для моделювання течії на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок згідно із законами теорії подібності і принципами гідродинамічного моделювання.

Висока здатність річкових вод басейну р. Стрий до самоочищення зумовлена явищами комплексної дії гідродинамічно-активних ділянок, а саме турбулентною течією, кавітаційними явищами, високою насиченістю води розчиненим киснем, які забезпечуються наявністю водоспадів, порогів, водоскатів та їхніх каскадів.

Висока насиченість киснем річкових вод басейну р. Стрий спричинена впливом ГАД, які сприяють очищенню забруднених вод від біологічних політантів та інших техногенних забруднень і формують високу якість водних ресурсів регіону. Методом експериментального моделювання доведено, що проходячи через гідродинамічно-активні ділянки русел, гірські річки басейну р. Стрий за різних швидкостей потоку максимально насичуються розчиненим киснем. Розроблено методику моделювання та візуалізації течії гірських річок в лабораторних умовах.

Досліджено фактори та умови формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий, а також ділянки значного антропогенного впливу. Це дозволяє проводити більш детальний моніторинг якості природних вод басейну, зосереджуючи більшу увагу на виявлених проблемних ділянках негативного впливу. Запропоновано уточнюючі науково обґрунтовані методики моделювання процесів очищення поверхневих вод та оцінки антропогенного навантаження в басейнах гірських річок.

Серед численних екологічних проблем сьогодення є процес розмивання берегів річковими потоками за повеней та паводків. Особливо гостро ця проблема стосується гірських місцевостей, де під час стихійних явищ витрата води в потоках збільшується в десятки та сотні разів. Тому ретельне вивчення

процесу взаємодії водного потоку із твердими перешкодами відноситься до актуальних задач, які виникають в практиці спорудження та ефективної експлуатації різноманітних річкових берегоукріпних споруд. Протипаводковий захист населених пунктів, територій та об'єктів від затоплення є актуальною проблемою. Для її вирішення необхідне впровадження комплексного регулювання русел річок із врахуванням розвитку руслових процесів і прогнозуванням його можливих змін за впливу гідротехнічних та інженерних споруд.

Дослідження своєрідності багаторічних змін водності гірських водотоків та їх мінливості мають вкрай важливе значення для екологічного і гідрологічного аналізів. Аналізи просторово-часових відхилень максимальних стоків гірських річок мають важливе науково-практичне значення в прогнозуванні їх екстремальних значень. Вивчення умов їх формування, частоти виникнення і багаторічних закономірностей є дуже необхідними у розробці сучасних методів розрахунку і узагальнень в проектних та експлуатаційних роботах гідротехнічного будівництва.

В другій половині минулого і на початку цього століття у Карпатському регіоні активізувались небезпечні гідрологічні та геоморфологічні процеси. Це зумовило необхідність наукових досліджень передумов появи цих процесів, механізми їх виникнення та розвитку, а також оцінювання екологічних наслідків. Особливі небезпеки виникали в місцях, де антропогенний фактор суттєво підсилював природні передумови розвитку небезпечних геоморфологічних процесів.

Одержання реальних відомостей про місце утворення, фактори формування та проходження руйнівних екзогенних геологічних процесів, дають можливість ефективно впливати на прийняття заходів для запобігання та усунення їх негативних наслідків. Мережа гідроекологічних спостережень, діючі пости із збору оперативних даних та їх аналіз, вимагають суттєвого удосконалення згідно вимог для міжнародних моніторингів довкілля. Вперше розроблено методику розрахунку елементів берегоукріплень річок із

використанням коефіцієнта обтічності та коефіцієнта форми каменя, які дозволяють уточнювати під час обчислень розміри каменів, стійких до дії річкового потоку.

Обґрунтовано необхідність вдосконалення берегоукріплень та регулюючих заходів в басейні р. Стрий для захисту територій від підтоплення. В розробленні планів протипаводкових захистів в заплавах гірських потоків потрібно враховувати повністю всі водозбірні території. Місцеві заходи протипаводкового захисту, які не оцінюють повний процес проходжень повені в річковій заплаві, можуть спричинити суттєві погіршення загальної ситуації та збільшити збитки від паводків.

На території України необхідне негайне впровадження ефективної системи для прогнозування повеней та паводків, організація сповіщення населення про час повені, найбільші прогнозовані підняття рівня течії і тривалість паводку. Дуже важливим є своєчасне попередження жителів про ймовірний час повеней, їх наслідки та необхідні заходи для захисту від затоплень споруд і будівель.

Науково обґрунтовано необхідність створення вдосконаленої системи організації моніторингу антропогенних впливів для підвищення рівня екологічної безпеки гідроекосистем. Розроблено комплексний метод визначення природно-техногенного впливу, що дає можливість оцінювати стан басейнової екосистеми, визначити імовірність її порушення і застосування комплексу заходів оптимальних форм управління екологічною безпекою. Основні положення дисертаційної роботи успішно апробовані та впроваджені.

Ключові слова: антропогенні фактори, забруднення, самоочищення води, якість вод, руслові процеси, ерозія, повені, підтоплення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Вплив урбанізованої території м. Стрий на якість річкової води. *Вісник ЛНАУ: агрономія*. 2020 № 24. С. 17-22. doi.org/10.31734/agronomy2020.01.017 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено експериментальні дослідження із визначення впливу урбанізованої території м. Стрий на якість річкової води.*

2. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Особливості формування поверхневого стоку гірських річок за вирубки лісів та розорювання схилених територій. *Науково-практичний журнал “Екологічні науки”*. 2020, № 3(30). С. 73-77. doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.12 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено експериментальні дослідження зміни параметрів стоку в басейні р. Стрий*

3. Гнатів І.Р. Вплив антропогенних факторів на якість питної води у свердловинах Стрийського водозабору. *Науково-практичний журнал “Екологічні науки”*. 2021, № 2(35). С. 25-29. doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.4 (Index Copernicus).

4. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Процеси самоочищення за впливу урбанізації територій на передгірській та рівнинній ділянках р. Стрий. *Вісник ЛНАУ: агрономія*. 2021 № 25. С. 30-34. doi.org/10.31734/agronomy2021.01.030 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено лабораторні дослідження процесів самоочищення за впливу урбанізації територій.*

Статті у міжнародних виданнях, що включені до наукометричних баз, та розділи в закордонних монографіях

5. Strutinskiy V., Yakhno O., Machuga O., Hnativ I., Hnativ R. Analysis of interaction between a configurable stone and a water flow. *Eastern-European Journal*

of Enterprise Technologies, Vol 6, No 10 (96) (2018): Ecology. p. 14-20. ISSN 1729-3774. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148077 (Scopus). *Здобувачем проведено аналітичне опрацювання результатів досліджень та обґрунтування експериментальних залежностей.*

6. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Hnativ R. Influence of Climatic Factors on Runoff Formation and Surface Water Quality of the Stryi River Basin. In: Blikharskyi Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. pp. 436-442. doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_53 (Scopus). *Здобувачем проведено аналітичне опрацювання результатів моніторингу зміни параметрів стоку.*

7. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleg, Machuga Oleg, Hnativ Roman. Visualization of River Water Flow in Hydrodynamically Active Areas under Different Flow Regimes. *Journal of Ecological Engineering* 2021, 22(9), 130–136. doi.org/10.12911/22998993/141385 (Scopus). *Здобувачем вдосконалено діючу експериментальну установку та проведено візуалізацію потоку на ГАД гірських річок*

8. Volodymyr Snitynskyi, Petro Khirivskyi, Volodymyr Cherniuk, Ihor Hnativ, Roman Hnativ, Orest Verbovskiy, Irina Bihun. The Influence of Self-Cleaning Processes on the Quality of Drinking Water of Stryi Water Intake Wells. *Journal of Ecological Engineering* 2022, 23(4), 25–32. https://doi.org/10.12911/22998993/146335 (Scopus). *Здобувачем проведено натурні дослідження процесів самоочищення в гірських водотоках на якість води водозабірних свердловин.*

9. Hnativ I.R. Modern economic activity and its impact on the state of the river-basin system of the Stryi river. *SWorldJournal*. 2021, №8, Part 2. P. 76-81. doi.org/10.30888/2663-5712.2021-08-02-083 (Index Copernicus).

10. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Yakhno O., Hnativ R. The importance of protecting the area from flooding and floods in the foothills of the Carpathian rivers. MONOGRAPH Heritage of european science: medicine, chemistry, biology, ecology, agriculture. Book 1. Part 4. Karlsruhe 2020. P. 131-137. doi.org/10.30888/978-3-9821783-6-3.2020-01-04-016 *Здобувачем проведено*

аналітичне опрацювання результатів моніторингу зміни рівнів води в періоди зростання паводкової небезпеки.

Інші публікації

11. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. *Scientific Journal “Theory and building practice” (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2020. Volume 2, Number 1. P. 9-15. doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено аналітичні дослідження зсувних та ерозійних явищ на передгірських ділянках річок Карпатського регіону.*

12. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. The need to protect areas from flooding and shore protection on the rivers of Prykarpattia. *Scientific Journal “Theory and building practice” (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2021. Vol. 3, No. 1, 2021. P. 72-78. doi.org/10.23939/jtbp2021.01.072 (Index Copernicus). *Здобувачем проаналізовано основні фактори, які впливають на трансформацію русла, ерозійні та зсувні явища на території Прикарпаття.*

13. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleh, Hnativ Roman. Changing aquatic ecological systems of the foothills of the Dniester river basin under anthropogenic loading. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE 15 – 16 November 2019, GABROVO. P. 279-283. *Здобувачем проведено аналіз впливу антропогенних і природно-кліматичних факторів на зміну водних екологічних систем басейну річки Стрий.*

14. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Яхно О.М., Гнатів Р.М. Техногенні джерела надходження компонентів у природні води річок Карпатського регіону. X Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 29 - 30 квітня 2020 р., м. Чернігів. С. 108-109. *Здобувачем проаналізовано техногенні джерела надходження компонентів у природні води річок Карпатського регіону.*

15. Снітинський В.В., Яхно О.М., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. Зміна якості природних вод на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок. Матеріали XXV Міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», 6 – 9 жовтня 2020р., м. Київ. С. 256-259. *Здобувачем проведено натурні дослідження впливу ГАД на процеси самоочищення річкових вод.*

16. Снітинський В.В., Яхно О.М., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. Вплив екстенсивної лісогосподарської діяльності на зсувні та ерозійні явища в Карпатському регіоні. «ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ І ДОВКІЛЛЯ»: збірник тез міжнар. наук. конф., (НЛТУ України, Львів, Україна, 28 – 30 травня 2020). С. 50-51. *Здобувачем проведено аналіз впливу лісогосподарської діяльності на зсувні та ерозійні явища в Карпатському регіоні.*

17. Гнатів І.Р., Дацко Т.М. Ландшафтні екосистеми Прикарпатського регіону за зростаючого антропогенного навантаження. Матеріали XXI Міжнародного науково-практичного форуму, 22 – 24 вересня 2020 р. Львів: ННВК «АТБ», 2020. С. 130-132. *Здобувачем проаналізовано антропогенні впливи на ландшафтні екосистеми Прикарпаття.*

18. Гнатів І.Р. Процеси природного самоочищення на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок. XI Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 26–27 травня 2021 р., м. Чернігів. С. 137-139. *Здобувачем проведено аналіз антропогенного навантаження на ландшафтні екосистем Прикарпатського регіону.*

19. Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Аналіз зміни та прогнозування руслових і екологічних процесів за умов мінливості природних факторів. Матеріали XXII Міжнародного науково-практичного форуму, 5 – 7 жовтня 2021 р. Львів: ННВК «АТБ», 2021. Т. 1. С.190-194. *Здобувачем проведено аналітичні дослідження зміни екологічних процесів за умов мінливості природних факторів.*

ABSTRACT

Hnativ I. R. Anthropogenic transformation of natural functions of the Stryi river catchment ecosystem. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy in the field of knowledge 10 - "Natural sciences" on a specialty 101 "Ecology". - Lviv National Environmental University, Lviv, 2022.

The dissertation research solves the current scientific and applied problem of increasing the level of ecological safety of aquatic ecosystems, by substantiating a comprehensive approach to determining the anthropogenic impact and improving the system of environmental monitoring and the basin principle of environmental safety management.

The available scientific literature sources on hydrogeological conditions, geomorphological features, hydrological parameters, ecological and hydrochemical indicators of water quality in the Stryi river basin are analyzed. The main types of anthropogenic load are established and the significance of their influence on the quality of natural waters of the studied region is estimated. The influence of geomorphological, hydrological and hydroecological conditions of the Stryi river basin on the processes of natural self - purification of surface waters and the influence of hydrodynamically active areas in riverbeds on them is substantiated.

The increase in population, under the conditions of urbanization of their territory of residence, causes the intensification of anthropogenic impacts on water bodies. Significant population density and growing industrial potential lead to an increase in the number of sources of pollution from these areas entering the water bodies. These patterns determine the growth of pollution, as well as the need for their sanitary and environmental control. It is necessary to analyze the peculiarities of the dynamics of river flows and channel processes together with ecological indicators in

the Carpathian territories to assess the impact of these factors on the position of the adjacent river network.

Our country does not have an effective system for monitoring the quality of natural and drinking water, which has a negative impact on the environmental and epidemic situation. The current procedure for observations the monitoring system is carried out at certain points according to a specially developed program of water resources control by each department. This leads to a violation of the complexity and systematicity of observations, the use of uniform indicators of water quality and methods for their determination.

Aquatic ecosystems of rivers of the Carpathian region are under the constant influence of natural and anthropogenic factors, and the role of the latter is constantly growing, which requires special research. The expediency of application of the ecosystem approach according to the basin principle for research of formation of technogenic changed aquatic ecosystems is substantiated.

The method of research of factors of formation of chemical composition of natural waters of the Stryi river basin, which combines basin and landscape-geochemical approaches, has been improved and used. It allows you to integrally compare a variety of natural and anthropogenic impacts and identify the most important parameters for their detailed analysis. The combination of these approaches made it possible to improve the method of ecological analysis of the Stryi river basin, which allows to spatially differentiate and hydrochemically integrate the factors of formation of the chemical composition of natural waters.

In the basin areas of the river Stryi with the maximum preservation of natural landscapes compared to other areas in Western Ukraine in modern conditions there is an increase in harmful anthropogenic impacts on river water quality. Hydrodynamically active areas (HAA) of rivers have an important influence on increasing the efficiency of natural self-purification, where the main oxygen enrichment of water flows takes place and biochemical and biological processes of river water self-cleaning are activated.

Experimental laboratory and field studies of seasonal changes in the main hydrochemical indicators of river water quality of the basin, taking into account the impact of urban areas. Recommendations have been developed to protect areas from floods and reduce the anthropogenic impact on the quality of mountain rivers. To verify the results of theoretical and field research, the existing experimental setup was improved, which provided conditions for modeling the flow in hydrodynamically active areas of mountain rivers in accordance with the laws of similarity theory and the principles of hydrodynamic modeling.

The high ability of river waters of the Stryi river basin to self-purification is due to the phenomena of complex action of hydrodynamically active areas, namely turbulent flow, cavitation phenomena, high saturation of dissolved oxygen, which are provided by waterfalls, rapids, waterfalls and their cascades.

The high oxygen saturation of the river waters of the Stryi basin is caused by the influence of HAA, which contributes to the cleaning of polluted waters from biological pollutants and other man-made pollutants and forms the high quality of water resources in the region. It has been proved by the method of experimental modeling that passing through hydrodynamically active sections of channels, mountain rivers of the Stryi basin are saturated with dissolved oxygen at different flow rates. A method for modeling and visualizing the flow of mountain rivers in the laboratory has been developed.

Factors and conditions of formation of chemical composition of natural waters of the Stryi river basin, and also sites of considerable anthropogenic influence are investigated. This allows for more detailed monitoring of the quality of natural waters of the basin, focusing more on the identified problem areas of negative impact. Clarifying scientifically substantiated methods of modeling of surface water treatment processes and assessment of anthropogenic load in mountain river basins are offered.

Among the many environmental problems today is the process of erosion of shores by floods and flooding. This problem is especially acute in mountainous areas, where the flow of water in streams increases tens and hundreds of times during

natural disasters. Therefore, a careful study of the process of interaction of water flow with solid obstacles is an urgent task that arises in the practice of construction and efficient operation of various river bank protecting structure. Flood protection of settlements, territories and objects from flooding is an urgent problem. To solve it, it is necessary to introduce comprehensive regulation of riverbeds, taking into account the development of channel processes and forecasting its possible changes under the influence of hydraulic and engineering structures.

Studies of the uniqueness of long-term changes in the water content of mountain streams and their variability are extremely important for ecological and hydrological analyzes. Analysis of spatial and temporal deviations of the maximum runoff of mountain rivers is of great scientific and practical importance in predicting their extreme values. The study of the conditions of their formation, frequency and long-term patterns are very necessary in the development of modern methods of calculation and generalizations in the design and operational work of hydraulic engineering.

Dangerous hydrological and geomorphological processes intensified in the Carpathian region in the second half of the last and the beginning of this century. This necessitated research into the preconditions for the emergence of these processes, the mechanisms of their occurrence and development, as well as environmental impact assessment. Special dangers arose in places where the anthropogenic factor significantly strengthened the natural preconditions for the development of dangerous geomorphological processes.

Obtaining real information about the place of formation, factors of formation and passage of destructive exogenous geological processes, provide an opportunity to effectively influence the adoption of measures to prevent and eliminate their negative consequences. The network of hydro-ecological observations, existing posts on the collection of operational data and their analysis, require significant improvement in accordance with the requirements for international environmental monitoring. For the first time a method of calculating the elements of river fortifications using the flow

coefficient and the coefficient of stone shape, which allow to specify during calculations the sizes of the stones steady against the action of a river stream.

The necessity of improvement of bank protections and regulatory measures in the basin of the Stryi river for protection of territories from flooding is substantiated. All catchment areas should be taken into account in the development of flood protection plans in floodplains. Local flood protection measures that do not assess the full flow of floods in a river floodplain can significantly worsen the overall situation and increase flood damage.

On the territory of Ukraine it is necessary to immediately implement an effective system for the forecasting of floods and flooding, organizing a population notification of flood time, the largest predictive lifting of the level of the stream and the duration of flood. Very important is the timely prevention of residents about the probable flood time, their implications and necessary measures to protect against flooding of structures and buildings.

The necessity of creation of the improved system of the organization of monitoring of anthropogenic influences for increase of level of ecological safety of hydroecosystems is scientifically substantiated. A comprehensive method for determining the natural and man-made impact has been developed, which makes it possible to assess the state of the basin ecosystem, determine the probability of its violation and apply a set of measures for optimal forms of environmental safety management. The main provisions of the dissertation have been successfully tested and implemented.

Key words: anthropogenic factors, pollution, water self-purification, water quality, channel processes, erosion, floods, flooding.

LIST OF PUBLICATIONS OF THE WRITER OF THE THESIS BY THEME

Articles in scientific journals of Ukraine

1. Snitynskyi V.V., Khirivskyi P.R., Hnativ I.R. Impact of urban area of Stryi on the quality of river water. *Bulletin of LNAU: agronomy*. 2020. № 24. P. 17-22. doi.org/10.31734/agronomy2020.01.017 (Index Copernicus). *The applicant conducted experimental studies to determine the impact of the urban area of Stryi on the quality of river water.*

2. Snitynskyi V.V., Khirivskyi P.R., Hnativ I.R. Features of surface runoff formation of mountain rivers during deforestation and plowing of slope areas. *Scientific and practical journal "Environmental Sciences"*. 2020, № 3(30). P. 73-77. doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.12 (Index Copernicus). *The applicant conducted experimental studies of changes in runoff parameters in the Stryi river basin*

3. Hnativ I.R. Influence of anthropogenic factors on the quality of drinking water in the wells of the Stryi water intake. *Scientific and practical journal "Environmental Sciences"*. 2021, № 2(35). P. 25-29. doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.4 (Index Copernicus).

4. Snitynskyi V.V., Khirivskyi P.R., Hnativ I.R. Processes of self-purification for the influence of urbanization of territories on the foothills and plain areas of the river Stryi. *Bulletin of LNAU: agronomy*. 2021 № 25. P. 30-34. doi.org/10.31734/agronomy2021.01.030 (Index Copernicus). *The applicant conducted laboratory studies of self-cleaning processes under the influence of urbanization.*

Articles in international journals included in scientometric databases and chapters in foreign monographs

5. Strutynskiy V., Yakhno O., Machuga O., Hnativ I., Hnativ R. Analysis of interaction between a configurable stone and a water flow. *Eastern-European Journal*

of Enterprise Technologies, Vol 6, No 10 (96) (2018): Ecology. p. 14-20. ISSN 1729-3774. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148077 (Scopus). *The applicant carried out analytical processing of research results and substantiation of experimental dependencies.*

6. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Hnativ R. Influence of Climatic Factors on Runoff Formation and Surface Water Quality of the Stryi River Basin. In: Blikharsky Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. pp. 436-442. doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_53 (Scopus). *The applicant carried out analytical processing of the results of monitoring the change of runoff parameters.*

7. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleg, Machuga Oleg, Hnativ Roman. Visualization of River Water Flow in Hydrodynamically Active Areas under Different Flow Regimes. *Journal of Ecological Engineering* 2021, 22(9), 130–136. doi.org/10.12911/22998993/141385 (Scopus). *The applicant improved the existing experimental installation and visualized the flow on the HAA mountain rivers.*

8. Volodymyr Snitynskyi, Petro Khirivskyi, Volodymyr Cherniuk, Ihor Hnativ, Roman Hnativ, Orest Verbovskiy, Irina Bihun. The Influence of Self-Cleaning Processes on the Quality of Drinking Water of Stryi Water Intake Wells. *Journal of Ecological Engineering* 2022, 23(4), 25–32. https://doi.org/10.12911/22998993/146335. (Scopus) *The applicant conducted field studies of self-cleaning processes in mountain streams on the water quality of water intake wells.*

9. Hnativ I.R. Modern economic activity and its impact on the state of the river-basin system of the Stryi river. *SWorldJournal*. 2021, №8, Part 2. P. 76-81. doi.org/10.30888/2663-5712.2021-08-02-083 (Index Copernicus).

10. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Yakhno O., Hnativ R. The importance of protecting the area from flooding and floods in the foothills of the Carpathian rivers. MONOGRAPH Heritage of european science: medicine, chemistry, biology, ecology, agriculture. Book 1. Part 4. Karlsruhe 2020. P. 131-137. doi.org/10.30888/978-3-9821783-6-3.2020-01-04-016 *The applicant conducted an*

analytical study of the results of monitoring changes in water levels during periods of increasing flood risk.

Other publications

11. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. *Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2020. Volume 2, Number 1. P. 9-15. doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009 (Index Copernicus). *The applicant conducted analytical studies of landslides and erosion in the foothills of the Carpathian region.*

12. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. The need to protect areas from flooding and shore protection on the rivers of Prykarpattia. *Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2021. Vol. 3, No. 1, 2021. P. 72-78. doi.org/10.23939/jtbp2021.01.072 (Index Copernicus). *The applicant analyzed the main factors influencing the transformation of the channel, erosion and landslides in the Prykarpattia.*

13. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleh, Hnativ Roman. Changing aquatic ecological systems of the foothills of the Dniester river basin under anthropogenic loading. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE 15 – 16 November 2019, GABROVO. P. 279-283. *The applicant analyzed the impact of anthropogenic and natural-climatic factors on the change of aquatic ecological systems of the Stryi river basin.*

14. Snitynskyi V.V., Khirivskyi P.R., Hnativ I.R., Yakhno O.M., Hnativ R.M. Man-made sources of components in the natural waters of the rivers of the Carpathian region. X International Scientific and Practical Conference "Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems", 29 - 30 April 2020, Chernihiv. P. 108-109. *The applicant analyzed the man-made sources of components in the natural waters of the rivers of the Carpathian region.*

15. Snitynskyi V.V., Yakhno O.M., Khirivskyi P.R., Hnativ I.R., Hnativ R.M. Changing the quality of natural waters in hydrodynamically active areas of mountain

ivers. Proceedings of the XXV International Scientific and Technical Conference "Hydroaeromechanics in Engineering Practice", 6 – 9 October 2020, Kyiv. P. 256-259. *The applicant conducted field studies of the impact of GAD on the processes of self-cleaning of river waters.*

16. Snitynskyi V.V., Yakhno O.M., Khirivskyi P.R., Hnativ I.R., Hnativ R.M. The impact of extensive forestry activities on landslides and erosion in the Carpathian region. «FOREST ENGINEERING: TECHNIC, TECHNOLOGY AND THE ENVIRONMENT»: collection of international theses. Science. Conf., (UNFU of Ukraine, Lviv, Ukraine, May 28-30, 2020). P. 50-51. *The applicant conducted an analysis of the impact of forestry activities on landslides and erosion phenomena in the Carpathian region.*

17. Hnativ I.R., Datsko T.M. Landscape ecosystems of the Carpathian region with increasing anthropogenic load. Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Forum, September 22 - 24, 2020, Lviv: NNVK "ATB", 2020. P. 130-132. *The applicant analyzed anthropogenic impacts on the landscape ecosystems of Prykarpattia.*

18. Hnativ I.R. Processes of natural self-cleaning on hydrodynamically active areas of mountain rivers. XI International Scientific and Practical Conference "Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes and Systems", May 26-27, 2021, Chernihiv. P. 137-139. *The applicant conducted an analysis of anthropogenic pressure on landscape ecosystems of the Precarpathian region.*

19. Khirivskyi P.R., Hnativ I.R. Analysis of changes and forecasting of channel and ecological processes under conditions of variability of natural factors. Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Forum, 5 – 7 October 2021. Lviv: NNVK "ATB", 2021. V. 1. P.190-194. *The applicant conducted analytical studies of changes in environmental processes under conditions of variability of natural factors.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	23
ВСТУП.....	24
Розділ 1. ЛАНДШАФТНОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ	
ВОДОЗБІРНОГО БАСЕЙНУ РІЧКИ СТРИЙ.....	30
1.1. Застосування басейнового підходу для моніторингу якості поверхневих вод та наслідків природокористування.....	30
1.2. Дослідження живлення річок водозбірного басейну, його гідрологічний та гідрогелогічний режими.....	34
1.3. Сучасна господарська діяльність та її вплив на стан і функціонування басейнової екосистеми р. Стрий.....	43
1.4. Локалізація небезпечних процесів, формування паводків і повеней на річках Передкарпаття.....	47
Висновки до розділу 1.....	56
Розділ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ	
ТА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ РІЧОК РЕГІОНУ.....	58
2.1. Програма натурних гідроекологічних досліджень і лабораторних експериментів	58
2.2. Методика досліджень основних якісних показників поверхневих вод.....	60
2.3. Локалізація точок відбору проб води і натурних спостережень.....	61
2.4. Лабораторне моделювання гідродинамічно-активних ділянок гірських річок.....	64
2.5. Статистичне моделювання точності вимірювань експериментальних залежностей.....	69
Висновки до розділу 2.....	70

Розділ 3. УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ВОД ТА АНАЛІЗ РУСЛОВИХ ЗМІН БАСЕЙНУ р. СТРИЙ.....	72
3.1. Гідроекологічний аналіз басейнової екосистеми за впливу кліматичних факторів та хімічного складу атмосферних опадів...	72
3.2. Геоморфологічні умови та процеси механічної денудації.....	77
3.3. Гідрологічні умови та аналіз руслових змін водозбірною басейну.....	82
3.4. Джерела надходження компонентів у природні води.....	91
3.4.1. Природні складові річкових вод.....	91
3.4.2. Техногенні впливи на властивості природних вод.....	93
3.5. Функції природного самоочищення поверхневих водойм і водотоків.....	108
3.5.1. Функції біохімічного та біотичного самоочищення.....	108
3.5.2. Функціональне значення гідродинамічно-активних ділянок в самоочищенні природних водотоків.....	116
Висновки до розділу 3.....	124
 Розділ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В БАСЕЙНІ р. СТРИЙ.....	 126
4.1. Взаємодія водного потоку з берегоукріпленнями річкового басейну.....	126
4.2. Кліматичні фактори формування стоку та якості поверхневих вод басейну Стрия.....	141
4.3. Процеси самоочищення річкових вод на передгірських ділянках Українських Карпат.....	145
4.4. Гідрогеологічні процеси формування водоносних горизонтів та основні показники якості питної води Стрийського водозабору...	155

4.5. Екологічна функція гідродинамічно-активних ділянок гірських річок.....	162
Висновки до розділу 4.....	167
Розділ 5. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В БАСЕЙНІ Р. СТРИЙ І ВИСНОВКИ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	169
5.1. Аналіз зміни та прогнозування руслових і екологічних процесів за умов мінливості природних факторів.....	169
5.2. Методологія удосконаленої оцінки антропогенного забруднення річкових вод та прогнозування екологічних ризиків погіршення їх якості.....	172
5.3. Обґрунтування необхідності вдосконалення берегоукріплювальних та регулюючих заходів на р. Стрий для захисту території від підтоплення.....	178
5.4. Напрямки подальших досліджень.....	187
Висновки до розділу 5.....	188
ВИСНОВКИ.....	190
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	193
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	194
ДОДАТКИ.....	215

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ГДК** – гранично допустима концентрація
- КЗ** – коефіцієнт забрудненості
- БСК** – біохімічне споживання кисню
- ХСК** – хімічне споживання кисню
- ХПК** – хімічна потреба в кисні
- ПАР** – поверхнево-активні речовини
- СПАР** – синтетичні поверхнево-активні речовини
- СВ, НОСВ**– стічні води, недостатньо очищені стічні води
- ЮНЕП** – програма ООН з довкілля (ЮНЕП)
- ВРД** – водна рамкова директива
- ФГС** – флювіальні геоморфологічні системи
- БС** – басейнова система
- ОТГ** – об'єднана територіальна громада
- ЕГП** – екзогенні геологічні процеси
- НПП** – Національний природний парк
- ГІС** – геоінформаційна система
- ВО** – водний об'єкт
- МВВ** – методика виконання вимірювань
- ЛОР** – легкоокиснювані органічні речовини
- ГАД, ГБ** – гідродинамічно-активні ділянки, гідродинамічний бар'єр
- РБ** – річковий басейн
- ХС** – хімічний склад
- ПЗС** – прибережні захисні смуги
- ТПВ** – тверді побутові відходи
- РОР** – розчинена органічна речовина
- ОР** – органічна речовина
- ПС** – процес самоочищення
- ІЗВ** – індекс забруднення води

ВСТУП

Актуальність теми. Басейн річки Стрий, що у Передкарпатті, є територією активного природокористування, тому зазнав глибоких антропогенних змін. Цим аспектам велику увагу приділяли у своїх монографіях М.А. Голубець, П.С. Гнатів, М.П. Козловський та ін. [51, 60] упродовж 2000-2007 рр. та В.В. Снітинський, П.С. Гнатів і Н.Я. Лопотич [150] упродовж 2010-2014 рр. досліджень. Виснажливе природокористування суттєво впливає на стан природного довкілля і функціонування водозбірної ландшафтної екосистеми річки Стрий, про що повідомляли І.П. Ковальчук, О.В. Пилипович, О. Венгринович, [2, 89, 91]. На формування хімічного складу природних вод у ній щораз більше впливають забруднення як природного, так і техногенного походження. Зокрема, це скид недостатньо очищених стоків очисних споруд, змивання засобів захисту рослин та мінеральних добрив із сільськогосподарських угідь, селитебних і промислових територій, особливо залишків нафтопродуктів (М.І. Спринський, М.В. Лебединець, Ю.З. Козак та ін., [156]; В.В. Снітинський, П.С. Гнатів і Н.Я. Лопотич [150], P.S. Gnativ, N. Lopotysh [19]; І.В. Гопчак, А.В. Яцик та ін. [138]). Звалища твердих побутових відходів, а також несанкціоновані кар'єрні розробки, вагомо погіршують гідрологічний режим та функції природного самоочищення води.

Передкарпаття є однією з територій у Європі, які найбільш схильні до паводків та повеней. Останні екологічні дослідження прогнозують тенденції до частішої появи цих руйнівних явищ на Північно-східному макросхилі Карпат [29]. Значна частина інженерних споруд для протипаводкового захисту зараз в Україні є несучасні та майже знищені.

Негативним наслідком поглиблення трансформації природного довкілля є посилення руйнівної дії річкових водотоків, що розмивають береги під час повеней та паводків. Особливо гостро ця проблема постала у гірських місцевостях, де з причин суцільного вирубування лісів та розорювання луків витрата води в потоках збільшується в десятки та сотні разів. Для її вирішення

необхідне впровадження комплексу заходів з оптимізації природокористування у басейновій екосистемі. З інженерних міркувань необхідне регулювання русел річок із врахуванням розвитку руслових процесів і прогнозуванням його можливих змін за впливу гідротехнічних та інженерних споруд.

Природні води гідроекосистеми р. Стрий є відновним джерелом забезпечення водними ресурсами населення, промисловості та сільського господарства у Львівській області. Тому розроблення наукових рекомендацій щодо пом'якшення або усунення негативного впливу антропогенних факторів на гідроекологічні процеси та якість води басейну р. Стрий визначає актуальність проведених досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планом науково-дослідної роботи кафедри «Екології» Львівського національного аграрного університету з проблеми 0116U003174 «Розробити систему показників екобезпечного функціонування агроландшафтів та заходи оптимізації якості довкілля в умовах антропогенезу та змін клімату західного регіону України» відповідно до науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України.

Мета роботи і завдання дослідження. Метою роботи є встановлення закономірностей формування фізико-хімічного складу природних вод басейну річки Стрий та руслоутворення залежно від антропотрансформації її водозбірної екосистеми.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі основні **завдання**:

– проаналізувати сучасні наукові літературні джерела про кліматичні і екологічні особливості, геоморфо- і гідрологічні умови формування гідрохімічних параметрів та показників якості води басейнових екосистем Передкарпаття, зокрема р. Стрий, та вибрати оптимальні методи гідроекологічних досліджень;

– встановити критичні чинники антропогенного навантаження та оцінити вагомість їх впливу на якість природних вод басейну р. Стрий;

– обґрунтувати способи впливу геоморфологічних і гідроекологічних

умов басейну р. Стрий для активізації функції природного самоочищення поверхневих вод та позитивний вплив на них гідродинамічно-активних ділянок в руслах;

– здійснити лабораторні експерименти та виконати натурні дослідження сезонної зміни основних гідрохімічних показників якості річкових вод басейну р. Стрий за впливу урбанізованих територій.

– розробити рекомендацій для захисту територій від паводків та заходи зменшення антропогенного впливу на якісні показники вод гірських річок на основі дослідження гідродинамічних і руслових процесів басейнової екосистеми р. Стрий.

Об’єкт досліджень – природні води та руслові процеси басейну річки Стрий.

Предмет досліджень – природні й антропогенні закономірності трансформації екологічних властивостей поверхневих вод у басейнової екосистемі річки Стрий під впливом природно-кліматичних чинників її живлення і руслоутворення, особливості господарського природокористування у водозборі, чинники формування їхнього фізико-хімічного складу, способи посилення функції самоочищення водотоків та захисту підземних вод від забруднень.

Методи досліджень. У роботі використано описовий екологічний підхід до вивчення антропогенної трансформації екосистем, методи маршрутних та стаціонарних досліджень, хіміко-аналітичні лабораторні методи гідроекологічних досліджень, комплексний метод експериментального моделювання гідроекологічних процесів на технічній моделі русла. Для опрацювання цифрових даних експериментів та аналізів застосоване комп’ютерне статистичне і графічне моделювання точності досліджень та спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

– встановлено взаємозв’язок між процесом формування хімічного складу природних вод у басейні р. Стрий і наявністю у воді забруднюючих речовини

як природного так і антропогенного походження; Основними факторами формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий є кліматичні умови, кількість та гідрохімічні особливості атмосферних опадів. Зміни хімічного складу річкової води спричиняють потенційні природні та техногенні джерела надходження токсичних поллютантів.

– виявлено основні джерела та ділянки значного антропогенного впливу у басейні р. Стрий; Це урбанізовані території населених пунктів, сільськогосподарські площі, полігони ТПВ, місця скидання неочищених СВ, ділянки лісозаготівель, місця із пошуку та видобування вуглеводнів, кар'єри бутових каменів, гравійних і піщано-галькових відкладень та активізації екзогенних геологічних процесів. Зокрема дослідження на ділянках урбанізованої території та скиду очисних споруд м. Стрий сезонних значень БСК₅ показали його зростання до 8,19 і 10,63 мг/дм³ відповідно.

– запропоновано уточнюючі науково-обґрунтовані методики моделювання процесів очищення поверхневих вод та оцінки антропогенного навантаження в басейнах гірських річок;

– встановлено, що підвищена здатність до самоочищення річкових вод басейну спричинена їх течією через гідродинамічно-активні ділянки, зумовлені гірським рельєфом території, що забезпечує високу насиченість киснем та активізацію процесів природної очистки, незважаючи на значне антропогенне навантаження;

– доведено, що для розроблення заходів протипаводкового захисту у долинах гірських річок необхідно розглядати всю водозбірну територію, а не окремі ділянки. Наші дослідження, які проведені за період 2002-2018 роки показали, що русло річки в деяких місцях змістилось на 60–80 метрів, суттєво змінивши конфігурацію.

– розроблено методику розрахунку елементів берегоукріплень річок із використанням коефіцієнта обтічності та коефіцієнта форми каменя, які дозволяють уточнювати під час обчислень розміри каменів, стійких до дії річкового потоку.

Удосконалено методику оцінки антропогенного забруднення річкових вод та прогнозування екологічних ризиків погіршення їх якості для вдосконалення систем моніторингу басейнів водозбору малих і середніх річок.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновані методи управління паводком та обґрунтовані у дисертаційній роботі регулюючі та берегоукріплювальні заходів можуть бути використані у розробці нових методів захисту від повеней на р. Стрий.

Матеріали дисертаційних досліджень передано для практичного використання в Басейнове управління водних ресурсів Західного Бугу та Сяну, що підтверджено відповідним актом. Отримані результати наукових досліджень, що висвітлені у дисертаційній роботі використовуються при викладанні навчальних дисциплін «Гідрологія» та «Технологія захисту водного середовища» на кафедрі екології у Львівському національному університеті природокористування.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням, виконаним на основі власних теоретичних узагальнень та проведених особисто польових і лабораторних досліджень. Здобувачем здійснено аналіз наукової літератури за темою дисертаційної роботи, опрацьовано методики й виконано дослідження, проведено статистичну обробку одержаних результатів, їх аналіз, узагальнення та обґрунтування висновків і пропозицій, підготовлено та опубліковано наукові праці. Особистий внесок у працях, опублікованих у співавторстві, наведено у списку публікацій здобувача за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на 9 міжнародних наукових конференціях та семінарах різних рівнів: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE (Gabrovo, Bulgaria, 2019); X, XI Міжнародна науково-практична конференція “Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем” (Чернігів, 2020, 2021); XXV Міжнародна науково-технічна конференція “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”

(Київ, 2020); Міжнародна наукова конференція “Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля” (Львів, 2020); II International Scientific Conference “EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering” (Lviv, 2020); International scientific symposium “HERITAGE OF EUROPEAN SCIENCE ‘2020” (Karlsruhe, Germany, 2020); XXI, XXII Міжнародний науково-практичний форум “Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій” (Дубляни, 2020, 2021)

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 19 наукових публікацій, у тому числі: 4 статті у наукових виданнях, що входять до бази Scopus, 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у зарубіжному науковому періодичному виданні, 1 розділ колективної монографії, 9 публікацій у матеріалах вітчизняних і міжнародних конференцій та 2 статті в періодичних та інших виданнях.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Загальний обсяг дисертації 225 сторінок, включаючи 100 рисунків, 6 таблиць та додатки на 11 сторінках. Список використаної літератури складає 204 назви на 21 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ЛАНДШАФТНОЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВОДОЗБІРНОГО БАСЕЙНУ РІЧКИ СТРИЙ

В сучасних умовах за зміни напрямків та методів господарювання зростає залежність функціонування басейнової екосистеми від антропогенних впливів. Для дослідження річкових басейнових екосистем, гідроекологічних, гідрохімічних та гідроморфологічних процесів, що в них проходять, застосовують різноманітні критерії оцінювання. Вони враховують особливості і закономірності будови річкових систем та басейнів, зв'язки цих параметрів з режимом стоку води і наносів, розвитком ерозійно-аккумулятивних процесів, морфологією, а також екологічним станом русел та річкових долин [1].

1.1. Застосування басейнового підходу для моніторингу якості поверхневих вод та наслідків природокористування

Перше системне цілісне уявлення про водозбірний басейн було сформовано французьким вченим Елізе Реклю. У своїй 19-томній фундаментальній праці “Nouvelle geographie universelle. La Terre et les hommes” він довів, що річковий басейн є природним районом, де більшість джерел, потоків та річок об'єднуються в одну головну річку, складаючи РБ. Це природний район, об'єднаний своїми ріками в єдине ціле [2].

В працях про застосування басейнового підходу для природокористування, які з'явилися нещодавно запропоновано використовувати великі басейни, зоновані за біокліматичними поясами, як основу для природно-ресурсного районування [3, 4]. Такий принцип районування, найбільше поєднує між собою водні, кліматичні, мінеральні та земельні ресурси.

Басейновий принцип управління водним господарством рекомендовано програмою ООН з довідля ЮНЕП ще в 1984 році, а 1989 року у звітах країн –

членів Європейського економічного Союзу цей підхід визнано найефективнішим для економічних та екологічних питань [5].

Рельєф басейну і його водні потоки можуть також розглядатися як зовнішнє екологічне середовище для функціонування біоти та впорядковують міграції тварин. Орографічні елементи басейну також закономірно диференціюють його ґрунтовий покрив [6]. Басейновий підхід для розрахунків і аналізу балансів речовини фактично лежить в основі геохімії ландшафту, починаючи з робіт Б.Б. Полинова, який розглядає геохімічні ландшафти як динамічно пов'язані потоками ділянки земної поверхні. Доведено переважне обмеження сольового, водного і твердого балансу, в межах малого річкового басейну. Особливого значення такий підхід набуває за аналізу техногенних потоків речовини в екологічних дослідженнях. Саме водні об'єкти зазвичай стають кінцевими ланками забруднення. Сюди потрапляють не тільки речовини, що скидаються безпосередньо у водні об'єкти, але й ті, які спочатку знаходяться в атмосфері, ґрунтах і твердих відходах. А.І. Перельман, Н.Л. Чепурко і М.А. Глазовська рекомендують саме басейн як основну одиницю для розрахунків балансів забруднюючих речовин, міграцій токсичних елементів, самоочищення природних середовищ та ін. Басейни річок також створюють природний базис природокористування [5].

Найефективнішим законодавчим актом регулювання природокористування за басейновим принципом є *Водна рамкова директива* (ВРД) Європейського Союзу, яка передбачає рівноправне трактування усіх користувачів вод, вважаючи користувачем також і природне середовище. Вона вводить розпорядження на господарювання водами у межах природних гідрографічних об'єктів, якими є річкові басейни, а також вимагає, щоб для цього РБ був розроблений план господарювання водами. Якщо басейн знаходиться на території кількох країн-членів Європейського Союзу, вони повинні співпрацювати між собою [7].

Річковий басейн (РБ) є просторовою одиницею географічної території та найбільш перспективною для всестороннього вивчення природи і економіки. В

гідрологічному розумінні басейн є складною динамічною системою, яка перетворює атмосферні опади в інші елементи водного балансу. Вона обмежена вододілами, має поверхневий та підземний водозбори. Поверхневий водозбір є системою різнопланово орієнтованих схилів, з яких вода стікає у напрямі природного похилу в річкову мережу чи водойму. Підземний водозбір є шаром відкладень і ґрунтового покриву, які дренують воду у гідрологічну мережу підземним шляхом. Поверхневий і підземний водозбори є єдиним природним резервуаром. Межі цих водозборів на земній поверхні, окрім гідрогеологічних аномалій, співпадають [4].

В річковій басейновій екосистемі розміщені населені пункти та проходить сільськогосподарське і промислове виробництво. Всі впливи на природну структуру басейну впливають на інтегральні показники його функціонування, включаючи зміни об'ємів річкового стоку, його гідрохімічному складу, інтенсивності руслових та ерозійних процесів тощо. Басейн головної річки згідно його структури поділяється на басейни приток, тому екологічний стан річкової системи визначається станом всіх басейнів, що складають річкову басейнову екосистему і відображає взаємодію між системою та зовнішнім середовищем [1].

Функціонування річкової басейнової екосистеми визначається впливом на неї природних та антропогенних факторів, причому роль останніх постійно зростає, що вимагає спеціальних досліджень. Головним призначенням змінених і планово трансформованих людиною РБЕ є забезпечення життєвих потреб суспільства, збереження оптимального екологічного стану природного середовища та стійкості системи. Обов'язковою умовою підтримання їх рівноваги є постійний моніторинг вмісту компонентів небезпечних забруднюючих речовин, а також визначення їх антропогенної складової і спостереження за інтенсивністю екзогенних процесів [4].

Природні флювіальні геоморфологічні системи (ФГС) поступово змінюються у природно-антропогенні. Процеси трансформації спричиняють порушення структури БС та її функціонування, активізують розвиток

екстремальних природних процесів. Механізми перетворення ФГС у природно-антропогенні системи ще недостатньо вивчені. Визначити головні причини зміни геоecологічного стану басейнової системи та кількісно оцінити масштаби цих змін, зумовлених природним впливом та господарською діяльністю, можна лише за наявності необхідних даних, отриманих на основі комплексних геоecологічних досліджень басейнових систем [8].

Розглядаючи річкові басейни необхідно враховувати господарську діяльність людини. Це промислові об'єкти, селитебні території, сільське та лісове господарство і т.д. (рис. 1.1). Причому будь-який вплив на природну структуру басейну, враховуючи швидкість поширення водних потоків, швидко призводить до зміни показників його функціонування, а саме об'ємів річкового стоку, його гідрохімічного складу, каламутності, інтенсивності руслових процесів тощо. Крім цього, річковим басейнам властива різноранговість. У структурі басейну головної річки вирізняють басейни її приток.

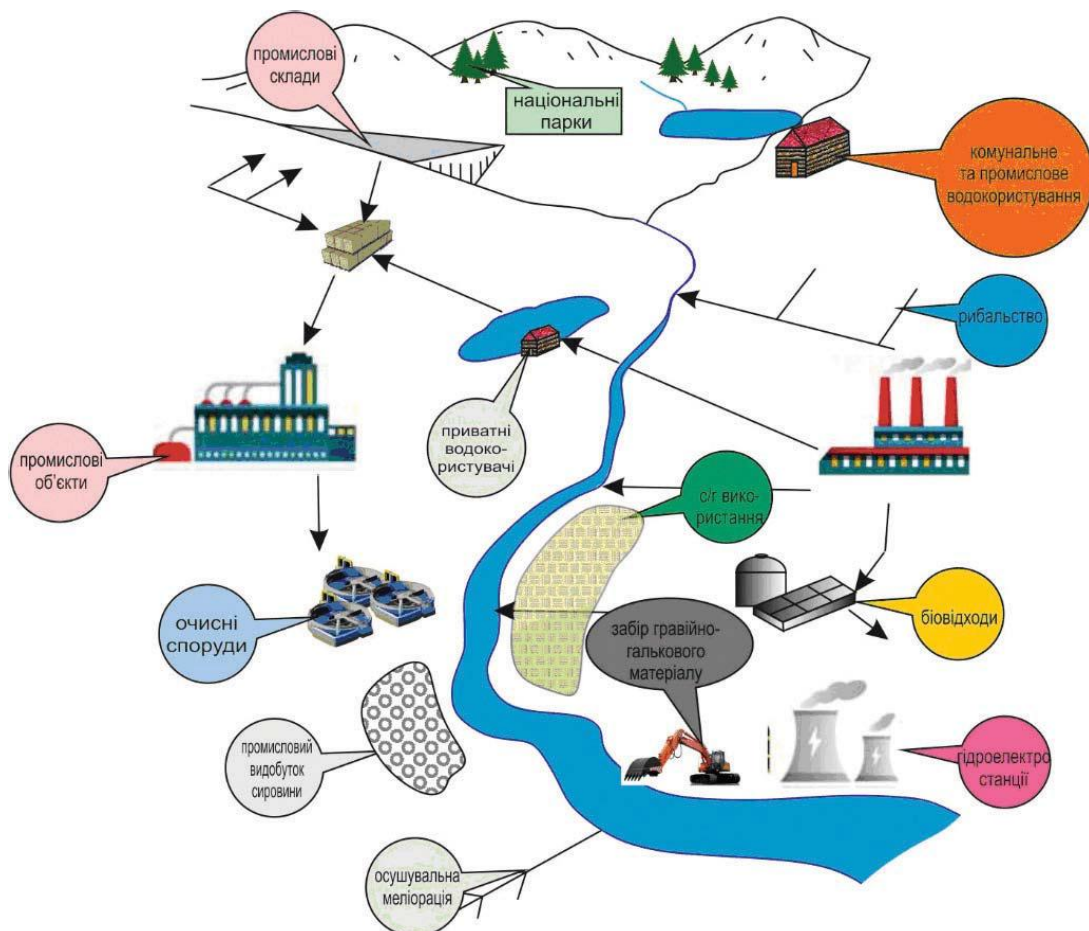


Рис. 1.1. Види антропогенної діяльності в межах річкової басейнової екосистеми річки Стрий

Сучасний стан функціонування річкової басейнової екосистеми характеризується різними негативними процесами, зокрема ерозія ґрунту, в результаті якої зі схилів разом із змитою породою в річки виносяться компоненти добрив та отрутохімікатів. Різновидом системного підходу є екологічний, зміст якого полягає у вивченні живих об'єктів та людини з позицій їх взаємовідносин із навколишнім середовищем. Це дає змогу встановити негативні для людини зміни середовища та завчасно передбачити заходи захисту від них і зменшення наслідків впливу на річкової басейнової екосистеми.

Для проведення геоекологічних досліджень БС використовують гідрологічні, гідрохімічні, біоекологічні, геоекологічні, геоморфологічні, ландшафтні, статистичні та інші методи. Сучасними перспективними напрямками досліджень БС є методи геоінформаційних технологій. Вони включають комп'ютерне моделювання морфологічних параметрів системи, створення бази даних про структуру і функціонування річкових систем та їх басейнів. Це дозволяє створити моделі і встановити залежності, які описують взаємозв'язок опадів, стоку води та наносів, господарської діяльності з сучасними гідроморфологічними процесами та їх впливом на природне середовище.

1.2. Дослідження живлення річок водозбірного басейну, його гідрологічний та гідрогеологічний режими

Для дослідження басейнової системи р. Стрий використано картографічний метод. Проаналізовано картографічні джерела, які характеризують геоморфологічну будову БС, структуру річкової системи, розміщення населених пунктів, комунікацій, сільськогосподарських і лісових угідь та ін. Особливістю розташування Львівщини є розміщення на її території значної частини Головного європейського вододілу, який поділяє річки

Балтійського і Чорноморського басейнів. Саме тому в межах Львівської області переважають малі річки, які є притоками великих і середніх річок.

Річка Стрий є правобережною притокою р. Дністер, що відноситься до класу середніх річок, які мають площу водозбору від 2 до 50 тис. км² [9, 10]. Басейн р. Стрий з площею водозбору 3060 км², надзвичайно вигідним географічним розташуванням, сприятливими екологічними та ресурсними умовами є об'єктом геоекологічних, геоморфологічних, біоекологічних, гідрологічних і гідрохімічних досліджень [11].

Річка, маючи довжину 232 км і змішане живлення, бере свій початок на схилі Верховинського вододільного хребта (рис. 1.2.), проходячи верхньою та середньою течією у Карпатах, а нижньою на території Передкарпаття. Витоки річки є гірським потоком з шириною 30–50 см та глибиною 5–15 см. Нижче за течією річка розширюється до 30–60 м, а на окремих ділянках має 130 м, змінюючи при цьому швидкість течії від 0,1 до 2,0 м/с та маючи густоту річкової мережі близько 1,4 км/км². Контури берегів гірської частини V-подібні, здебільшого круті та обривисті, а в низовинах зрівнюються зі схилами долин [9].

Русло річки звивисте, з багатьма острівцями (рис. 1.3), старицями, протоками й рукавами, але нижче м. Жидачів воно нерозгалужене. Русло р. Стрий є нестійким, тому після кожного паводку деформується. В межах гірської частини річка обходить великою дугою значні висоти. Середня глибина річки в межах 0,2–0,5 м, а найбільша 2,8 м. Найбільшими правими притоками є річки Опір, Жижава, Рибник і Завадка, а лівими Стинавка і Яблунька [9].

Річка Стрий та її найбільша притока р. Опір з довжиною 62 км та площею водозбору 843 км² протікають біля Вододільного хребта в межах Вододільно-Верховинської області, яка проходить центральною частиною Українських Карпат.

Верховинський середньогірний вододільний хребет є найчіткіше вираженою північно-західною частиною сучасного вододілу Українських Карпат. Знаходиться між басейнами Дністра та Дунаю, від Ужокського до

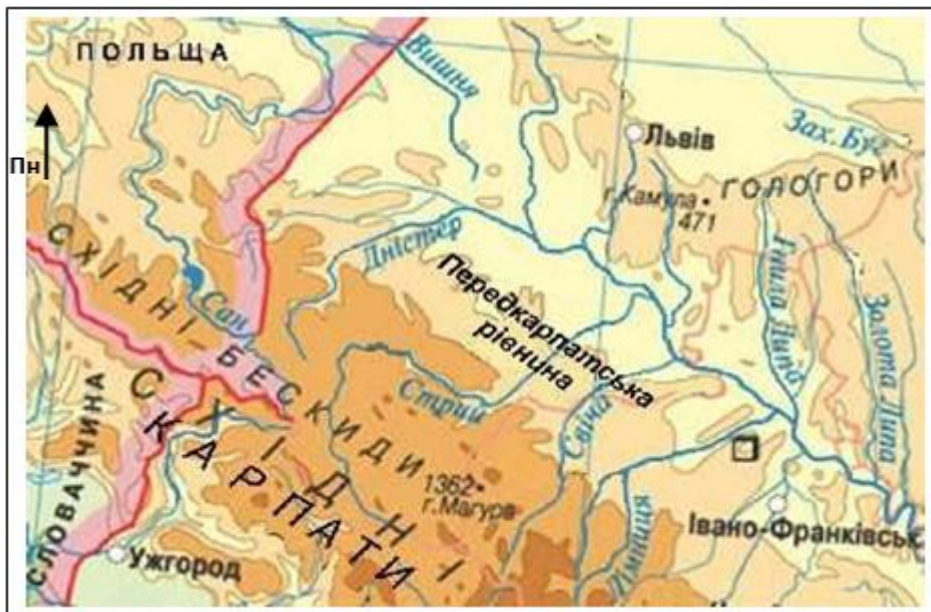


Рис. 1.2. Просторова локалізація басейну р. Стрий на фізичній карті [12]



Рис. 1.3. Русло річки Стрий в околицях с. Підгородці [9]

Вишківського перевалу, розмежовуючи Стрийсько-Сянську і Воловецьку верховини [13].

Район низькогірного рельєфу Стрийсько-Сянської верховини розміщений у верхів'ях річок Опору і Стрия, Сяну та Дністра. В рельєфі виділяється значною денудацією поздовжня долина р. Стрий. Геоморфологічні умови басейну р. Стрий суттєво змінюються в районі середньовисотних хребтів

Сколівських Бескидів. Річкові долини Бескидів характеризується поздовжньо-зональним розташуванням. Рельєф цієї території тісно пов'язаний з тектонічним режимом насувів та літологічними особливостями порід [14].

Асиметричні хребти скиби Парашки та Сколівської скиби відповідають зонам розвитку стійких до вивітрювання пісковиків Стрийської світи. На території Сколівських Бескид, найбільшим поширенням за площею виходу на поверхню характеризується скиба Парашки. Їй геоморфологічно відповідає добре виражений хребет із ланцюжком суміжних гір, який включає найвищу вершину г. Парашка (1268 м) [13].

Орівська скиба геоморфологічно проявляється двома чітко вираженими у рельєфі хребтами, а саме Цюховим (939,4 м), з його відгалуженням в напрямку до с. Ямельниця та Орівським між селами Орів та Корчин (дод. А, рис. А.1, А.2). Стійкість до вивітрювання на ділянках розміщення стрийської та ямненської світ спричинила вузькість долини Опору, а нестійкість інших порід палеогенового флішу призвела до формування улоговин Славської, Тухольської, Гребенівської, Сколівської та Верхньосиньовидненської долин (дод. А, рис. А.3) [15-17].

Нерівномірний розподіл стоку в році залежить від періодичності та тривалості опадів у басейні річки, сезонної температури і господарської діяльності. За літньо-осіннього періоду надходить 60–70% річного стоку, а зимово-весняного 40–30%. Проте багатоводними і маловодними роками спостерігаємо відхилення від такого розподілу стоку. Найбільше весняні об'єми стоку води залежить від запасів снігу і тривалості його танення, величини опадів, типу ґрунту, а найменші маємо у зимовий період.

Ріки рівнинних територій мають здебільшого дощове живлення, величиною до 50% від загального об'єму, а 37% і 13% відповідно займають снігове та підземне. Для гірських річок переважаючим є снігове живлення, що складає 50%, дощове 44% і тільки 6% надходить із підземних джерел. На річках Львівської області спостерігають три періоди підняття рівня течії, а саме за весняної повені, яка спричинена таненням снігу у березні-квітні, за літніх

паводків в червні-серпні при проходженні сильних дощів, а також зимові підняття внаслідок значних відлиг у грудні-лютому.

Матеріали гідрометеорологічних спостережень Львівського регіонального центру з гідрометеорології показують збільшення частоти появи небезпечних паводків на річках Львівщини після 2000 р. За цими даними до 2006 р. максимальні показники витрат води за всю історію спостережень були нижчими, ніж після 2006 р. Згідно моніторингу на річці Дністер (м. Самбір) в період 1947–2006 рр. максимальний показник витрат води становив $702 \text{ м}^3/\text{с}$, а за період 2006–2015 рр. — $1040 \text{ м}^3/\text{с}$. На р. Яблунька (м. Турка) максимальні витрати зросли з 199 до $266 \text{ м}^3/\text{с}$, а р. Рибник (с. Майдан) збільшились від 176 до $263 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 1.4). Спостереження 20-ти пунктів моніторингу показали зростання витрати води на десяти з них за цей період [2].

Льодове покриття на річках Передкарпаття нестійке, а окремими роками вони взагалі не замерзають. Процес утворення льоду розпочинається у листопаді або на початку грудня, а льодове покриття формується до кінця грудня або початку січня. Деколи в зимові періоди, через часті відлиги, спостерігаємо багаторазове періодичне замерзання та скресання річок. Тривалість льодоставу на рівнинах річок в межах від 2 до 2,5, а на ділянках гірських територій від 3 до 3,5 місяці.

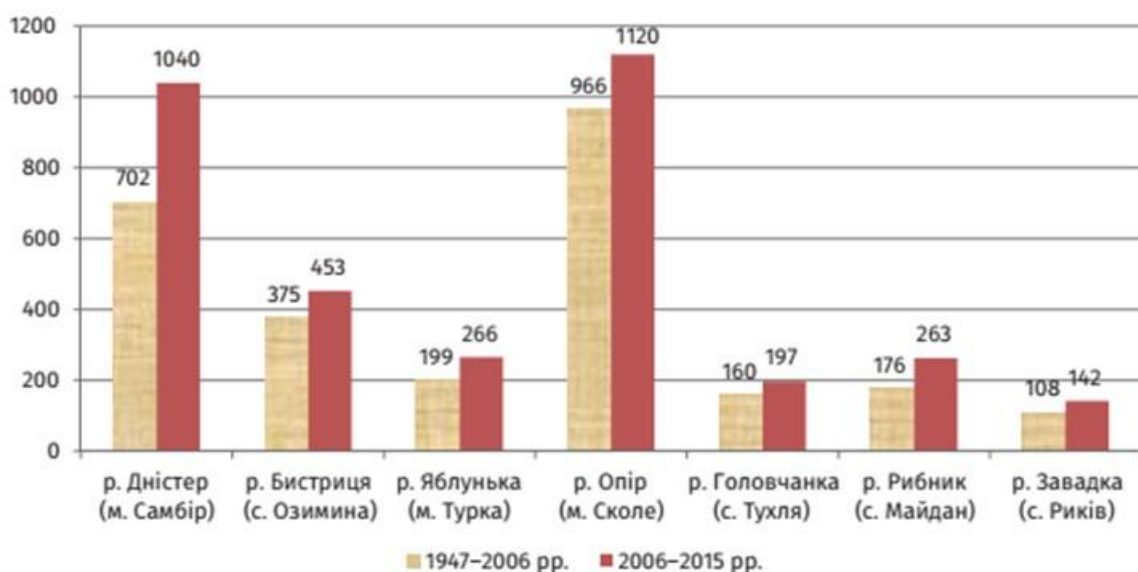


Рис. 1.4. Порівняння максимальних витрат води річок Карпатського регіону за період 1947–2006 рр. і 2006–2015 рр. [2]

Період стійкого снігового покриття для річкової басейнової екосистеми змінюється в межах 1,5–2,5 місяця, а в горах – 3–4 місяці. Його висота зимою в середньому 3–10 см та збільшується у січні до 20–30 см, а в гірських районах басейну – до 70 см і більше. Вважають, що опади снігу, які за 12 годин утворюють висоту снігового покриву 20 см, є стихійним явищем. В межах Сколівських Бескид, а саме в м. Стрий та снт Славське, висота снігового покриву часто досягає відмітки 20 см та вище (рис. 1.5, 1.6). Висота, характер та тривалість розподілу снігового покриву на поверхні схилу вагомо впливають на швидкість розвитку геоморфологічних процесів [2].

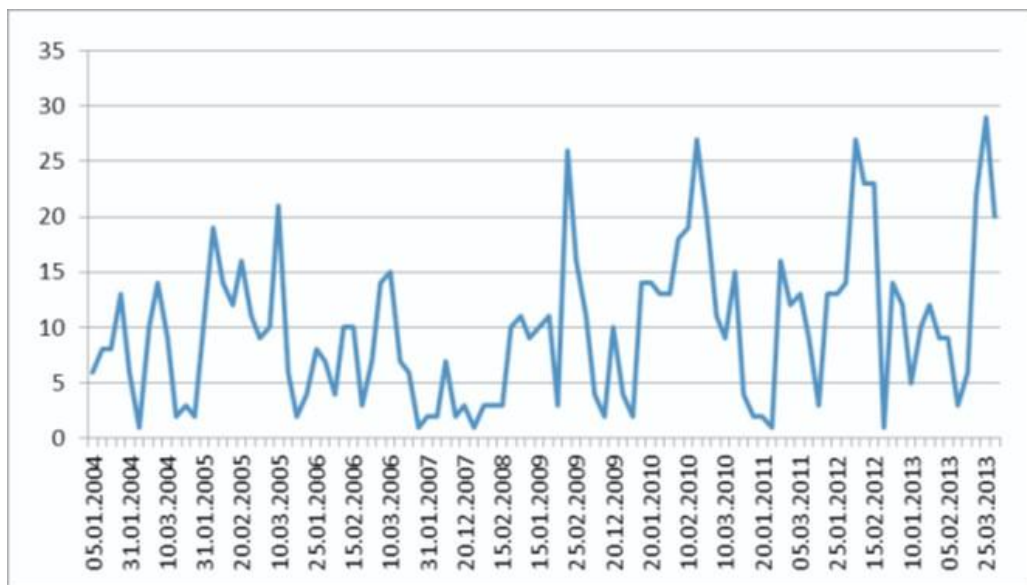


Рис. 1.5. Висота снігового покриву за період 2004–2013 рр. для м. Стрий [2]

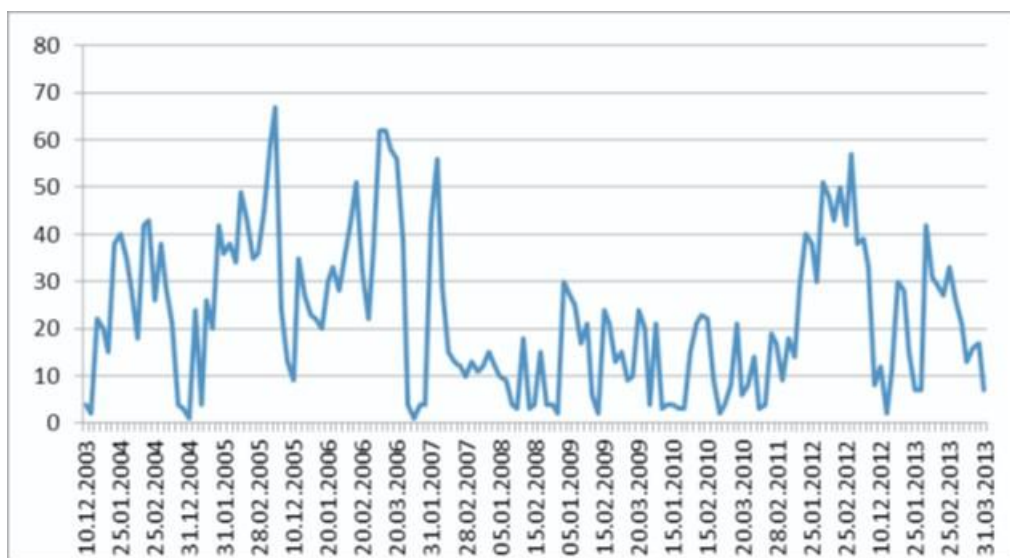


Рис. 1.6. Висота снігового покриву за період 2004–2013 рр. для снт Славське [2]

Весняне зростання рівня течії річки розпочинається за 7–14 днів до скресання льодового покриву, поступово збільшуючись до початку кригоходу, що починається в лютому на початку березня. Окремими роками лід може залишатися на поверхні річки до кінця березня. Весняне руйнування льоду триває до 5 днів, причому першими скресають малі річки. Рівні води піднімаються дуже швидко, деколи досягаючи 5 м за добу і до другої декади березня проходить остаточне звільнення річок від льоду. За підвищення рівнів течії спостерігаємо весняне розлиття річок, поширення якого змінюється в залежності від висоти берега та ширини заплав. На рівнинних ділянках вони розливаються від 0,5 до 3 км із глибиною затоплення до 1,5 м. Висота рівнів течії за весняного повноводдя до 5 м на передгірських та гірських ділянках річок [18].

Аналіз багаторічних коливань водного режиму гірських річок та їх змін за сучасних умов є вкрай важливими для гідрологічних та екологічних спостережень. Для Карпатського регіону характерними є багатофакторність процесів утворення річкового стоку, серед яких метеорологічні умови, кількість опадів та особливості геоморфологічної будови басейнів є основними [19].

Інтенсивні опади в літній період призводять до паводків, які інколи більші від весняної повені. В Карпатському регіоні їх найбільше, до 15 паводків за рік із середньою тривалістю паводку до 10 днів. На основних річках регіону, а саме Стрий, Опір та Дністер часто відбуваються руйнівні повені. Середньорічна каламутність річок Прикарпаття змінюється від 20 до 700 г/м³, але за повеней в Карпатах досягає більше 1800 г/м³ (рис. 1.7) [20].

Найбільше зливових дощів випадає у літні місяці з переважаючою тривалістю від 3-х до 36-ти годин з перервами із максимальною добовою сумою опадів в межах від 121 до 296 мм. За даними гідрометеорологічних спостережень зафіксовано дуже високі показники добових сум опадів, які становили до 160 мм за добу і спричинили активізацію таких небезпечних процесів, як паводки, селі, зсуви (рис. 1.8) [1].

Територію басейну р. Стрий формують п'ять типів ґрунтів: дернові,

дерново-підзолисті оглеєні, дерново-буроземні, бурі (гірсько-лісові), буроземно-підзолисті. Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти зустрічаються, як правило, на пониженнях ділянок водотоків Глиняний, Жижава. Дернові ґрунти переважно поширені на заплавах та першій і другій надзаплавних терасах р. Стрий. Вони утворилися в умовах близького до поверхні залягання рівня ґрунтових вод за сприяння трав'яної рослинності.

Буроземно-підзолисті ґрунти поширені західніше від с. Любинці на площі близько 15 км², а бурі (гірсько-лісові) ґрунти зосереджені на переважній частині півдня та заходу території басейну. Дерново-буроземні ґрунти



Рис. 1.7. Збільшення каламутності р. Орява (притока Опору) після злив [9]



Рис. 1.8. Руйнування житлового будинку, що спричинені сходженням селевого потоку, спричиненого інтенсивними опадами у с. Козева Сколівського р-ну (2004 р.)

поширені на першій надзаплавній терасі р. Стрий, на південному сході від с. Нижня Стинава. Утворилися вони внаслідок дернового процесу ґрунтоутворення на бурих лісових ґрунтах [14].

Режим та кількість опадів є найважливішим фактором формування схилового і річкового стоку, розвитку ерозійно-аккумулятивних процесів. У межах басейну р. Стрий середньорічні суми опадів змінюються від 519 до 1024 мм (рис. 1.9). За період систематичних спостережень над опадами значні дощі, які зумовили найбільші паводки в басейні Дністра, зафіксовані у листопаді 1895 р., в липні 1900 р., в липні 1911 р., в серпні 1927 р., у вересні 1941 р., в серпні 1955 р., в червні 1969 р., в липні 1980 р., в червні 1984 р., 1989 р., 1992 р., 1997 р., 1998 р., у липні 2004 та 2008 років, у травні 2014 та 2020 рр. [21, 22].

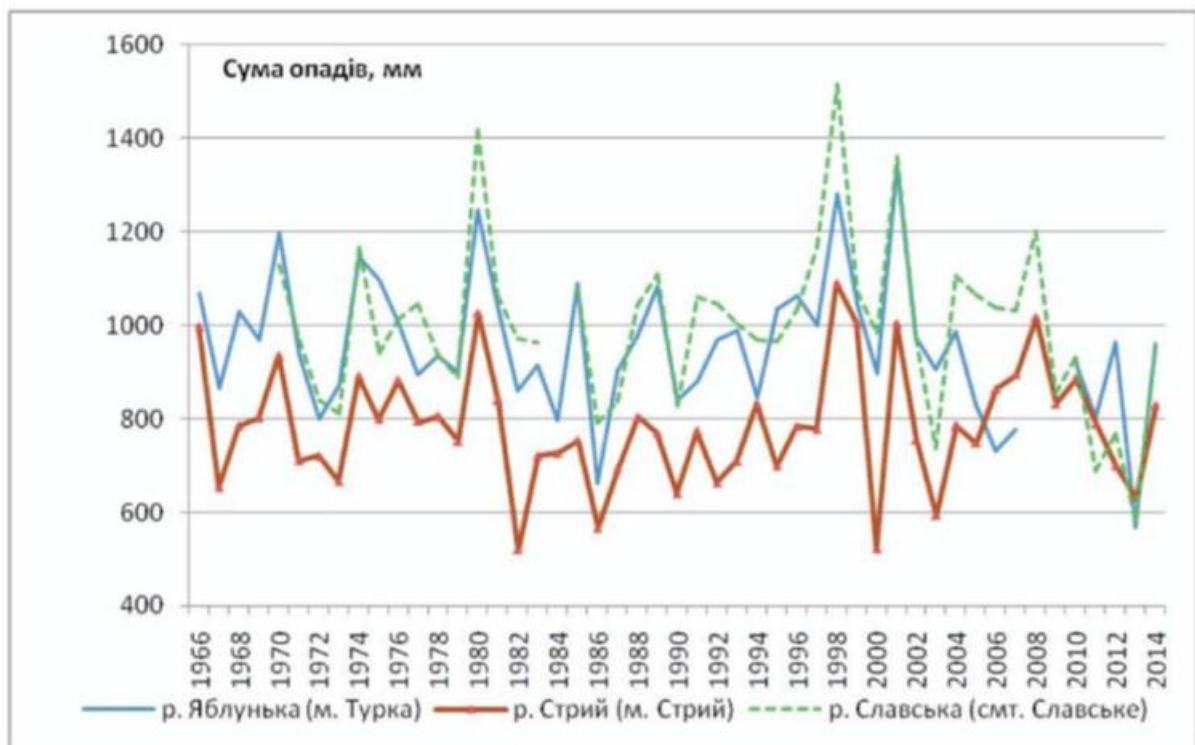


Рис. 1.9. Динаміка багаторічних сум опадів у межах басейну р. Стрий [2]

Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що найбільший стік річок утворюється в результаті випадання дощів та надходження талих снігових вод. Мінімальний об'єм стоку українських річок формується за підземного живлення, яке змінюється залежно від місцевих гідрогеологічних і кліматичних умов, рельєфу, ґрунтів, рослинного покриву території та господарської

діяльності. На величину мінімального стоку впливають загальні кліматичні фактори та місцеві азональні впливи, а саме глибина базису ерозії русла, гідрогеологічні умови та розмір басейну. За збільшення розмірів річкових басейнів роль місцевих азональних факторів зменшується та зростають зональні впливи на утворення мінімального стоку [23].

1.3. Сучасна господарська діяльність та її вплив на стан і функціонування басейнової екосистеми р. Стрий

Фізико-географічні умови та природні ресурси басейну р. Стрий визначають його базові напрямки економічного розвитку, а саме аграрно-лісогосподарський та промислово-транспортний. Будучи туристично привабливим та екологічно чистим, басейн має значні рекреаційні ресурси. Вигідне географічне розташування, розвинена мережа транспортних шляхів, близькість кордонів з країнами Євросоюзу дають переваги для покращення економічного та соціально-культурного розвитку території. Через територію басейну проходить залізниця Стрий-Чоп, автомагістраль Київ-Чоп, а з північного сходу на південний захід магістральний нафтопровід «Дружба» для постачання нафти в Європу та високовольтна ЛЕП «Мир».

В містах Стрий, Жидачів, Сколе та Турка, а також на територіях деяких інших об'єднаних територіальних громад (ОТГ) працюють підприємства різних форм власності машинобудівного, електротехнічного, лісозаготівельного, транспортно-сервісного, деревообробного, целюлозно-паперового та інших напрямів. Експлуатуються Стинавське, Південностинавське, Танявське, Східницьке, Урицьке та Заводівське нафтові родовища і проводять пошуки вуглеводнів у межах інших ліцензійних ділянок [24, 25].

Більшість газових родовищ розробляють у Сянському і Дністровському Передкарпатті, внаслідок чого Дрогобицьке та Стрийське передгір'я зазнають значного гірничодобувного навантаження. На ділянці Бескидського низькогір'я з усіх нафтогазових родовищ разом з нафтою видобувають газ,

що збільшує інтенсивність гірничовидобувного впливу на ландшафтні системи. Власником газових родовищ Львівської області є НАК «Нафтогаз України» з розгалуженою газопровідною мережею, значною кількістю газокompресорних і газорозподільних станцій. Виснажені родовища газу Прикарпаття використовуються для підземних газосховищ резервів вільного газу, які потрібні для внутрішніх потреб та експорту в країни Європейського Союзу. Зараз у регіоні використовують чотири сховища газу.

За течією річки Стрий, на територіях між с. Розгірче та с. Дуліби, сформований водоносний горизонт Стрийського родовища питних підземних вод. Родовище використовується трьома водозаборами: Любинецьким, Братківським і Жулинським. Свердловини водозаборів розміщені на берегах річки. Видобування на Братківському та Жулинському проводиться з метою господарсько-питного водопостачання міст Львова, Стрия та Моршина, а Любинецький водозабір забезпечує водою міста Дрогобич, Трускавець, Стебник та Борислав [26].

В сільськогосподарському виробництві переважають городне рослинництво та м'ясо-молочне тваринництво. Фонд орних земель має екологічні та геоморфологічні обмеження, тому їх використовують переважно під городні, кормові та технічні культури. Значну площу займають пасовища та сіножаті, а менше посіви зернових. Найменш задіяні в рільництві угіддя басейнових систем Карпатських річок верхів'їв Стрия та Опору.

Значні труднощі для збереження земельних ресурсів в районі дослідження викликає зниження кількості поживних речовин ґрунтів і вплив на них водної ерозії, а також неналежна рекультивація порушених земель. Своєрідністю карпатського рільництва є його розміщення на схилах значного похилу. Дослідження виконані на гірсько-карпатській дослідній станції виявили, що за осінній та весняний періоди із зораних полів змивається близько 200 м³ ґрунту з гектара. Модуль змиву зі схилів, зайнятих під польовими сівозмінами, становить в рік 4,2–12,8 т/га на рівнинних територіях, 17–53 т/га на височинах і 67–97 т/га у горах [27].

Сільськогосподарське навантаження на басейнову систему спричиняє зміни у моделі землекористування, впливає на перерозподіл структури компонентів та її геохімію. Тривале та інтенсивне землекористування спричиняє зміни у розвитку еколого-геоморфологічних процесів, морфології басейнової системи і її екологічного стану. Змінюються показники ступеня еродованості ґрунтового покриву та площі еродованих ґрунтів, погіршуються фізико-хімічні властивості ґрунтів та морфологія схилів річкових басейнів. Проходить деградація малих водотоків аж до повного їх зникнення, погіршення якості води у руслах постійних водотоків у результаті фізичної та хімічної денудації басейнової системи. Все це негативно впливає як на функціонування басейнової системи та якість природних ресурсів, життєдіяльності людини та її здоров'я [3, 19].

З початку 90-х років в результаті аграрної реформи сформувалися дві категорії сільськогосподарських підприємств. Це приватні агрофірми на основі колишніх колгоспів та індивідуально-приватні господарства, переважно дрібні присадибні господарства. Це спричинило зміни у структурі використання орних земель під сільськогосподарські культури, їх врожайності, внесення органічних і мінеральних добрив, механічному обробітку земель та суттєво вплинуло на гідроекологічну і геоекоекологічну ситуації.

Внесення мінеральних та органічних добрив суттєво впливає на стан ґрунтів, а як результат на ґрунтові і поверхневі води. З продуктами ерозії ґрунтового покриву у ріки надходить понад 30 % компонентів внесених добрив. Дані гідрохімічних досліджень ґрунтових та питних вод показують, що за внесення середніх доз добрив, залежно від кількості опадів, з середньо- і важкосуглинкових ґрунтів виноситься Ca^{2+} від 10 до 165 кг/га, Mg^{2+} від 5 до 55 кг/га, а N-NO_3^- – 8–20 кг/га [2].

Значна залісненість території вагомо впливає на розвиток лісгосподарської галузі. Масове вирубування лісів у нашому регіоні почали у XVIII ст., а впродовж XIX століття переважну їх більшість у доступних місцях зрубали [28]. Вирубування проводили на значних площах, що поширювались

від долин річок до верхньої межі лісових масивів. Це викликало активізацію руйнівних геоморфологічних явищ, таких як площинна та лінійна ерозія гірських ґрунтів, селеві потоки, катастрофічні повені і вітровали [28]. Подальша практика штучного створення монокультур смереки в горах і дубових лісів на передгір'ї спричинила виникнення масових уражень деревостанів кореневими гнилями, ентомошкідниками тощо. Це призвело до погіршення біотичної стійкості лісових екосистем, передусім штучного походження. За дослідженнями М. Голубця, на північно-східному схилі Українських Карпат та Передкарпаття загальний запас фітомаси у корінному біогеопокриві, порівняно з сучасним, зменшився з 820,9 млн. т. до 146,4 млн. т. [29].

Дуже негативний вплив на режим стоку гірських потоків має суцільна вирубка лісу, тому за можливості необхідно використовувати поступову та вибірково рубку. За поступового вирубування зміни стоку води вдвічі, а після вибіркового – у 10 разів менші, ніж за суцільного. Під впливом суцільного вирубування стрімко зростає змив ґрунту і в результаті твердий стік потічків збільшується в 10 разів [30].

В сучасному лісовому господарстві не тільки суцільне вирубування лісів активізує руйнівні екзогенні процеси на територіях басейнів гірських річок, але і використання важкої техніки для трелювання деревини. Застосування цієї технології спричиняє руйнування лісових екосистем, переформування морфології схилу, активізацію ерозійних та зсувних процесів. Траси, якими трелюють деревину, сприяють зародженню та подальшому сходженню селевого потоку. Засмічення схилів рештками деревини різних розмірів спричиняє концентрацію стоку на поверхні схилу та потраплянню в русло гірського потоку невикористаних залишків лісорозробки. Вони спричиняють захарщення русел гірських річок, змінюють напрям руху потоків за злив та повеней, зосереджують його вздовж ґрунтових доріг та спричиняють погіршення якості води [30, 31].

Просторовий аналіз розміщення населених пунктів у межах басейнових систем Прикарпаття вказує на переважання лінійно-долинного типу розселення

у гірській і рівнинній частинах басейну та збільшення селитебного навантаження. Це впливає на ландшафти річкових долин, спричиняє зміну морфології русел, погіршення геоекологічної ситуації в басейнових системах загалом. Особливої шкоди завдає поглиблення та забір будматеріалів з русел річок, розташування житлових будівель, стихійних сміттєзвалищ, а також потенційні джерела забруднення на берегах і заплавах річки [32].

1.4. Локалізація небезпечних процесів, формування паводків і повеней на річках Передкарпаття

Значну проблему сьогодення становлять необхідність захисту території від затоплення та зростання ерозійних явищ. Майже третина території України (27%) затоплюється водою під час паводків за танення снігу у весняний період. Найбільшому впливу затоплень піддаються передгірські та гірські території Карпат, а загалом процеси підтоплення притаманні 20% площам України. На половині використовуваних схилових територій маємо активізацію зсувних процесів. Окрім цього, на 70% гірських водозбірних площ річок Закарпатської та Івано-Франківської областей за зливових дощів значної інтенсивності виникають селеві явища.

Необхідність оцінки інженерно-геологічного стану територій з інтенсивним розвитком небезпечних гідрогеологічних процесів та впливу техногенних факторів, які визначають ступінь зміни та поширення процесів, є найважливішими для безпечного розвитку промисловості та сільського господарства. Незбалансована та безсистемна господарська діяльність спричинила негативні передумови швидкого розвитку екзогенних геологічних процесів (ЕГП), особливо в передгірських ділянках Карпатського регіону [33].

Активізація процесів зсуву, затоплення та ерозія територій, що спонукає селеві потоки, спричинена значними змінами природних процесів, гідрогеологічних та гідрологічних умов, а їх вплив суттєво зростає через техногенні чинників. Однак, процеси просідання земних поверхонь над

гірничими видобутками, підняття рівня ґрунтових вод через техногенне навантаження, виникають за умов збільшення освоєних територій та спричиняють значні зміни у навколишньому середовищі. Суттєво зростає небезпека на територіях гірничого видобування, меліоративних систем, переробних підприємств, трубопроводах різного призначення, залізничних та автомобільних шляхах, тощо [34].

На урбанізованих територіях небезпечними є зсуви, які мають найбільше поширення. Цей процес в Україні має відмінності за регіонами, а на закономірність розвитку зсувних процесів впливають гідрогеологічні, геоморфологічні та інші природні умови. Проте на зародження та значну активізацію зсуву впливають кількість опадів, зростання рівнів і витрат води поверхневих водотоків, ерозійні явища спричинені дією поверхневих та підземних вод, а також сейсмічні процеси.

Враховуючи складність прогнозування розвитку зсувів і їх непередбачуваність в часі, вони є ймовірним фактором появи руйнівних ситуацій на територіях України. Сучасне зростання зсувних процесів здебільшого викликають техногенні та в меншій мірі природні чинники. Активізації зсувів сприяє руйнування верхнього шару ґрунтів, яке спричинене вирубкою лісів та оранкою земель на схилах, розташуванням інженерних споруд на схилових площах, що спричиняє зменшення рівноваги цих територій. Зсувні процеси мають свої особливості залежно від розміщення їх на ділянках геоструктур. Вони залежать від геологічної структури, гідрогеологічних та морфометричних особливостей територій, ландшафту і клімату, а також сейсмічних та тектонічних явищ [35].

На території України виділяють дев'ять регіонів (рис. 1.10). Регіон Галицько-Волинської западини та Волино-Подільської плити розташований на території Тернопільської, Рівненської, Волинської і частині Львівської, Хмельницької, Івано-Франківської, Чернівецької областей. За нерівномірного поширення, найінтенсивніші зсувні процеси спостерігаємо на південно-східній ділянці регіону та правому березі річки Дністер [33].

Гірський рельєф Сколівщини з крутими схилами та різкими перепадами висот сприяє утворенню територій із значними ризиками для інженерних комунікацій і споруд. Навіть незначне руйнування рослинного покриву на схилових площах, яке спричинене техногенним впливом або будівельними роботами, а також місця інтенсивного вирубування лісу може стати причиною небезпечних зсувів (рис. 1.11а) [36]. Вагомими факторами зростання зсувних процесів на площах регіону є незначна глибина розміщення підземних вод, берегові ерозії, глибокі ерозійні річкові долини, значні похили схилів та висока інтенсивність випадання опадів тощо [37].

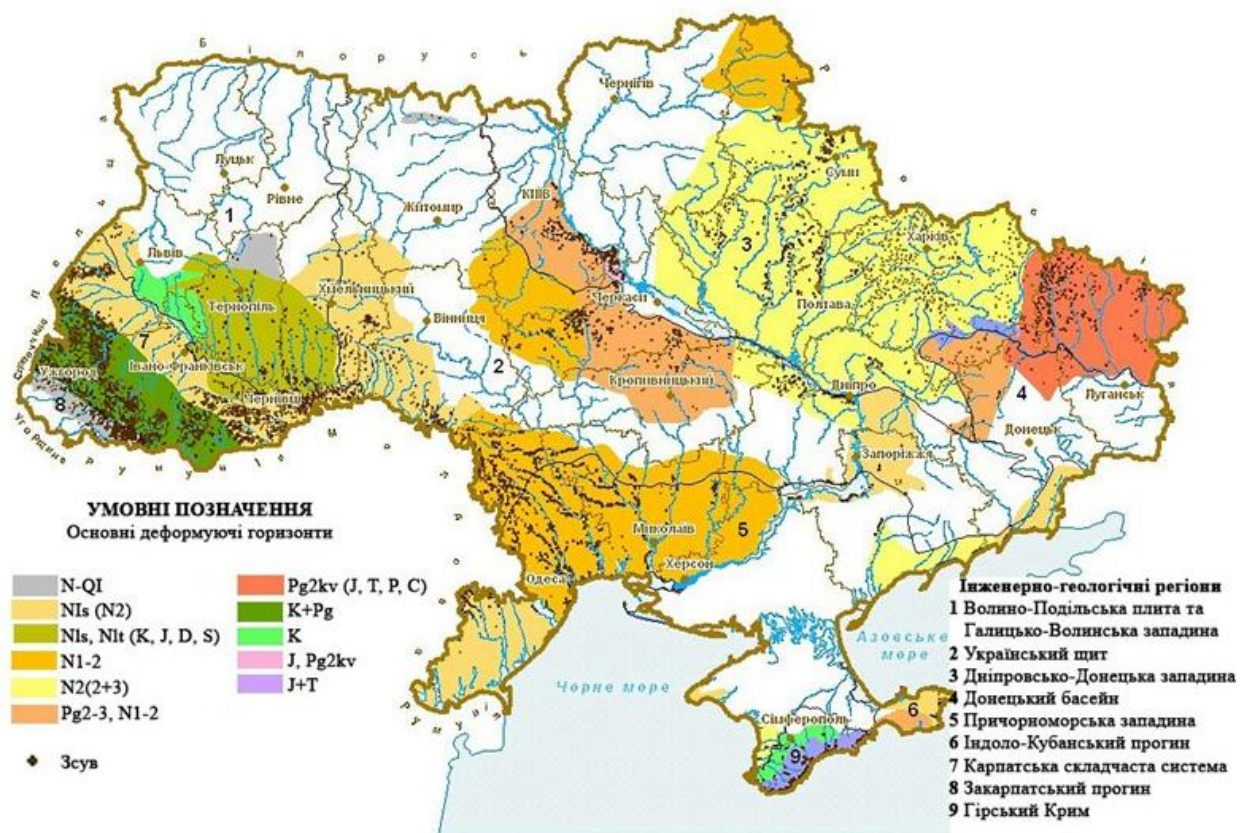


Рис. 1.10. Розміщення зсувних процесів в регіонах України [33]

В басейні річки Опір небезпечним денудаційним явищем є значна ймовірність формування та сходження селів. Бруднокамінні потоки літом 2014 року спричинили руйнацію дорожнього полотна та мостових переходів, укріплювальних стінок тощо. У липні та серпні 2020 року в Сколівському лісництві зійшли численні селеві потоки, які були спричинені сильними зливами в Національному природному парку (НПП) (рис. 1.11б). За зростання

інтенсивності дощів та утворення паводків і селевих потоків активізуються небезпечні зсувні процеси. Виділяють декілька територій підвищеної небезпеки формування селів та зсувів, а саме схилів територій в долині р. Стрий, які розміщені на площах між с. Підгородці та смт. В. Синьовидне. Вони мають значні ерозійні зсуви, що при зростанні інтенсивності опадів та швидкого танення снігу можуть становити небезпеку для житлових споруд та доріг.

У верхів'ях гірських потоків, що є притоками річки Стрий знаходяться старі та поки стійкі зсуви, які за зміни умов стійкості ґрунтового покриву можуть формувати тверду складову селів, перетворюючи ці притоки в селенебезпечні. Середня течія річки Кам'янка також має ризики утворення руйнівних зсувів, а біля гори Корчанка знаходяться стабільні зсуви, які можуть формувати тверду складову селевих потоків.

За впливу дощів у липні–серпні 2014 року зсуви зруйнували дороги до с. Кам'янка (рис. 1.12а) та на берегах річки Бутивля і її приток, а також спричинили зміну структури водоспаду р. Кам'янка (рис. 1.12б). Сучасні денудаційні процеси в багатьох випадках спричиняють пошкодження мереж енергопостачання та зв'язку, дорожнього покриття, тощо (рис. 1.12в) [36].

Підвищення надійності та ефективності різноманітних гідротехнічних споруд, а саме водозабірних споруд, руслонаправляючих дамб, автомобільних та залізничних мостів, електроопор в руслах, потребують необхідності удосконалення технічної якості споруд для регулювання руслових процесів на передгірських та гірських територіях. Місцеві розмиви в зоні мостових опор з підмивом їх основ спричиняють до 75% всіх руйнувань автомобільних мостів (рис. 1.13) [38]. На берегах карпатських гірських річок багато інженерних споруд, за умов інтенсивного підмивання, не справляється з напором потоку, що призводить до зриву відмосток (рис. 1.14). За недостатнього фінансового забезпечення, протипаводкові заходи полягають лише локальному захисті деяких територій і населених пунктів, що не забезпечує захисту на необхідних небезпечних ділянках річок [39].

Системні гідрологічні спостереження дали можливість визначити основні

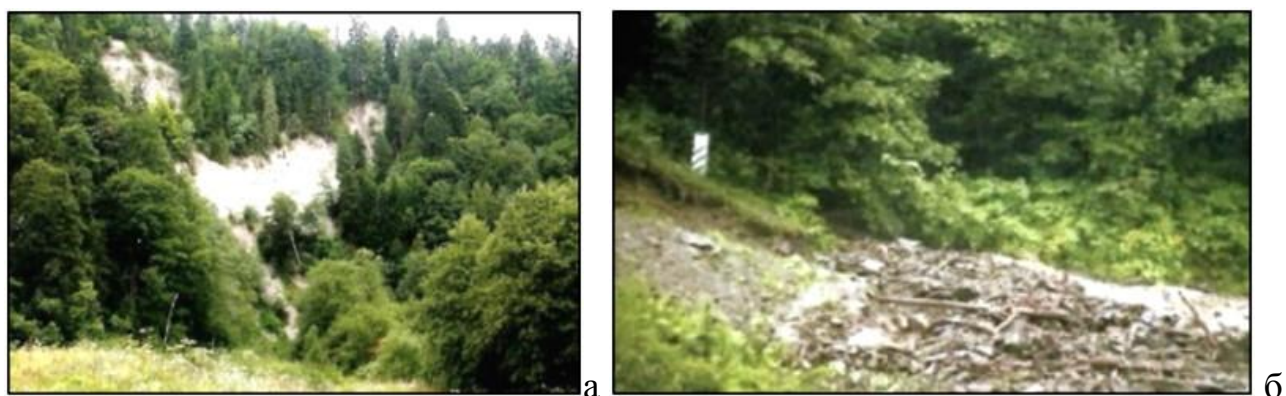


Рис.1.11. Зсуви берегів річки Рибник (а) та утворення селевого потоку (б) [36]

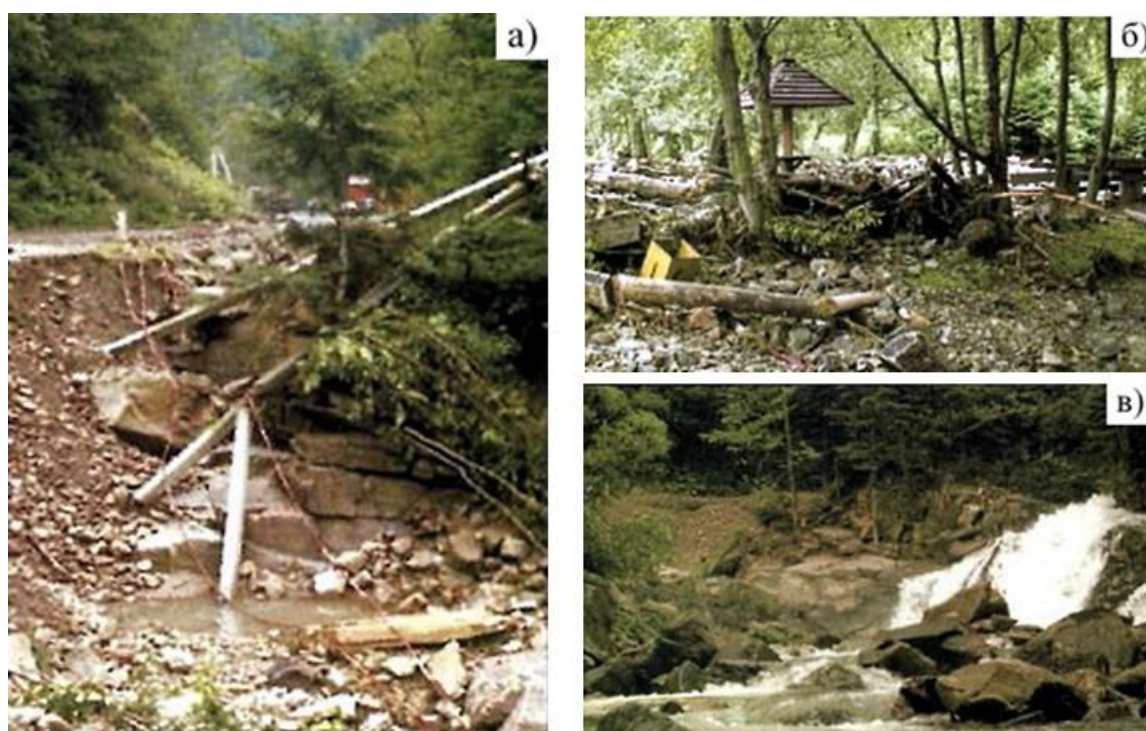


Рис 1.12. Наслідки руйнувань за інтенсивних опадів: а)зсуви дороги, с. Кам'янка; б) відпочинкова зона та в) водоспад на р. Кам'янка після злив [35]



Рис. 1.13. Зруйнований міст за повені на річці у м. Стрий

відмінності басейну річки Стрий і встановити закономірності змінювання показників гідросистеми з часом від кліматичних умов [40]. Весняні повені деякими роками слабо виражені, однак літом та восени спостерігаємо значні дощові паводки. В окремі роки величина їх витрат та об'ємів стоку на території басейну р. Стрий значно перевищує відповідні характеристики весняного водопілля [20].

Питання захисту поселень на прилеглих територіях від паводків і повеней є вкрай важливою задачею для водного господарства української держави. Руйнівні повені на території Закарпаття восени 1998 року і весною 2001 року та Передкарпатті в липні 2004, 2008 років та у травні 2014 і 2020 рр. [21, 22] спричинили потребу визнати ці території регіонами екологічного лиха. Великі наслідки руйнування цими паводками на річках Карпатського регіону різними роками пояснюють природними факторами та значними техногенними впливами [41].

Для ефективності і надійного захисту від руйнівних впливів паводкових вод на передгірських та гірських річок карпатських територій, а також їх басейнів необхідно утворити спеціальні різнофункціональні комплекси протипаводкових заходів. Вони мають враховувати захисні дамби обвалування річок, агро меліоративні, будівельні та протиерозійні заходи на схилових територіях, берегоукріплення, регулювання і очистка русел, лісозбереження, а також створити спеціальні служби для своєчасного попередження про гідрометеорологічну ситуацію та проведення аварійно-ремонтних і рятувальних робіт, системи страхування від повеней тощо. Щоб оптимізувати ці заходи необхідно розробити найзагальнішу математичну модель утворення та сходження паводків в регіоні. Її використання дозволить виявляти найуразливіші території, які потребують першочергової уваги в регіоні, аргументовано призначати необхідні протипаводкові заходи.

Проведення протипаводкового захисту прилеглих територій, житлових об'єктів та промислових підприємств від руйнування є актуальною проблемою. Важливими способами захисту від паводків та повеней на карпатських річках є

регулювання русел гідротехнічними регуляційними спорудами [38, 39].

В аналізі проходження найнебезпечніших процесів в геоморфології важливим показником режиму опадів вважають їх добову суму та площу території, охопленої дощем. Загрозливими вважають опади, якщо їхня кількість впродовж 12 год. буде перевищувати 15 мм, а стихійними більше 50 мм [42]. Сучасна система захисту від повеней та паводків в державі вимагає подальшого вдосконалення, оскільки сільські населені пункти, значні площі сільськогосподарських угідь та інші об'єкти регулярно піддаються шкідливому впливу паводкових вод [43, 44].



Рис. 1.14. Руйнування берегів на річці Стрий

Державне фінансування протипаводкових робіт проводять згідно “Комплексної програми захисту сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод на період 2006-2010 рр. та прогноз до 2020 року”, затвердженої постановою КМУ від 03.07.2006 р. № 901. Окрім державного використовують також інші джерела фінансування. З 2009 р. до цієї програми заходи із захисту території від повеней та паводків фінансують згідно “Комплексної програми протипаводкового захисту у басейнах рік Дністер, Прут та Серет на період 2009-2015 рр. та на період 2016-2025 рр.”. Для обґрунтування “Схеми комплексного протипаводкового захисту басейнів річок Дністер, Прут, Серет” проведено детальний аналіз причин та наслідків повеней

на річках Прикарпатських територій. В ньому узагальнено дослідження українських науковців, а також наукові досягнення Великобританії, Німеччини і Польщі стосовно методів та способів захисту від руйнівної дії паводкових вод [44].

Для боротьби з повенями і паводками запропоновано комплексне регулювання паводкового стоку спеціальними протипаводковими ємностями та польдерами, будівництво регулюючих ГТС для сповільнення швидкості руху води приток, а також модернізацію захисту протипаводковими дамбами, проведення лісозахисних та протиерозійних заходів на гірських територіях. Крім цього, враховано можливість комплексного використання регулюючих протипаводкових водойм для роботи малих гідроелектростанцій [45-47].

Гідрометеорологічні процеси ґрунтовно вивчались в 50-70 роках минулого століття, проте зараз через недостатнє фінансування, значно зменшилась кількість наукових гідрологічних досліджень. Світові тенденції зміни клімату та антропогенні фактори спричинили зміни гідрологічного режиму карпатських річок. Екологічні неповні та вибіркові спостереження на цих територіях проводяться басейновими управліннями водних ресурсів та обласними управліннями, які займаються охороною навколишнього середовища.

Питаннями екології у водному господарстві, підтопленням земель і деградацією малих річок займався український учений-еколог, заслужений діяч науки і техніки України А.В. Яцик, який сформував новий напрям водогосподарської екології. Ним вперше було розроблено наукові засади безпечного екологічного водовикористання і відновлення природно-екологічної рівноваги водних екологічних систем. Практичне значення його робіт полягає в теоретичному обґрунтуванні державної проблеми створення стратегії в нормуванні антропогенного впливу на водні та навколоводні екосистеми [48].

Сучасний моніторинг руслових та ерозійних процесів, розрахунок і прогноз стоку в гідроекологічних дослідженнях є проблематичним. Визначення основних гідрографічних та морфометричних характеристик річок проводяться

традиційними методами на основі даних натурних спостережень. Перспективні методики досліджень гідрологічних та екологічних показників річкових басейнів описані у статті Л.О. Горбачової [44, 49]. Причини утворення руйнівних паводків та повеней на схилових площах карпатських річок, а також екологічні питання їх проходження в Українському Карпатському регіоні розглянуто у роботах [50, 51]. Автори оцінюють параметри повеней та паводків, періодичність їх утворення у минулому столітті, зосереджуючи увагу на спричинених ними збитках і заходах захисту від підтоплення.

Дослідженням паводків гірських річок займалися науковці О.Г. Ободовський, В.В. Онищук [52, 53], О.С. Коноваленко [54], М.М. Сусідко [55], О.І. Лук'янець [56], М.І. Ромащенко [45, 46], В.М. Шевчук і Х.В. Бурштинська [44] та ін. Метою роботи [57] є вивчення закономірностей поширення небезпечних процесів в басейнових системах Карпатського регіону, періодичності та закономірностей їх розвитку, а також причини виникнення і вплив на екологічний стан річок.

Вплив господарювання на об'єм стоку р. Дністер розглянуто в науковій праці Л.Б. Коваленко, яка підтвердила значне антропогенне навантаження на гідрологічний режим річок Прикарпатського регіону [58]. Дослідженням значних змін режимів та ймовірності катастрофічних паводків займались А.В. Михнович та І.П. Ковальчук [59]. Авторами було оцінено величину трансформації басейнових геологічних систем за впливу техногенних і природних факторів та ймовірність руйнівних паводкових потоків в їх долинах. Вони оцінили сучасну мережу моніторингу поверхневих вод та зміни витрат води у басейні Дністра і створили алгоритм визначення зони затоплення заплави за допомогою геоінформаційної системи (ГІС) з оглядовою картою ризику затоплень його долини.

Для господарського освоєння паводконебезпечних територій в долинах річок необхідні детальніші екологічні і економічні дослідження та моніторинг руслових процесів на урбанізованих територіях, де розміщена значна кількість населених пунктів і розміщена більшість об'єктів інфраструктури. Це

дозволить отримати максимально можливий економічний ефект від освоєння цих територій та зменшити можливі збитки від повеней.

Повинна діяти ефективна система прогнозування паводків та оперативного інформування жителів про початок повені, їх максимально можливі рівні і тривалість її проходження. Важливим є своєчасне повідомлення населення про можливість утворення паводку, ймовірні наслідки та заходи захисту території, будівель і споруд. Заходи у паводконебезпечних районах, які включають прогнозування, планування та проведення робіт із захисту території, повинні проводитись до початку повені, в період поширення, а також після її закінчення. Розроблення цих положень займаються науково-дослідні та проектні інститути, профільні міністерства, зокрема МНС України [44].

Необхідне також детальне дослідження факторів, які призводять до зростання кількості катастрофічних повеней і паводків останніми десятиліттями. Зміна клімату, зокрема збільшення опадів, подальше господарське освоєння річкових долин, спричинене зростанням кількості населення та урбанізації територій є основними впливами. До негативних наслідків призводить також антропогенна діяльність, яка найчастіше стимулює початок небезпечних природних процесів [43, 51, 60].

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано опубліковані наукові праці за темою дисертаційної роботи. Детально розглянули українські законодавчі бази та країн Європейського союзу з управління і охорони водних ресурсів, проведено системний аналіз діючих в Україні програм міжнародної співпраці ООН з довкілля ЮНЕП та Водну рамкову директиву Європейського Союзу, а також басейнові принципи моніторингу факторів для оцінки якості поверхневих вод, які лягли в основу розробки робочої наукової гіпотези.

2. Водні екосистеми річок Передкарпаття регіону знаходяться під впливом особливих природних та антропогенних факторів, причому роль

останніх постійно зростає, що вимагає спеціальних досліджень. Обґрунтовано доцільність удосконалення екосистемного підходу за басейновим принципом для дослідження функцій особливих Передкарпатських водних екосистем.

3. Басейн р. Стрий історично сформувався в особливому ландшафті, гірському ґрунтовому покриві та у первинній лісовій біоті. Особливості антропотрансформації регіону докорінно змінили геоматичні та гідрохімічних умови водозбору, а господарське використання ресурсів території призвело до втрати первинного суцільного лісового покриву з його природною водорегуляційною функцією. Ці чинники тепер формують основні впливи на природні води басейнової екосистеми р. Стрий.

4. Науково-обґрунтована методологія збору інформації про місце утворення, фактори формування та проходження руйнівних екзогенних геоматичних процесів, надасть можливість ефективно вживати заходи щодо запобігання й усунення їх негативних наслідків. Мережа гідроекологічних спостережень, діючі пости із збору оперативних даних та їх опрацювання, потребують суттєвого удосконалення згідно стандартів міжнародного моніторингу довкілля.

Результати досліджень за даним розділом викладено у публікаціях [10], [22], [31], [35], [40], [41].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ РІЧОК РЕГІОНУ

На всі водні потоки впливають навколишнє середовище та умови формування поверхневого стоку води. небезпечні природні фактори та антропогенні впливи, спричинені господарською діяльністю людини погіршують якість води в результаті появи в річках забруднюючих речовин. Якість води є характеристикою складу та властивостей води як компоненти водної екосистеми і середовища життя гідробіонтів, а також її придатності для водокористування. Екологічне розуміння якості води ґрунтується на тому, що природна поверхнева вода є найважливішою складовою водних екосистем та єдиним можливим середовищем життя водних рослин і тварин.

2.1. Програма натурних гідроекологічних досліджень і лабораторних експериментів

Екологічне оцінювання водних джерел полягає у визначенні відповідності водного об'єкта (ВО) якісним показникам природних вод, що обмежують різноманітність та кількість гідробіонтів і ступінь впливу на якість води умов довкілля. Якість води є інтегральним показником, який характеризує стан водних екосистем та визначається гідрофізичними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками [61, 62]. Антропогенне забруднення спричинене діяльністю людини та надходженням у водойму органічних і мінеральних речовин, а частина компонентів цих забруднень є шкідливими хімічними сполуками, що забруднюють довкілля [63, 64].

З'ясувавши актуальні проблеми збереження природних функцій басейнової екосистеми р. Стрий, ми сформували програму наукових досліджень, яка охоплювала наступні питання:

- 1) виокремлення найкритичніших складників антропогенного навантаження на природне довкілля басейну Стрия та оцінювання вагомості їх

впливу на якість природних вод ландшафтної гідроекосистеми;

2) дослідження впливу геоморфологічних, гідрологічних і гідроекологічних умов басейну р. Стрий на функцію природного самоочищення поверхневих вод та вплив на цей процес гідродинамічно-активних ділянок в руслах річок;

3) репрезентативність лабораторного моделювання для порівняння з даними натурних досліджень сезонної зміни основних гідрохімічних показників якості річкових вод басейну Стрия за впливу урбогенних чинників;

4) дослідження гідродинамічних і руслових процесів, розробка рекомендацій для захисту територій від паводків та зменшення антропогенного впливу на якісні показники вод гірських річок.

Для реалізації першого питання здійснили опрацювання даних моніторингу Державного агентства водних ресурсів України за 2016-2020 рр. На основі них були визначені найкритичніші складники забруднень та їх перевищення відносно ГДК.

Дослідження впливу геоморфологічних умов виконали морфографічним методом, застосовуючи текстовий опис рельєфу, графіки, профілі і фотографії [2, 3]. Нами проведено обслідування схилових територій водозбірному басейну річки Стрий, на яких спостерігали активізацію ерозійних процесів спричинену господарською діяльністю.

Гідрологічні умови вивчали за методиками, що полягають у проведенні тривалих багаторічних спостережень на спеціальних гідрологічних станціях і постах та аналізом даних Карпатської гідрометеорологічної обсерваторії в м. Стрий. Аналізувались змінювання складових водних режимів, а саме рівнів течії, швидкості потоку і внутрішньорічного розподілу. Гідроекологічні умови досліджували за методиками описаними в [65, 66].

Лабораторне моделювання течії на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок виконували у лабораторії кафедри гідротехніки і водної інженерії Національного університету «Львівська політехніка» на установці, що забезпечувала подібність натурних та модульованих течій згідно критеріїв

Фруда та Рейнольдса відповідно до законів теорії подібності і принципів гідродинамічного моделювання [67]. Дію урбогенних чинників встановлювали за гідрохімічними показниками річкової води та порівнянням із значеннями ГДК, що може супроводжуватись їх негативним впливом на життєдіяльність гідробіонтів [48, 49].

Дослідження гідродинамічних і руслових процесів виконали методами порівняння зміни положень русла р. Стрий за топопланами та знімками супутника в період 2002-2018 роки.

2.2. Методика досліджень основних якісних показників поверхневих вод

Якість поверхневих вод визначають за багатьма показниками та різними методиками. Найбільш поширеним є дослідження якості води за показниками запаху, мінералізації, прозорості, твердості, температури, завислими речовинами, а також показником рН, розчинним киснем, наявністю іонів магнію, натрію, кальцію, хлору та сульфатів. Використовують також інші показники забруднюючих речовин неорганічного та органічного походження і біогенних компонентів.

Якісні параметри вод гірських річок визначали за показниками: мінералізованість, мутність, прозорість, кольоровість (за ДСТУ 7027:2003, ДСТУ 7525:2014 та ін) [65, 68, 69]. Легкоокиснювальні органічні речовини за показником біохімічного споживання кисню (БСК₅) та розчиненого кисню визначали згідно МВВ 081/12-0014-01 і МВВ 081/12-0008-01 [70, 71]. Азотовмісні сполуки: азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний - визначали відповідно до стандартних методик (НД 211.1.4.027–95) [65, 68], а фосфати, сульфати, хлориди, рН за ДСТУ 9297:2007, ДСТУ 4077-2001 [65, 72, 73]. Відбір проб води проводився відповідно до ДСТУ 180 5667-6:2009 [74].

Провівши детальний аналіз багатофакторного процесу формування природних вод річок в басейні р. Стрий за методологічним підходом, описаним

в науковій праці [3], планування експериментів було поділено на такі етапи:

- визначення якості води більшості приток, які формують хімічний склад води р. Стрий, для визначення найбільш забруднених річкових потоків;
- аналіз хімічного складу річкової води в басейні р. Стрий із врахуванням основних джерел забруднень, що надходять з цих приток;
- дослідження зміни якості води в найбільш забрудненій притоці та її вплив на формування складу поверхневих вод в р. Стрий;
- вплив руслових процесів в басейні річки на формування якості природних вод.

2.3. Локалізація точок відбору проб води і натурних спостережень

Басейновий стік води річки р. Стрий формують 16 її основних приток. Попередні натурні дослідження якості води приток басейну надали можливість припустити, що основне надходження шкідливих компонентів приходить з р. Опір. Вона проходить через територію туристично-розважальних комплексів с. Славське та прилеглих до м. Сколе, які не мають достатньо ефективних очисних споруд, а подекуди вони взагалі відсутні, що спричиняє її негативний вплив на якість води в р. Стрий. Було визначено необхідність дослідження сезонних змін складу річкової води в басейні р. Стрий та її основних притоках, які характеризуються найбільшим антропогенним впливом на якість води.

Планування натурних досліджень вказали на необхідність проведення аналізів в місцях впадіння приток річки Стрий, які є найбільш схильними до надходження техногенних забруднень. Тому подальше дослідження проводили для річок Опір та Стрий в місцях відбору проб, що показані на рис. 2.1 із вказаними даними геолокації.

Визначення гідрохімічного складу відібраних проб проводились в лабораторіях дослідження питної води та аналізу стоків очисних споруд КП “Стрийводокал” на основі відповідних діючих в Україні нормативних документів [65]. Для порівняльних аналізів відбір проб проводили посезонно:

за наявності снігового покриву до початку його танення, у весняне водопілля, за літньої межени та перед утворенням льоду на річках восени. Для оцінювання точності проведених досліджень сезонних показників всі проби відбиралися додатково щомісяця.

Дослідження проводились за місячними та сезонними гідрохімічними показниками. Обчислення та графічне оформлення результатів досліджень проведено з використанням програми статистичного опрацювання даних Microsoft Excel.

Експериментальні дослідження та моделювання процесів самоочищення на гідродинамічно-активних ділянках (ГАД) були проведені в лабораторії кафедри гідротехніки та водної інженерії НУ “Львівська політехніка”. Для планування екологічних експериментів використовували наукові рекомендації,

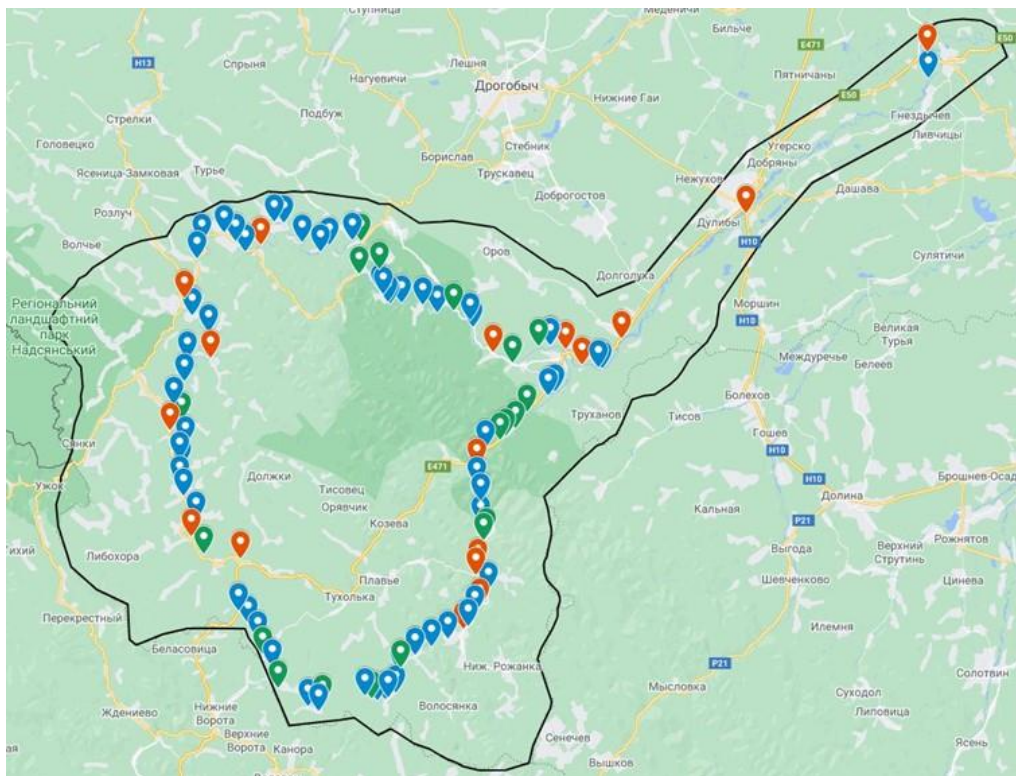


Рис. 2.1. Місця відбору проб для дослідження показників якості води в басейні р. Стрий із даними геолокації

а статистична обробка отриманих результатів та їх аналіз проводили за сучасними методиками описаними в роботі [75].

Для розв'язку поставленої задачі побудували план, який дозволяв так спланувати поєднання різних чинників, щоб за мінімальної кількості дослідів найбільш рівномірно охопити всю площу таблиці можливих поєднань впливаючих факторів. Використана схема планування дослідів для чотирьох факторів та п'яти варіантів кожного з них [76].

Проаналізувавши планування натурних досліджень було обґрунтовано точки відбору проб та гідрохімічні показники в басейні річки Стрий, які найбільше характеризують процеси антропогенного навантаження. Місце відбору проб обирали відповідно до мети аналізу, враховуючи характер даної місцевості в місцях вказаних на рис. 2.2. Результати лабораторних досліджень оформлювались в табличній формі із вказуванням місця відбору проб, особливостей природних та гідрологічних умов. Для кожної точки визначали точні координати системою GPS. Дослідження екологічно-гігієнічних показників якості річкової води проводились на основі нормативних документів, якими користуються КП “Стрийводоканал”, а також сертифіковані лабораторії інших водоканалів.

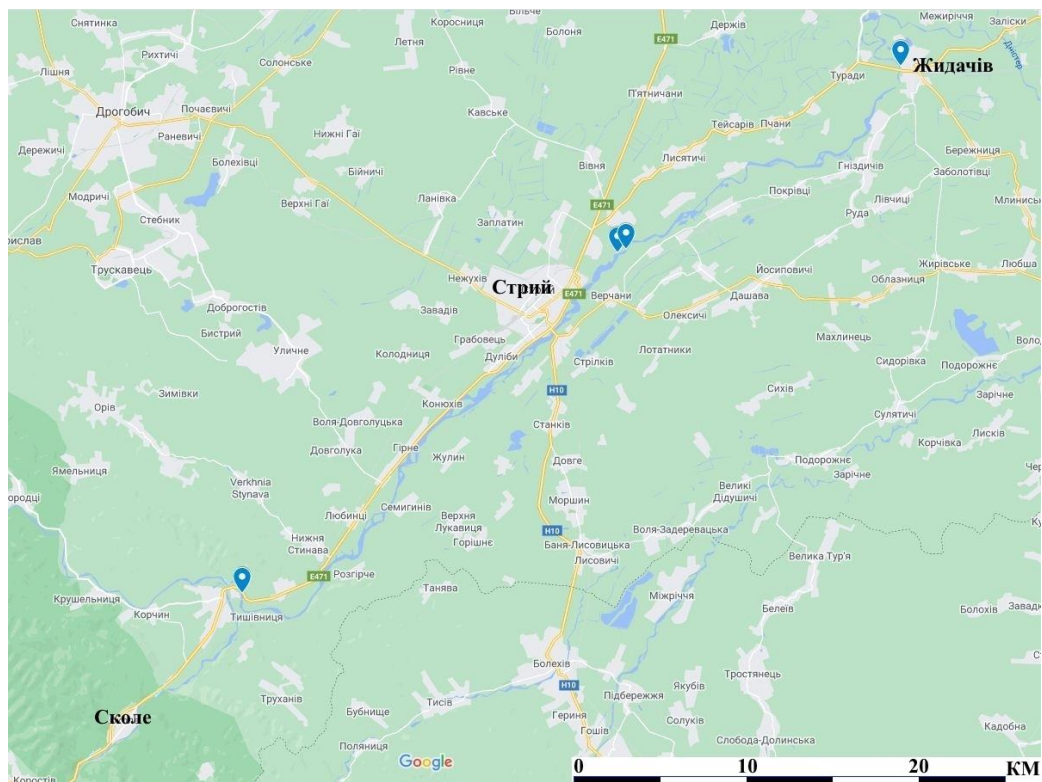


Рис. 2.2. Місця відбору проб в проведених натурних дослідженнях для аналізу показників якості води в басейні р. Стрий із даними геолокації

Для гідрохімічного аналізу питної води свердловин Стрийського водозабору проводили додаткові дослідження таких показників як загальна твердість, величини вмісту заліза, фтору, поліфосфатів та сухого залишку.

2.4. Лабораторне моделювання гідродинамічно-активних ділянок гірських річок

Для перевірки результатів теоретичних та натурних досліджень запроєктовано та удосконалено діючу експериментальну установку, яка забезпечувала умови для моделювання течії на гідродинамічно-активних ділянках (ГАД) гірських річок згідно із законами теорії подібності і принципами гідродинамічного моделювання. На основі результатів аналізу натурних спостережень на передгірських ділянках річок, а також нормативної та проектної документації були визначені межі значень основних діючих факторів, а саме число Фруда, глибина потоку та швидкість течії, які є визначальними під час дослідження впливу гідродинамічно-активних ділянок на процеси самоочищення потоку.

За критерій гідродинамічної подібності прийняли критерій Фруда, як основний при дії сили тяжіння [67]. Згідно особливостей гідродинамічного моделювання за цим критерієм та характерних особливостей натурних річкових течій, були прийняті зміни геометричних масштабів моделі ($C_H \neq C_L$). При моделюванні річкових потоків незначної глибини допускали зміну горизонтального та вертикального масштабів за умови, що співвідношення ширини і глибини течії на моделі було ≥ 6 [67, 76], а також розбіжність масштабів була обмежена вимогою $R \approx h$. Досліджувана модель ГАД гірського потоку цілком відповідала цим вимогам.

Також вимогою для адекватного моделювання було використання кінематичної подібності течій, а саме подібності усереднених швидкостей відповідних перерізів течії. Коефіцієнт шорсткості русла та гідравлічний похил для модельного потоку приймали відповідно натурним. Тому глибини течій

модельного та натурального русел відповідних перерізів мають бути рівними, а саме $C_H = 1$.

Число Фруда для річкового потоку $Fr = V^2/gH$, тому подібність за критерієм Фруда ($Fr_n = Fr_m$) вимагає умови до масштабу швидкостей, а саме $C_v = C_H^{1/2} = 1$. За прийнятих умов для відповідності динамічної подібності критерію Фруда необхідна однаковість середніх швидкостей течії відповідних перерізів моделі та природи. Тому

$$C_{Fr} = \frac{C_v^2}{C_g C_H} = 1. \quad (2.1)$$

Друга умова, яку дотримували при моделюванні гідравлічних явищ є подібність режимів течії. За попередніми вимогами відповідна глибина натурального і модельного потоку приймалися рівними, а для мілкої широкої течії $R = h$, то за однакових значень $V_{сер}$ потоку і ν рідини, дотримується умова рівності критерію Рейнольдса в натурних та модельних дослідженнях ($Re_n = Re_m$)

$$Re = VR/\nu, \quad (2.2)$$

$$C_{Re} = \frac{C_v C_H}{C_\nu} = 1. \quad (2.3)$$

В наших дослідженнях одночасно забезпечувалась подібність натурних та модульованих течій згідно критеріїв Фруда та Рейнольдса.

Експериментальні гідрохімічні дослідження проводили в лабораторії кафедри гідротехніки і водної інженерії Національного університету «Львівська політехніка» на малому гідравлічному лотку (рис. 2.3). Загальна довжина лотка становить 9,6 м, ширина – 0,23 м, а висота бокових стінок – 0,34 м. Лоток складається з двох ділянок. Перша ділянка завдовжки 6,53 м з нульовим похилом дна, а друга ділянка має перепад висот 0,26 м, завдовжки 3,07 м, що дозволяє моделювати течію через водоспад. Бокові стінки лотка виконані зі скла. У кінці лотка влаштовано металевий шиберний затвор для регулювання глибини потоку. Вода із лотка надходила в мірний бак, а звідти в приймальний

резервуар (рис. 2.4, 2.5).

Подачу води у лоток здійснювали трубопроводом з напірного бака об'ємом $13,6 \text{ м}^3$, розміщеного на шостому поверсі будівлі, в якій розташована лабораторія. Це забезпечувало робочий напір на експериментальному лотку близько 20 м водяного стовпчика. Витрату води Q регулювали засувкою і вимірювали витратомірним баком, що містить трикутний водозлив. Після водозливу вода проходила через систему гасників збурення потоку, які забезпечували рівномірне надходження води у лоток. Вимірювання напору та рівнів води виконували за допомогою мікрометра-рівнеміра (7). Для визначення витрати води використовувався стандартизований тонкостінний водозлив (5).

Змінюючи величину каменів, глибину потоку та довжину ділянки, на якій були проведені натурні дослідження, моделювали течію через реальну гідродинамічно-активну ділянку, як включає переكاتи та водобійну нішу водоспаду [77] (рис. 2.6).

Досліди проводили після встановлення гідравлічних параметрів потоку згідно описаних вище показників моделювання в такій послідовності. Відкривали засувку 3, щоб вода заповнила об'єм до рівня відмітки гребеня тонкостінного водозливу 5 у водомірному вузлі 4. Закривали засувку 3 та заміряли її відмітку Z_1 мікрометром-рівнеміром 6. Мікрометром-рівнеміром 6 заміряли відмітку поверхні води Z_2 над трикутним мірним водозливом та згідно

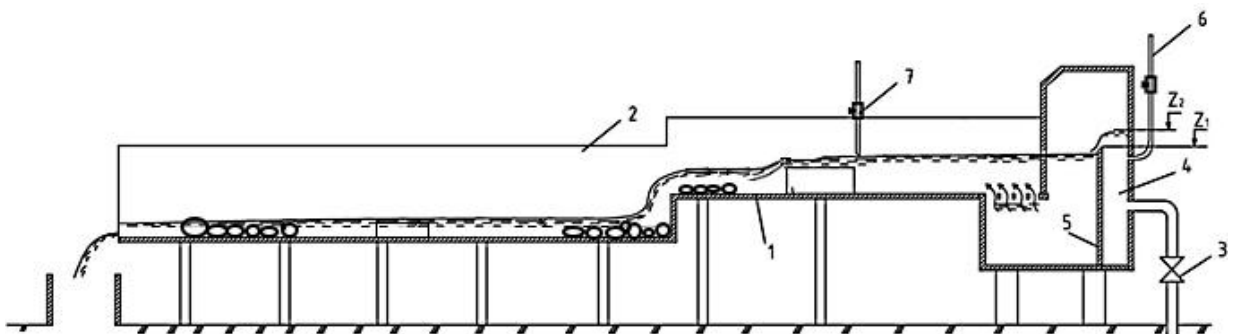


Рис.2.3 Схема лабораторного стенду (поздовжній переріз): 1 – дослідний

водозлив з широким порогом; 2 – гідравлічний лоток; 3 – засувка на трубопроводі подачі води в лоток; 4 – водомірний вузол; 5 – водозлив «тонка стінка»; 6 – п'езометрична трубка в комплекті з мікрометром - рівнеміром; 7 – пересувний мікрометр - рівнемір



а)



б)

Рис. 2.4. Загальний вигляд експериментальної установки: а) з боку мірного вузла; б) з боку мірної ділянки



а)



б)

Рис. 2.5. Ділянка для моделювання течії води через водоспади та пороги: а) вид збоку; б) вид зі сторони мірної ділянки



Рис. 2.6. Гідродинамічно-активна ділянка на р. Тишівниця, яка використана для натурних досліджень

тарувальної кривої визначали витрату води в лотку. За встановлення усталеного рівномірного руху проводили гідрохімічні дослідження основних показників якості води.

2.5. Статистичне моделювання точності вимірювань експериментальних залежностей

Для усунення систематичних помилок у проведенні досліджень нами використано стандартизовані методики. Проводили також додаткові досліді при перевірці отриманих результатів, оновленні тарувальних і градууювальних кривих. З метою зменшення впливів випадкових похибок всі вимірювання проводились не менше трьох разів з отриманням середнього арифметичного значення вимірювань. При оцінюванні серії вимірювань використовували критерій середнього квадратичного відхилення [78]

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum(\Delta x)^2}{n(n-1)}}, \quad (2.4)$$

де Δx – часткові відхилення окремих вимірів, які визначають із залежності

$$\Delta x = x_i - \bar{X}. \quad (2.5)$$

Нами проведено визначення основних гідрохімічних показників якості води в р. Стрий за період з 20.10.2016 по 30.05.2021 р. Результати досліджень опрацьовували статистично з використанням критерію Стьюдента t_{pm} , який визначали із довідникової літератури за обраною необхідною ймовірністю P та кількістю повторення вимірів [78]

$$\Delta_{\sigma} x = t_{pm} \cdot \sigma_{\sigma}, \quad (2.6)$$

де t_{pm} – коефіцієнт Стьюдента

Апроксимацію залежностей і побудову графіків проводили з використанням комп'ютерних програм MathLAB та MS Excel. Похибка вимірювання витрати води трикутним водозливом становить 2%. Похибки проведення гідрохімічних досліджень якості води становила для об'ємного аналізу (титрування) 1,2%, а з використанням електронних приладів похибка вимірювань складала до 6%.

Висновки до розділу 2

Використана методика досліджень факторів формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий поєднує басейновий та ландшафтно-геохімічний підходи. Вона дозволяє інтегрально порівнювати найрізноманітніші природні та антропогенні впливи і виділити найважливіші параметри для проведення їхнього детального аналізу. Поєднання цих підходів дало можливість вдосконалити методику екологічного аналізу басейну р. Стрий, яка дозволяє просторово диференціювати та гідрохімічно інтегрувати фактори формування хімічного складу природних вод.

Для перевірки результатів теоретичних та натурних досліджень запроєктовано та удосконалено діючу експериментальну установку, яка забезпечувала умови для моделювання течії на гідродинамічно-активних

ділянках (ГАД) гірських річок згідно із законами теорії подібності і принципами гідродинамічного моделювання.

Наведено методику відбору проб поверхневих вод та просторове розміщення місць проведених натурних досліджень для аналізу показників якості води в басейні р. Стрий із даними геолокації.

Методики досліджень та опис експериментальної установки, які наведені в цьому розділі, викладено у публікаціях [65], [76].

РОЗДІЛ 3. УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИРОДНИХ ВОД ТА АНАЛІЗ РУСЛОВИХ ЗМІН БАСЕЙНУ р. СТРИЙ

Поверхневі води – це складний і дуже динамічний системотвірний компонент басейнової екосистеми. У воді присутній комплекс мінеральних солей, розчинених газів та ОР, утворення яких проходить за дії природних та антропогенних факторів. Їх вплив на водні об'єкти мають свої закономірності і відмінності у річкових басейнах різних регіонів та природних зон. Природні води містять розчинені практично всі сполуки хімічних елементів, серед яких дослідно встановлено більше вісімдесят.

В малому колі природного кругообігу вода, що випаровується з поверхні водойм та суходолу повертається у вигляді атмосферних опадів. Вона взаємодіє з повітрям, ґрунтами, біотою та продуктами антропогенної діяльності людини, вступає в хімічні реакції, розчиняючи різноманітні компоненти, змінює свій початковий хімічний склад [79].

3.1. Гідроекологічний аналіз басейнової екосистеми за впливу кліматичних факторів та хімічного складу атмосферних опадів

Гідрохімічні режими і хімічний склад (ХС) річкових вод залежать від особливостей річок. Вони швидко змінюють об'єми руслового стоку, а водний режим суттєво залежність від кліматичних умов та інтенсивного впливу рослинного покриву. Формування складу води річок залежить від процесів, що відбуваються на площах водозбору, взаємодії з підстилаючими поверхнями та умов утворення поверхневих і ґрунтових вод [80].

Відповідно до загальноприйнятих геохімічних понять про формування хімічного складу природних вод суходолу, виділяють три головні фактори: кліматичні, природні та техногенні (рис. 3.1) [81, 82].

ХС природних вод поділяють на сім груп, а саме: а) головні іони – макрокомпоненти K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} ; б) розчинені

гази, а саме азот, кисень, сірководень тощо; в) біогенні сполуки азоту, кремнію, заліза та фосфору; г) ОР –це складні ефіри, органічні кислоти, феноли, гумусові речовини та багато інших сполук; д) мікроелементи – всі метали, окрім головних іонів та деякі інші компоненти, що містяться у воді в невеликих кількостях; е) забруднювальні речовини (пестициди, нафтопродукти та ін.); є) радіоактивні елементи.



Рис. 3.1. Фактори формування ХС природної води

Серед факторів, що впливають на утворення ХС природних вод, виділяються основні і вторинні, прямі та непрямі. Формування природної води залежить від порядку та співвідношення виявлення цих факторів. Біологічні та фізико-географічні фактори мають більший вплив на ХС поверхневої води та є вторинними для процесу утворення підземної води. Рельєф є непрямим фактором, який впливає на водообмін.

Басейн р. Стрий розташований в Прикарпатському та Карпатському регіонах, кожний з яких має свої особливості рельєфу, клімату, гідрологічних показників, ландшафтного вигляду, ґрунтів та рослинності [11]. Фізико-географічна область Передкарпаття розташована в межах Передкарпатського крайового прогину, який складено потужною товщею неогенових моласових відкладів (2000...3000 м). На поверхні вододілів та терасованих схилів широко розповсюджені суглинки, деколи лесоподібного характеру [83]. Для Стрийсько-Жидачівського котловинного району характерним є розміщення територій на нижніх терасах та заплавах Дністра і Стрия, тому тут переважають

перезволожені землі з дерновими і луковими ґрунтами, які займають понад 89% усієї площі [14].

Територія низькогір'я – це низькогірно-котловинна смуга північно-східного краю Зовнішніх Карпат. Абсолютні висоти коливаються переважно в межах 600-800м та утворюють низькогірно-горбисті місцевості, що чергуються з котловинно-терасовими ділянками, добре вираженими в долинах річок Стрий і Опір. Корінні цоколи терас покриті карпатською галькою та товщею суглинків [83].

Регіон Сколівських Бескид займає територію з висотами понад 1000 м. Північно-східні схили хребтів мають значну крутизну, а південно-західні схили більш пологі, що добре спостерігається в долині р. Опір. Фізико-географічний район Стрийсько-Сянської верховини, який розміщений в басейнах верхнього Стрия і Сяну, характеризується поєднанням верховинських низькогірних територій з терасово-долинними ділянками, які розвинуті вздовж верхів'я Стрия, Дністра та приток.

Атмосферні опади відрізняються від поверхневих та підземних вод не лише мінералізацією, але й характером переважаючих іонів і вмістом органічної речовини. Вони збагачені іонами SO_4^{2-} і суттєве питоме значення в природних опадах мають складові біогенного походження K^+ , NH_4^+ , NO_3^- . Дані про річні надходження розчинених мінеральних речовин на території України за рахунок атмосферних опадів показують, що на її території щорічно випадає близько 7,3 млн. тон розчиненої мінеральної речовини [79].

Кліматичні фактори є одними з основних, які визначають особливості розподілу рослинності в гірських умовах. Українські Карпати розміщені в зоні помірного континентального клімату, а гірські хребти є кліматичним бар'єром, що відокремлює теплішу закарпатську низовину від прохолоднішого Передкарпаття. Тому, територія має добре виражену висотну зміну локального клімату, а також спостерігаються експозиційні кліматичні відмінності. Південнозахідні схили Українських Карпат тепліші та вологіші за північно-східні.

Переважаюча температура січня відповідно до кліматичної норми (1961-2019 рр.) змінюється від -6°C в горах (г. Плай висотою 1343 м) та смт. Славське, 592м над рівнем моря (м н.р.м.) до -5°C в межах Передкарпаття, а на Закарпатті в м. Берегове (113 м н.р.м.) до -3°C . Середні температури найтеплішого липня-місяця становлять $+20^{\circ}\text{C}$ на Закарпатті та $+17-18^{\circ}\text{C}$ в Прикарпатті, тоді як на висоті 1300-1400 м вони знижуються до $+11-12^{\circ}\text{C}$ [84]. Аналіз розподілу температур та кількості опадів для м. Стрий та м. Турка згідно даних Українського гідрометеорологічного центру за період з 1899 до 2021 року показано на рис. 3.2.

Середні температури досліджуваної території поступово зростають в напрямку від витоків р. Стрий до її впадіння в річку Дністер, що пояснюється значною висотою розташування метеостанцій у верхів'ях річки. Температура повітря впливає на ХС поверхневих вод, що змінюється при її підвищенні та спричиняє випадіння CaCO_3 . Промерзання при низьких температурах також змінює ХС води, а кристалізація льоду спричиняє виділення важкорозчинних сполук, зберігаючи в розчинах легкорозчинні при низьких температурах.

На гідрохімію поверхневих вод значний вплив мають світові зміни кліматичних умов. Сучасне потепління спричиняє зростання меженного стоку за зимового періоду середньої місячної і річної температури повітря ($^{\circ}\text{C}$): м. Стрий (а); м. Турка (б) і середньорічної витрати при зменшенні випаровування та шару льодового покриття, а також скорочення його тривалості. Ці зміни гідрологічного режиму впливають на якісні характеристики поверхневих вод, їх концентрацію і співвідношення вмісту головних йонів річкових вод [2].

Атмосферні опади є основним фактором для видалення із повітря пилових і газових забруднюючих домішок та надзвичайно важливим джерелом надходження водорозчинних компонентів і формують ХС природних вод. В межах Карпатського регіону хімічний склад атмосферних опадів вивчався багатьма науковцями [85, 86]. Результати досліджень показали вплив ХС опадів на гідрохімічний вміст природних вод та потрапляння з ними хімічних речовин

у басейні р. Стрий. Середні багаторічні значення кількості опадів змінюються згідно геоморфологічної вертикальної зональності території [87, 88].

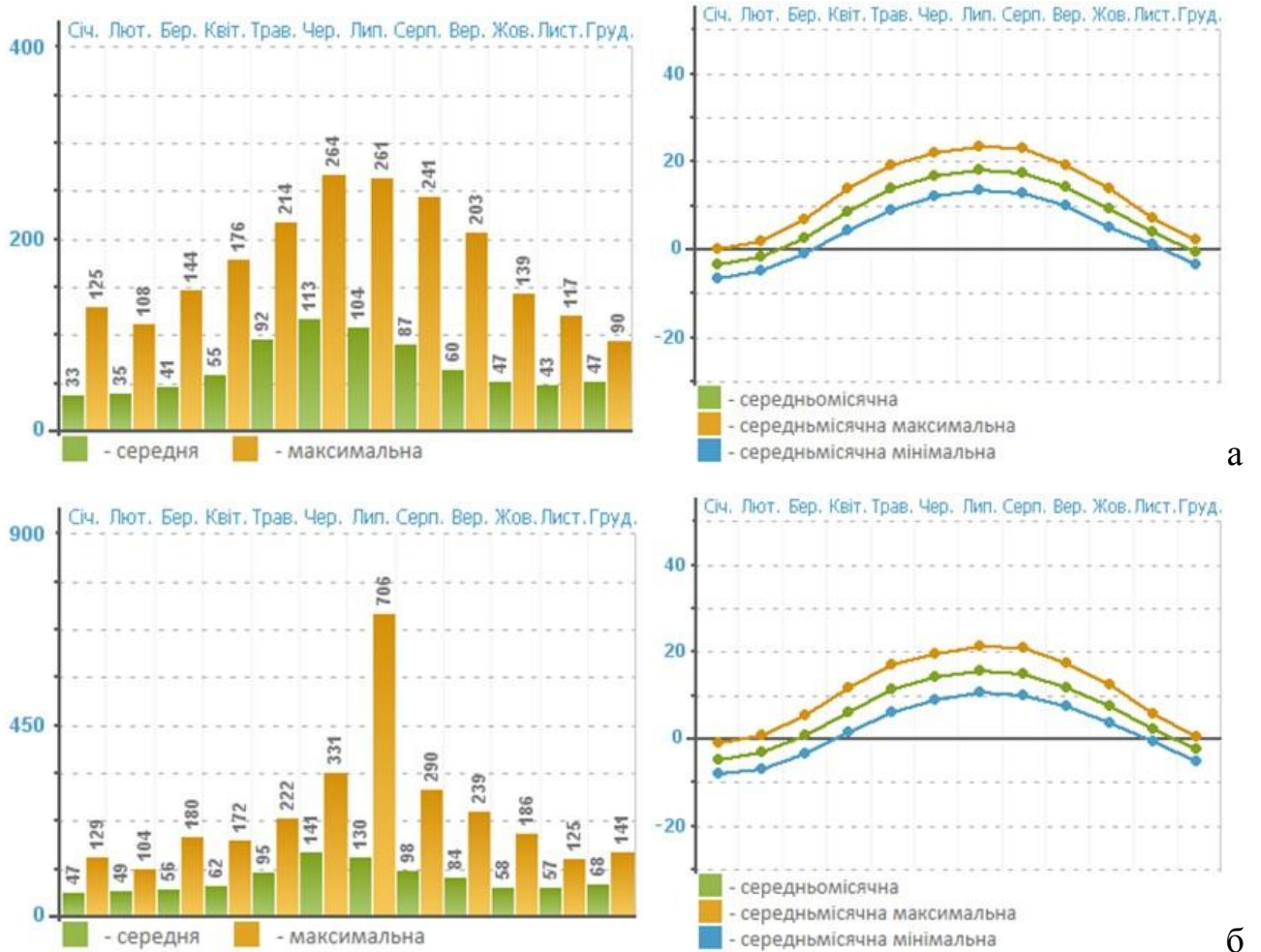


Рис. 3.2. Середня місячна і максимальна кількість опадів (мм) та розподіл

Випаровування є важливим фактором формування мінералізації та хімічного складу поверхневих і ґрунтових вод, оскільки за його впливу в засолених поверхневих водоймах відбувається осаджування солей. Випаровування в басейні річки Стрий не перевищує кількості опадів і становить 400–575 мм на рівнинних та 430–600 мм в гірських територіях. За даними метеопосту смт. В. Синьовидне, для річної кількості опадів 1002 мм випаровування складає 438 мм, а поверхневий стік 564 мм.

Антропогенні фактори порушують природні процеси формування ХС річкових вод. Із водозбірних територій змивається значна кількість хімічних сполук, утворених внаслідок господарської діяльності, що спричиняє зміну

концентрацій забруднень, сприяє збільшенню кількості хлоридів і сульфатів, а також призводить до зменшення концентрації кальцію та гідрокарбонатних іонів [88].

3.2. Геоморфологічні умови та процеси механічної денудації

В другій половині минулого і на початку 21-го століття у Карпатському регіоні активізувались небезпечні гідрологічні та геоморфологічні процеси. Особливі небезпеки виникали в місцях, де антропогенний фактор суттєво підсилював природні передумови розвитку небезпечних геоморфологічних процесів [89].

Схема геоморфологічного районування показує, що територія басейну р. Стрий розташована в межах двох геоморфологічних областей, а саме Карпатських гір та Передкарпатської рівнини. Дослідженням геоморфологічних умов Карпат та Передкарпаття займалися іноземні, радянські і українські науковці, в роботах яких вивчалися питання розвитку рельєфу, проведено детальний аналіз долин річок, їх терас, перебудову річкової мережі тощо [15, 29, 34, 90].

Загальними рисами Карпатського регіону є інтенсивний розвиток ерозійно-денудаційних процесів, їх значний вплив на гірське рельєфоутворення та формування екологічної ситуації прилеглих територій. Процеси механічної денудації в гірських районах сприяють транзитному переміщенню значних мас твердого матеріалу вниз по схилах, їх накопичення на інших елементах рельєфу, а також потраплянню продуктів ерозії у річкову мережу. Процеси механічної денудації викликають деградацію ґрунтового покриву, а тверді частки гірських порід, що надходять у воду, погіршують її якість через збільшення каламутності водотоку та адсорбування на собі частинок важких металів і радіонуклідів [91].

Дослідження показують, що денудаційне пониження Карпат складає близько 0,11 мм/рік за середніх швидкостей тектонічних піднять 2,2 мм/рік, а

рельєф Карпат має чітку тенденцію до висхідного розвитку. Незначні показники денудаційного пониження Карпат дослідники пов'язують з невеликими абсолютними висотами гір та відсутністю льодовиків. Попри незначні показники транзитної денудації для усіх Карпат в порівнянні з іншими гірськими масивами, тут виділяють райони, які характеризуються значним та тривалим антропогенним навантаженням, до яких належить карпатська частина басейну річки Дністер [92].

Механічну денудацію спричиняють різні причини та фактори, які мають природний або антропогенний характер. Кількісна оцінка механічної денудації, а саме оцінювання її природної та антропогенної складової, є важливим завданням геоморфології. Моніторинг стоку завислих наносів вважається найбільш об'єктивним та інтегральним методом оцінювання інтенсивності механічної денудації басейнових систем [91].

Продукти басейнової ерозії надходять спочатку у верхні ділянки річкової мережі, а стік завислих наносів малих річок є найкращим показником інтенсивності денудації у басейнових системах. При цьому стік наносів в басейнах з незмінним або слабо змінним людиною природним ландшафтом та переважанням руслової ерозії характеризує його природну складову. Із збільшенням розораності та зменшенням лісистості активізується басейнова ерозія, стік завислих наносів закономірно збільшується і це зростання визначає його антропогенну складову [93].

Дослідження ґрунтів Львівщини виявило зростання інтенсивності розвитку ерозії, її залежності від властивостей ґрунту, особливостей схилових територій та їх розораності, кліматичних умов тощо. Одним з проявів шкідливого користування природними ресурсами є збільшення розорювань схилів та майже зовсім відсутні протиерозійні заходи [29, 34].

Зростання ерозійних процесів ґрунтового покриву зумовлено незадовільним станом лісомеліорації та полезахисних лісосмуг, а також нехтуванням правилами землекористування. Ерозійні процеси проходять на всій території області, однак найбільш загрозливі вони у передгірських та

гірських районах Карпат, де більше 90 відсотків територій є схилами. Ерозія територій, зсувні процеси та бруднокамінні потоки є наслідками неправильного користування гірськими територіями, які спричиняють їх деградацію і розвиток руйнівних процесів в гірських районах [94]. Основними проблемами в охороні ресурсів в передгірських регіонах є зниження кількості корисних речовин ґрунтів, вплив водної ерозії і незадовільна рекультивація землі. Особливістю карпатського землеробства є його проведення на територіях зі значними схилами [95].

Гірський рельєф і незначний шар ґрунтів в Карпатах за надмірного зволоження зумовлюють причини утворення повеней та сприяють ерозійним явищам. Лісові насадження є важливим природним захистом в запобіганні цих негативних явищ [96]. За показник поглинаючої спроможності лісових територій для таких водозбірних басейнів приймають показники його ефективності лісу, а не площу насаджень. Регулювання річкового стоку лісовими площами полягає у зменшенні максимального стоку при паводках і його збільшення в меженні періоди сухих сезонів [97].

Масова вирубка карпатських лісів проводилась на значних територіях від річок до верхніх лісових меж, що призвело до активізації руйнівних геоморфологічних явищ. Значний вплив на руслову деформацію гірських річок має видобуток в їх руслах значної кількості гальково-гравійних сумішей [98].

Нами були виконано обслідування схилових територій водозбірного басейну річки Стрий, на яких спостерігали активізацію ерозійних процесів спричинену господарською діяльністю (рис. 3.3). Аналіз даних спостережень і дослідження річкового стоку дозволили виявити зміну середніх витрат і параметрів стоку річкових вод р. Стрий за 2010-2018рр та сезонну зміну витрати рухомих і завислих наносів (рис. 3.4-3.6).

Отримані нами результати підтверджують дослідження, які проведені іншими науковцями із визначення антропогенної складової денудації басейнових систем карпатських приток Дністра та опубліковані в [1, 2, 91]. В цих наукових працях розраховано коефіцієнт трансформації потоку літогенного

матеріалу за результатами співставлення каламутності потоків в умовно природний період та в період, який відповідає антропогенній змінності умов формування стоку наносів.

Аналіз амплітуди модулів стоку завислих наносів та витрат води за період 1948-2008 років для басейнів річок гірської частини русла Дністра показав, що вона є значною. За даними табл. 3.1 [91], для р. Стрий цей показник змінюється від 16 т/км² до 880 т/км² за рік. Високою амплітудою коливань характеризується і інші басейнові системи. Різниця в показниках є результатом багатofакторного впливу, який можна визначити, аналізуючи дані багаторічної динаміки стоку наносів, води та кількості опадів.

Особливістю стоку завислих наносів є значна внутрішньорічна мінливість. Основний його об'єм формується за період весняної повені та дощових паводків. Величина стоку наносів за час весняної повені багаторічного



Рис. 3.3. Ерозійні процеси спричинені господарською діяльністю: а) руйнування рослинного шару за суцільної лісової вирубки [94]; б) зсувні процеси при розробці кар'єру [99]

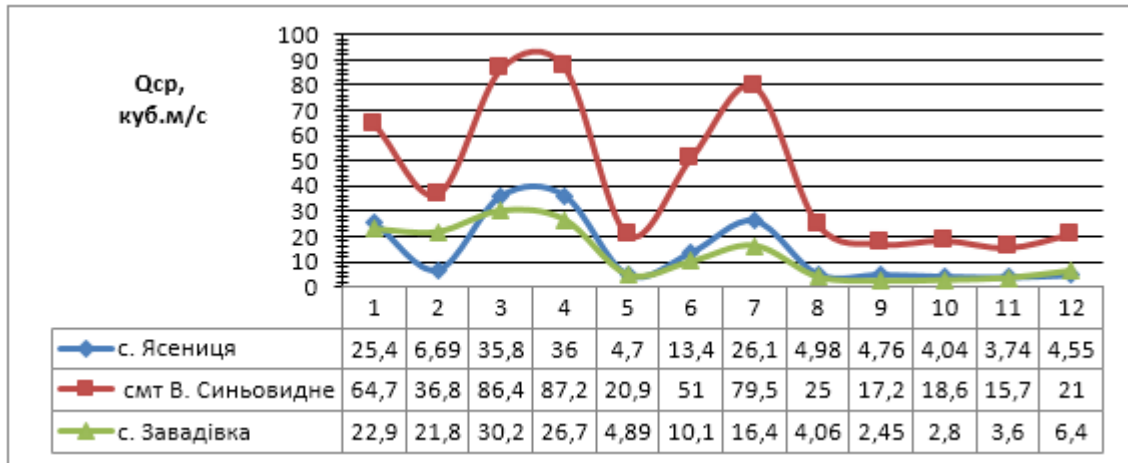


Рис. 3.4. Середня витрата річкових вод р. Стрий за 2018 р.

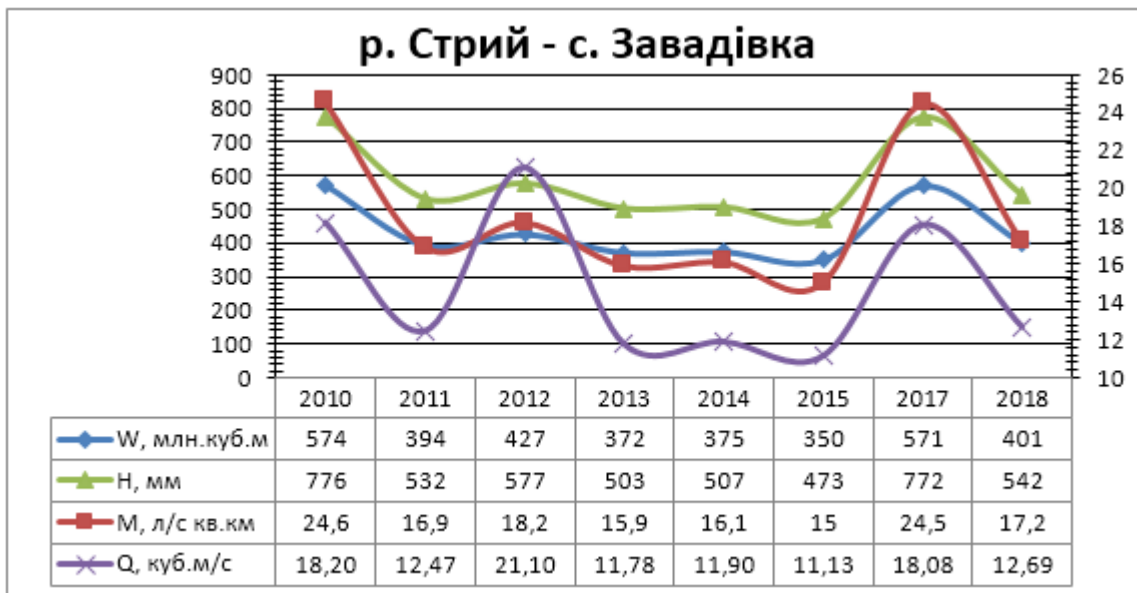


Рис. 3.5. Параметри стоку в басейні р. Стрий за 2010-2018 рр.: Q – середня витрата поверхневих вод; M – модуль стоку; W – об'єм стоку; H – шар стоку

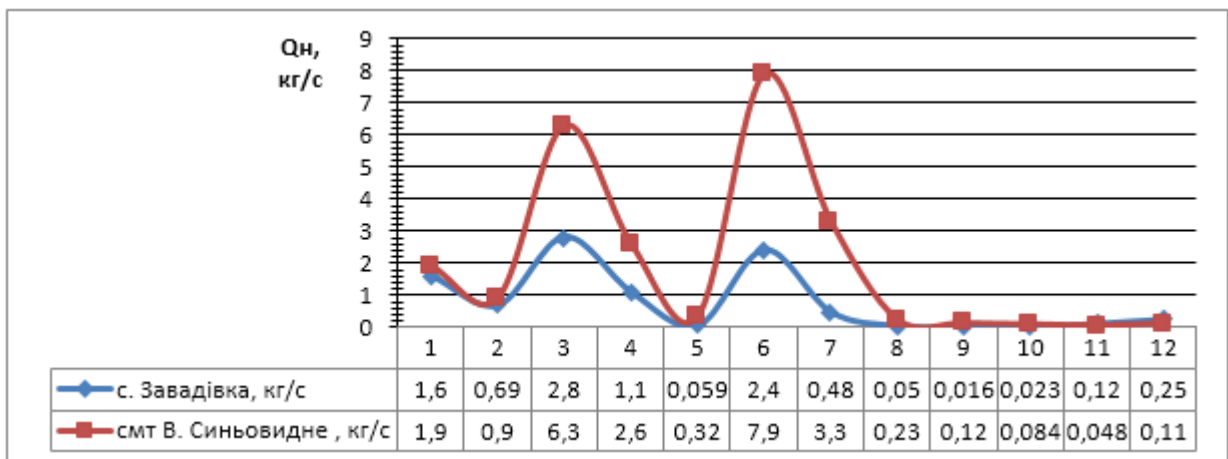


Рис. 3.6. Сезонні витрати рухомих і завислих наносів річки Стрий у 2018 р.

Таблиця 3.1.

Амплітуда коливань показників стоку завислих наносів та витрат води [91]

Назва річки та пункту спостереження	Модулі стоку завислих наносів, т/км ² за рік		Витрата води, м ³ /с	
	мінімальний показник	максимальний показник	мінімальний показник	максимальний показник
Головчанка (Тухля)	34	420	0,97	4,52
Опір (Сколе)	19	470	6,46	24 ,Е
Стрий (Стрий)	16	880	15,8	72

періоду змінюється від 60 до 20% і менше. Останніми роками спостерігається тенденція до її зменшення, що може бути зумовлено м'якістю зими або збільшенням зливової активності [1].

Розраховані в роботі [91] показники антропогенної складової стоку завислих наносів показують значний вплив вирубок лісів і господарської діяльності на збільшення стоку наносів у басейнах річок, Яблунька, Рибник, Славська, Головчанка. Антропогенна складова стоку в цих басейнах більша від природної у три та більше разів. Для річок Стрий (Завадівка), Рибник (Рибник), Яблунька (Турка) та Головчанка (Тухля) коефіцієнт трансформації потоку літогенного матеріалу є значно вищим за 1.

Інтенсивність денудації у цих басейнах зумовлена антропогенними змінами умов формування стоку наносів. Меншим або близьким до одиниці цей показник є в басейнах річок Орява та Славська. Встановлено, що за збільшення площ вирубок на 1 га за рік модуль стоку завислих наносів зростає на 0,54 т/км² за рік. Максимальні показники стоку наносів при теперішніх об'ємах вирубок прогнозують через 3-5 років після проведення вирубки. Мінімальний вплив вирубки лісу на стік наносів буде спостерігатися через 7-10 років після проведення вирубок [91].

3.3. Гідрологічні умови та аналіз руслових змін водозбірного басейну

Для формування ХС річкової води важливими є водні режими, швидкості

течії річок, активність процесів водообміну у водних джерелах. Змінювання складових водних режимів, а саме рівнів течії, швидкості потоку і внутрішньорічного розподілу призводять до суттєвих коливань хімічного складу поверхневих вод [100, 101].

Річка Стрий є найбільшою правою притокою Дністра у верхній течії, довжиною понад 230 км та площею басейну близько 3055 км². Витоки річки знаходяться на висоті 1123 м злиттям декількох струмків на північно-західних схилах гори Явірник Верховинського вододільного хребта, неподалік витoku її найбільшої правої притоки р. Опір (рис. 3.7). Річка протікає широкою долиною в досить нестійкому, гравійному руслі з високими величинами модуля стоку до 20-21 л/с. Береги русла в більшості випадків круті, часто скелясті, у верхній течії висотою до 40 м. Річка характеризується великою мінливістю рівневого режиму [11]. В басейні р. Стрий гідрографічно виділяється 31 притока першого порядку, серед яких найбільшими є річки Опір, Жижава, Рибник, Завадка, Яблунька та Стинавка [9, 14].

Гідрологічною особливістю р. Стрий є те, що на ділянці впадіння її довжина та площа басейну більша, ніж річки Дністер. Значна зволоженість гірської частини басейну в поєднанні з геологічними та орографічними особливостями території зумовлюють значну розгалуженість гідрографічної мережі басейну річки р. Стрий. Вона характерна густою мережею постійних водотоків близько 1–1,2 км/км² та максимальними значеннями до 1,5 км/км². Річки басейну мають типовий гірський характер із значними похилами в межах ГАД, швидкою течією, незначними глибинами та великим запасом алювіальних відкладів заплав і надзаплавних терас. Гідродинамічно-пасивні ділянки характерні більшими глибинами та сповільненою течією. Верхів'я річки має змінну ширину переважно 20-40 м, а в середній течії вона розширюється до 80 м. В межах Передкарпатської рівнини густота річкової мережі зменшується від середніх значень 0,3–0,5 км/км² до максимальних 0,7 км/км². В нижній течії ширина русла становить 150 метрів [102-104].

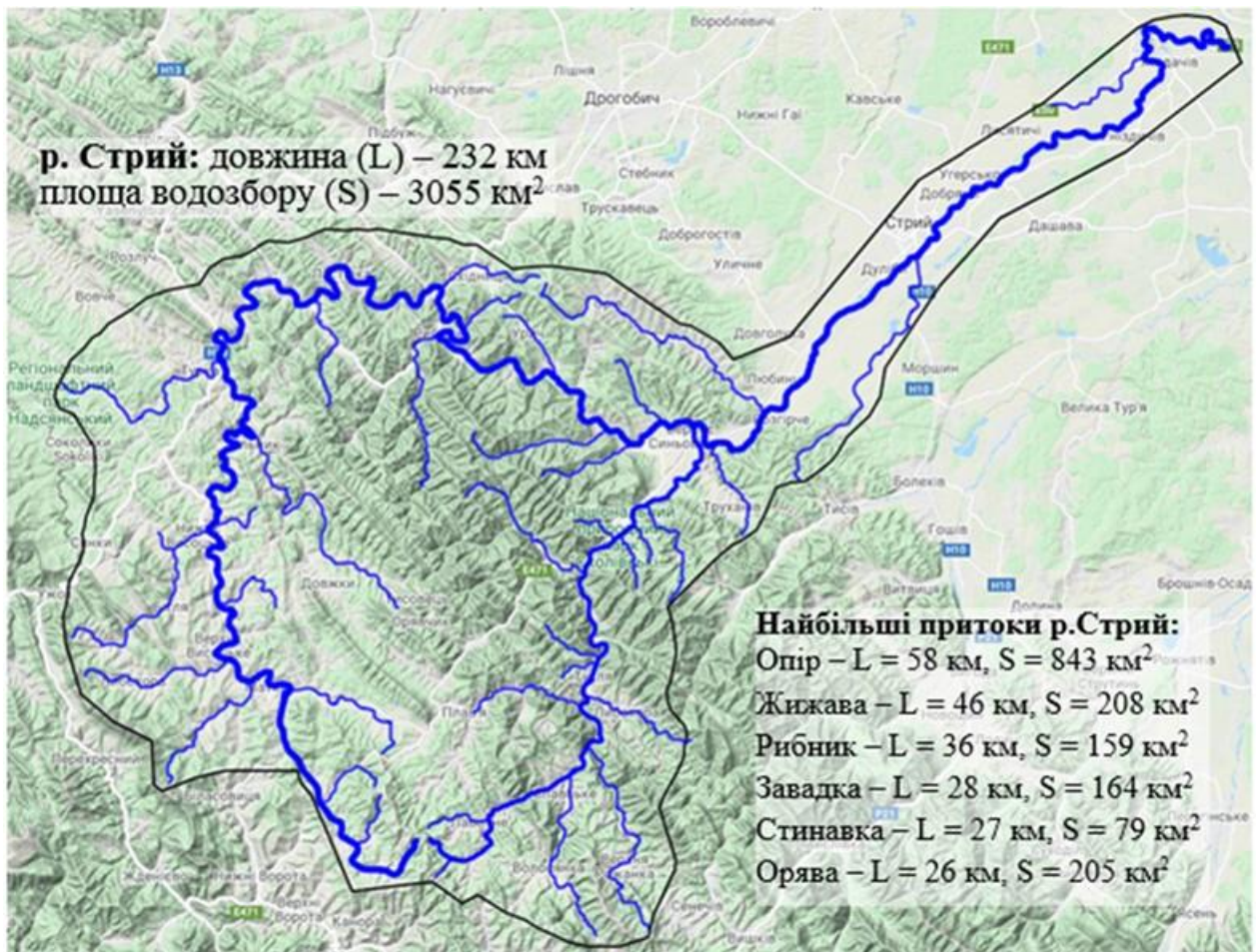


Рис. 3.7. Площа водозбору р. Стрий із просторовим розташуванням її витоків та правої притоки р. Опір біля г. Явірник Верховинського вододільного хребта

Нерозчинені у воді мінерали та гірські породи, які є завислими або здатними до перенесення водним потоком, виносяться ним та формують об'єм твердого стоку річки. Величина та режим твердого стоку залежать від режиму рівнів течії, похилу русла, літологічного складу корінних та четвертинних відкладень, особливостей рельєфу, а також інтенсивності опадів, лісового та ґрунтового покриву території, поперечного і поздовжнього профілю долини річки. Твердий стік в нашому річковому басейні суттєво відрізняється на гірських та рівнинних ділянках. Процеси денудації, кількість та режими твердого стоку детально розглянуті в розділі 3.2.

Дослідження в гідроморфології показали, що русла річок, в залежності від їх типу, за період від 50 до 100 років змінюють свою конфігурацію та базис ерозії. Річки можуть зміщуватись на величини, які значно перевищують

ширину їх русел, що спричиняє появу нових приток та рукавів. Все це необхідно враховувати при проектуванні і спорудженні гідротехнічних споруд, ЛЕП при переході їх через русла річок, прокладання газо- нафтотранспортних трубопроводів та інших робіт за впливу руслових процесів. Вплив зміщень русла має важливе значення на екологічні процеси, особливо для визначення зон підтоплення та об'ємів руйнування після проходження повеней та паводків [105, 106].

Деформації русла є наслідком розвитку денудаційних процесів басейнової території, збільшення об'ємів твердого стоку і осаджування уламкового матеріалу, його фракційний перерозподіл в руслах, які особливо зростають в періоди повеней та паводків. Вони спричиняють зміни в гідрологічному режимі та структурі річкової системи, руйнування житлових і господарських будівель, а також інфраструктури в заплаві. Тенденції, величини та інтенсивність деформацій русел річок формуються комплексом природних і техногенних факторів [107-109].

Нехтування плановими та висотними зміщеннями русел рік часто призводить до непередбачуваних наслідків. Підмив берега може спричинити розрив газопроводу, або нафтопроводу, що призводить до сильного вибуху і пожежі, а також забруднення річки нафтопродуктами та екологічних порушень. З русловими процесами пов'язані підмивання мостових опор, мереж ЛЕП, загибель людей, значна втрата матеріальних ресурсів, які спричиняють руйнівні повені та паводки [110-112].

Русла річок Прикарпаття дуже нестабільні та характеризуються інтенсивною ерозією берегів і дна. Середня величина донної ерозії знаходиться в межах від 1 до 60 мм / рік впродовж останніх 20 - 30 років. Ерозія берегів становить від декількох сантиметрів до 1,5 - 3,7 метрів на рік. Зміни, які були виявлені в результаті аналізу поздовжніх профілів показали, що вони спричинені впливом різних факторів. Це техногенна діяльність, що включає розробку гравійних кар'єрів на заплавах і в руслах річок та їх випрямлення, регулювання стоку, зміни лісового господарства та землекористування. Вплив

мають також і природні фактори, а саме зміни клімату та об'ємів стоку води, тощо [113-116].

Основними причинами активізації ерозійних процесів в басейні р. Стрий та її приток є забір гравію з русла річки біля м. Стрий та збільшення стоку води під час повеней, що відображається на поздовжніх профілях аналізованих річок. Цей висновок підтверджується також характером поширення та розвитку вертикальних деформацій в інших річкових системах Українських Карпат (рис. 3.8) [108, 117-119].

Видобування гравійних і гальково-піщаних відкладень, що часто обґрунтовують розчищенням русел, ліквідацією мілин та наносів для запобігання руйнівного впливу при проходженні повеней, не завжди екологічно обґрунтований. В результаті такої діяльності відбувається пониження місцевих базисів ерозії, руйнування берегів та зростає негативний вплив на нерестові міграції риби у гірських річках [116, 120].

На територіях кар'єрних видобувань виникають більшість стихійних звалищ побутових і будівельних відходів. Організуючи такі звалища



Рис. 3.8. Значні вертикальні деформації русла р. Бутівля, спричинені забором гравійно-галькової суміші нижче за течією в р. Орява [109]

помилково вважають, що кар'єри забезпечують захист від забруднень на прилеглих територіях. Проте навіть глиняні кар'єри не гарантують екологічну безпеку таких сміттєзвалищ. За повеней та паводків такі звалища часто розмиваються, а їхній вміст виноситься у річкові потоки [121].

У роботі [122] опубліковано результати експериментальних досліджень зміни русла р. Стрий поблизу м. Стрий і населених пунктів Миртюки, Дуліби, використано топографічні плани та проаналізовано зміни, що відбулися з руслом річки Стрий на цій території за період 1992-2009 роки. На рис. 3.9 показано порівняльне зображення русла р. Стрий на вказаній ділянці.

Аналіз геодезичних даних в руслі річки Стрий, дозволяє стверджувати, що п'ятирічний період спричинив руслові зміни, а саме зменшилась багаторукавність і зросла його випрямленість. На окремих ділянках річка змінила місця течії на 50-60 метрів в порівнянні із її положеннями у 2003 році після літнього паводку 2010 року. Конфігурація руслового потоку 2008 року показує стабільнішу форму, а геодезичні результати у 2010 р. вказують на збільшення рукавів, а також значні зміни потоку біля автомобільного моста та ділянці між ним і залізничним мостом. Проаналізувавши результати, які проведені за супутниковими фотографіями та геодезичними вимірами 2010 року, можна зробити висновок, що форма русла є нестабільною і потребує проведення ефективних берегоукріплювальних гідротехнічних робіт [122].

В наукових працях [123, 124] проведено моніторинг р. Стрий за 128 років між с. Довге та м. Жидачів Львівської області, з умовним поділом на передгірську, гірську та рівнинну ділянки. Довжина передгірської ділянки річки, яка розміщена від смт. В. Синьовидне до смт. Гніздичів у Львівській області становить 50 кілометрів. Вона має значну багаторукавність річкового русла (рис. 3.10). На цій ділянці русло зміщується на північно-західний напрямок, створюючи загрозове підмивання міжнародної автотраси Київ-Чоп. Вказано, що причиною зміни характеру русел є значний вплив антропогенних факторів, а саме відбір гравійних-піщаних матеріалів [124-126].

В наших дослідженнях був проведений аналіз розподілу інтенсивності та

величин розвитку деформацій русла, а також оцінка ризиків в басейні річки Стрий. На рис. 3.11 показано зміну течії р. Стрий з 2002-2017 рр. біля м. Стрий та с. Верчани, де спостерігаємо зміщення русла в напрямку м. Стрий. Наявність дамби забезпечує захист міста від підтоплення та повеней. На ділянці мікрорайону об'їзної дороги є ознаки підмиву земляної дамби за повеней, тому необхідні заходи для її відновлення. В грудні 2017 р. за значного зростання об'ємів річкового стоку течія річки проходила з руйнуванням нижнього схилу дамби, а також затоплювалися старі русла на ділянці с. Верчани (рис. 3.11). За період дослідження 2002-2017рр. основне русло річки змістилось на 98 м в сторону м. Стрий, що вірогідно буде сприяти подальшому підмиванню берегів та дамби укріплення під час паводків та повеней.

Результати наших досліджень руслових процесів річки біля с. Гірне показали, що загалом русло зміщується в західному напрямку з підмиванням лівого берега за течією річки та спричиняє загрозу підмиву автомобільної траси Київ-Чоп (рис. 3.12). В багатоводні періоди течія проходить рукавами старих русел в сторону с. Братківці, що сприяє збільшенню дебіту свердловин Стрийського водозабору.

Найбільші зміни русла та водного режиму відбуваються на ділянці річки, що протікає рівнинною частиною місцевості від смт. Гніздичів до впадіння у річку Дністер поблизу м. Жидачів. Довжина рівнинної частини р. Стрий 18 км з дуже звивистим руслом, має численні меандри та стариці.

Поблизу с. Рибник та м. Жидачів, річка протікає декількома різними напрямками. Протікаючи ділянками з гірськими породами із різною твердістю, річка утворює різні типи долин, вузькі за відсутності терас та широкі на територіях проходження м'якими породами [124]. Зростання відбору в заплавах річок досліджуваного басейну гравію, а також розроблення валунних порід та гравійно-піщаних родовищ на гірських ділянках річок Стрий та Опір загострює негативну екологічну ситуацію в довкіллі [126].

Наші дослідження, які проведені за період 2002-2018 роки показали, що русло річки в деяких місцях змістилось на 60–80 метрів, суттєво змінивши

конфігурацію. Роботи з відновлення берегоукріплень, проведених на деяких ділянках русла за цей період, виявились недостатньо ефективними. Вода в різних місцях русла підмиває береги, що зумовлює небезпечні зсувні процеси,

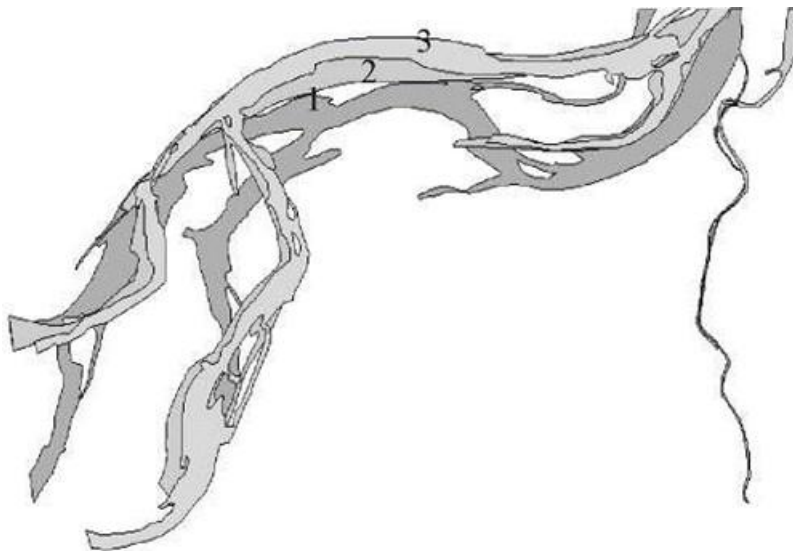


Рис. 3.9. Порівняння локалізації русла р. Стрий за період 1992-2009 роки (1 і 2 - відповідно за топопланами 1992 р. та 2008 р., 3 - за знімком супутника, 2009 р.)

[122]

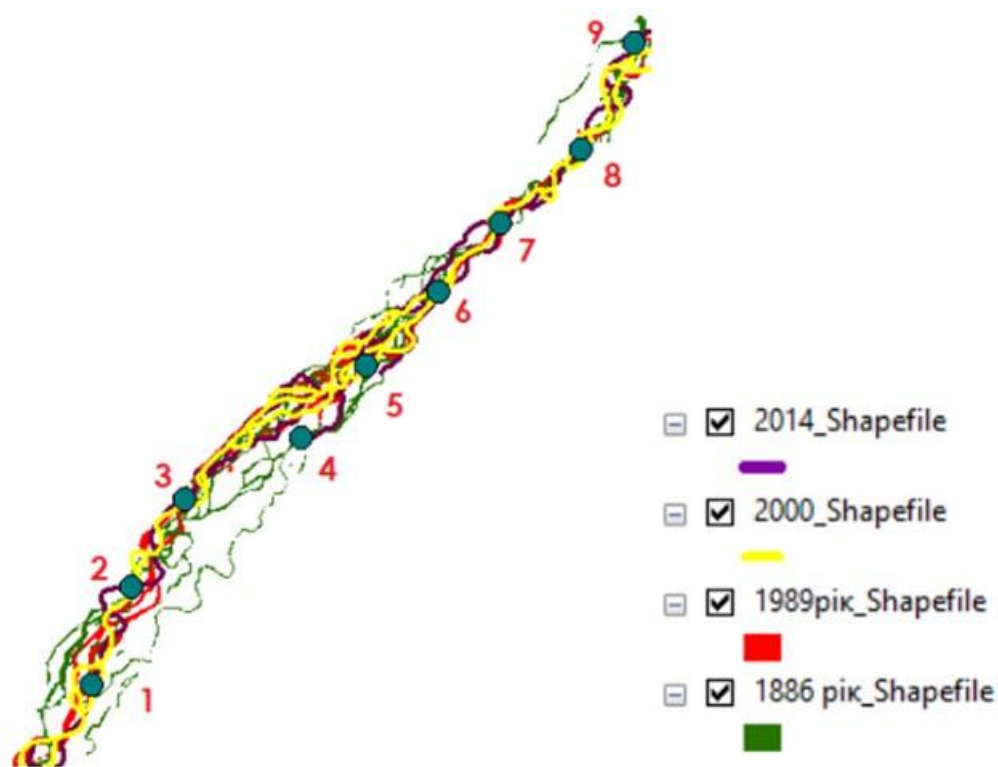


Рис. 3.10. Загальний вигляд русел передгірної частини р. Стрий [124]

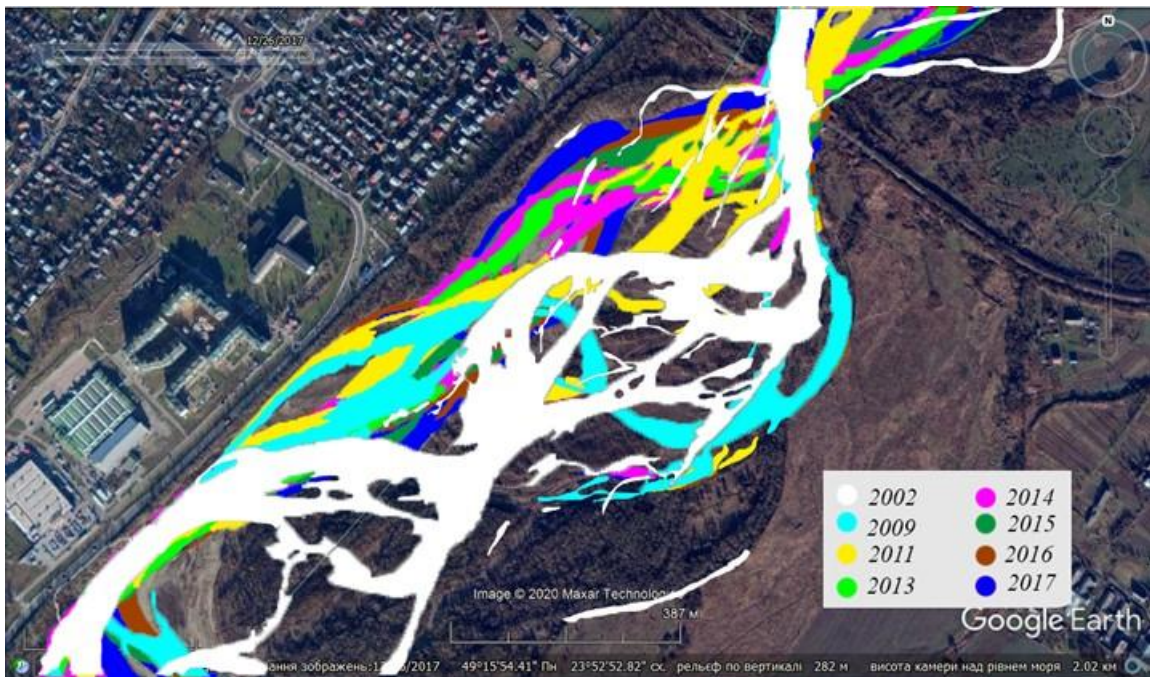


Рис. 3.11. Зміна положень русла р. Стрий біля м. Стрий за період 2002 -2017 роки

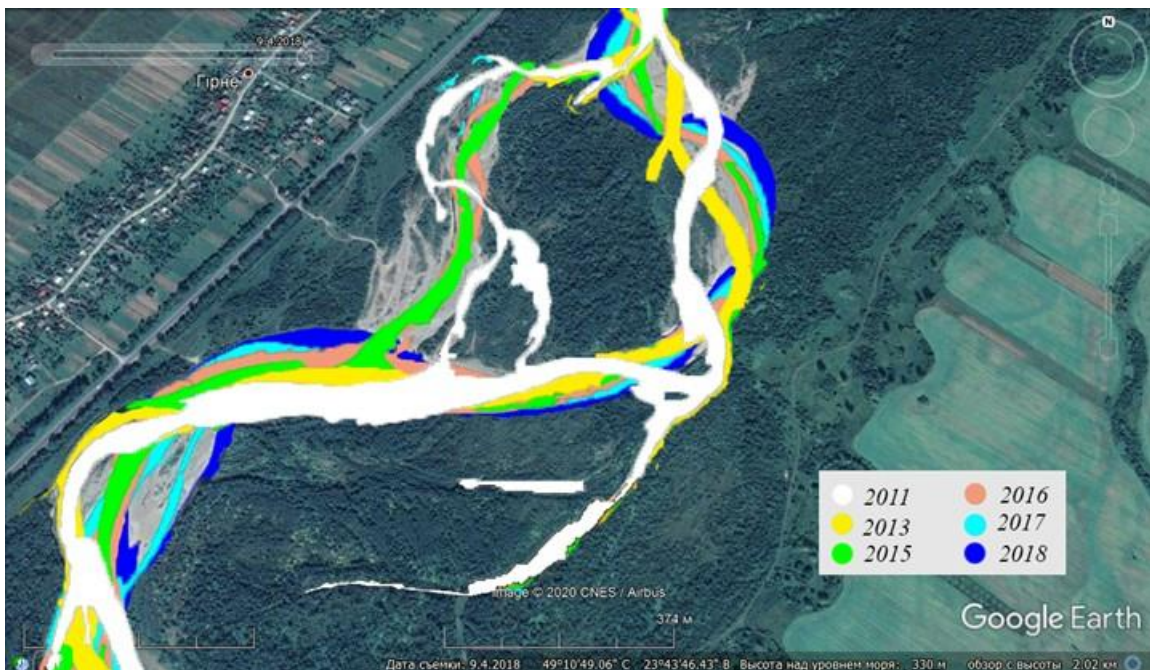


Рис. 3.12. Розвиток руслових процесів р. Стрий біля с. Гірне за 2011-2018 рр.

які відбуваються безпосередньо біля русла. На цих ділянках необхідно ефективніше проводити заходи з регулювання та відновлення берегоукріплень [106, 127].

3.4. Джерела надходження компонентів у природні води

3.4.1. Природні складові річкових вод

Природні джерела надходження іонів перебувають в залежності від біотичного середовища, а саме деревної рослинності і мікроорганізмів, ділянок вимивання водою розчинних солей з мінералів гірської породи та ґрунту, а також потрапляння в зону водообміну пластових флюїдів тощо [25, 26].

Лісовий покрив в басейні річки Стрий займає 40-80 %, проте за оптимальних кліматичних та ґрунтових умов, спостерігаємо значну нерівномірність розподілу лісів, спричинену техногенним впливом. Основним критерієм, який забезпечує відновлення та підтримку гідрогеохімічної рівноваги території є ступінь лісистості, що має важливе екологічне значення [28]. Це підтверджують результати моніторингових спостережень в різних регіонах Польщі на ділянці заліснених флішових Карпат дослідної геоекологічної станції Шимбарк, які опубліковані в роботі А. Костревського [128] (дод. В, рис. В.1).

Мінерали, що містяться у корінних та четвертинних відкладах басейну р. Стрий, відповідно дослідженням науковців [129], є показниками насичення води компонентами за взаємодії “вода – порода” в залежності від маси розчиненої породи, що впливає на формування гідрохімічного складу (дод. В, рис. В.2) [130, 131]. Крім цього, нерівноважні з атмосферними опадами вторинні мінерали зазнають розчинення та разом з їх первинними компонентами є джерелом іонів для природних вод [82, 104].

Взаємодія “вода – порода” є найважливішим чинником формування майже всіх типів води. Гірські породи є основними джерелами надходження хімічних сполук, а взаємодіючи з ними вода отримує природню зміну ХС, розчинюючи мінерали порід. За детального вивчення відкладень, поширених в басейні р. Стрий, окрім первинних теригенних мінералів кварцу, польових шпатів, хлоритів, гідрослюд, кальциту, піриту виявлено такі мінерали як іліт,

каолінит, монтморилоніт, гетит і вторинні кальцит, доломіт, магнезит. За даними М.П. Габінета та інших дослідників [132, 133], у флішевій формації Скибової і Кросненської зон виявлені гіпс, родохрозит, сидерит, давсоніт та деякі інші мінерали.

За хімічної взаємодії при фільтруванні через гірські породи та ґрунти, річкові потоки в басейні р. Стрий змінюючи свій ХС формують води гідрокарбонатного геохімічного типу. Опади, які випадають на ділянках ландшафту в пори та тріщини біля вершин, формують їх надлишок і спричиняють перетікання за напрямком гідравлічного похилу вниз по схилу. Інші типи природних вод, а саме сульфатний і хлоридний, характерні для зони сповільненого водообміну та формуються у специфічних гідрогеохімічних системах. Такими в басейні річки Стрий є Гірненське родовище калійних солей, Східницьке родовище мінеральних вод та нафтогазові родовища [104].

ХС природної води формують фізичні, фізико-хімічні і біологічні процеси, обмежуючі параметри яких зумовлюють фізико-географічні умови. Річкова вода переміщує продукти взаємодії з газовою і твердою частинами цих процесів. Зміна частин водного режиму, таких як рівня води, швидкості течії та внутрішньорічного розподілу призводить до значних коливань ХС водних потоків.

Визначення кількісних складових кругообігу хімічних компонентів природних екосистем вперше описано в наукових працях Б.Б. Полинова та А.І. Перельмана, на думку яких основні сили переміщення речовини зумовлено двома факторами, а саме зовнішніми та внутрішніми [134]. Зовнішні характеризують ландшафтні і кліматичні умови, а внутрішні характерні тільки для окремих типів водозборів. Межі території формування стоку хімічних складових співпадають з межами РБ, а величина стоку є кількісною характеристикою основної витратної частини балансу хімічних елементів РБ, розміру ерозії ґрунтів та порід, процесу вивітрювання і засолення територій [100].

Величина стоку окремих компонентів хімічного складу води за визначений період визначається за формулою

$$R = W \cdot C, \quad (3.1)$$

де R – величина стоку окремої компоненти, кг; W – об'єм поверхневого стоку, м³; C – концентрація компоненти в 1 м³ водного потоку.

Значення річних показників визначають додаванням відповідних величин за добу, декаду, місяць або сезон. Окремі гідрологічні параметри, які впливають на ХС річкової води необхідно розглядати разом із гідрологічним режимом водних об'єктів, які можуть бути водотоками або водоймами.

Водотоки характеризуються постійною чи тимчасовою течією у напрямку загального похилу русла. Основне джерело утворення водного стоку річок становлять атмосферні опади. Формування ХС води у водоймах відбувається за значного впливу зовнішнього та внутрішнього водообміну. Зовнішній зумовлюється змінюванням величин водного балансу, які характеризують притік та стік води з хімічними компонентами. Вміст речовин, які розчинені у водному потоці залежить від прихідної і витратної складових речовини у воді. Для їх кількісного визначення використовують рівняння водного балансу

$$P_o + P_b + P_n + P_c + O = C_o + C_z + C_f + B + A. \quad (3.2)$$

Прихідні частини складають суми притоків з основної (P_o) і бокових річок (P_b), підземне живлення (P_n), сума опадів (O), які випадають на водойму та скиди (P_c). Витратну складову складає стік основної річки (C_o), всі водозабори (C_z), а також об'єм фільтрації (C_f) і випаровування (B) з поверхні водойми. Різниця між прибутковою та витратною складовими є величиною акумуляції (A).

3.4.2. Техногенні впливи на властивості природних вод

За класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) розрізняють різні види забруднення води, спричинені такими політантами [135]:

- бактеріями, вірусами та іншими хвороботворними організмами;
- органічними речовинами, які розкладаються, поглинаючи кисень води та викликають значні порушення екосистеми водойми;
- неорганічними солями, які не можуть бути видалені звичайними методами очищення і можуть робити воду абсолютно непридатною для пиття, зрошення та ін.;
- поживними для рослин речовинами, такими як фосфати, нітрати та ін. Вони також є неорганічними солями, але на відміну від вищевказаних речовин мають властивості посилювати зростання макрофітів і викликати цвітіння водойм;
- нафтопродуктами, які можуть шкідливо впливати на гідробіоти водойм, погіршувати їх зовнішній вигляд та перешкоджати контакту води з повітрям;
- специфічними токсичними речовинами солей різних металів та складними синтетичними речовинами (ксенобіотики).

До забруднень ВООЗ відносять також скидання підігрітих вод та радіоактивні речовини. Всі забруднюючі речовини можуть надходити у водойми одночасно, але загальний вид забруднення визначає одна з груп (рис. 3.13).

Зростаючі обсяги сільськогосподарського виробництва останніми роками спричиняють загостренню проблеми забруднення природних вод стоком з полів, лісів, тваринницьких угідь. Ці забруднення за видом стоку умовно можна розділити на такі групи:

- біогенні речовини, що надходять водойми у результаті вимивання з ґрунту;
- отрутохімікати (пестициди, інсектициди, гербіциди та ін.), змиті з полів;
- продукти водної ерозії ґрунтів, які включають в себе органічні та неорганічні речовини, а також отрутохімікати.

Забруднюючі речовини потрапляють у водойми не тільки із зосередженими скидами промислових і сільськогосподарських підприємств або

очисних споруд міських стоків, значна частина їх надходження зумовлена зливом полютантів з водозбірних територій. Нерідко загальний стан забруднення річок і водойм буває сформований саме розосередженими джерелами. На відміну від зосереджених стоків, які хоча б в принципі можуть бути контрольовані і регульовані, дифузне забруднення водойм практично не піддається прямому контролю та обмеженням. Тривала дія забруднюючих речовин приводить до спрощення екосистеми, збіднення видового складу тваринного і рослинного світу, а також спричиняє зростання захворюваності населення та погіршення якості життя [136].



Рис. 3.13. Основні типи забруднення та забруднювачі водойм

Збільшення кількості населення, за умов урбанізації території їх проживання, спричиняє активізацію антропогенних впливів на водні об'єкти. Значна густина населення та зростання промислового потенціалу зумовлюють збільшення кількості джерел забруднень із цих територій, що надходять до водних об'єктів [137]. Ці закономірності визначають зростання об'ємів забруднень водних об'єктів, а також необхідності для їх санітарного та екологічного контролю. Необхідно аналізувати особливості динаміки річкових

течій та руслових процесів разом з екологічними показниками на карпатських територіях для оцінювання впливу вказаних чинників на становище прилеглої мережі річок [65, 138-140].

Стік водних потоків, що формуються при випаданні дощів, таненні снігового покриву та поливу територій на житлових районах і дорогах, має неоднорідний склад, сильну забрудненість нафтопродуктами і майже не піддається очистці із стічними водами. Ці забруднені потоки виносять до водотоків хімічні неорганічні та органічні сполуки, які спричиняють значне забруднення водних джерел.

Забруднення потрапляють також із повітря, оскільки воно забруднене твердими частинками сажі та пилу, аерозолями, газами, які є каталізаторами кислотних опадів. Ці забруднення надходять з викидами продуктів згоряння автомобільних двигунів та від спалювання енергоносіїв на енергетичних та промислових підприємствах [141].

Проведення забудови в населених пунктах гірської частини в басейні р. Стрий, обмежують геоморфологічні чинники. Освоєння ділянок для будівництва на схилах вимагає створення терас та проектування рівнинних територій, змінювання напрямів підземного та поверхневого стоків і вирубки лісових площ. Зростання забудови за таких умов інколи проводиться за відсутні очисних споруд (м. Турка) і стічні води безпосередньо потрапляють в русловий потік (рис. 3.14).

Сільські населені пункти на території басейну р. Стрий розміщуються вздовж річкових заплав, але переважає будівництво в безпосередній близькості до русел річок і в межах їх терас (рис. 3.15), що часто суперечить екологічним вимогам. Річка Стрий згідно класифікації річок у Водному кодексі України є середньою річкою із водозбірною площею понад 2000 км², а ширина прибережних захисних смуг (ПЗС) для неї повинна становити 50 метрів від течії річки, а для всіх інших річок басейну ширина ПЗС має бути не менше 25 метрів [141].

Значне зростання відведення земель для дач і городів в межах ПЗС малих

річок, спричинило знищення берегової рослинності та розораності берегів (рис. 3.16). Це призвело до пришвидшення їх замулення, заболочування та утворення мілини, що спричиняють поширення рогозових і очеретяних рослин, які збільшуючи незворотні втрати води, призводять до погіршення умов для гідробіонтів. Загрозу становлять забруднення сільськогосподарськими підприємствами при скиданні ними стоків без очисних споруд, а також вимивання до 30 % засобів захисту рослин і мінеральних добрив, які потрапляють в річки за зниження їх загальних об'ємів стоку [22, 142].

Проведені нами натурні дослідження показали значні нехтування екологічними вимогами. В деяких населених пунктах, а саме м. Турка, смт. Славське і Східниця та селах Корчин, Крушельниця, Підгородці, Тухля на ПЗС розорюють землі, розміщені житлові споруди, господарські приміщення, місця складування гною, стихійні звалища ТПВ та інші види забруднювачів (дод. Г, рис. Г.1 та Г.2) [143-145]. Населені пункти, які розташовані на низьких терасах, перебувають в зоні ризику небезпечних впливів паводків і повеней та є джерелом забруднення поверхневих і підземних вод (рис. 3.15, 3.16 та дод. Г, рис. Г.1, Г.2). Все це, а також неефективні технології виробництва с/г продукції, негативно впливає на стан ґрунтів, спонукає їх ерозію, деградацію і забруднення, спричиняючи надходження їх складових у природні води.

Проявами необдуманого використання природних ресурсів є зростання розорювань схилових територій та недостатні протиерозійні заходи (дод. Г, рис. Г.3). Негативні наслідки ведення сільського господарства та розорювання ґрунтів на гірських територіях басейну підвищує екологічні загрози ЕГП. Надмірне ущільнення ґрунтового суглинкового шару на схилах гір важкими сільськогосподарськими машинами та випасанням свійських тварин знижує фільтрацію опадів, спричиняє збільшення об'єму дощового стоку, призводячи до застоювання води в пониженнях (рис. 3.17). Розорювання ґрунтів в осінні періоди значних опадів є найгіршими передумовами руйнівного впливу на площі схилів, з утворенням лінійних ерозій та розвитком глибоко врізаних ярів (рис. 3.18).

Наведені чинники техногенних впливів, які зумовлюють лінійні ерозійні врізи на схилових водозборах, призводять до винесення із розораних площ в басейні річки щорічно сотень тисяч тонн мінеральних та органічних корисних сполук, які до 25 % компенсують внесенням добрив. Використання добрив та хімічних засобів захисту рослин має суттєвий вплив на річкові води басейну, тому зараз важливою проблемою є моніторинг діяльності фермерських господарств та інших с/г підприємств.



Рис. 3.14. Забудова м. Турка на схилах гір, яка не обладнана системами збору та очищення каналізаційних стоків [143]



Рис. 3.15. Витягнута забудова с. Тухля вздовж річкової долини та розташування будинків безпосередньо біля русла і в надзаплавних терасах р. Опір [144]

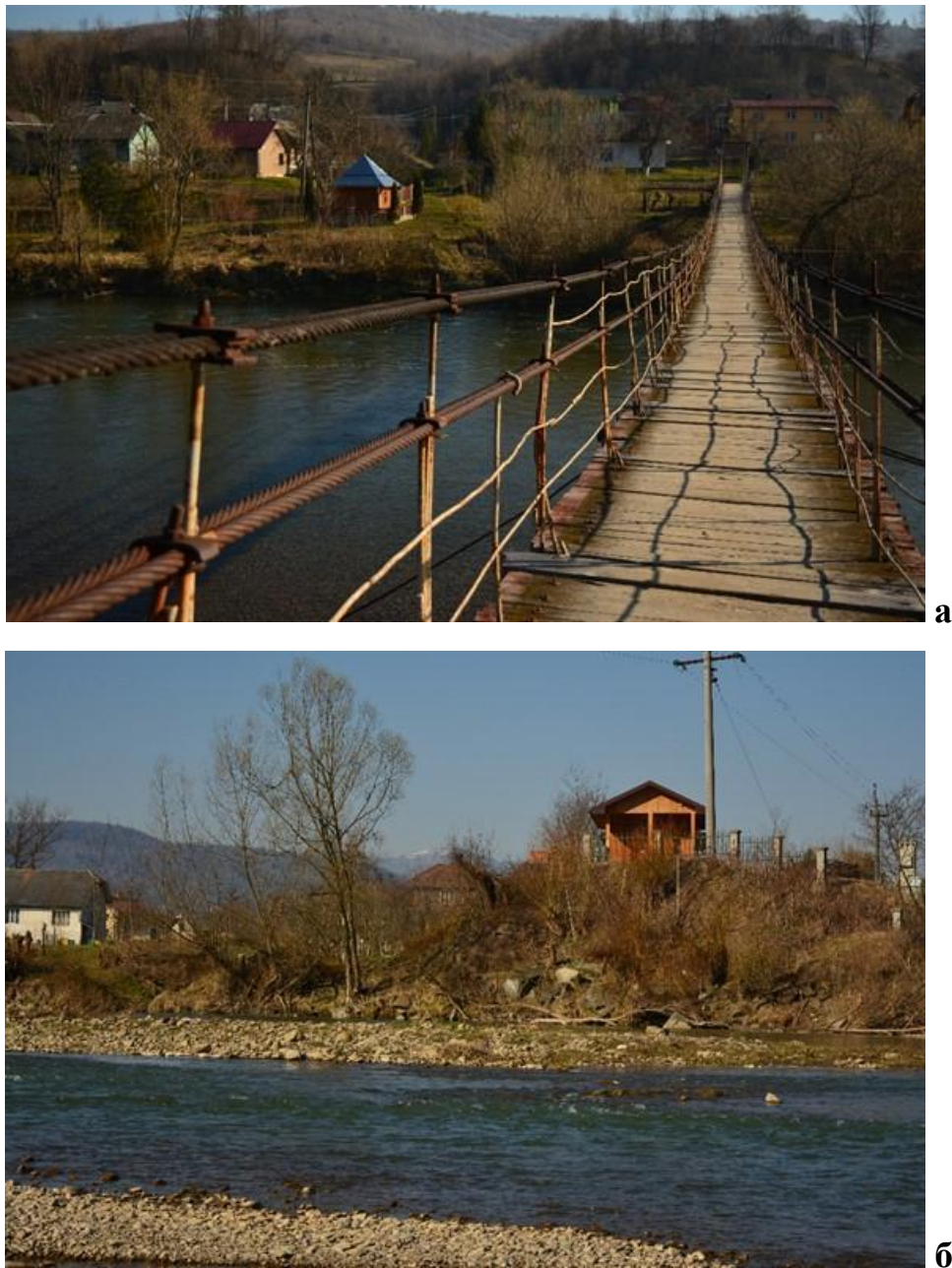


Рис. 3.16. Розміщення будівель на ПЗС р. Стрий у 2020 р.: а) с. Крушельниця;
б) смт. В. Синьовидне [116]

За сучасного обробітку ґрунту до річкових потоків потрапляють води з високим вмістом азоту і фосфору, внаслідок змивів з прилеглих с/г площ органічних та мінеральних добрив. Це призводить до збільшення вмісту азотних сполук, а також накопичення фосфатів [146].

За інтенсивного використання багатьох мінеральних добрив вони спричиняють збільшення кислотності підземних вод і ґрунту, а тому збільшується необхідність вапнування ґрунтів та нейтралізування кислотного



Рис. 3.17. Розвиток ерозійних процесів за випасання великої рогатої худоби [95]



Рис. 3.18. Ерозійні процеси та утворення ярів біля с. Нижня Яблунька [10]

впливу добрив. Також до складу мінеральних добрив входять супутні баластні елементи (фтор, хлор, натрій) та токсичні важкі метали (кадмій, свинець та ін.). Деякі з цих елементів, за незначної кількості, позитивно впливають на рослини. Проте, при систематичному внесенні завищених норм, супутні сполуки нагромаджуються у ґрунті за значних кількостей. Це негативно впливає на його властивості та родючість, а їх надходження в ґрунтові води підвищує мінералізацію. Концентрації токсичних елементів в цих добривах часто бувають значними (табл. 3.2). Важливим є те, що стійловий гній містить до 0,4 мг/кг кадмію та 6,6 мг/кг свинцю, спричиняючи надходження цих сполук до

грунту. Потрібно враховувати комплексний процес цих техногенних забруднень [147, 148].

Важливого значення набуває питання забруднень підземної води сполуками азоту, що відрізняються токсичністю та високою розчинністю, які потрапляють в результаті природних явищ і процесів, а також техногенних, спричинених діяльністю людини [146]. Фосфор є менш небезпечним ніж азот, а втрати фосфатів переважно проходять в процесі ерозій ґрунтового покриву, а при поверхневому змиві виноситься до 10 кг/га фосфору, проте втрати водорозчинних фосфатних сполук з поверхневим стоком незначні. Низька фільтраційна здатність глин та суглинків перешкоджає його надходженню до ґрунтових вод [147, 148].

Недосконалість технологій по зберіганню та використанню безпідстилкового гною, призводять до нагромадження його значних об'ємів на територіях ферм і приватних домогосподарств. Значна їх частина потрапляє в річки і потоки, що різко погіршує стан поверхневих вод, а решта інфільтрується в ґрунт та забруднює підземні води з концентраціями нітратів, які є вище ГДК.

Таблиця 3.2

Вміст технічних та основних домішок в деяких мінеральних добривах

Вміст технічних домішок в мінеральних добривах та меліорантах, %		Вміст домішок в суперфосфаті, мг/кг	
Бор	0,1–0,2	Миш'як	1,2–2,2
Молибден	0,05–0,13	Кадмій	50–170
Марганець	1,0–1,5	Хром	66–243
Мідь	0,01–0,5	Кобальт	0–9
Цинк	0,05–1,5	Мідь	4–79
Стронцій	0,5–2,1	Свинець	7–92
Фтор	0,3–3,8	Нікель	7–32
Миш'як	10,3–10,4	Селен	0–4,5
Кадмій	10,4	Ванадій	20–180
Свинець	10,4	Цинк	50–1430

Це робить їх непридатними не тільки для питного водопостачання, але і технічного. Застосування недосконалих способів зберігання гною призводить до того, що на компостувальні ями та площадки для складування гною впливають дощові опади і вони мають неналежну гідроізоляцію від можливих випадкових витоків біля джерел водопостачання. Існує також проблема з об'ємами діючих гноєсховищ деяких підприємств [147, 148].

Важливими антропогенними факторами, які погіршують ХС річкових вод в басейні, є СВ з ділянок скидів неочищених стоків. Суттєво забруднюють територію водозбірного басейну господарсько-побутові стічні води. Вздовж берегових ділянок річки Стрий, за даними Облводгоспу, налічується 58 населених пунктів. Річка Стрий та її притоки проходять через міста Турка, Сколе, Стрий, Жидачів, смт. Східниця та В. Синьовидне, а також десятки сільських населених пунктів.

В гірській частині басейну проживає близько 104 тис. жителів, а сумарний об'єм очищення становить лише 1,7 млн. м³ стоків, в порівнянні з м. Львів, де при 760 тис. мешканців очищується 179,5 млн.м³ стоків. Ці дані не враховують кількість туристів та відпочиваючих. Господарсько-побутові стоки цих територій майже не очищують відповідно сучасним екологічним вимогам, що спричинено поганим технічним станом діючих ОС, через відсутність фінансування для їхнього ремонту і вдосконалення та недотриманням екологічного режиму охорони ПЗС [149].

Складна екологічна ситуація спостерігається на гірськолижному курорті в смт. Славське, де очисні споруди потужністю 500 м³/добу введено в експлуатацію ще в 1984 році, а після цього їх жодного разу не ремонтували. Система очищення стічних вод у селищі працює в аварійному стані за затоплення мулових майданчиків, вторинні відстійники неробочі, а стічні води аеротенків мають чорний колір, що вказує на неефективність очистки стічних вод. Будівлі та обладнання головної каналізаційної насосної станції (ГКНС) потребують капітальних ремонтів, а території підтоплені дренажною водою. Оскільки очисні споруди неспроможні проводити очищення стічних вод,

каналізаційні стоки в окремих місцях випускають із труб просто в річку Опір без жодної обробки та очищення. Аналогічне становище спостерігаємо на решті населених пунктів в басейні р. Стрий, де в загальному проводять тільки елементарне очищення до 6 % СВ, тому в природні водотоки та в підземні водоносні горизонти зазвичай потрапляють неочищені стоки [150].

Найбільш негативно на поверхневі та підземні води впливають звалища твердих побутових і промислових відходів, які на території їх складування формують антропогенні водоносні горизонти. Основне джерело надходження забруднювачів в ґрунтові води складний за своєю токсичністю фільтрат, який формується в аеробних умовах на звалищах в результаті процесів зброджування та гуміфікації органічної речовини. Він містить іони амонію, хлору і високі концентрації макрокомпонентів важких металів (цинк, свинець, нікель, хром, кадмій та інші), вміст яких становить декілька грам на 1 літр [151].

Звалища твердих побутових відходів (ТПВ) є значним джерелом біологічного забруднення, оскільки є поживним середовищем для патогенних мікроорганізмів та наявними сприятливими умовами для розвитку яєць гельмінтів. Ці небезпечні біологічні складові разом з пилом та фільтратом, можуть поширюватись далеко за межі сміттєзвалищ, суттєво погіршуючи якість природних вод і ґрунтового покриву. За даними екологічної звітності, в зоні живлення водозаборів Стрийського родовища питних вод у басейні р. Стрий, лише на офіційно зареєстрованих полігонах ТПВ, які є звичайними смітниками, накопичено понад 10 тис тонн сміття, а найбільшими місцями накопичення ТПВ є міста Стрий, Турка та Сколе, а також смт. Східниця і Славське (рис. 3.19).

Станом на 01.01.2020 р. в басейні налічувалось 14 сміттєзвалищ, які займають площу 14,35 га, що становить 2,4 % території від обласних показників (табл. 3.3) [152]. Найбільшу загрозу становлять численні стихійні сміттєзвалища. Враховуючи показники останніх років, бачимо чітку тенденцію до зростання кількості відходів у басейні р. Стрий. Значні об'єми ТПВ не вивозяться в місця організованого зберігання, а скидається на заплавах

територіях і берегах річкових потоків, де появилось багато стихійних смітників (рис. 3.20). Паводками змивається їх вміст у річки, що погіршує показники якості води.

Вирубування карпатських лісів зумовило небажані зміни рослинних шарів та гідрологічних режимів гірських територій і появи значних руйнівних екологічних явищ, серед яких повені, вітровали, ерозійні процеси ґрунтових покривів. Основні недоліки в сучасному лісовому господарстві, окрім суцільної вирубки лісових площ, становлять способи трелювання дерев важкою технікою, що активізує руйнівні ЕГП на гірській частині басейнів карпатських річок [30]. Встановлено, що змив ґрунтового покриву складає до 500 м^3 з 1



Рис. 3.19. Сміттєзвалище біля смт. Славське

Таблиця 3.3

Кількість сміттєзвалищ та полігонів в басейні р. Стрий станом на 2020р.

Одиниця адміністративно-територіального устрою, площа водозбору	Кількість	Площі під твердими побутовими відходами, в га
Сміттєзвалища		
Дрогобицький	11	7,60
Сколівський	2	4,61
Турківський	1	2,14
Загалом, у басейні р. Стрий	14	14,35

гектару вирубки, а для утворення ґрунтів товщиною до 1,0 см потрібно понад 100 років [153].

Суцільні вирубування при заготівлі деревної сировини проводять на площах близько 70 % лісових насаджень, при цьому проходить майже повне руйнування рослинного покриття (рис. 3.21). Вони дуже негативно впливають на водозбірні площі, де проводилась вирубка. При цьому значно збільшуються площинні змиви, лінійні ерозійні явища, а об'єми твердого стоку річок та потоків збільшується в десятки разів. Території зрубів на пошкоджених ділянках при трелюванні дерев та їх викорчовуванні, мають недостатню кількість самосіву рослин (рис. 3.18, 3.22) [31].

Технологія лісозаготівлі та тракторне переміщення деревної сировини руслами гірських водотоків, що зумовлене відсутністю або поганим станом доріг, активізує ерозійні процеси. Площі зруйнованих рослинних покривів при цьому досягають 85 % загальних площ лісосік, вміст гумусу зменшується на третину від початкових значень за подвійного зростання інтенсивності поверхневого стоку. Втрати ґрунтів пов'язані з рельєфом територій та збільшуються із зростанням похилів схилів і довжини лісосіки [154].



Рис. 3.20. Наслідки змиву стихійних сміттєзвалищ після проходження паводку в заплаві р. Стрий біля с. Тишівниця



Рис. 3.21. Руйнування рослинного покриття та ґрунтів на площі суцільного вирубування лісу [94]



Рис. 3.22. Руйнування схилу за суцільної вирубки лісу на березі р. Бутивля [82]

Збільшення об'ємів промислового виробництва посилило впливи негативних факторів на лісові масиви, особливо вони помітні в зелених зонах міст. Це є вкрай актуальним для українських територій, де лісові насадження в зелених зонах довкола міст та об'єктів промислового виробництва складають більше 20 % площ лісового фонду. Лісові насадження на буферних і рекреаційних міських територіях піддаються впливу шкідливих чинників, що

призводить до деградації лісових площ та зменшення їх захисних функцій [155]. Сучасне лісове покриття на територіях Львівщини надто низькою і не виправданою з екологічних критеріїв.

Басейн р. Стрий в межах Передкарпатського прогину належить до Західно-Українського нафтогазоносного регіону. Тут експлуатуються Південностинавське, Стинавське, Танявське, Східницьке, Урицьке та Заводівське нафтові родовища і проводять пошуки вуглеводнів у межах інших ліцензійних ділянок [25].

Стічні води нафтовидобувної промисловості можуть містити до 1,5–10,0 г/л нафтопродуктів. Також у цих водах завжди спостерігаються суттєві кількості інших особливих ОР, а саме органічні кислоти, феноли, альдегіди, складні ефіри та ін. [156]. Вміст фенолів в пластовій воді, які видобувають разом з нафтовими покладами, становить десятки міліграмів в літрі [157], тому оцінка впливу об'єктів нафтової промисловості на стан природних вод є надзвичайно важливою.

За процесу буріння свердловин, видобутку та транспортування вуглеводнів завжди є ризик забруднення ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод буровими стічними водами, аварійними розливами нафти, пластовими водами високої мінералізації, стоками нафтозбірних станцій і нафтопроводів [158, 159]. Постійні зони забруднень нафтопродуктами знаходяться на територіях видобутку, транспортування і зберігання нафти. Важливим фактором забруднення природної води є ліквідовані свердловини, де просочується нафта і пластові води крізь стовбури свердловин або тріщини цементних мостів. Ці витoki спостерігаються на нафтопроводах біля ліквідованих свердловин Заводівського і Стинавського родовищ (рис. 3.23).

Всього в межах родовища розміщено понад 53 глибоких нафтових свердловин. Поблизу свердловин знаходяться неліквідовані відходи буріння, які залишаються потенційними джерелами забруднення Стрийського родовища підземних вод, а особливо територія, яка експлуатуються Любинецьким водозабором. Для зменшення потенційного ризику забруднення вод

Стрийського водозабору, Стинавське нафтове родовище експлуатують обмеженою кількістю свердловин в режимі самовиснаження, без підтримання пластового тиску, за якого можливе вилучення видобувних запасів нафти до 15–20 % [160].

В зоні техногенного впливу нафтових родовищ знаходиться і північна частина басейну р. Стрий, яка перебуває за впливу діяльності Бориславського НГВР. Потенційними джерелами забруднення нафтопродуктами можуть стати магістральний нафтопровід “Дружба” та нафтопродуктопровід Дрогобич–Калуш, які розташовані в басейні річки [160]. Тому достовірна еколого-гідрогеохімічна оцінка ступеня та характеру поширення таких забруднень є дуже важливою для з’ясування рівня антропогенного навантаження на басейн р. Стрий.



Рис. 3.23. Витоки нафти на поверхню біля ліквідованої свердловини Заводівського родовища [160]

3.5. Функції природного самоочищення поверхневих водойм і водотоків

3.5.1. Функції біохімічного та біотичного самоочищення

Самоочищенням називають сукупність всіх природних процесів в забруднених водах, спрямованих на відновлення початкових властивостей і

складу води. Вони охоплюють процеси змішування, осаджування, розпаду і перетворення речовин, що забруднюють водойми [135]. Під самоочищенням розуміють зниження вмісту у воді органічних та мінеральних речовин в результаті гідрологічних, фізико-хімічних і біотичних процесів. Кінцевим його етапом є формування екологічно адекватної води, тобто придатної для водокористування та проживання у ній гідробіонтів. Великий вплив на вказані процеси мають географічне розташування, морфологія, геоматика, особливості живлення басейну, кількість і склад комунальних чи промислових стічних вод, що надходять у водозбірний басейн.

Природному самоочищенню, за якого забруднення руйнуються до простих сполук, які надходять до загального біотичного кругообігу, піддаються всі водойми. Найбільш активно процеси самоочищення проходять в річках за наявності течії. При сильнішій течії та ще за значної ширини і глибини річки вона успішніше справляється із забрудненням (рис. 3.24). Із зарегулюванням стоку річки греблею змінюється її режим, який стає близьким до режиму озер. Основні риси зміни режиму в водоймах озерного типу зводяться до сповільнення швидкостей течії та регулювання рівня, а водосховища є відстійною накопичувальною системою, яка акумулює речовини і енергію. Зарегулювання змінює режим водойми, який позначається на характері біологічних процесів, які в ній проходять (заростання, цвітіння, накопичення біомаси водних організмів), а відповідно і на якості води.

Ступінь самоочищення водойми оцінюють за окисленням органічної речовини в біохімічних процесах, а саме БСК (біологічне споживання кисню), величину якого визначає перманганатна окислюваність. Під повним БСК розуміють кількість кисню в мг, яка споживається організмами в процесі окислення всієї органіки, що міститься в 1 л води. В незабруднених водах БПКповн становить 0,5 - 1,0 мг O_2 / л, а в місцях органічного забруднення - БПКповн досягає 40 мг O_2 / л та більше. У водоймах за антропогенних забруднень завжди є важко окислювані речовини. Тому окрім БСК визначається і ХСК (хімічне споживання кисню), що пов'язане з біхроматною

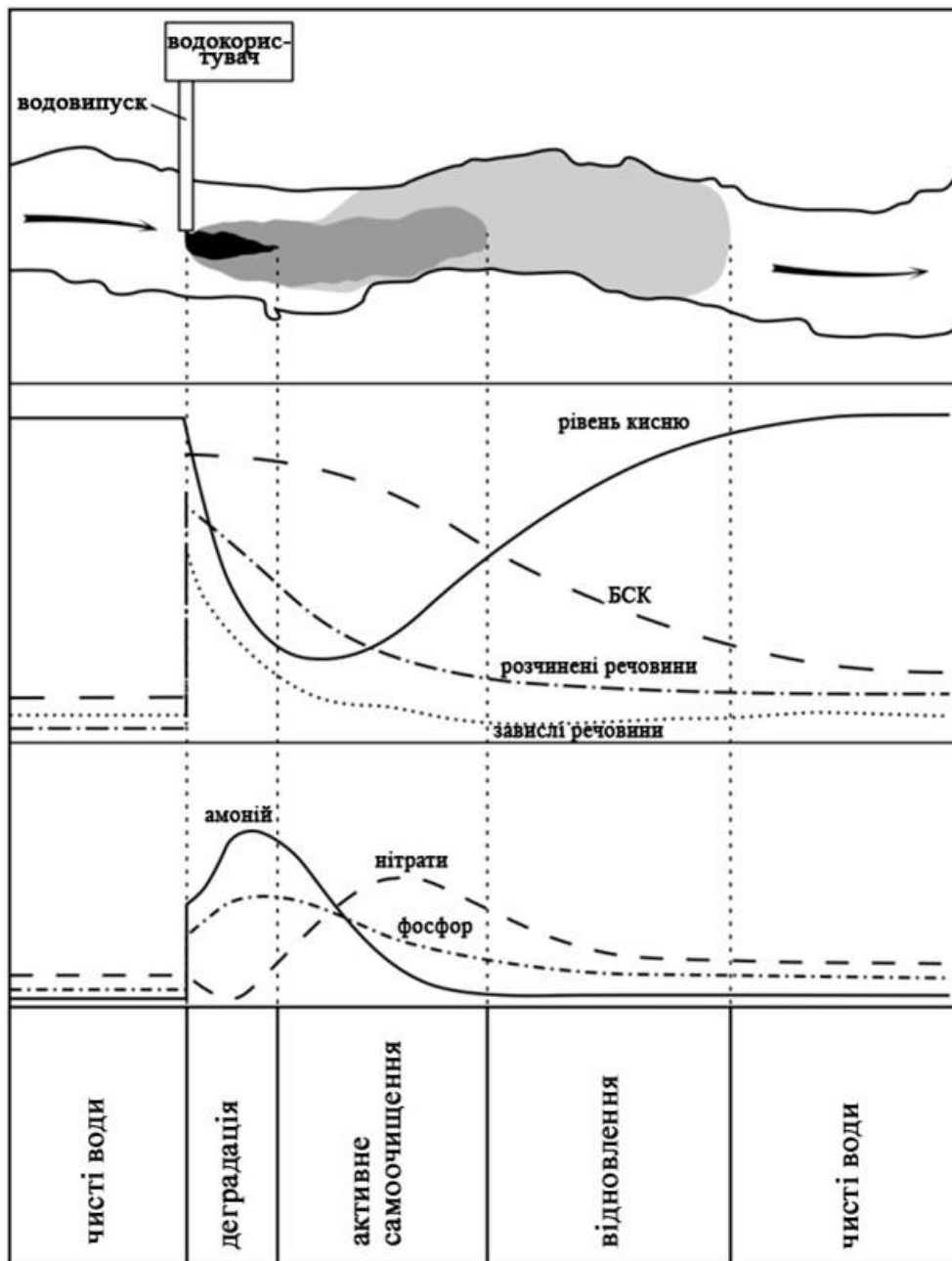


Рис. 3.24. Зміни гідрохімічних показників на ділянці річки нижче надходження стічних вод [135]

окислюваністю. Інтенсивність самоочищення може бути розрахована на одиницю об'єму, одиницю площі акваторії або одиницю біомаси.

Найефективнішим є аеробний процес самоочищення, який призводить до розпаду органічної речовини на вуглекислоту та воду. За анаеробного розпаду трансформація речовин проходить не до кінця, а з утворенням маси проміжних продуктів розпаду, які самі можуть бути небезпечними забруднювачами (аміак, фенол). Найповніше вивчений шлях аеробного трансформації. За аеробного

циклу розпаду речовини працює більшість установок біологічної очистки стічних вод. В них проходять практично ті ж процеси, що і в природі, але ефективніше.

Саме біологічне самоочищення є основна ланка процесу самоочищення вод і розглядається як один із проявів біотичного кругообігу речовин у водоймі. Г.Г. Вінберг біологічним механізмом самоочищення називав утилізацію та трансформацію речовин і енергії, накопиченої водними організмами всіх трофічних рівнів [135].

Всі види забруднення водойм органічними речовинами викликають потужні процеси біологічного самоочищення, в яких беруть участь різні групи організмів (бактерії, гриби, водорості, вищі рослини та різні групи водних безхребетних і риби), які поглинають ці речовини. Процеси біологічного самоочищення проходять зазвичай три фази, це абсорбція та резорбція, засвоєння організмами і мінералізація.

Бактерії, найпростіші і водорості можуть розвиватися та навіть збільшувати свою чисельність і біомасу при дуже високих концентраціях органічних речовин (ОР) у воді, особливо в умовах достатнього надходження біогенних елементів. Процес самоочищення у водоймі ініціюється бактеріями поверхні, товщі води і дна водойми. Бактерії, руйнуючи та виїдаючи ОР, створюють умови високої забезпеченості кормом зоопланктону, нейстону і бентосу. Друга численна група в складі мікрофлори водойм - гетеротрофні бактерії. Основна роль цих бактерій є перетворення незасвоєваної для тварин органіки в засвоєвану форму.

Фітопланктон приймає активну участь в процесах самоочищення (ПС) водойм, здійснюючи фотосинтетичну аерацію, відносно швидко видаляючи надлишок солей азоту, фосфору та інших біогенних елементів, а також засвоюючи прості органічні сполуки. Фітопланктон може мати і негативний вплив, який спричиняється виділенням органічних речовин мікрводоростями в процесі їх життєдіяльності, що підвищує кількість розчиненої органіки в воді. В незбалансованих екосистемах, де первинна продукція недовикористовується,

фітопланктон після відмирання може викликати так зване вторинне забруднення. При розкладанні надлишкової кількості фітопланктону у воду надходять легкозасвоювані ОР, а важкоокислювані сполуки опускаються на дно і сприяють замуленню водою.

Зелені водорості знаходять сприятливі умови для існування у водоймах з високим вмістом солей важких металів, які потрапляють сюди з промисловими стічними водами. Біологічне значення такого виду комплексів полягає не тільки в переміщенні металу, але й запобіганні токсичної дії високих концентрацій важких металів всередині клітин водоростей. Утворення таких комплексів призводить також до зменшення розчинності металів в мулових відкладеннях, що виникають за відмирання водоростей та зниження токсичної дії металів в товщі води.

Водна рослинність виступає потужним фактором самоочищення водойми. В літоральній зоні макрофіти створюють своєрідний фільтр, а в заростях рослин швидкість течії води знижується, що сприяє випаданню суспензій в осад. Велику роль вища водна рослинність має в фотосинтетичній аерації вод. Макрофіти, акумулюючи багато хімічних елементів, сприяють зниженню їх концентрації у воді. В процесі утворення 1 т речовини рослини поглинають 250- 400 кг різних мінеральних сполук. Висока метаболічна активність рослин потребує поглинання великої кількості біогенних елементів, в чому і полягає роль рослинності в самоочищенні водойми. В місцях вегетації макрофітів зазвичай не спостерігають цвітіння води, що пояснюється вилученням з води фосфору, який обмежує розвиток фітопланктону.

Вища водна рослинність, перешкоджаючи процесу антропогенної евтрофікації та прискорюючи ПС, сприяє ліквідації наслідків забруднення цих водойм, забираючи із води біогени і метали, такі як Са, Мп, Zn, Cu, Рb та ін. Вищим водним рослинам, особливо зануреним у воду, властива вибірковість в накопиченні не тільки макро-, але й мікроелементів та солей важких металів. Гідрофіти можна використовувати для очищення поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь і промислових стічних вод, які містять солі міді,

цинку, свинцю та інших металів, а також здатні акумулювати радіоактивні ізотопи цезію-137, стронцію-90 і кобальту-60.

Важливою є здатність рослин накопичувати хлор, який у великих кількостях надходить до водойм у вигляді хлоридів з сільгоспугідь та хлорорганічних сполук з поверхневим і промисловим стоком. Для оцінки значення вищих водних рослин в самоочищенні водойми, необхідно знати площу заростання та величину створюваної рослинами біомаси. Враховуючи важливу позитивну роль макрофітів в утилізації забруднюючих речовин, багато дослідників пропонують використовувати їх для інтенсифікації процесів самоочищення. Перевагою макрофітів є те, що їх можна збирати і видаляти з водойми [135].

Роль тварин у процесах самоочищення в значній мірі визначається способом їх харчування. Фільтратори і седиментатори звільняють воду від суспензій, бактерій та водоростей. Вилучену з води суспензію вони переробляють в своєму тілі, а неперетравлені залишки викидають у вигляді фекальних грудочок, які опускаються на дно водойми. Безсумнівна роль зоопланктону в мінералізації органічних речовин забруднених вод. За масового розвитку коловерток та гілястовусих раків деструкція органічної речовини за БСК може становити 100-200 мг O₂ / л. В природних умовах зоопланктон діє як природний бактеріальний фільтр, а його організми споживають бактерії, в тому числі патогенні, яйця глистів, личинки паразитів (95% чисельності) і значну кількість фітопланктону (рис. 3.25).

Особливо велике значення в біофільтрації водної товщі мають двостулкові молюски. Завдяки фільтраційній роботі мідій створюється надзвичайно потужний біофільтр, крізь який щодоби пропускається вся вода літоральної і субліторальної зон. Молюски-фільтратори можуть утворювати також псевдофекалії, оскільки значну частину відфільтрованого матеріалу вони не заковтують, а склеюють і викидають. Таким чином відбувається осаджування забруднюючих речовин з води на дно.

В прісних водах велику роль в самоочищенні водойм мають перлівниці,

беззубки, дрейсени та інші двостулкові молюски. Так, *Unio pictorum* довжиною 5-6 см за температури води 9-10 ° С фільтрують 12 л води на добу, а із збільшенням температури до 20-25 ° С швидкість фільтрації зростає до 16-28 л/добу [135]. Для розрахунку швидкості фільтрації і кількості осаджуваної суспензії необхідно знати час фільтрації води молюсками, що залежить від температури води, ступеня і концентрації дисперсності суспензії, а також таких

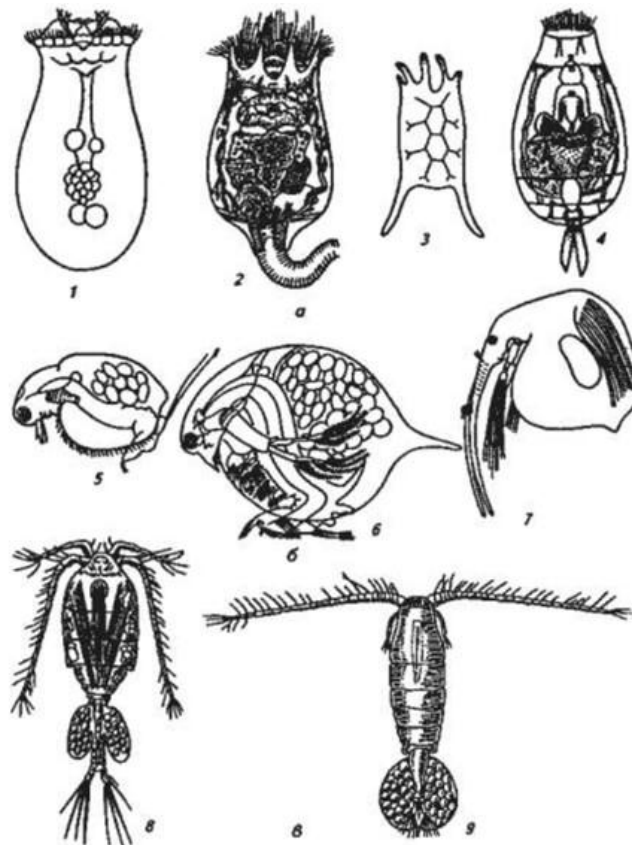


Рис. 3.25. Зоопланктон: а - коловертки: 1 - аспланха, 2 - брахіонус, 3 - керателла квадрата, 4 - лекана; б - гілястовусі рачки: 5 - моїна, 6 - дафнія пулекс, 7 - босмин корегоні; в - веслоногі рачки: 8 - циклоп, 9 – діаптомус [135]

факторів середовища, як ступінь насиченості води киснем, рН та окислюваність. З підвищенням температури води від 5 до 25°C швидкість фільтрації зростає, а паузи скорочуються. При температурі води нижче + 3°C і вище + 30°C циркуляція води відсутня. Швидкість пропускання води двостулковими молюсками зростає із зниженням дисперсності суспензії.

Тварини-детритофаги з іншими способами добування їжі (личинки хірономід, олігохети та ін.) поглинають органічні речовини, знижуючи їх вміст

та беруть участь в процесі мінералізації. Роль гідробіонтів-мінералізаторів дуже ефективна в умовах високого перемішування води, коли краще забезпечується принесення органічної їжі та кисню, а також видалення метаболітів (рис. 3.26). Тому мінералізація органічної речовини в річках протікає швидше ніж у невеликих стоячих водоймах.

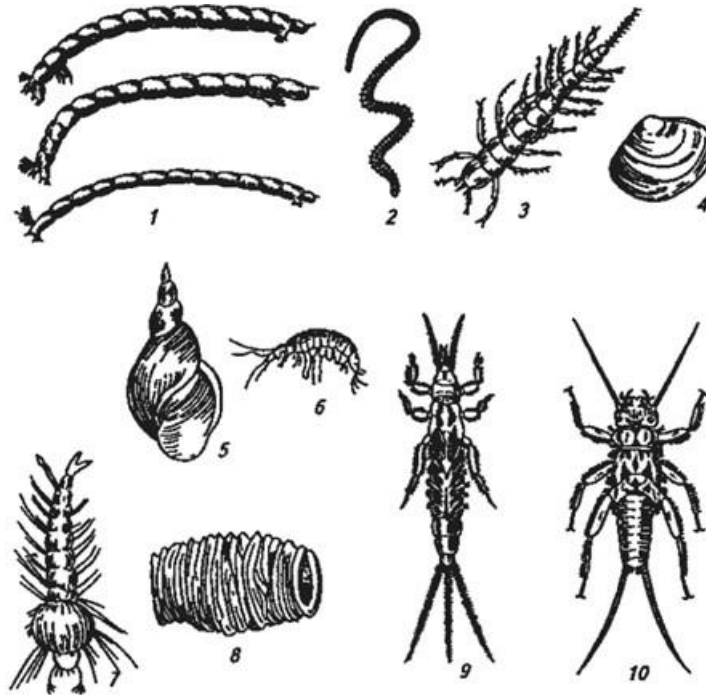


Рис. 3.26. Організми бентосу: 1 - хірономіди; 2 - олігохети; 3 - личинка віслокрилки; 4 - шарівка; 5 - прудовик; 6 - бокоплав; 7 - личинка комара; 8- волохокрилець; 9-поденка; 10 - веснянка [135]

Значний очисний ефект може забезпечуватися накопиченням в тілах тварин забруднюючих речовин, в першу чергу радіонуклідів та пестицидів. Накопичуючи ці речовини, гідробіонти вилучають їх з води та на деякий час знешкоджують воду, видаляючи з ланок кругообігу речовин. Накопичуючи радіоізотопи, солі важких металів та пестициди, гідробіонти стають небезпечними для людини. Організми зообентосу концентрують в своїх тілах багато мікроелементів за кількостей, які в багато разів перевищують їх кількість у воді [161, 162].

Таким чином, самоочищення водойм потрібно розуміти як за типами (фізичне, хімічне, біологічне), так і за параметрами відновного процесу, який

характерний для кожного типу та виду забруднень. Інтенсивність процесів самоочищення є різною для всіх різновидів водойм, від калюжі і струмка до великого озера та великої річки.

3.5.2. Функціональне значення гідродинамічно-активних ділянок в самоочищенні природних водотоків

В басейнових територіях річки Стрий за відносного збереження загальних рис природних ландшафтів порівняно з рештою районів на заході України спостерігаємо зростання шкідливих антропогенних впливів на показники якості річкових вод. На дієвість збереження функції природного самоочищення позитивний вплив мають гідродинамічно-активні ділянки (ГАД) річок. На цих ділянках впершу чергу відбувається найінтенсивніше збагачення киснем водних потоків та активізуються біохімічні та біотичні перетворення у річковій воді.

Гідродинамічно-активна ділянка – це локальна природна чи штучна перешкода в руслі водотоку, а саме водоспади, валуни, перекати, пороги та їхні каскади. Проходячи через них, вода збурюється та змінює режим течії з ламінарної в турбулентну, активізуються кавітаційні явища. Це зумовлює певне збільшення швидкості руху води з розбризкуванням і спінюванням. Завдяки цим процесам проходить значне збагачення водного потоку газоподібним киснем з атмосфери. Воно супроводжує явище короткочасного змінювання прозорості та безбарвності водної течії у білий і непрозорий флюїд із властивістю біотичного очищення [163].

Наявність кавітаційних явищ в руслах гірських річок одним з перших дослідив Н. І. Маккавеев [163, 164]. За похилом річки він виділяв спокійні (ламінарна течія) та бурхливі (турбулентна течія) водні потоки. Спокійні характеризуються незначними пониженнями відміток поверхні над окремими перешкодами (валунами, грядами), обтіканням їх без порушення суцільності потоку за рахунок малих швидкостей течії, а також без візуально помітних

втрат потенційної енергії. Бурхливий потік утворює над перешкодами стоячу хвилю, яка зумовлена втратою енергії при зіткненні з перешкодою, коли потенційна енергія потоку переходить у кінетичну.

Рух спокійного потоку виключно за рахунок потенційної енергії призводить до зменшення глибини русла, його замулювання і зниження рівня. В бурхливому потоці, завдяки кінетичній енергії глибина русла зростає, але швидкість знижується після зустрічі з перешкодою. Потік обтікає круті вигини берегів, не утворюючи застійних зон і вирів. Якщо в бурхливому потоці утворюється вир внаслідок різкого зменшення тиску, спостерігається явище гідродинамічної кавітації, яке зумовлює кавітаційну ерозію та активнішу взаємодію з атмосферним повітрям.

Факторами, які впливають на спокійні та бурхливі потоки, а також бурхливі з явищами гідродинамічної кавітації є величина критичного похилу русла – $I_{кр}$ та параметр кінетичності потоку. За умови різної шорсткості дна, число Рейнольдса має значення від 300 (дуже шорстке) до 3000 (ідеально гладке). За параметр кінетичності потоку використовують число Фруда, яке розраховують за формулою $Fr = V^2/gh$, де h – глибина потоку, м. Умовою спокійного потоку є $I < I_{кр}$ та $Fr < 1$, а бурхливого є $I > I_{кр}$ та $Fr > 1$. Для бурхливого потоку з явищами гідродинамічної кавітації критеріями є $I \gg I_{кр}$ і $Fr \gg 1$, які призводять до утворення вирів у випадку подолання перешкод.

На рис. 3.27–3.29 показано ГАД, на цих ділянках активізуються кавітаційні явища, які спричиняють різке пришвидшення течії водного потоку та її збурювання. Це супроводжується короткочасним змінюванням прозорості і безбарвності води з утворенням непрозорого та білого флюїду на гірських річках. Він формується за достатньої стійкості до ерозійного розмивання корінних порід в руслах, а нижче розміщені породи більш схильні денудаційним процесам, що зумовлює утворення водобійної ніші (рис. 3.30, 3.31) [163, 165].

За поступового зсування місце падіння водного потоку або коли він

швидко протікає поверхнями перепадів утворюється система різних за величиною водоспадів, які називаються каскадами. Деколи течія води так руйнує обрив, що утворює там ложе та скочується жолобом в скелі формуючи водоскати, або складну систему з водоскатів і каскадів. Часто на водоспаді між вільно падаючим водним потоком у водобійну нішу та виходом скелястих гірських порід утворюється вільний простір, причиною його формування є процеси гідродинамічної кавітації та кавітаційна ерозія.

Переважання галькових, валунних і брилових наносів у руслі річки обумовлює велику шорсткість дна, створює суттєві перешкоди на шляху водного потоку та сприяє кавітаційним явищам. За дуже великих похилів гірських річок формуються пороги-водоспадні русла, морфологічний вигляд яких визначається валунами та глибами різного розміру, а також наявністю водоспадів. Діапазони похилів для різних гірських річок неоднакові, а гідродинамічні бар'єри розміщені лише в певних місцях, які називають ділянками кавітаційної обробки води та її насичення киснем [163].

Під гідродинамічною кавітацією розуміють явище розривання суцільної водної течії та утворення кавітаційних мікробульбашок, що заповнюються водяною парою, азотом, киснем, зумовлене зниженням тиску [164, 165]. Передумовою цього процесу є порушення однорідності водних потоків, їх кавітаційні розширення при переході на ділянки вільного падіння потоку, утворення та збільшення розмірів мікробульбашок, їх стискування, колапсування і саморуйнація. Кавітація спричиняє розрив суцільності водного середовища внаслідок місцевого зниження тиску, який може мати гідродинамічну чи акустичну природу (рис. 3.31) [166].

Гідродинамічна кавітація виникає завдяки зростанню швидкості потоку, що призводить до утворення мікробульбашок, які короткочасно змінюють забарвлення води у потоці, тоді як акустична до виникнення акустичних хвиль, звукового ефекту (шуму, гуркоту водного потоку). Акустична кавітація виникає за впливу акустичних, а особливо, ультразвукових хвиль на воду. В басейні річки Стрий спостерігається виключно гідродинамічна кавітація, яка виникає на

тих ділянках, де тиск знижується до критичного значення, коли потік потрапляє в зону “розриву суцільності рідини” та зароджуються мікробульбашки, а подальший рух призводить до необмеженого росту кількості мікробульбашок (рис. 3.32).

На ділянках значних похилів гірської річки утворюється “гідродинамічна кавітаційна зона”, що заповнена рухомими бульбашками, а процес часто називають “холодним кипінням води”. Після переходу водного потоку в зону



Рис. 3.27. Змінювання прозорості і безбарвності води з утворенням непрозорого та білого флюїду при проходженні порогів в руслі р. Крушельниця [163]



Рис. 3.28. Короткочасна зміна течії води з утворенням непрозорого та білого флюїду за проходження через перекати та валуни в руслі р. Тишівниця [163]

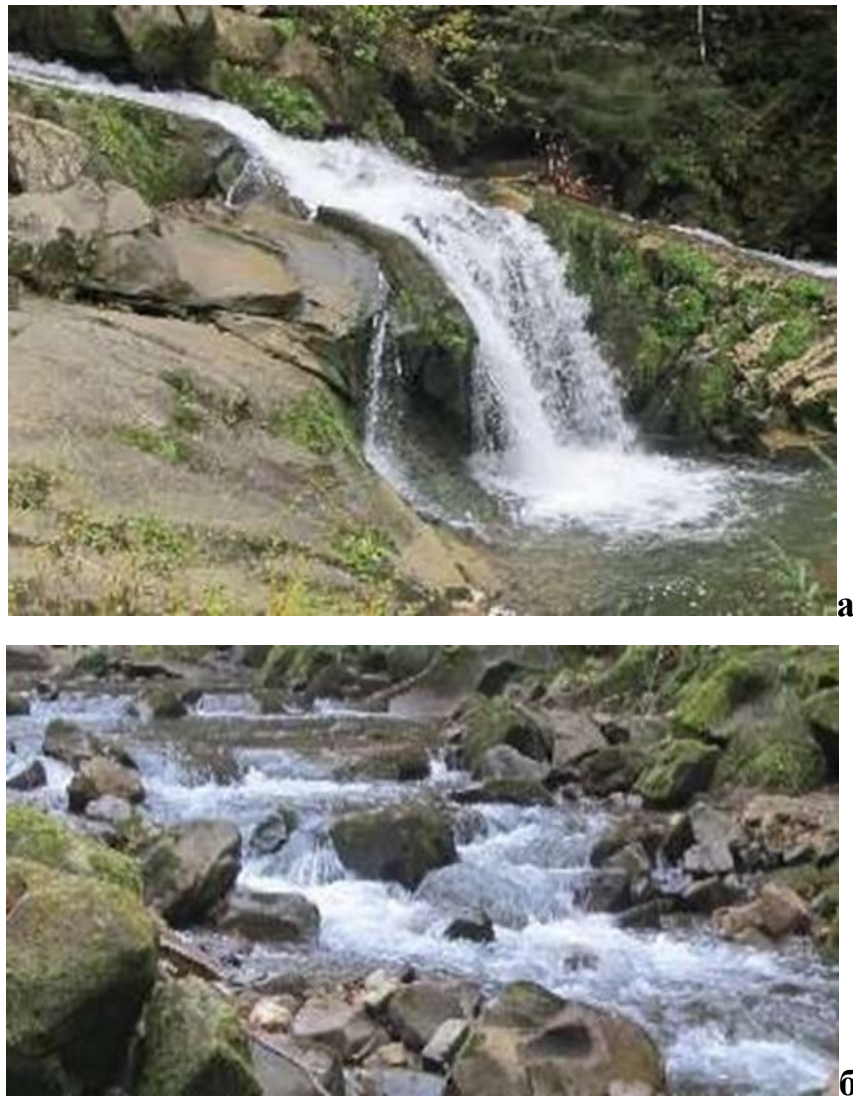


Рис. 3.29. Зміна параметрів потоку з утворенням флюїду: а) водоспад р. Кам'янка; б) каскади переكاتів та брил на р. Бутивля [163]



Рис. 3.30. Модель формування водоспадів та порогів в басейні р. Стрий з процесом насичення води розчиненим киснем [163]

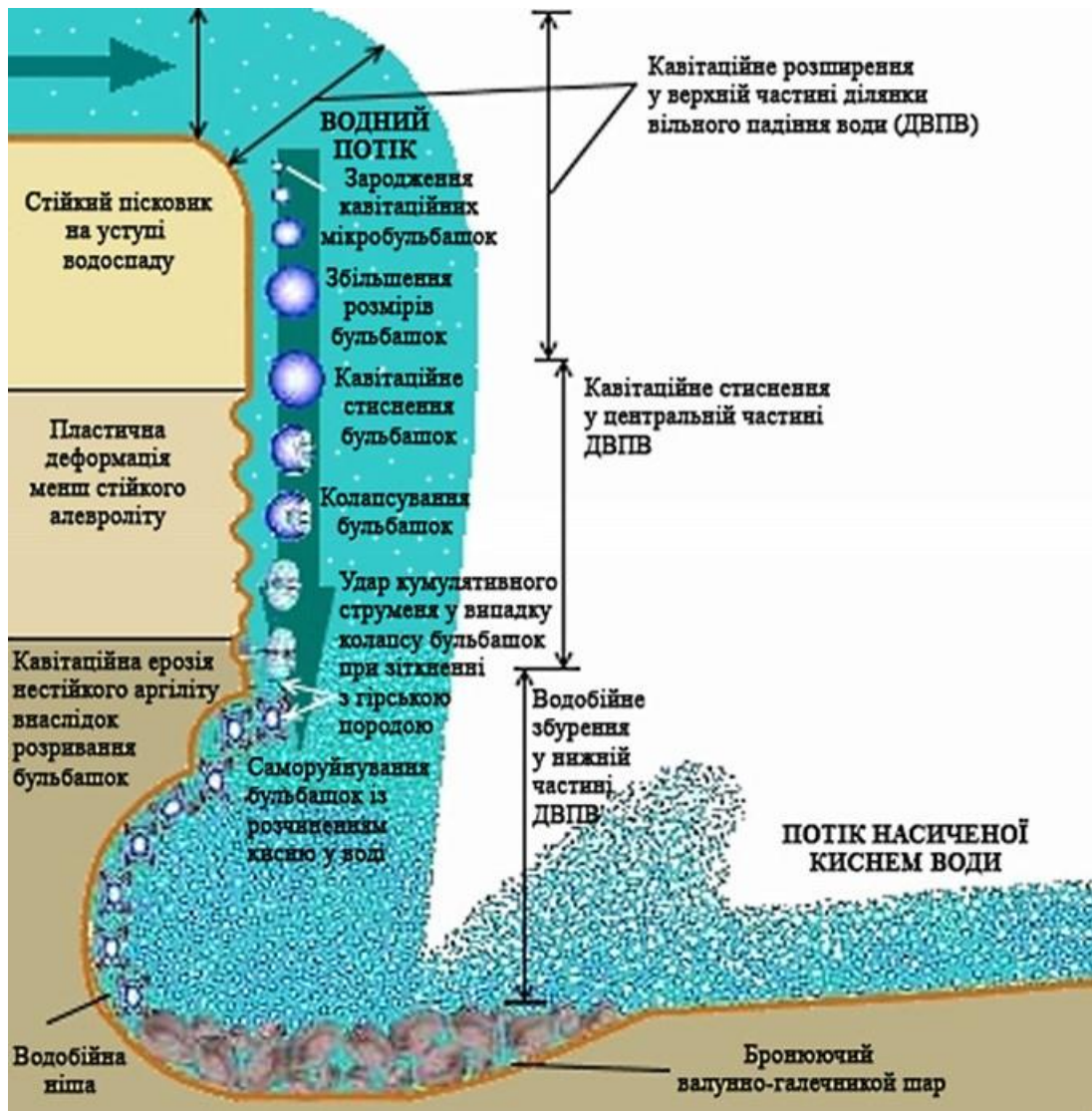


Рис. 3.31. Схема ГАД за кавітаційного розширення, стиснення та водобійного збурення водної течії при вільному падінні води [165]

підвищеного тиску і відновлення суцільності водного потоку, ріст мікробульбашок припиняється та вони починають зменшуватись. За максимального водобійного збурення бульбашки мають значну кількість газової складової, тому час їхнього існування у випадку досягнення ними мінімального радіусу, більш тривалий. Тобто, в процесі циклічної “дегазації” відбуваються послідовно поява та зникнення нових і менших за розмірами генерацій бульбашок.

Наслідком вказаного процесу є відновлення прозорості та безбарвності водного потоку, а також його гідродинамічної суцільності і неперервності на

відстані, яка прямопропорційна інтенсивності гідродинамічної кавітації в місці активного водобійного збурення. За незначної інтенсивності гідродинамічної кавітації водного потоку, його малому об'єму, кількість газової фази в бульбашках є мінімальною та вони зникають за першого циклу (рис. 3.33).

За умови кавітаційного стиснення та колапсування бульбашок у воді, всередині окремої з них, збільшується тиск до 1000 атм. Кавітаційні бульбашки, надходячи в область збільшеного тиску, тріскаються кумулятивними струменями у багато точок. В них кумулятивні ефекти призводять до підвищення тиску та гідравлічних ударів, також створення хвилі стиснення і розтягування рідини з ультразвуковою частотою. При зустрічі на своєму шляху перешкоди ця ударна хвиля руйнує її поверхню. Енергія зруйнованих бульбашок використовується на утворення ударних хвиль та малої кількості окислювачів, таких як перекис водню і озон, котрі разом із розчиненим киснем змінюють хімічні показники якості води. Процеси гідродинамічної кавітації експериментально встановлені в багатьох працях [87].

Отже, при проходженні потоку водоспадами, водоскатами, порогами та їхніми каскадами, зростає інтенсивність кавітаційних процесів та відбувається найбільше насичення киснем води водотоків в басейні річки Стрий.

Гідродинамічна кавітація супроводжується шумом різної інтенсивності під час колапсування мікробульбашок, що є причиною кавітаційної ерозії (рис. 3.34). На інтенсивність аерації води на гідродинамічно-активній ділянці, вказують результати експериментальних досліджень Г. І. Ніколадзе [167], згідно яких, при падінні води у вигляді крапель з висоти 0,5 м, концентрація розчиненого кисню в кожній із них зростає на 5 мг/дм^3 . Насичена киснем вода та явища кавітації на ГАД є надзвичайно активними геохімічними агентами, які створюють сприятливі умови для зниження рівня різноманітних забруднень. Самоочищення річкових вод, насичених киснем за розвитку кавітаційних явищ у випадку потрапляння господарсько-побутових стоків, ґрунтується на поєднанні різних гідрохімічних процесів, а саме:

1. Створення несприятливих екологічних умов насиченою киснем водою

для анаеробних мікроорганізмів і сприятливих екологічних умов для аеробних, а також кавітаційному “розриванні” мікроорганізмів, які негативно впливають на показники якості річкової води.

2. Процеси нітрифікації та денітрифікації. Нітрифікація є сукупністю процесів біоокислення NH_4 до NO_2 та в подальшому до NO_3 , при денітрифікації проходить окислення ОР та відновлення NO_3 до вільного азоту.

3. Самоочищення річкових вод при потраплянні нафти та нафтопродуктів, що полягає в окисленні вуглеводневих сполук з утворенням води, вуглекислого газу, фенолу та інших сполук. Об’єм розлитої нафти на



Рис. 3.32. Гідродинамічна кавітація та “холодне кипіння води” на водоскаті річки Кам’янка: непрозорість, біле забарвлення і розрив суцільності водного потоку [163]



Рис. 3.33. Відновлення прозорості та безбарвності водного потоку в залежності від інтенсивності гідродинамічної кавітації, в різних місцях активного водобійного збурення на водоспаді р. Кам’янка [163]



Рис. 3.34. Кавітаційна ерозія бетонної опори моста через р. Кам'янка [163]

поверхні води зменшується за рахунок високої концентрації розчиненого кисню у воді.

4. Осадження важких металів змінної валентності за їхнього переходу із рухомих форм в нерухомі.

5. Осадження частини двохвалентних іонів кальцію та магнію із зменшенням твердості води в умовах “холодного кипіння” гідродинамічної кавітації.

Висока здатність річкових вод басейну р. Стрий до самоочищення зумовлена явищами комплексної дії гідродинамічно-активних ділянок, а саме турбулентною течією, кавітаційними явищами, високою насиченістю води розчиненим киснем, які забезпечуються наявністю водоспадів, порогів, водоскатів та їхніх каскадів.

Висновки до розділу 3

Основними факторами формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий є кліматичні умови, кількість та гідрохімічні особливості атмосферних опадів. Зміни хімічного складу річкової води спричиняють потенційні природні та техногенні джерела надходження токсичних

поллютантів. Це урбанізовані території населених пунктів, сільськогосподарські площі, полігони ТПВ, місця скидання неочищених СВ, ділянки лісозаготівель, місця із пошуку та видобування вуглеводнів, кар'єри бутових каменів, гравійних і піщано-галькових відкладень та активізації екзогенних геологічних процесів.

В середній та верхній частинах річкових систем басейну спостерігається активізація небезпечних геоморфологічних і гідрологічних процесів, таких як ерозія берегів, зсувні процеси вздовж річки, зсуви та селеві потоки на крутих схилах. В регіоні ці фактори особливо посилюються в умовах неконтрольованого вирубування лісів та забудови. Роботи з відновлення берегоукріплень, проведених на деяких ділянках русла за період досліджень, виявились недостатньо ефективними. Вода в різних місцях русла підмиває береги, зумовлюючи небезпечні зсувні процеси безпосередньо біля русла.

Результати досліджень за даним розділом викладено у публікаціях [10], [18], [31], [35], [65], [88], [95], [118], [119], [153], [165].

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В БАСЕЙНІ р. СТРИЙ

На гірських карпатських територіях показники якості річкової води є вкрай важливими екології та господарської діяльності. Вони є природними середовищами для гідробіонтів, які адаптовані до водних екосистем гірських водотоків, а також джерелами водопостачання населення, промислового та сільськогосподарського виробництва Львівської області. На хімічний склад річкової води впливають природні та антропогенні джерела надходження політантів.

Найвагомішими екологічними факторами зниження показників якості річкових вод є повені та паводки, недостатні об'єми стоку за тривалих межневих періодів, сміттєзвалища ТПВ, аварійні розливи нафти та нафтопродуктів.

Зважаючи на різноманітність видів забруднень води в гірських водотоках, в них не спостерігаються значні і стійкі погіршення якісних показників води. Це зумовлено процесами самоочищення природної води та наявністю ГАД на шляху надходження антропогенних забруднень [165].

4.1. Взаємодія водного потоку з берегоукріпленнями річкового басейну

Серед численних екологічних проблем сьогодення є процес розмивання берегів річковими потоками за повеней та паводків. Актуальною ця проблема є в гірських місцевостях, де при стихійних явищах витрата води в потоках збільшується в декілька разів. Внаслідок міграції русла річки формують течії, які рухаються із значною швидкістю та викликають подальше руйнування берегової лінії. Розміри каменів, які захоплюються водним потоком, пов'язані із швидкістю його руху. Тому міцність та опірність руйнуванню берегових укріплень повинні бути достатніми для взаємодії не тільки з потоком води, але

й водно-каменевою масою із врахуванням дискретного характеру навантаження, яке є функцією швидкості потоку та геоморфологічних умов русла [168].

Вивчення процесу взаємодії водного потоку із твердими перешкодами є актуальними питаннями, що виникають за спорудження та ефективної експлуатації річкових берегоукріплюваних споруд. Традиційні підходи до розв'язку таких задач ґрунтуються на використанні класичної формули Ізбаша, що пов'язує об'єм і густину каменя із граничною швидкістю річкового потоку, який може зрушити з місця такий камінь. Однак локальні збурення, викликані стисливістю водного потоку, а також конфігурація каменя, цією формулою не враховується. З огляду на значні матеріальні збитки, які можуть виникати під час руйнування гідротехнічних споруд, уточнення результатів розрахунку конструкції таких об'єктів є вкрай важливими. Зокрема це важливо за врахування таких розрахунків структурно-реологічних особливостей каменів та водного потоку.

В сучасній практиці одним із головних способів зменшення наслідків катастрофічних повеней та паводків на довкілля є захист берегової лінії і фундаментів інженерних споруд насипами - банкетами з каменів достатньо великого розміру, нечутливими до дії водного потоку. В роботі [169] типізовано конструкції банкетів у залежності від характеристик водного потоку, однак конфігурація каменів із банкету не враховується. Дослідження процесу локальних розмивів, викладене в роботі [38, 170], лише частково враховує місцеві збурення водного потоку, не враховуючи його здатність до стисливості та імпульсну дію водно-каменевого потоку, в якому розмір рухомого каменя може бути близьким до розміру елементу насипу.

Задача взаємодії річкового потоку із твердим тілом – каменем виникла під час проектування та будівництва масштабних гідроспоруд шляхом облаштування кам'яних накидів, як це охарактеризовано в роботі [171], однак простота поданих в цій роботі інженерних оцінок не охоплює особливості матеріалу покриття русла, пов'язані із їх конфігурацією. Застосування числових

методів розрахунку поведінки донних елементів, запропоноване у роботі [172], хоча й дозволяє враховувати структурні особливості об'єкту дослідження, проте ускладнює застосування в інженерній практиці. В роботі [173] камені моделюються сферами приведенного діаметру, а в роботах [30, 154] – циліндрами. Однак отримані в цих працях результати стосуються обмеженого класу об'єктів та не дозволяють аналізувати поведінку донних елементів різних конфігурацій. Результати, викладені в роботі [174], детально описують взаємодію каменів із потоком води, внаслідок чого утворюються вихори різної природи, але ці результати також далекі від інженерної практики. Особливості моделювання контактної взаємодії каменю з рідинним середовищем представлено в роботі [175], проте такий підхід утруднений для аналізу каменів з різними фізико-механічними властивостями. В той же час врахування згаданих властивостей, представлене в роботі [176], не охоплює умов контактної взаємодії різних середовищ. Використання результатів обох робіт ускладнене для інженерного використання. В роботі [177] виявлено теоретичну граничну глибину розмиву біля мостових опор, однак не проаналізовано мінімальний розмір укріпного каменю, достатній для захисту такої опори від впливу повеней та паводків.

Важливим для аналізу взаємодії річкового потоку із русловими елементами гідроспоруд є вивчення умов довготривалої успішної експлуатації таких об'єктів. В науковій роботі [178] систематизовано характеристики успішних та довготривало експлуатованих гідроспоруд малих гідроелектростанцій окремих річкових басейнів Польщі. У роботі [179] систематизовано результати дослідження деформації тіла греблі внаслідок взаємодії із річковим потоком у деяких гідроспорудах Словаччини, а в публікації [180] обґрунтовано критерій довготривалої успішної експлуатації таких гідроспоруд. Проте вказані результати не дозволяють охарактеризувати залежність довготривалості греблі від конфігурації каменів із яких сформовано ці греблі.

Підсумовуючи наведений вище аналіз відзначимо, що важливі для

практики проектування нових, високонадійних гідроспоруд та для захисту наявних гідроспоруд від природних явищ, відомі інженерні методи розрахунку розмірів елементів захисних каменевиких насипів є недосконалими, оскільки не враховують конфігурацію каменів та стисливість водного потоку. Числові методи розрахунку таких задач потребують значних ресурсів стосовно моделювання об'єкту та розроблення складного програмного забезпечення. Тому важливим є будування удосконалених інженерних оцінок впливу конфігурації окремих каменів на граничну швидкість річкового потоку, який матиме здатність зрушувати окремі камені з місця. Важливість такого завдання пов'язується із необхідністю всебічного уточнення розмірів та конфігурації каменів, придатних для захисних насипів гідротехнічних споруд, які здатні забезпечити довготривале успішне їх функціонування у період прогнозованого збільшення швидкості річкового потоку під час природних явищ.

Мета проведеного дослідження є визначення впливу конфігурації каменя на граничну швидкість потоку річки з огляду стійкості берегоукріплення. Для досягнення мети були поставлені такі завдання: визначити граничну рівновагу конфігуративного донного елемента – каменю у водному потоці на основі циліндричного донного елемента в річковому потоці; розробити методикку уточненого розрахунку елементів берегоукріплень річок із врахуванням конфігурації використовуваних каменів.

Візуальний аналіз кам'яних наносів, що залишаються на дні русел гірських річкових потоків (рис. 4.1) дозволяє визначити окремі види конфігурації каменів (донних елементів), які можна умовно типізувати наступним чином: циліндричні, сферичні, еліпсоїдальні, паралелепіпедальні, клиновидні, пірамідальні тощо.

Розглянемо циліндричний донний елемент, довжина якого – b – достатньо велика у порівнянні із радіусом r , тому впливом збурень річкового потоку в околі торців циліндра нехтуємо. Глибина занурення каменю є значно більша від його радіуса r (рис. 4.2, a).

Вважатимемо, що донний елемент – камінь є гладким, а вода в річці –

малов'язка, тому процесами вихроутворення та в'язкісним тертям нехтуємо.

Запровадимо декартову систему координат O_{xyz} так, що вісь Ox паралельна до площини дна потоку та направлена проти руху потоку води, вісь Oz – перпендикулярна до неї, вісь Oy є направлена вздовж осі циліндра, точка O співпадає з центром ваги розглядуваного перерізу циліндра. Застосовуючи стандартний підхід, розглянемо елементарну струминку, що рухається зі швидкістю v відносно циліндричного каменя, точка перетину осі струминки із каменем – A – визначає радіус перерізу циліндра, нахилений до Ox під кутом β (рис. 4.2, б). Контактуючи із каменем струминка певним чином стискається та огинає його. Порція рідини в струминці, що знаходиться між перерізами 1–1 та 2–2, за час Δt переміститься в положення 1'–1' – 2'–2' та передасть каменю

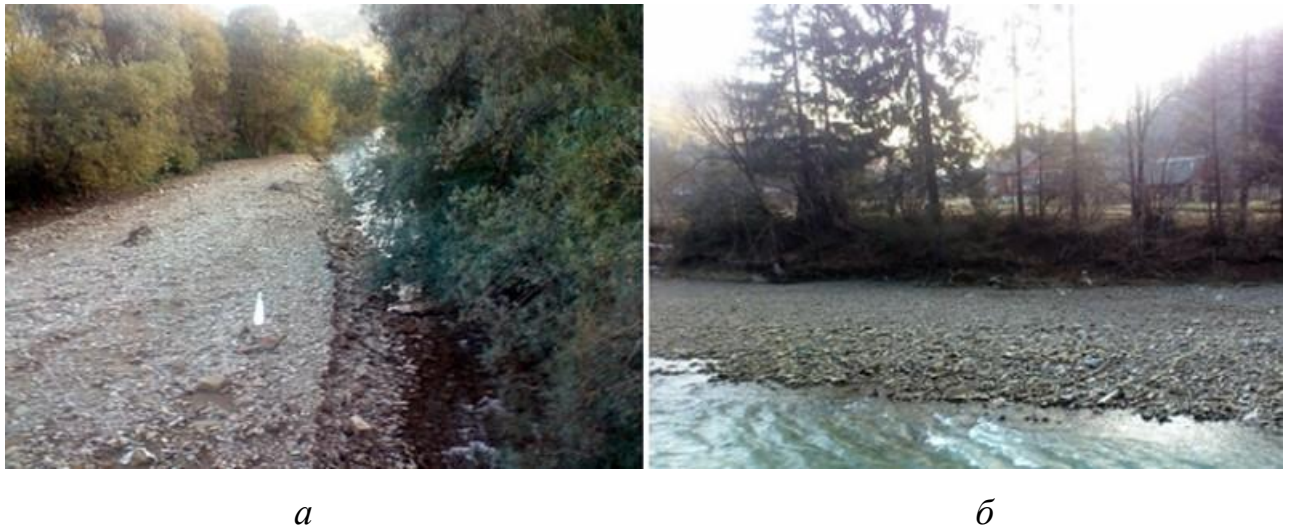


Рис. 4.1. Кам'яні наноси в руслах річок: *a* – р. Крушельниця, притока річки Стрий (2008 р.); *б* – р. Опір поблизу с. Тухля (2015 р.)

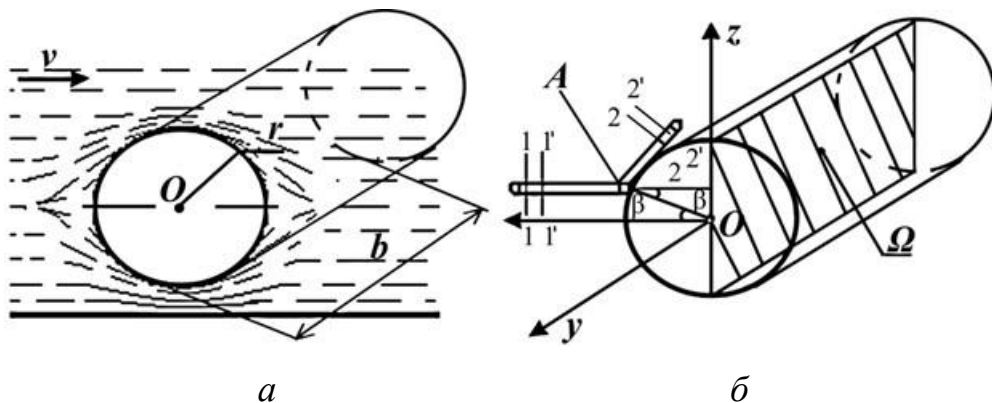


Рис. 4.2. Загальний вигляд каменю: *a* – в потоці; *б* – взаємодія довільної елементарної струминки з циліндричним каменем

певну кількість руху, проекція якої на вісь Ox – $\Delta KP_{11'}$.

$$\Delta KP_{11'} = \int_{1'}^{2'} v_x dm - \int_1^2 v_x dm = \int_2^{2'} v_x dm - \int_1^{1'} v_x dm, \quad (4.1)$$

де v_x – проекція швидкості v на вісь Ox , dm – дискретний елемент маси вздовж розглядуваної елементарної струминки. На ділянці $1-1'$ проекція $v_x = -v_1$, а на ділянці $2-2'$ – $v_x = -v_2 \sin \beta$, де $v_1 = v$ – швидкість струминки до співудару із каменем, v_2 – після співудару. Внаслідок контактної взаємодії струминка стискається. Запроваджуємо величину $\varepsilon = \varepsilon(\beta) = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ – ступінь стиснення

струминки, де ω_1 , ω_2 – площа поперечного перерізу струминки до та після співудару відповідно. З рівняння нерозривності потоку рідини слідує:

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon(\beta)}, \text{ тому на ділянці } 2-2'$$

$$v_x = -\frac{v_1}{\varepsilon(\beta)} \sin \alpha.$$

Отже в (4.1) величина проекції швидкості v_x є незмінною на ділянках інтегрування.

Для елемента dm , враховуючи нерозривність потоку: $\omega_2 v_2 = \omega_1 v$, та напрям осі Ox

$$\int_1^{1'} dm = \rho \int_1^{1'} dV = \rho \omega_1 \int_1^{1'} dx = \rho \omega_1 (x'_1 - x_1) = \rho \omega_1 \frac{x'_1 - x_1}{\Delta t} \Delta t = -\rho \omega_1 v \Delta t,$$

$$\int_2^{2'} dm = \rho \int_2^{2'} dV = \rho \omega_2 \int_2^{2'} dx = \rho \omega_2 (\xi'_2 - \xi_2) = \rho \omega_2 \frac{\xi'_2 - \xi_2}{\Delta t} \Delta t = -\rho \omega_2 v_2 \Delta t = -\rho \omega_1 v \Delta t,$$

де dV – відповідний dm елемент об'єму, ρ – густина води, x'_1 , x_1 – координати перерізів $1-1$ та $1'-1'$ вздовж осі Ox , ξ'_2 , ξ_2 – біжучі координати перерізів $2-2$ та $2'-2'$ вздовж осі, протилежної до напрямку руху струминки після її співудару із каменем.

Підсумовуючи, запишемо

$$\Delta KP_{11'} = \rho v^2 \omega_1 \left(1 - \frac{\sin \beta}{\varepsilon(\beta)} \right) \Delta t. \quad (4.2)$$

Для визначення зміни за час Δt кількості руху $KP_{\Delta t}$ усіх елементарних струминок, які формують потік рідини, що фронтально взаємодіє із донним елементом, інтегруємо вираз (2) по площадці Ω – перерізу каменю координатною площиною yOz (рис. 4.2, б)

$$KP_{\Delta t} = \int_{\Omega} dKP = \rho v^2 \Delta t \int_{\Omega} \left(1 - \frac{\sin \beta}{\varepsilon(\beta)} \right) d\omega = \frac{1}{3} S_{\Omega} \rho v^2 \Delta t \cdot k_{CT}. \quad (4.3)$$

де $S_{\Omega} = 2br$ – площа площадки Ω , k_{CT} – інтегральний коефіцієнт стиснення потоку, для визначення якого необхідно задати функцію $\varepsilon = \varepsilon(\beta)$, що потребує значної кількості експериментальних даних. В даному викладі пропонується прийняти

$$\varepsilon(\beta) = \varepsilon = \text{const} = \frac{S_B - S_{\Omega}}{S_B},$$

де S_B – площа витіснення, тобто площа частини поперечного перерізу потоку, в якому спостерігається збурення, викликане розглядуваним каменем. Тоді для циліндричного каменя

$$k_{CT} = 3 - \frac{1,5}{\varepsilon}. \quad (4.4)$$

Згідно теореми про зміну кількості руху тіла, застосованої до скінченного відтинку потоку рідини, сила дії рідини на камінь

$$F = \frac{KP_{\Delta t}}{\Delta t} = \frac{1}{3} S_{\Omega} \rho v^2 k_{CT}. \quad (4.5)$$

Її величина є визначальною для дослідження граничної рівноваги каменя в потоці реальної рідини.

Під час проведення досліджень вважали, що донний елемент – камінь є гладким, а вода в ріці – малов'язка, тому процесами вихроутворення та в'язкісним тертям нехтували. Мінімальний розмір каменю традиційно визначали із класичного розв'язку задачі для сферичного донного елемента приведенного діаметру в річковому потоці. Для узагальнення випадку граничної рівноваги каменів, реальні камені замінювалися на сферичні донні елементи приведенного діаметра, що унеможливило визначення впливу конфігурації

каменя на його взаємодію із водним потоком.

Результати досліджень про граничну рівновагу каменя в потоці рідини

Для вирішення першого із поставлених у роботі завдань розглядається циліндричний камінь в потоці рідини, яка рухається уздовж негоризонтальної площини з похилом α (рис. 4.3). Використовуючи (4.5), отримуємо наступне відношення для граничної швидкості річкового потоку, яка викликає зрушення розглядуваного каменя з місця

$$v = Y_C \frac{1}{\sqrt{k_{CT}}} \sqrt{2g \frac{\rho_K - \rho_B}{\rho_B} \sqrt{\frac{3V_T}{2S_\Omega}}}, \quad (4.6)$$

де $Y_C = \sqrt{f \cos \alpha - \sin \alpha}$ – коефіцієнт стійкості каменя на зсув (скочення), f – узагальнений коефіцієнт опору, ρ_K, ρ_B – густина каменя та води відповідно, V_T – об'єм каменя.

За використання застосованого вище стандартного підходу отримано співвідношення для каменів різної конфігурації. Зазначимо, що формули (4.5) та (4.6) є універсальними для усіх випадків, форма каменя визначає коефіцієнт стиснення потоку k_{CT} . Запровадимо узагальнений коефіцієнт обтічності для каменя з максимальним розміром в напрямку руху потоку – D

$$Y_{OBT} = \frac{1}{\sqrt{k_{CT}}} \sqrt{\frac{3V_T}{2S_\Omega D}}. \quad (4.7)$$

Вирази коефіцієнтів стиснення та обтічності для різних типів каменів, наведено в табл. 4.1. Зірочка у випадку еліпсоїдального каменя вказує на певні

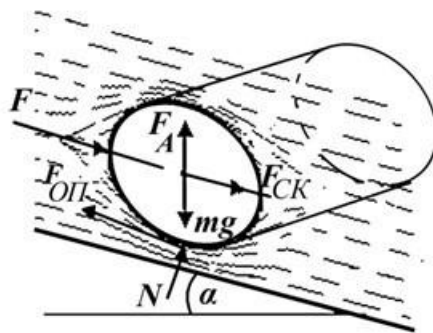


Рис. 4.3. Гранична рівновага каменя в низхідному потоці рідини: F_A – виштовхувальна сила, $F_{ОП} = (\rho_K - \rho_B) V_T g f \cos \alpha$ – сила опору, $F_{СК}, N$ – скочуюча сила та нормальна реакція дна

спрощення при отриманні наведеного відношення.

Із урахуванням (4.7), формулу (4.6) можна записати наступним чином

$$v = Y_C Y_{OBT} \sqrt{2g \frac{\rho_K - \rho_B}{\rho_B} \sqrt{D}}. \quad (4.8)$$

Зазначимо, що коефіцієнт обтічності Y_{OBT} суттєво залежить як від конфігурації каменю, так і від коефіцієнта стиснення потоку. Зокрема для $Y_{OBT}=1$ формула (4.8) співпадає із відомою формулою Ізбаша [171]. Це можливо для сферичних та еліпсоїдальних каменів у разі знехтування стисненням струминок потоку ($\varepsilon=1$), а також для каменів інших типів, як це слідує з графічних залежностей запровадженого в роботі коефіцієнта обтічності Y_{OBT} від коефіцієнта стисливості потоку k_{CT} , поданих на рис. 4.4.

Представлені результати засвідчують суттєвий вплив конфігурації каменя на граничну швидкість потоку, яка спричиняє його кочення або зсув. Чим більше значення коефіцієнта обтічності Y_{OBT} , тим більша швидкість потоку потрібна для зрушення з місця каменю та є стійкішим такий камінь до дії водного потоку.

Найвищими показниками обтічності характеризуються клиновидні камені, що є найефективнішими для берегоукріплень. Ненабагато меншими показниками обтічності характеризуються пірамідальні камені, які на даний час найчастіше використовуються у захисних накидах берегоукріплень річок. Каміні інших конфігурацій є значно скромнішими за показниками опірності до дії водного потоку.

Отримані результати можна використовувати з метою порівняльного аналізу взаємодії річкових потоків із каменями різних конфігурацій. Для кількісного аналізу такої взаємодії необхідно виявити взаємозв'язок швидкості річкового потоку з масою окремого каменя.

Друге із завдань, поставлених у даній роботі, стосується розрахунків елементів захисту берегів річок та підтоплюваних опор інженерних споруд від катастрофічної дії повеней та паводків здійснюють влаштуванням кам'яних накидів. Мінімальний розмір каменю традиційно визначають із класичного

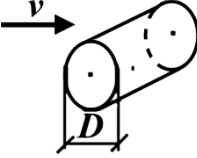
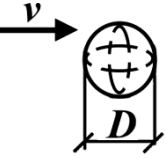
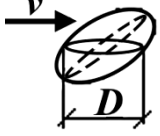
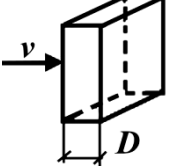
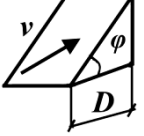
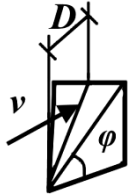
розв'язку задачі для сферичного донного елементу приведенного діаметру $D_{\text{ПР}}$ в річковому потоці, що рухається зі швидкістю v_0

$$v_0 = Y_C \sqrt{2g \frac{\rho_K - \rho_B}{\rho_B}} \sqrt{D_{\text{ПР}}} \quad (4.9)$$

Із геометричних міркувань та відношення (4.9) маса каменю, що зрушується потоком річки

Таблиця 4.1

Коефіцієнти $k_{\text{СТ}}$ та $Y_{\text{ОБТ}}$ для різних конфігурацій каменів

№	Конфігурація каменя	$k_{\text{СТ}}$	$Y_{\text{ОБТ}}$
1	циліндр 	$3 - \frac{1,5}{\varepsilon}$	$\sqrt{\frac{3\pi}{8}} \frac{1}{\sqrt{3 - \frac{1,5}{\varepsilon}}}$
2	сфера 	$3 - \frac{2}{\varepsilon}$	$\frac{1}{\sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon}}}$
3	еліпсоїд 	$3 - \frac{2}{\varepsilon}$	$\frac{1}{\sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon}}}^*$
4	паралелепіпед 	3	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
5	клин 	$3 \left(1 - \frac{\cos \phi}{\varepsilon} \right)$	$\frac{0,5}{\sqrt{1 - \frac{\cos \phi}{\varepsilon}}}$
6	піраміда 	$3 \left(1 - \frac{\cos \phi}{\varepsilon} \right)$	$\frac{1}{\sqrt{6 \left(1 - \frac{\cos \phi}{\varepsilon} \right)}}$

$$m = v_0^6 \frac{\pi \rho_K}{6} \left[\frac{1}{2gY_C^2} \frac{\rho_B}{\rho_K - \rho_B} \right]^3. \quad (4.10)$$

В практиці формула (4.10) застосовується для розрахунку берегоукріплень банкетами з кам'яних накидів. Рекомендується у часткових випадках [169] для визначення приведенного діаметру каменів вибирати $Y_C=1,0$ для випадку незначного розміру елемента рельєфу дна у порівнянні із розміром каменю донних перешкод та $Y_C=1,5$ – для близьких розмірів. Під час розрахунку розмірів каміння, яким перегороджують русла річок, за умови, що такі камені на час виконання робіт не контактують із дном потоку, слід брати $Y_C=0,86-0,9$ [169]. Загальна ж картина залежності ваги окремих каменів від швидкості потоку в різних умовах взаємодії потоку із руслом представлена у вигляді графічних залежностей, поданих на рис. 4.5.

З метою визначення впливу конфігурації каменю на параметри його взаємодії із річковим потоком, запровадимо K_Φ – коефіцієнт форми каменя –

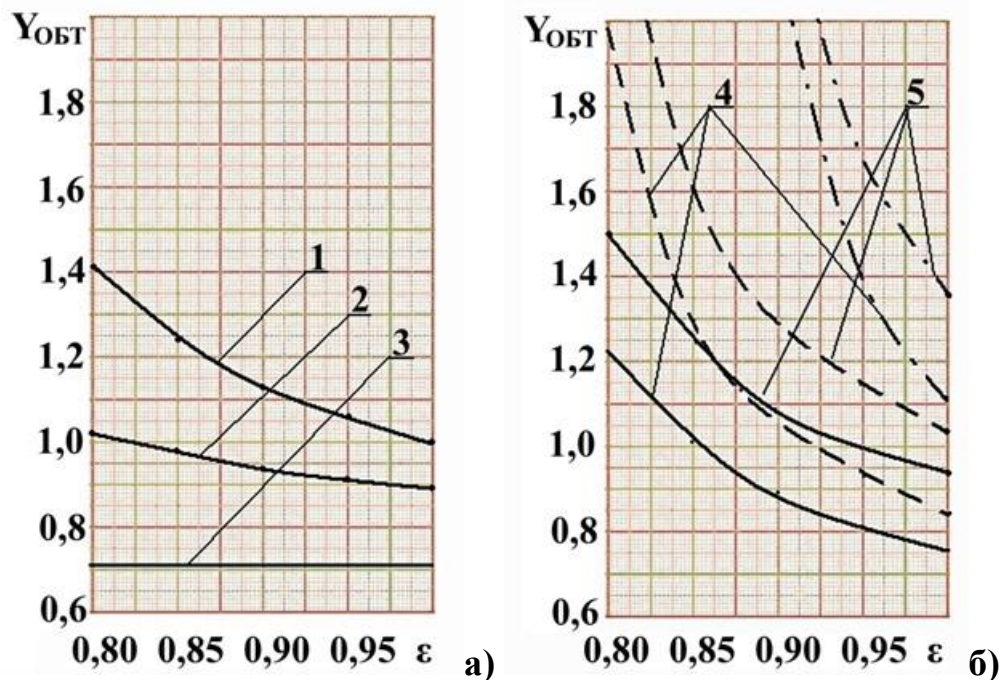


Рис. 4.4. Залежність коефіцієнта обтічності $Y_{\text{ОБТ}}$ від коефіцієнта стиснення потоку ε : *а* – 1 – сферичний та еліпсоїдальний, 2 – циліндричний, 3 – паралелепіпедальний камені; *б* – 4 – пірамідальний та 5 – клиновидний камені; для графіків 4 та 5 суцільні лінії відповідають $\varphi=45^\circ$, пунктирні – $\varphi=40^\circ$, штрих-пунктирні – $\varphi=30^\circ$

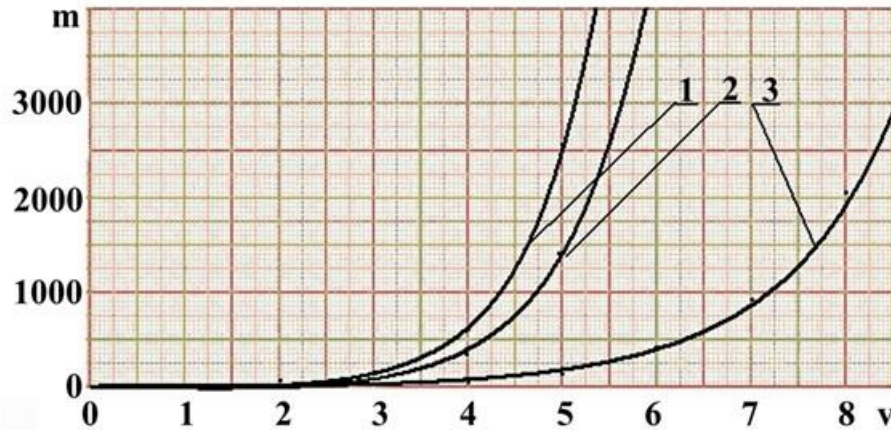


Рис. 4.5. Залежність маси m (кг) окремих каменів, що зрушуються після досягнення річковим потоком швидкості v (м/с): 1 – для $Y_C=0,9$; 2 – для $Y_C=1,0$; 3 – для $Y_C=1,5$

відношення дійсної граничної швидкості потоку v для каменю довільної конфігурації (4.8) до граничної швидкості потоку $v_0^{CF} = v_0 \cdot Y_{OBT}^{CF}$. Для сферичного каменю такої ж маси з приведеним діаметром та із врахуванням його обтічності, тут Y_{OBT}^{CF} – узагальнений коефіцієнт обтічності сферичного каменя з табл. 4.1

$$K_{\Phi} = \sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon} Y_{OBT}} \sqrt{\frac{D}{D_{IP}}}. \quad (4.11)$$

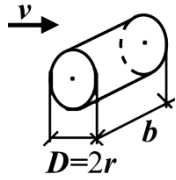
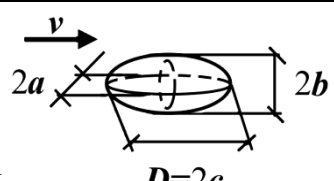
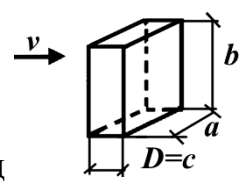
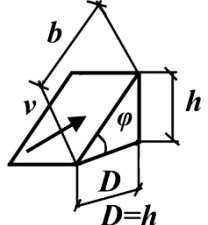
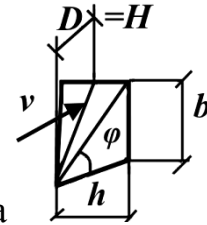
Враховуючи, що $D_{IP} = \sqrt[3]{\frac{6V_T}{\pi}}$, із (4.11) та табл. 4.1 визначено величини

K_{Φ} – табл. 4.2. Для зрушення з місця каменю з коефіцієнтом форми $K_{\Phi} < 1$, необхідна менша швидкість потоку, аніж для сферичного каменю еквівалентної ваги і навпаки – для каменю з коефіцієнтом форми $K_{\Phi} > 1$. Підсумовуючи, запишемо вираз для швидкості потоку, яка зрушує камінь масою m_K заданої конфігурації

$$v = \sqrt[6]{m_K} \sqrt[6]{\frac{6}{\pi \rho_K}} \frac{K_{\Phi} Y_C}{\sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon}}} \sqrt{2g \frac{\rho_K - \rho_B}{\rho_B}}. \quad (4.12)$$

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнта форми K_{Φ} для різних типів каменів

№	Конфігурація каменя	K_{Φ}
1	циліндр 	$\sqrt[6]{\frac{4}{3} \frac{r}{b}} \sqrt{\frac{3\pi}{8} \frac{3\varepsilon - 2}{3\varepsilon - 1,5}}$
2	сфера	1
3	еліпсоїд 	$\sqrt[6]{\frac{c^2}{ab}}$
4	паралелепіпед 	$\sqrt[6]{\frac{1}{6} \frac{c^2}{ab}} \frac{\sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon}}}{\sqrt{2}}$
5	КЛИН 	$\frac{\sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon}}}{\sqrt{1 - \frac{\cos \phi}{\varepsilon}}} \cdot 0,5 \cdot \sqrt[6]{\frac{\pi h}{3b \cdot \operatorname{tg} \phi}}$
6	піраміда 	$\frac{\sqrt{3 - \frac{2}{\varepsilon}}}{\sqrt{1 - \frac{\cos \phi}{\varepsilon}}} \frac{1}{\sqrt[6]{6}} \sqrt[6]{\frac{\pi H}{2b \cdot \operatorname{tg} \phi}}$

Із (4.12) визначаємо мінімальну для швидкості v масу каменя m_K

$$m_K = \frac{v^6}{(K_{\Phi} Y_C)^6} \frac{\pi \rho_K}{6} \left(\frac{3 - \frac{2}{\varepsilon}}{2g} \frac{\rho_B}{\rho_K - \rho_B} \right)^3. \quad (4.13)$$

Ця мінімальна маса m_K співвідноситься з масою неконфігурованого каменя m (4.10) наступним чином

$$m_K = m_0 \cdot \frac{\left(3 - \frac{2}{\varepsilon}\right)^3}{(K_\Phi)^6}. \quad (4.14)$$

Відношення (4.14) разом із графічними даними рис. 4.5 слід використовувати для розрахунку мінімальної ваги конфігурованих каменів, коефіцієнт форми каменя K_Φ визначається за даними таблиці 4.2. Зокрема для каменів із найкращою обтічністю, як це впливає із рис. 4.4 – клиновидних, у випадку $\varepsilon = 1$, $\varphi = 30^\circ$ із таблиці 4.2 визначено $K_\Phi = 1,343$. Тоді із (4.14) обчислюється коригувальний коефіцієнт для визначення ваги клиновидного каменя у порівнянні до ваги сферичного каменя, а саме: $m_K = 0,170 \cdot m$. Використання каменів інших вибраних конфігурацій слід визначати за допомогою такої ж методики. Рівняння (4.12) застосовується для визначення граничної швидкості потоку, яка може спричинити втрату стійкості конкретного наявного берегоукріплення.

Запроваджено використання коефіцієнта обтічності каменя, який дозволяє враховувати стиснення струменів річкового потоку при визначенні його граничної швидкості, що викликає зрушення каменя з місця. Коефіцієнт обтічності визначено для каменів, конфігурації яких є типовими для річкових потоків.

Запроваджено коефіцієнт форми, який дозволяє уточнювати вагу каменів, що зрушуються водним потоком, у залежності від конфігурації каменя та його обтічності. Використання запропонованого підходу передбачає уточнення маси окремих каменів, що використовуються для захисту від розмивів основ гідротехнічних споруд, оскільки в окремих випадках (клиновидні камені) коригувальний коефіцієнт може приймати значення 0,170, що дозволяє істотним чином економити ресурси, зменшуючи вагу окремих каменів у берегоукріпленнях.

Отримані формули, табличні дані, графіки та методика їх застосування є доступними для використання інженерно-технічними працівниками, водночас вони дозволяють охоплювати в розрахунках берегоукріплень обтічність

використовуваних каменів та їх конфігуративні особливості.

Отримані в роботі результати дозволяють прогнозувати напрямки подальших досліджень. Рух річкового потоку викликає зрушення з місця донних елементів – каменів та спричиняє формування потоку із полідисперсної водно – каменевої суміші. Розміри окремих каменів у такому потоці є менші аніж граничні розміри, задані формулою (4.13). Швидкість окремих каменів в суміші залежить від швидкості потоку, розміру каменів та від додаткових імпульсів, отримуваних каменями від співударів між собою та елементами русла річки. Внаслідок інтенсивного руху річкового потоку частина каменів може отримати плавучість у висхідних турбулентних струменях потоку. Рух каменя у річковому потоці характеризується лінійним поздовжнім переміщенням і обертовим рухом навколо власного центру маси, зумовленого позацентровими співударами з іншими каменями.

У зв'язку із цим вбачається необхідним продовжувати дослідження наступним чином. По-перше, – визначити параметри ударної взаємодії рухомого каменя в потоці, розмір якого визначається за допомогою даного дослідження, з нерухомими елементами русла річки або захисних банкетних накидів підтоплених фундаментів інженерних споруд. Важливим є порівняльний аналіз результатів такої взаємодії з впливом на захисні елементи русла річкового потоку без каміння. По-друге, – визначити параметри руху річкового полідисперсного потоку водно-каменевої суміші із урахуванням розподілу швидкостей по периметру живого перерізу та впливом визначених даною роботою конфігурацій рухомих каменів на такий розподіл. Це могло б дозволити прогнозування процесу формування донних наносів.

Проведені дослідження дозволили визначити параметри граничної рівноваги конфігуративного донного елемента – каменя у водному потоці на основі циліндричного донного елемента, що може призводити до плавучості такого каменя. Запроваджено використання коефіцієнта обтічності та коефіцієнта форми каменя, які дозволяють уточнювати під час обчислень розміри каменів, стійких до дії річкового потоку. Значення запроваджених

коефіцієнтів систематизовано у таблиці 4.1. Було також розроблено методику уточненого розрахунку елементів берегоукріплень річок із врахуванням конфігурації використовуваних каменів, яка полягає у визначенні базових розмірів каменів згідно рисунку 4.5 з подальшим уточненням їх маси на підставі систематизованих к таблиці 4.2 коефіцієнтів форми каменю.

4.2. Кліматичні фактори формування стоку та якості поверхневих вод басейну Стрия

В сучасних умовах щороку спостерігається швидке зростання антропогенної активності, пов'язаної з розвитком промисловості та значним використанням водних ресурсів. Зміна клімату, яка відбулася в останні десятиліття, впливає на водний режим басейну р. Стрий, що визначає доцільність вжиття певних заходів щодо збереження та відновлення водних ресурсів для водоспоживання та водокористування населення. Якість природних водотоків в Карпатському регіоні погіршується через надмірне використання води та скидання недостатньо очищених зворотних вод. В результаті виникає забруднення, засмічення, виснаження водних ресурсів, деградація річкових екосистем.

На якість води впливає не тільки антропогенне навантаження, але й природні умови. Підписання конвенції ООН про зміну клімату 175 країнами показує, що ці зміни є значною небезпекою для економічного розвитку і довкілля. Аналіз попередніх досліджень вказує на недостатні знання про довгострокові зміни клімату та їх наслідки для Карпатського регіону. Тому дуже важливо визначити залежність якісних індикаторів поверхневих вод від впливу природних факторів та їх змін у часі [181].

В роботі [182] авторами вивчені основні параметри температури повітря та опадів за даними всіх метеорологічних станцій української частини басейну р. Прут за 1990-2016 рр. Вони прийшли до висновку, що середньорічна температура повітря в басейні річки Прут зросла за аналізований період на

0,5-1,1 °C відносно норми. Однак виявлення просторово-часових закономірностей розподілу якісних показників поверхневих вод в умовах зміни клімату для нашої басейнової екосистеми не досліджували.

В закономірностях по формуванню ХС природних вод, серед найважливіших факторів є хімічний склад та середньорічна кількість опадів, які вельми залежать від кліматичних умов в басейні річки Стрий. За вертикальної кліматичної зональності Карпатських гір спостерігається закономірне зменшення температурних показників та атмосферного тиску, збільшення кількості атмосферних опадів (рис. 4.6). Середні багаторічні їх значення змінюються відповідно до геоморфологічної вертикальної зональності території. Градієнти змін річних сум опадів з висотою змінюються і становлять 80–90 мм на кожні 100 м абсолютної висоти над рівнем моря. Біля гирла сума опадів 650 мм на абсолютній висоті 239 м та більше 1200 мм у гірській частині за висот понад 1000 м [88].

Вищезгадані кліматичні особливості басейну р. Стрий визначають її термічний режим, який в силу вертикальної зональності, територіально є суттєво відмінним. В гірській частині басейну у місцях витоку струмків і джерел температура води в липні не перевищує 4–9°C та лише при віддаленні від витоку вона за сприятливих кліматичних умов наближається до максимально можливих значень. Відомо, що температура повітря визначає

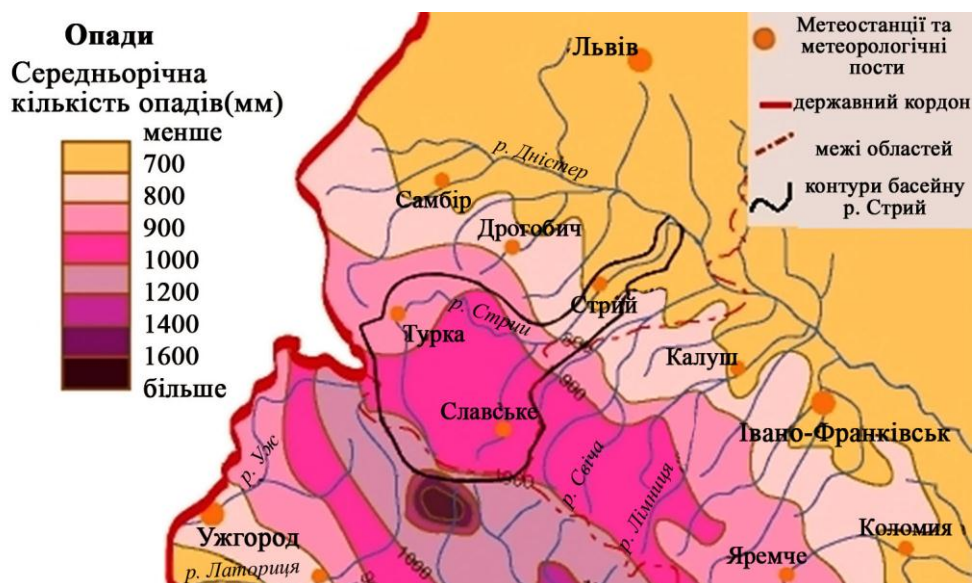


Рис. 4.6. Середньорічна кількість опадів в басейні р. Стрий [88]

температурний режим водних об'єктів та впливає на якісні характеристики гідроекосистеми [181].

Більшість фізичних властивостей води, хімічні та біологічні процеси, які в ній проходять залежать від температури. Температура потоку безпосередньо впливає на всю водну екосистему. Значні зміни температури води можуть негативно вплинути на родючість, життєвий цикл та просторово-часовий розподіл різних гідробіонтів. Підвищення температури води впливає на кінетику хімічної реакції та показники якості води. Ймовірно, що глобальне потепління призведе до зміни температури прісноводних екосистем, тому необхідно оцінити потенційний вплив глобальних кліматичних змін на стан поверхневих водних ресурсів.

Збільшення температури змінює кількість та якість води, а також може бути різним між великими та малими басейнами. Потенційні зміни температури та опадів не можна рівномірно розподілити на великі водозбірні басейни та регіональний і місцевий рівні, а також потрібно враховувати ступінь урбанізації при вивченні наслідків зміни клімату для захисту водних ресурсів. Температура води є важливим параметром якості потоку води, а моделювання температури повітря важливим засобом для оцінки поточної та майбутньої якості води (рис. 4.7).

Впродовж осіннього 2019 р. та зимового 2020 р. періодів в українських річкових басейнах були дуже складні гідрометеорологічні умови у формуванні об'ємів води при весняному водопіллі. Цей період був аномально теплим, з частим чергуванням коротких періодів пониження та підвищення температури повітря. Стійкого переходу температури повітря через нуль градусів в сторону від'ємних температур не було.

Середні зимові температури повітря були вищими кліматичної норми від 3,5 до 4,9°C, а в січні 2020 року перевищення місячної норми було на 5-7°C за зменшення загальної кількості опадів.

Незвично тепла погода спричинила відсутність снігових запасів, як основного фактору весняного стоку. Сталого снігового покриву до кінця другої

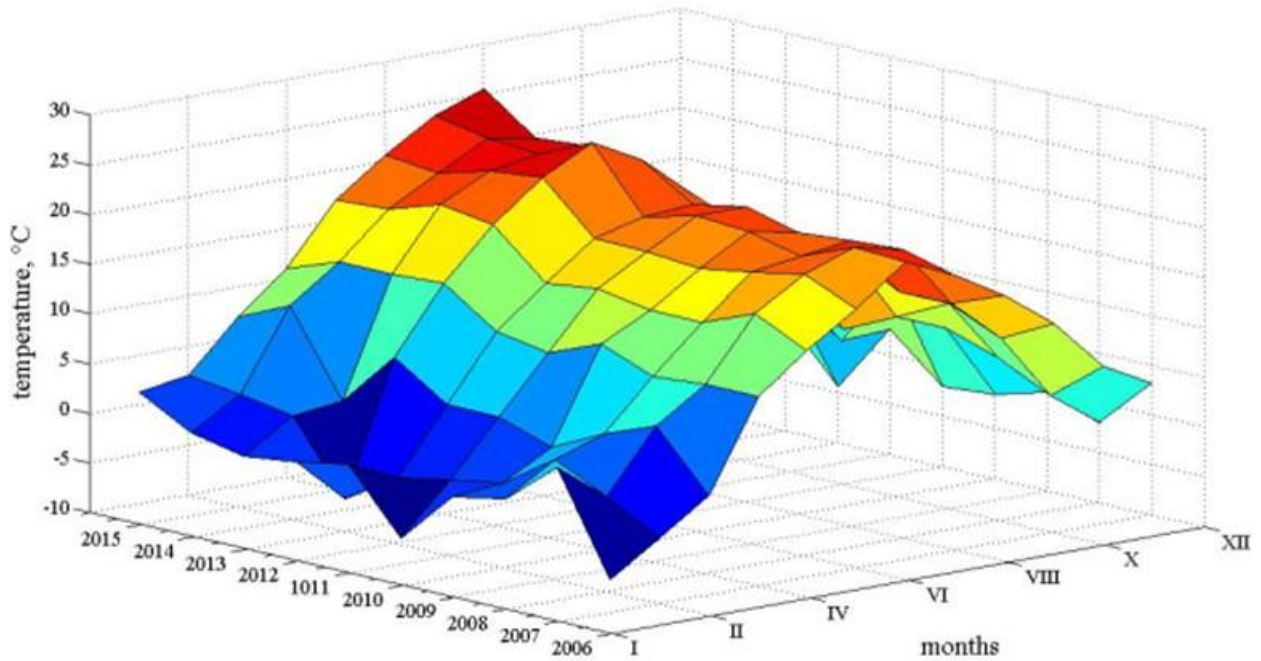


Рис. 4.7. Динаміка змін середньомісячної температури повітря за 2006-2015 рр.

[181]

декади лютого не було, окрім високогір'я Карпат, що призвело до стійкого недобору опадів за цей період та низької вологості більшості річок країни. Вологість Дністра і його рівнинних приток при формуванні паводку за дві декади лютого збільшилася і становила 20-70% місячної норми. Проведені нами дослідження дозволили встановити залежності зміни параметрів стоку за 2010-2018 рр. від природних факторів в басейні річки Стрий, які показані на рис. 4.8.

Результати цих досліджень дали можливість зробити наступні висновки:

1. В умовах відсутності снігових запасів, як основного чинника весняного стоку, показники і характер гідрологічного режиму на річках Прикарпатського регіону у 2020 р. значною мірою визначалися зміною температури повітря та випадінням опадів.

2. На річках Карпат, які є зоною потенційної паводкової небезпеки, за випадіння сильних дощів в період сніготанення, швидко формувалися небезпечні тало-дощові паводки різної висоти, що спричинили затоплення ряду

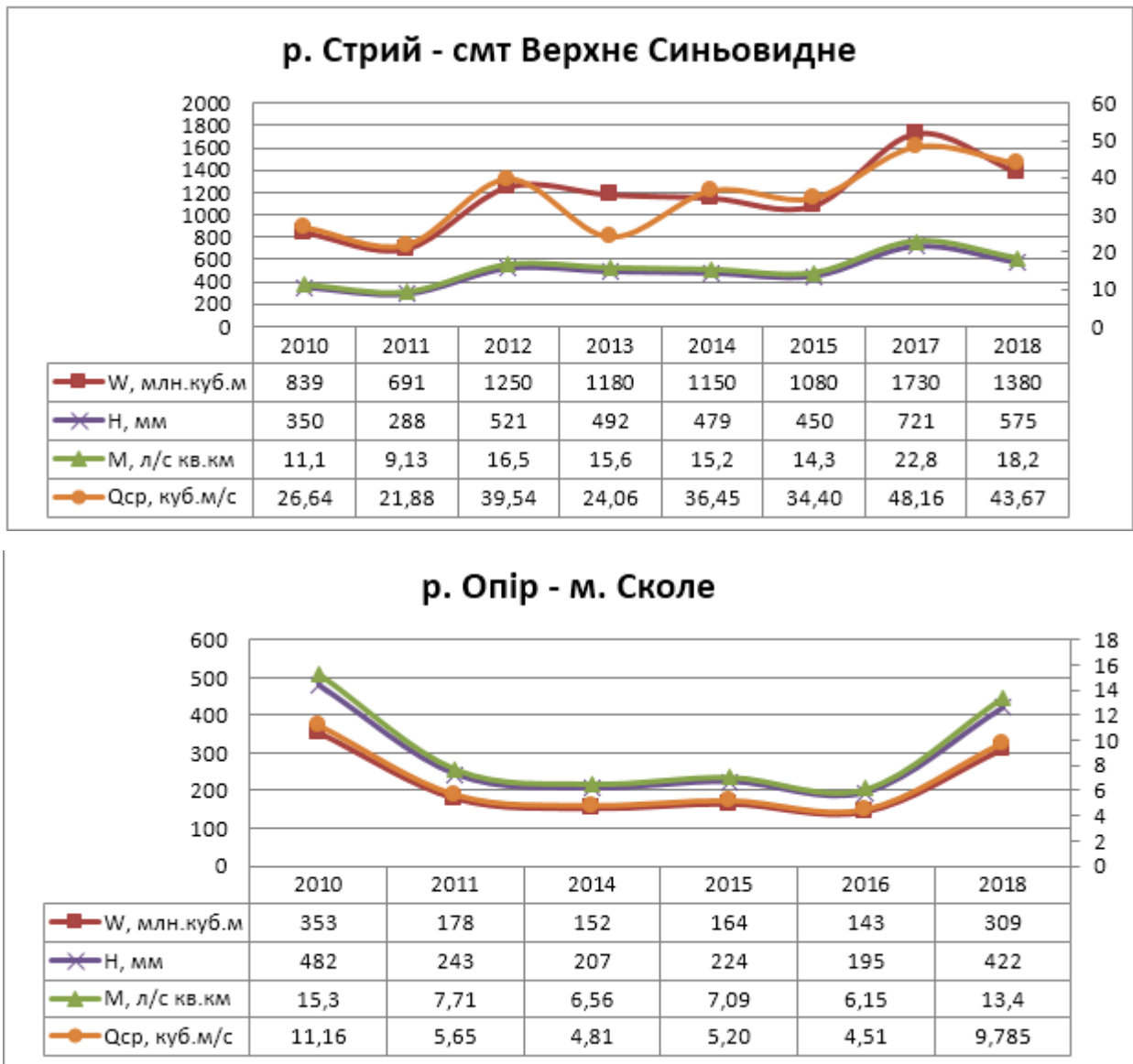


Рис. 4.8. Параметри стоку в період з 2010 до 2018 року за впливу природних факторів в басейні р. Стрий, де W, H, M – відповідно об'єми, шар та модулі стоку; Q – середні витрати річкових вод

територій Прикарпаття. Це негативно вплинуло на водозахисні дамби, приусліві території та об'єкти на них.

4.3. Процеси самоочищення річкових вод на передгірських ділянках Українських Карпат

Процеси природного самоочищення відбуваються дуже повільно та на значних ділянках від місця скиду стічних вод. В невеликих і особливо

непроточних водоймах здатність до самоочищення є незначною та має свої межі. Вичерпування самоочисних властивостей внаслідок тривалого та надмірного надходження неочищених чи недостатньо очищених стічних вод призводить до забруднення водойми [183].

Механізм та швидкості явища самоочищення в природних водоймах залежать від властивостей забруднювальних речовин і їх кількості. Коли у водойму скидається незначна кількість недостатньо очищених стічних вод (НОСВ), органічні речовини піддаються біохімічному розщепленню починаючи від місця їх випуску. Встановлено, що біоценози мікроорганізмів вздовж течії річки чітко розмежовуються на зони сапробності. Якщо стічні води (СВ) скидати в невеликі річки, то вони майже по всій довжині, а великі річки на відстані до 60 км виконують функцію очисної споруди.

Процес самоочищення (ПС) водойми від забруднень можна поділити на дві стадії, а саме розбавлення забрудненого потоку завдяки перемішуванню з об'ємом води водотоку та безпосередньо самоочищення. В проточній водоймі стічні води разом із річковою водою, яка їх розбавляє, рухаються за течією річки. При цьому розрізняють такі зони: випуску СВ; практично повного змішування стічних вод із водою водойми; найбільшого забруднення та відновлення, де завершується ПС. Інтенсивність цього процесу залежить від місця розташування природних водотоків (географічний чинник), їх морфометричних характеристик (швидкості течії, глибини), кліматичних та мікрокліматичних умов, гідрологічного режиму, стану ґрунтів та рослинності, а також впливу людської діяльності (антропогенний фактор).

Індикатором стану всієї річкової мережі Західної України є стан малих річок Карпатського регіону. Серед основних причин деградації та забруднення малих річок є зміна гідрологічного режиму внаслідок замулення русел, екстенсивне використання водних ресурсів без врахування можливостей їх самовідновлення та самоочищення, а також використання старих технологій очистки промислових стоків, які є причиною антропогенного навантаження на річкові екосистеми [183].

Малі річки це початкові ланки річкової системи, тому змінювання їх режиму та якості води впливають на всю гідрографічну мережу. Вкрай важливо проводити спеціальні комплексні заходи для захисту малих річок від зменшення водності, забруднення і пересихання та спрямовувати їх на ліквідацію негативного впливу антропогенних факторів.

Нами проведено дослідження процесів самоочищення річки Стрий на ділянці від пункту спостереження смт. В. Синьовидне до місця її впадіння в р. Дністер за період 2016-2020 рр. Отримано залежності зміни показників хімічного складу річкової води спричинені антропогенним впливом (рис. 4.9-4.23). На рис. 4.9 показано зміну середньомісячних значень БСК₅ (мг/дм³) за 2020 р. Спостерігаємо максимальну величину його зростання після скиду очищених стічних вод з очисних споруд (ОС) м. Стрий, але завдяки здатності річки до самоочищення значення БСК₅ стають відповідними до вимог ГДК у місці впадіння в р. Дністер.

Дослідження вказують на зменшення кількості розчиненого кисню спричинене антропогенним впливом урбанізованої території м. Стрий, мінімальне значення спостерігається після скиду з очисних споруд (рис. 4.10). Однак вони залишаються відповідними до гранично допустимих значень (ГДК).

Проведені лабораторні аналізи дозволили отримати графічні залежності зміни середньомісячних значень азоту амонійного, нітритів та нітратів (рис. 4.11-4.13), які також підтверджують достатню здатність річки Стрий до самоочищення. На графіку рис. 4.11 спостерігаємо значне зростання азоту амонійного в лютому місяці 2020 року у місці впадіння в р. Дністер, яке можна пояснити значним об'ємом зосередженого скиду стоків целюлозо-паперового комбінату м. Жидачів. Вплив цього скиду бачимо також у квітні-травні, що спричинене зменшенням об'єму весняного стоку в умовах відсутності снігових запасів у 2020 р. Дослідження вмісту нітритів (рис. 4.12) та нітратів (рис. 4.13) в річковій воді у 2020 р. показали зростання нітритів, яке спричинене недавніми скидами НОСВ урбанізованої території м. Стрий.

Перевищення нітритів вище ГДК спостерігається у В. Синьовидному і у серпні-вересні, що може бути спричинене скидами очисних споруд м. Сколе та внесенням добрив при оранці земель сільськогосподарського призначення. Показники нітритів зростають також у грудні, що спричинене сезонним зменшенням об'єму річкового стоку.

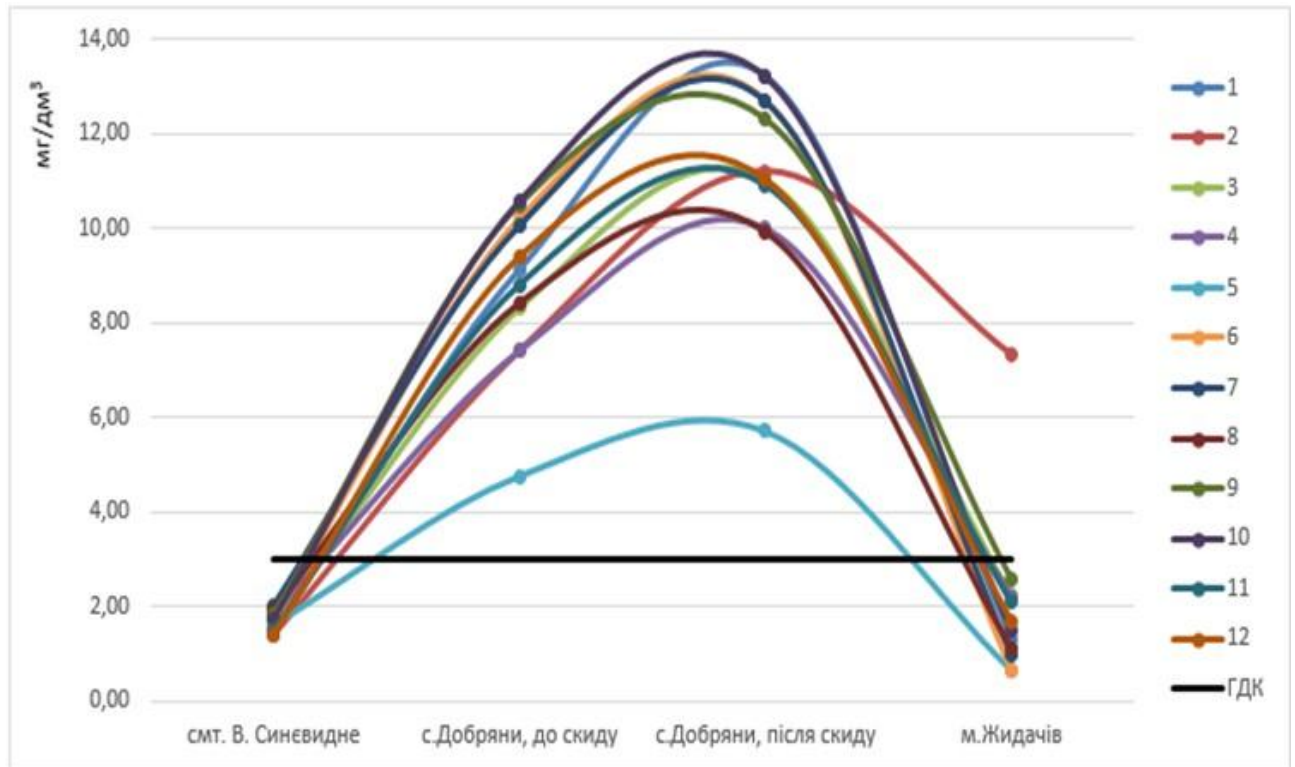


Рис. 4.9. Зміна середньомісячних значень БСК₅ (мг/дм³) за 2020 р.

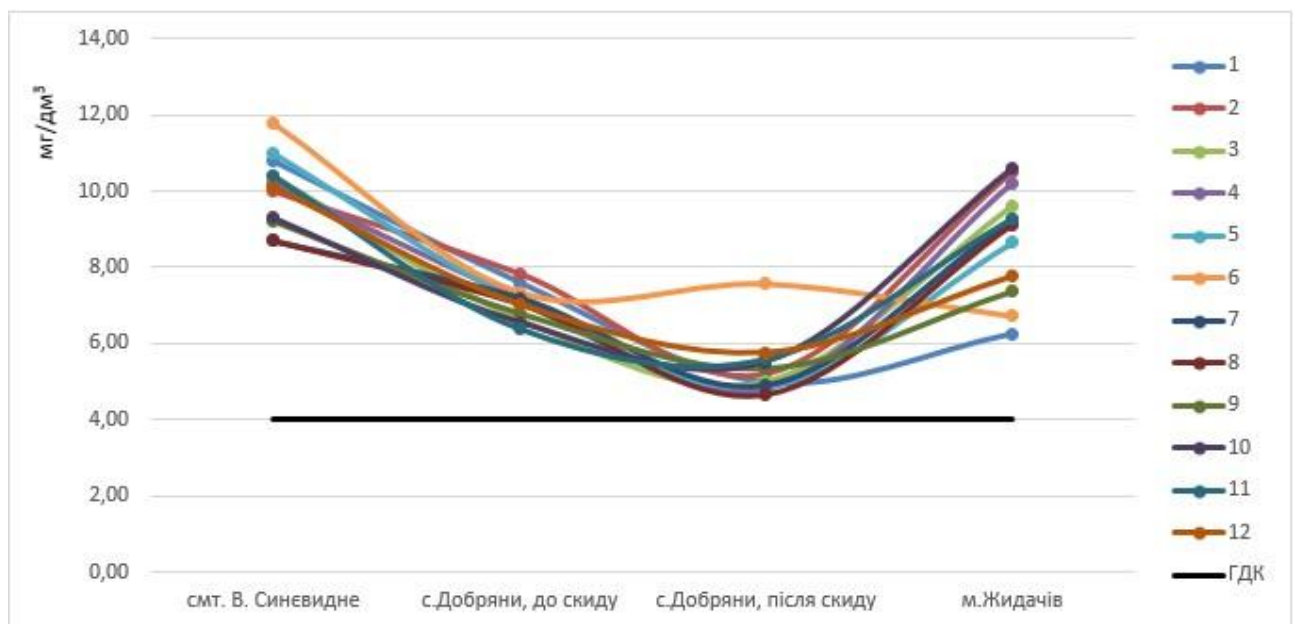


Рис. 4.10. Зміна середньомісячних значень розчиненого кисню (мг/дм³) за 2020 р.

Аналіз вмісту нітратів за цей період показує їх суттєве зменшення на ділянці від смт. В. Синьовидне до місця впадіння річки в р. Дністер, що можна пояснити переважанням рівнинної течії в нижній частині басейну та збільшення донних мулових відкладень. За граничного ГДК, яке становить 40 мг/дм^3 показники нітратів знаходяться в межах $0,04\text{--}3,65 \text{ мг/дм}^3$, що вказує на осаджування завислих та переміщення донних частинок в річковому потоці. Для визначення впливу цих процесів необхідні подальші дослідження гідрохімічного складу донних відкладень, що допоможе встановити вплив

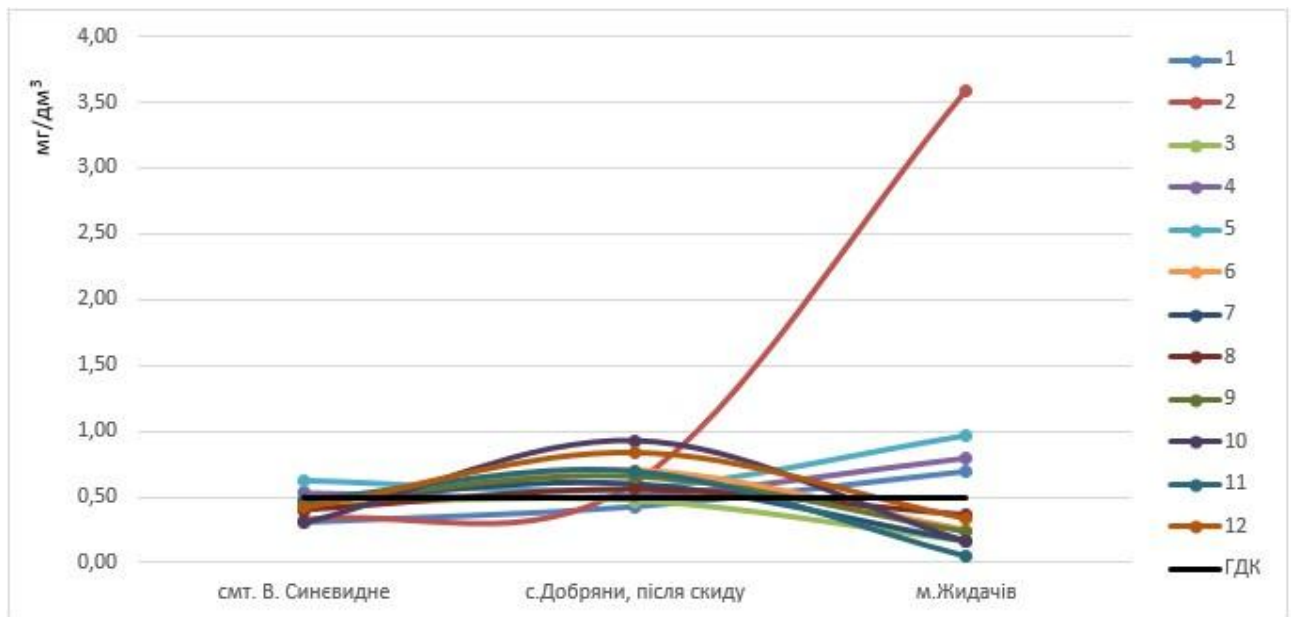


Рис. 4.11. Зміна середньомісячних значень азоту амонійного (мг/дм^3) за 2020 рік.

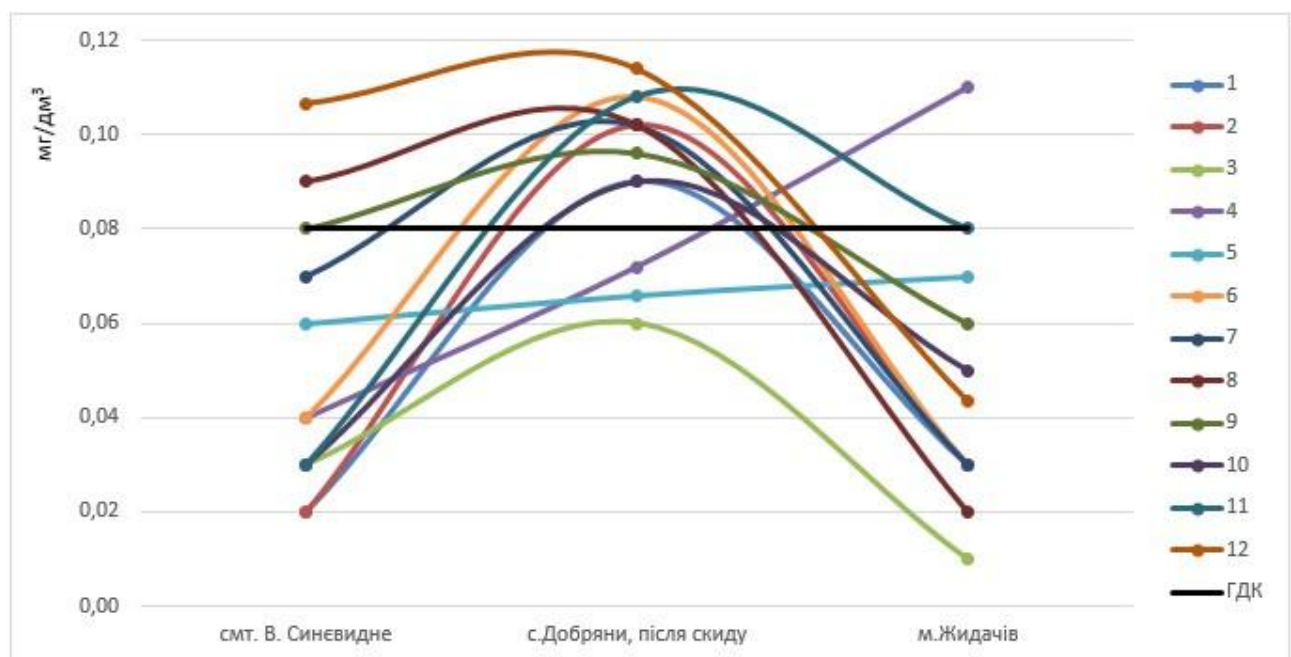


Рис. 4.12. Зміна середньомісячних значень нітритів (мг/дм^3) за 2020 рік.

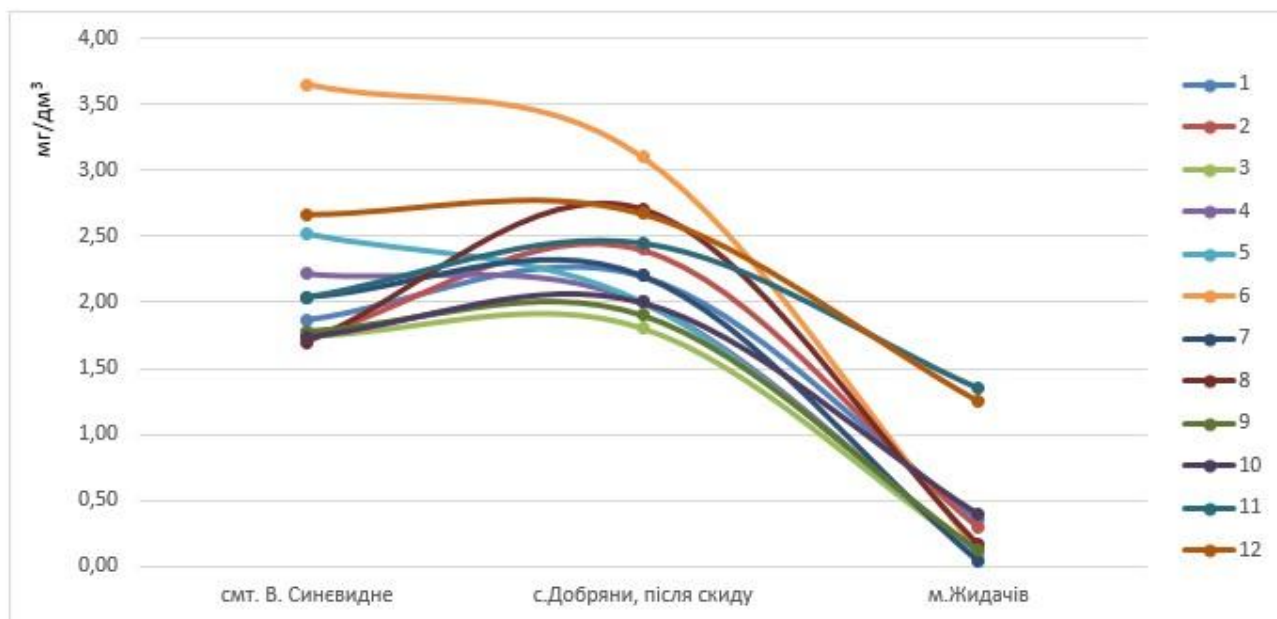


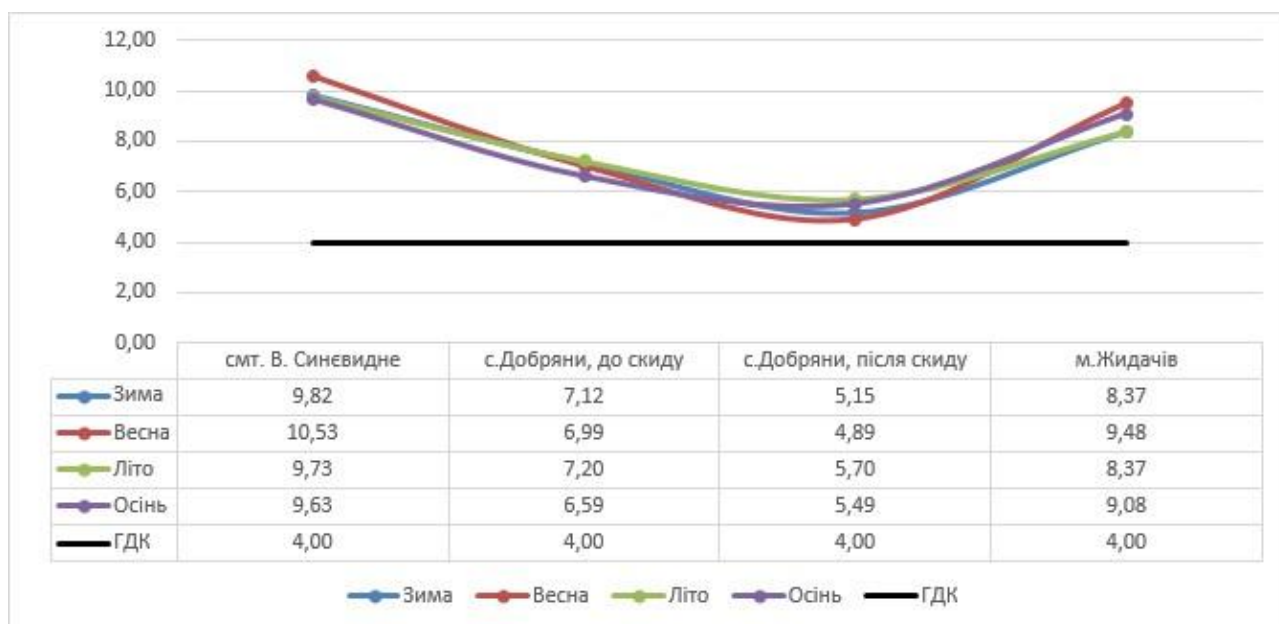
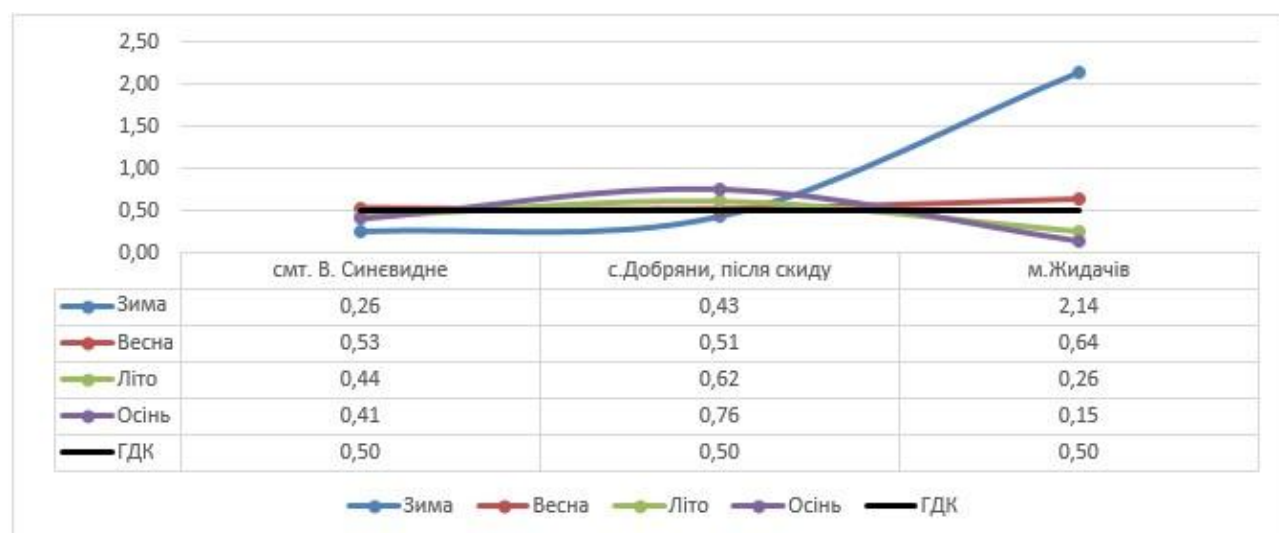
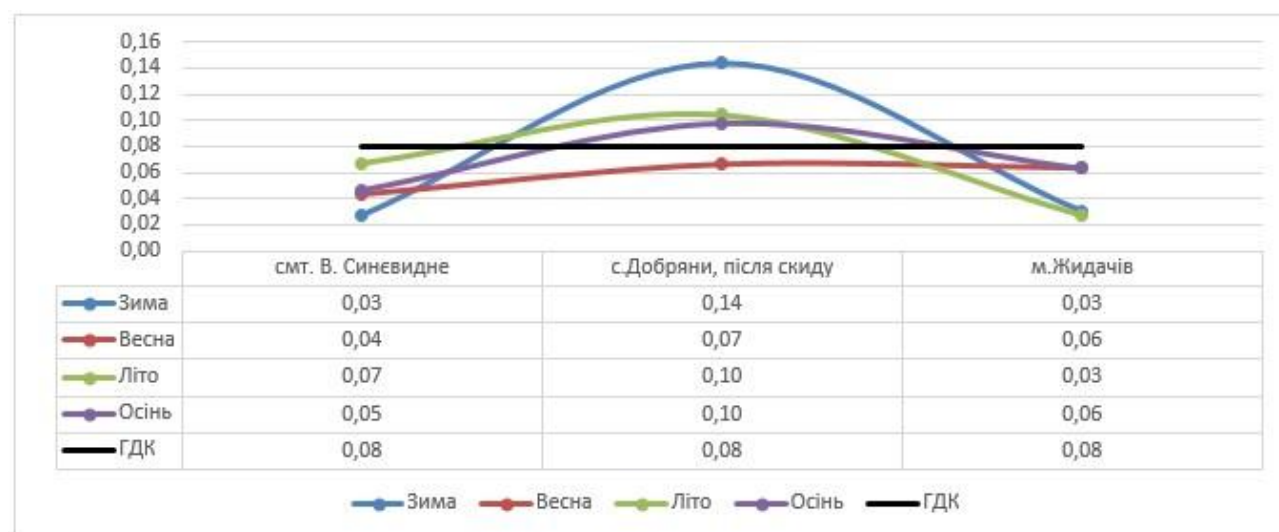
Рис. 4.13. Зміна середньомісячних значень нітратів (мг/дм^3) за 2020 р.

антропогенних факторів на акумулювання шкідливих речовин в нижній течії річки Стрий. Наведені вище графічні залежності показують зростання здатності річки до самоочищення у весняно-літній період. Цьому сприяють як кліматичні фактори, так і збільшення річкового стоку спричинене випаданням дощів та сніготаненням.

Проведені дослідження дозволили отримати середні сезонні значення величин БСК₅, РК, азоту амонійного, нітритів та нітратів за 2020 р. (рис. 4.14-4.18). На цих залежностях бачимо зростання сезонних показників у весняно-літній період, а також вплив урбанізованої території м. Стрий та стоків міських



Рис. 4.14. Зміна середніх сезонних значень БСК₅ (мг/дм^3) за 2020 р.

Рис. 4.15. Зміна середніх сезонних значень РК (мг/дм³) за 2020 р.Рис. 4.16. Зміна середніх сезонних значень азоту амонійного (мг/дм³) за 2020 р.Рис. 4.17. Зміна середніх сезонних значень нітритів (мг/дм³) за 2020 р.

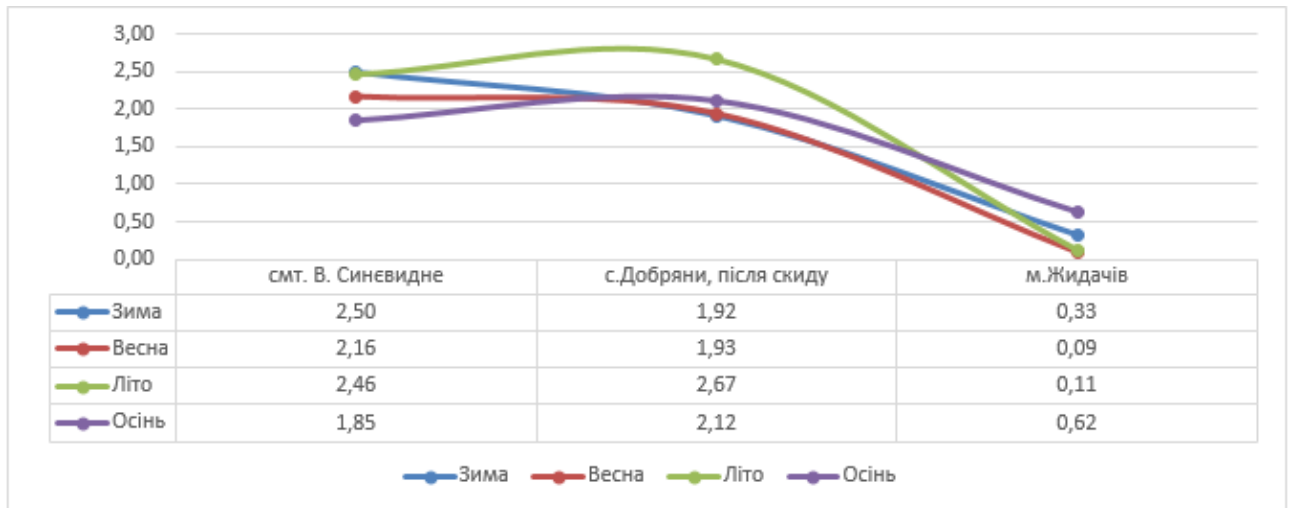


Рис. 4.18. Зміна середніх сезонних значень нітратів (мг/дм³) за 2020 р.

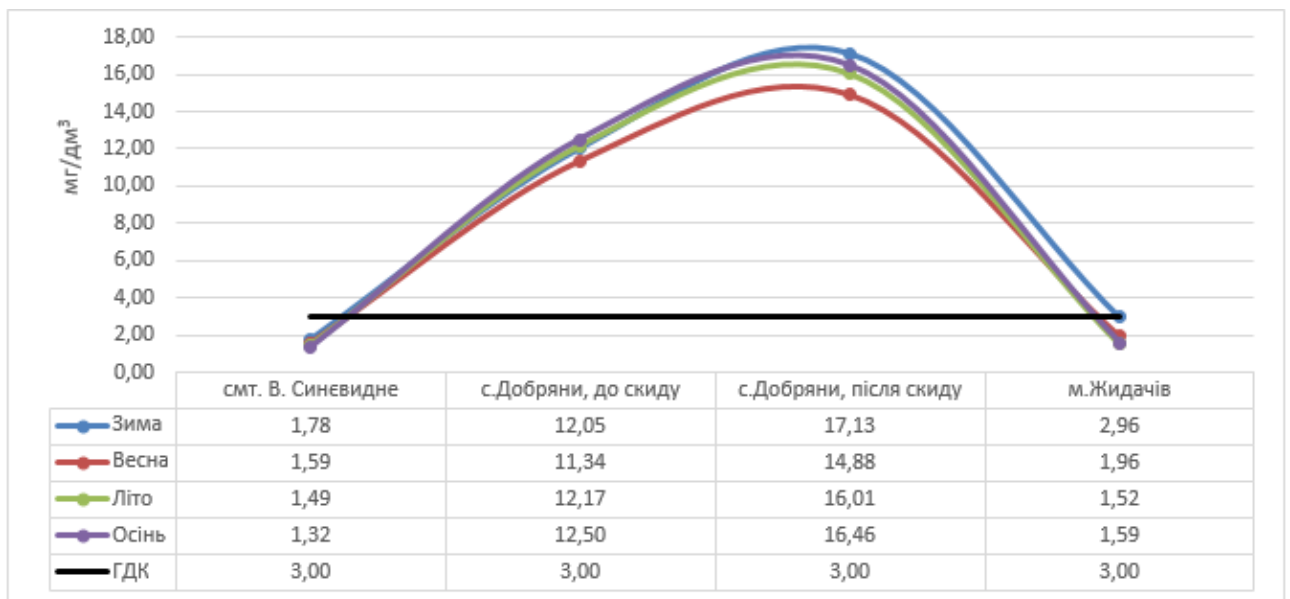


Рис. 4.19. Зміна багаторічних сезонних значень БСК₅ (мг/дм³) за 2016-2020 рр.

очисних споруд. Основні показники відновлюють початкові значення поблизу м. Жидачів, що підтверджує наше припущення про задовільну здатність басейну р. Стрий до самоочищення.

Аналіз багаторічних сезонних значень величин БСК₅, розчиненого кисню, азоту амонійного, нітритів та нітратів за 2016-2020 р. дозволили отримати залежності, які показані на рис. 4.19-4.23. На цих графіках бачимо постійний вплив скидів недостатньо очищених СВ після очисних споруд м. Стрий та поверхневого стоку з прилеглих територій, який спричиняє перевищення багаторічних значень БСК₅ (рис. 4.19) та зменшення вмісту розчинного кисню

(рис. 4.20). Показники азоту амонійного за цей період також зростають (рис. 4.21), особливо за зимовий період. Аналіз величин нітритів та нітратів показує зростання нітритів (рис. 4.22), що вказує на наявність свіжих забруднень, які спричинені вказаними вище причинами, проте вміст нітратів знаходиться значно нижче ГДК (рис. 4.23).

Системні багаторічні дослідження показників хімічного складу річкової води за 2016-2020 р. показали значне антропогенне навантаження на природні

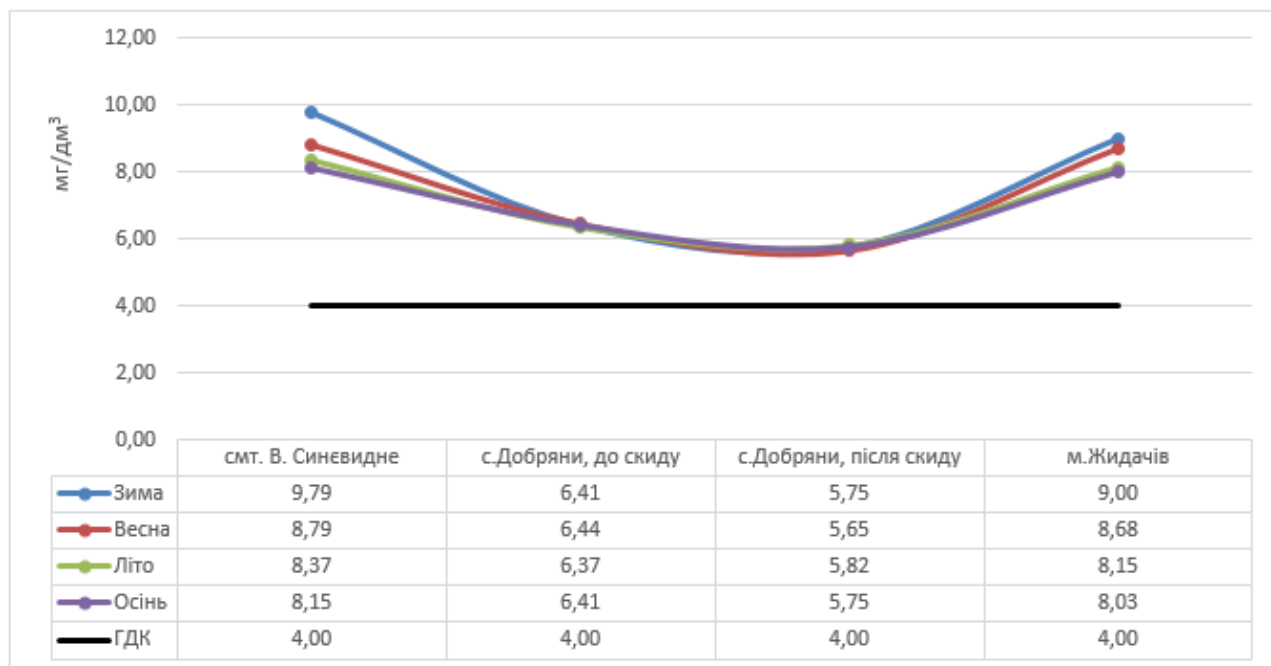


Рис. 4.20. Зміна середніх багаторічних сезонних значень розчиненого кисню (мг/дм³) за 2016-2020 рр.

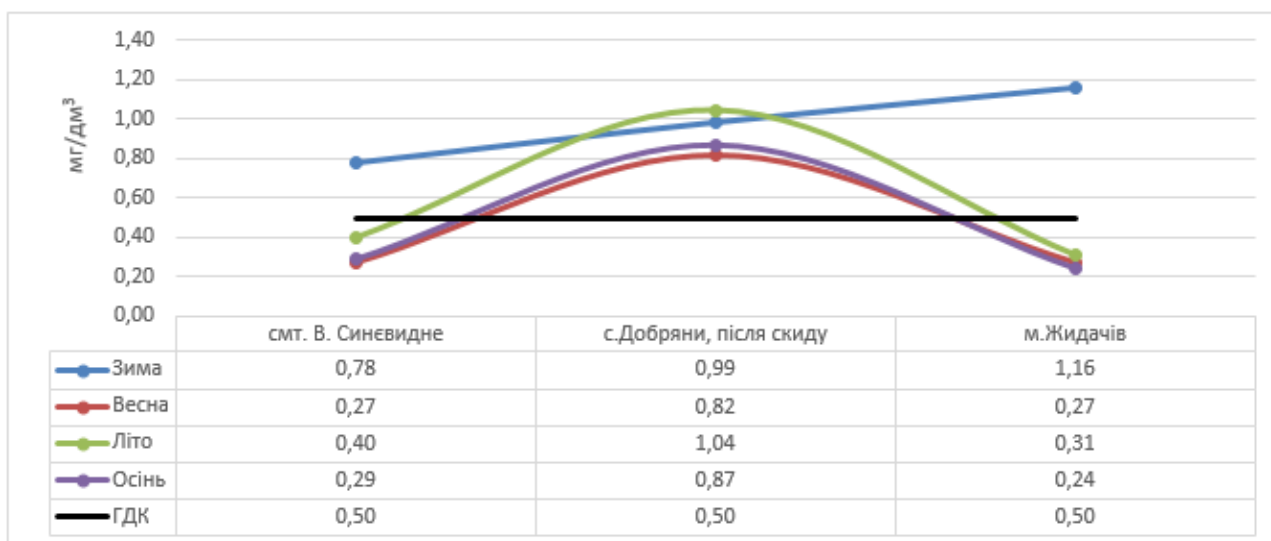


Рис. 4.21. Багаторічні сезонні значення азоту амонійного (мг/дм³) за 2016-2020 рр.

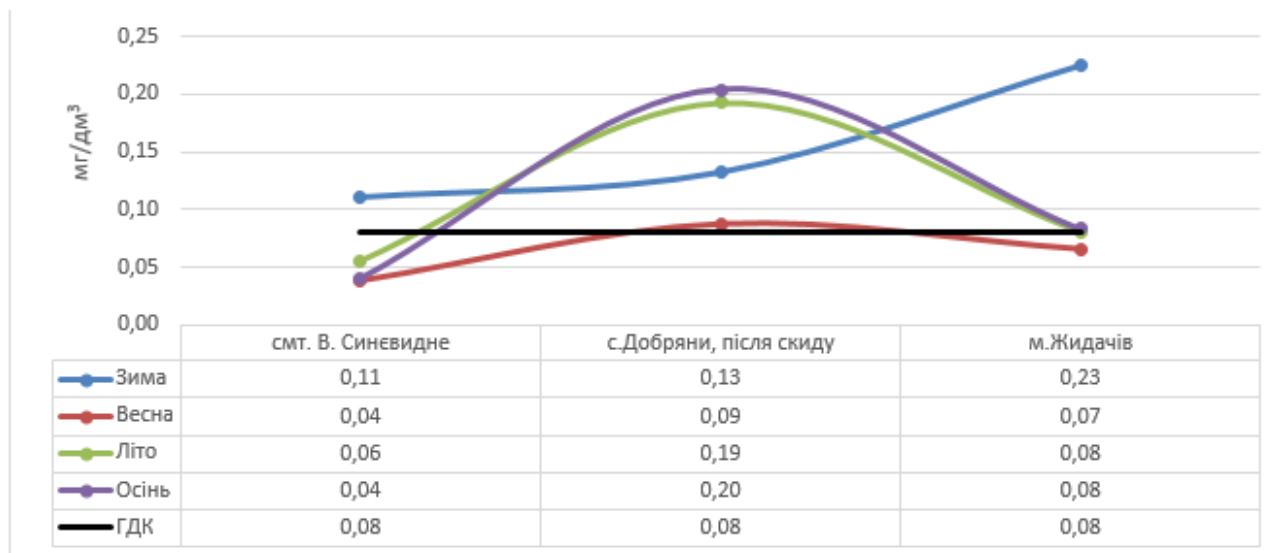


Рис. 4.22. Зміна багаторічних сезонних значень нітритів (мг/дм^3) за 2016-2020 рр.

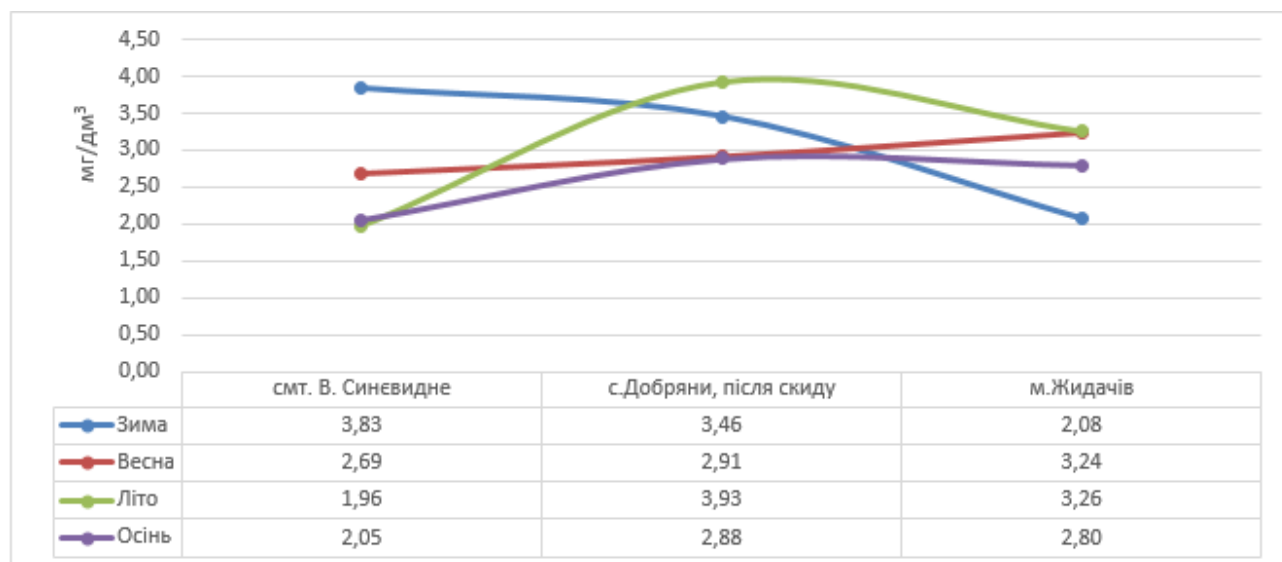


Рис. 4.23. Зміна багаторічних сезонних значень нітратів (мг/дм^3) за 2016-2020 рр.

води в басейні річки Стрий. Проте в ньому достатньо активно проходять процеси самоочищення, які спричинені гідрологічними і гідроморфологічними характеристиками річки, а також наявністю гідродинамічно-активних ділянок на передгірських територіях басейну. Тому на даний час не спостерігається стійкого перевищення вмісту забруднюючих речовин відносно ГДК (рис. 4.19-4.23).

4.4. Гідрогеологічні процеси формування водоносних горизонтів та основні показники якості питної води Стрийського водозабору

Згідно умов акумулювання підземних вод в порих та тріщинному просторі гірських порід і закономірностей їхнього руху, басейн р. Стрий розміщений в межах двох великих гідрогеологічних територій, а саме гідрогеологічної ділянки Східних Карпат і Передкарпатського артезіанського басейну, які мають мінімальні техногенні зміни якості підземних вод (рис. 4.24). Враховуючи гідрогеологічну будову, підземні води в басейні річки Стрий формуються у трьох головних геологічних структурах. Це водоносні комплекси алювіальних четвертинних відкладів, еолових четвертинних відкладень та зони екзогенної тріщинуватості флішових відкладів палеогену та крейди [184].

За течією річки Стрий, на територіях між с. Розгірче та с. Дуліби, сформований водоносний горизонт Стрийського родовища питних підземних вод. Родовище використовується трьома водозаборами: Любинецьким, Братківським і Жулинським. Свердловини водозаборів розміщені на берегах річки. Видобування на Братківському та Жулинському проводиться з метою господарсько-питного водопостачання міст Львова, Стрия та Моршина, а Любинецький водозабір забезпечує водою міста Дрогобич, Трускавець, Стебник та Борислав (рис. 4.25) [26].

Відповідно до вимог, які передбачені у Водному кодексі України, враховуючи гідрологічні умови живлення, особливості геологічної будови, для цього родовища підземних вод було встановлено та затверджено зони санітарної охорони (ЗСО). До ЗСО із суворим режимом належать території із огороженням довкола артезіанських свердловин та водозабірних споруд радіусом 50 метрів. Всяке господарювання, не пов'язане із забором води, тут заборонено (застосовувати органічні та мінеральні добрива, отрутохімікати, випасати худобу, скидати сміття тощо) [141].

В зоні обмеження від біологічних забруднювачів (другий пояс ЗСО) проходить стримування цього забруднення в заплавах річок Стрия і Опору

(ширина 720 метрів), а зона обмежень хімічних забруднень третього поясу ЗСО призначена для захищення проти можливого такого забруднення, що можуть спричинити нафтові і газові викиди та інше. До неї належить вся площа водозбору в басейні річки Стрий.

Контролювання якісних показників питної води у водопроводах України в основному проводять до надходження її в розподільчу мережу [185]. Для отримання якісних показників питної води у мережі водопроводу міста Стрия відбирання проби при аналізі проводили на всіх артезіанських свердловинах водозбору в період від 2016 до 2019 рр., а для узагальнених даних відбирання



Рис. 4.24. Річка Стрий біля с. Гірне: а) надзаплавні тераси; б) русло та руслові гравійно-галькові відкладення

робили на НС 2-го підйому у резервуарі чистої води (РЧВ). Результати, які отримано в цих дослідженнях показані на рисунках 4.26-4.34 [186, 187]. Основні показники питної води порівнювали з гранично-допустимими концентраціями згідно ДСанПін 2.2.4-171-10.

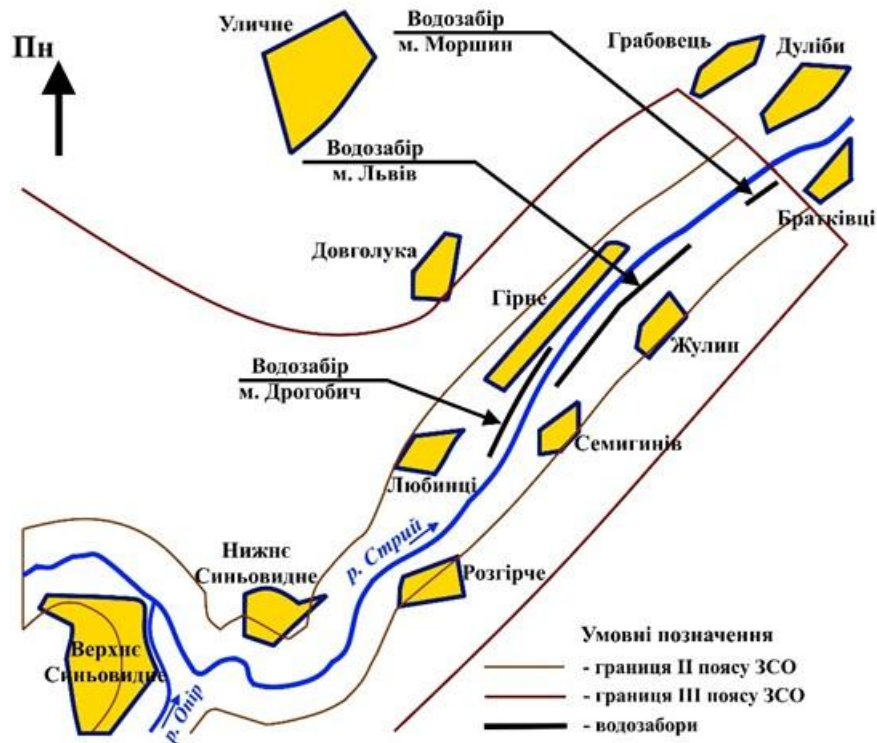


Рис. 4.25. Розміщення водозаборів родовища підземної води на річці Стрий [186]

Лабораторні дослідження показників артезіанської води на свердловинах Стрийського водозабору за 2016-2020 р. дозволили зробити наступні висновки:

1. На артезіанській свердловині № 24 у 2016 р. спостерігалось незначне зростання рН питної води відносно інших свердловин, проте у 2017-2020 рр. його значення зменшилось і стало співрозмірним іншим свердловинам (рис. 4.27).

2. Значення рН всіх свердловин за період дослідження не перевищували ГДК для питної води згідно ДСанПін 2.2.4-171-10.

3. Вміст нітратів артезіанської води у свердловинах за 2019-2020 рр. значно знизився, що пояснюється покращенням дотримання вимог водоохоронної зони водозабору (рис. 4.29).

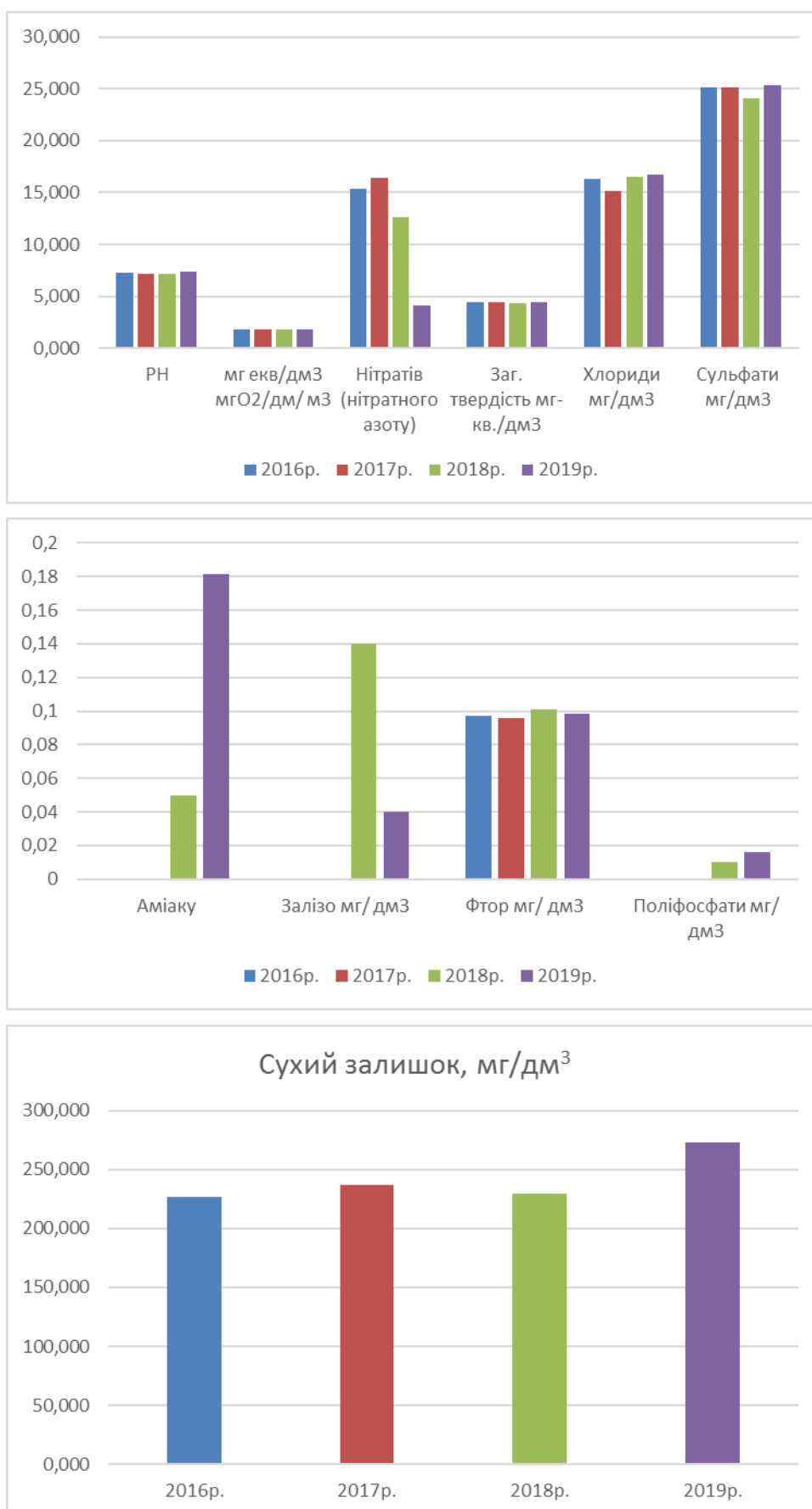


Рис. 4.26. Якісні показники питної води у мережі водопроводу міста Стрия за 2016-2020 роки

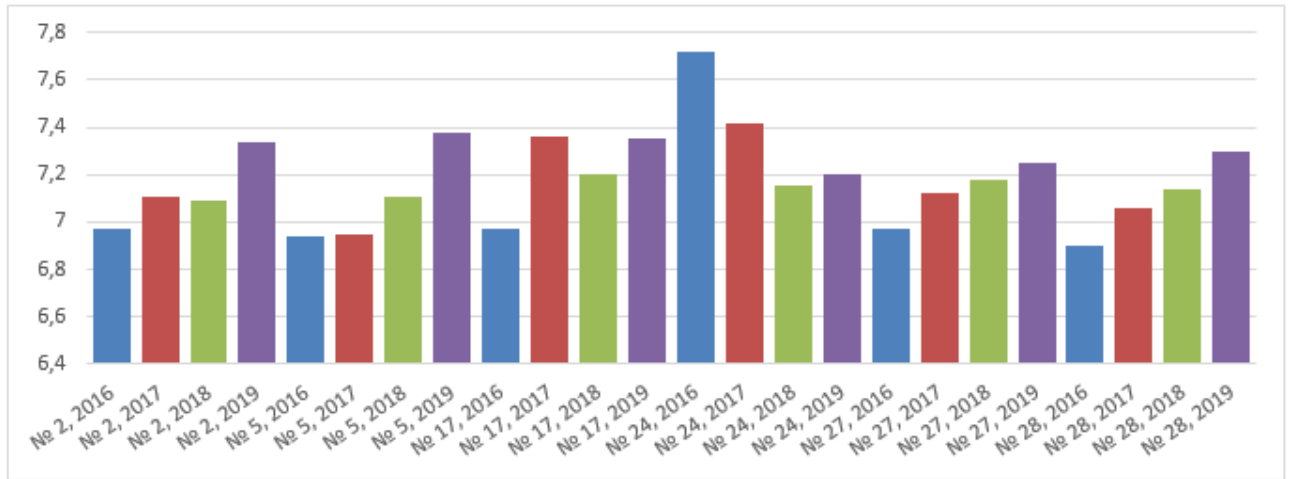


Рис. 4.27 Показники рН питної води свердловин Стрийського водозабору за 2016-2020 рр. (ГДК 6,5-8,5)

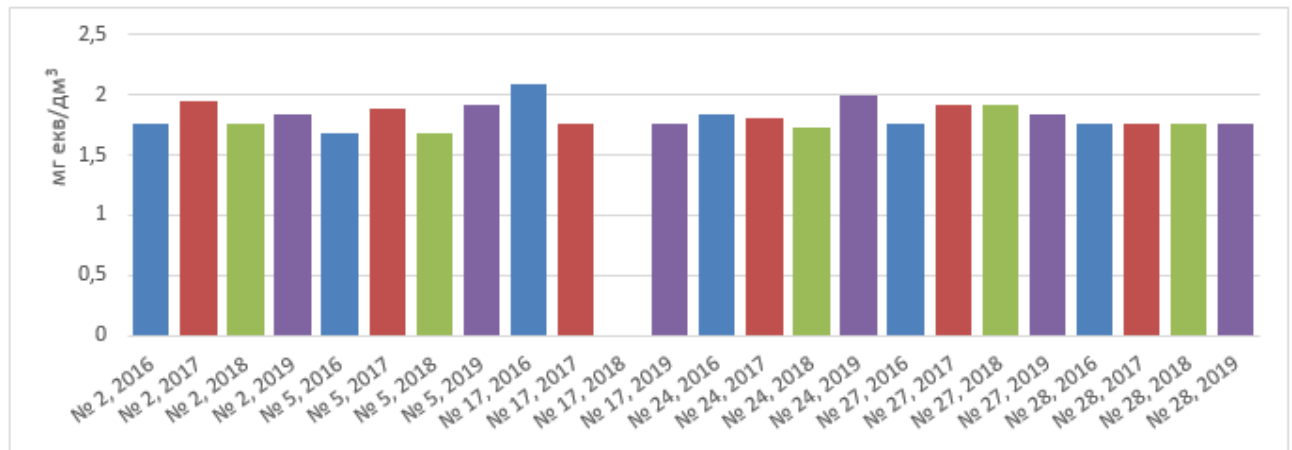


Рис. 4.28. Значення розчиненого кисню у питній воді свердловин водозабору за 2016-2020 рр. (мг екв/дм³) (не нормується)

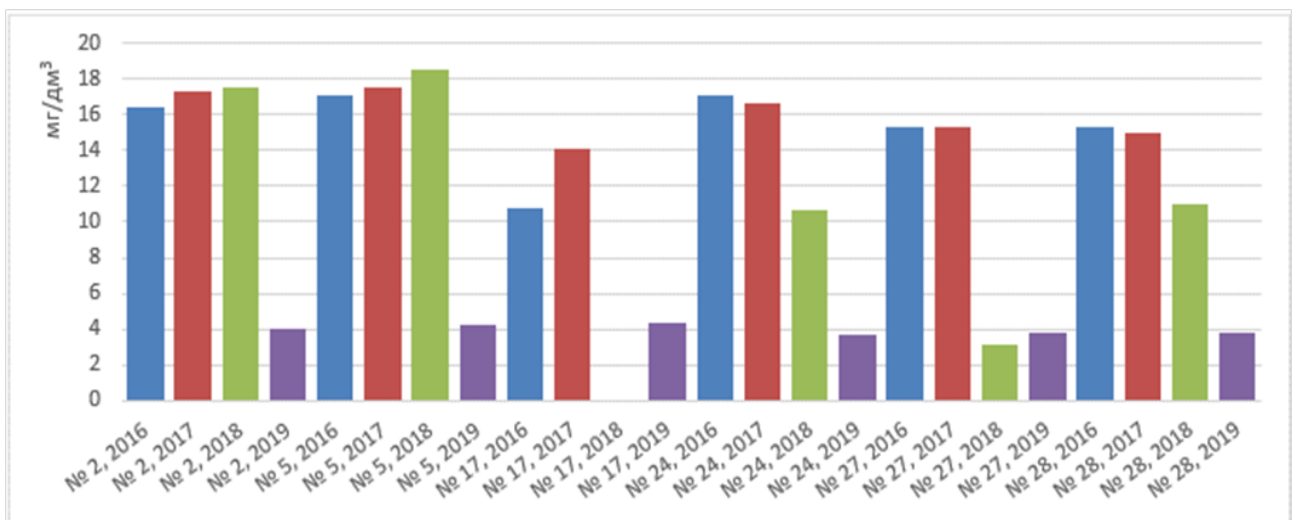


Рис. 4.29. Вміст нітратів (нітратного азоту) питної води свердловин Стрийського водозабору за 2016-2020 рр. (мг/дм³) (ГДК ≤50)

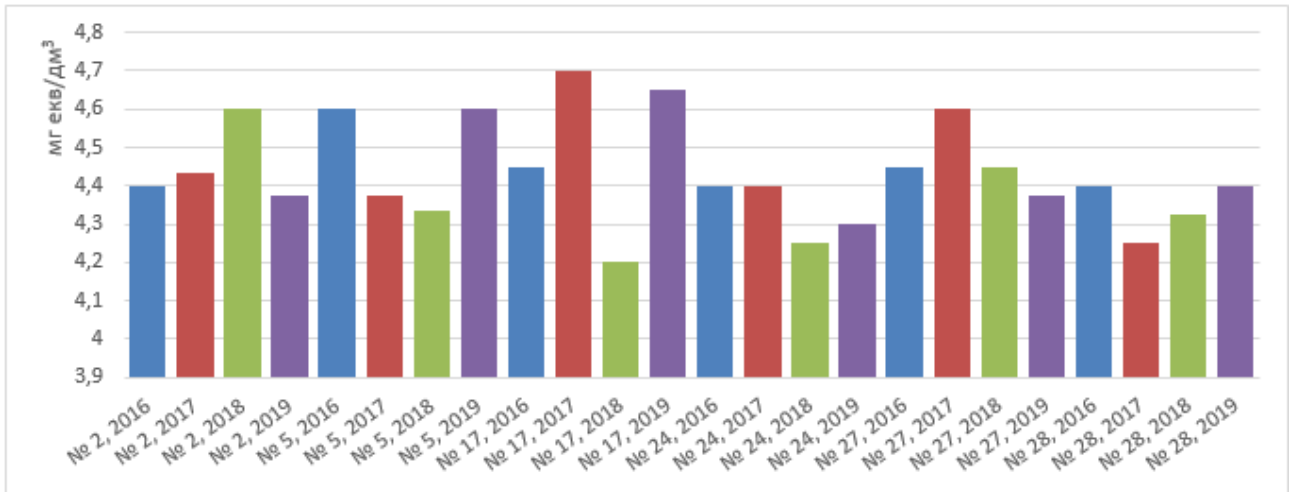


Рис. 4.30. Зміна загальної твердості води питної води свердловин водозабору за 2016-2020 рр. (мг екв./дм³) (ГДК ≤7,0)

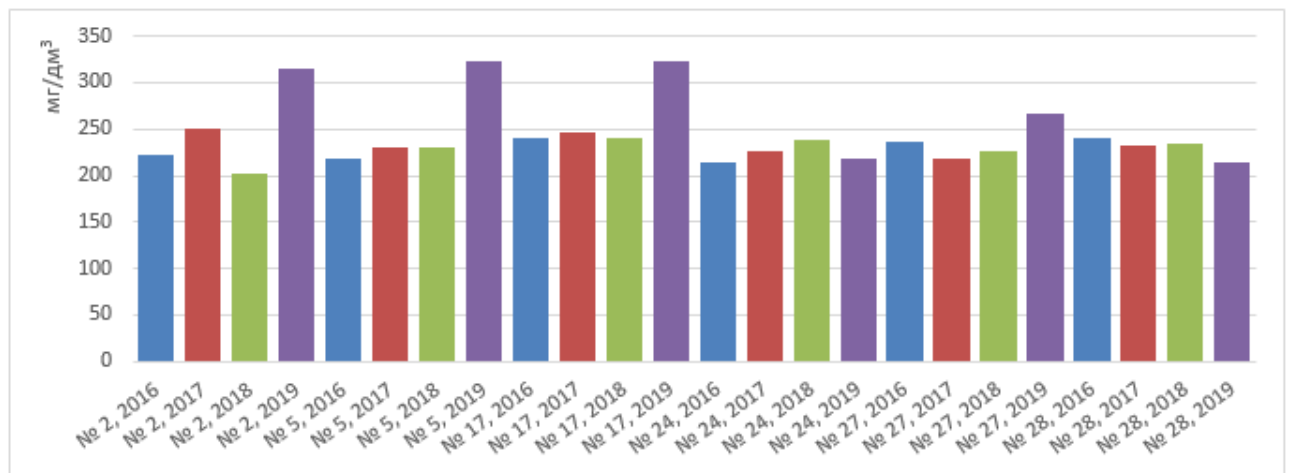


Рис. 4.31. Величина сухого залишку питної води свердловин Стрийського водозабору за 2016-2020 рр. (мг/дм³) (ГДК ≤1000)

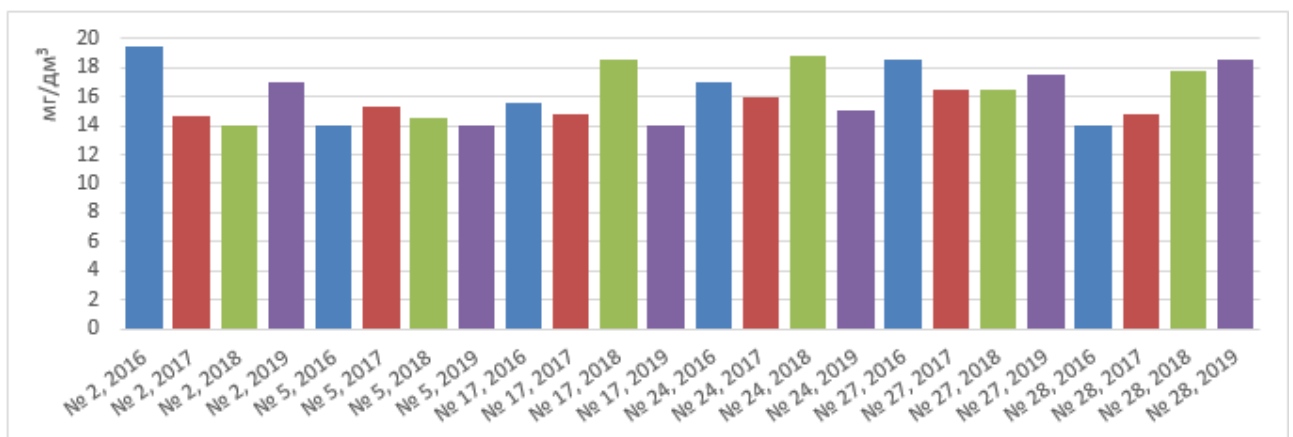


Рис. 4.32. Вміст хлоридів у питній воді свердловин водозабору за 2016-2020 рр. (мг/дм³) (ГДК ≤250)

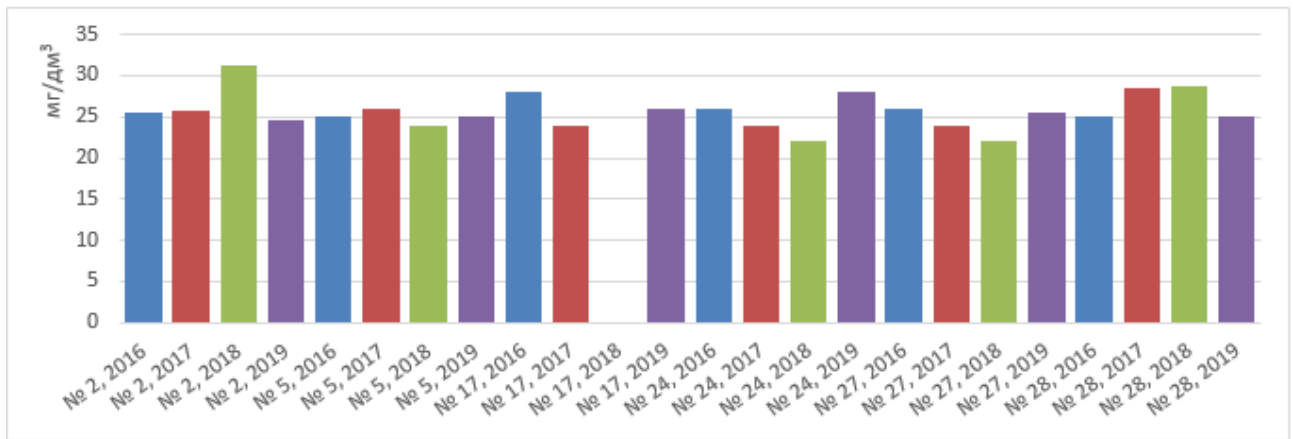


Рис. 4.33. Величини вмісту сульфатів у питній воді свердловин Стрийського водозабору за 2016-2020 рр. (мг/дм³) (ГДК ≤250)

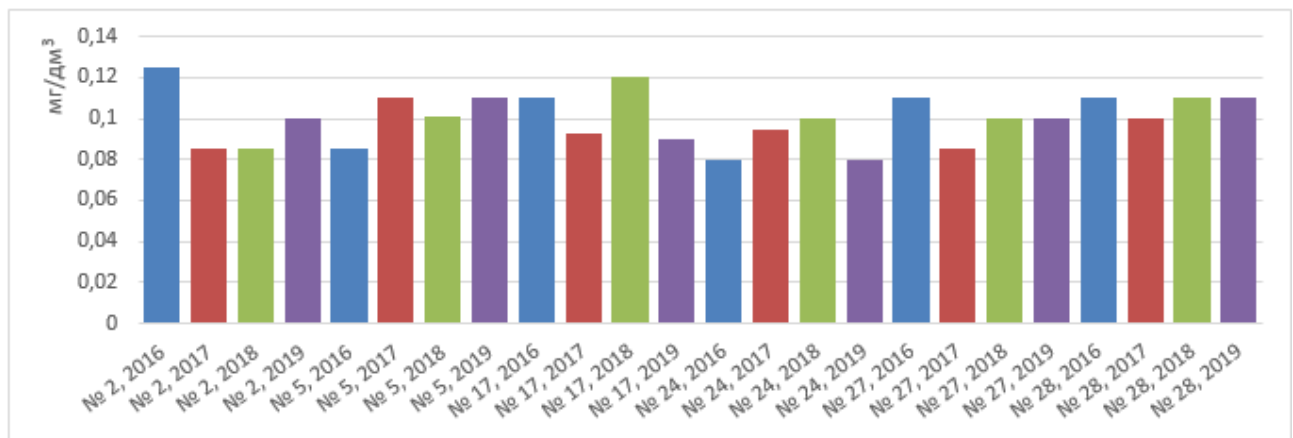


Рис. 4.34. Вміст фтору у питній воді свердловин Стрийського водозабору за 2016-2020 рр. (мг/дм³) (ГДК 0,7–1,2)

4. Загальна твердість питної води у свердловинах знаходиться в межах 4,2-4,8 мг екв./дм³ (рис. 4.30).

5. Величина сухого залишку води Стрийського водозабору має показники 202-250 мг/дм³, але в 2019-2020 рр. на деяких свердловинах він зріс до 316-324 мг/дм³, за ГДК ≤1000 мг/дм³ (рис. 4.31).

6. Вміст хлоридів і сульфатів у воді коливається у межах 14,0-19,4 мг/дм³ та 22,0-31,2 мг/дм³ відповідно, при ГДК ≤ 250 мг/дм³ (рис. 4.32, 4.33).

7. Середній вміст фтору у питній воді свердловин Стрийського водозабору становить 0,085-0,125 мг/дм³, при цьому ГДК знаходиться у межах 0,7–1,2 мг/дм³ для кліматичних умов нашого регіону (рис. 4.34).

Аналіз результатів проведених досліджень впливання процесів самоочищення в річці Стрий на якісні показники води водозабору м. Стрий показав, що питна вода артезіанських свердловин є високої якості та зараз відсутні негативні впливи річкових вод басейну р. Стрий на родовища підземних вод.

4.5. Екологічна функція гідродинамічно-активних ділянок гірських річок

Гідравліка гірських потоків характерна неглибокими турбулентними течіями та високою відносною шорсткістю, що спричинена виступаючими валунами, гірськими породами та рештками деревини змитої із схилів. В наукових публікаціях [188, 189] показано, що на відміну від річок з меншим градієнтом, на ці значні елементи шорсткості припадає до 80–90 відсотків загальної шорсткості русла швидких потоків гірських річок. Швидкість потоку змінюється на відносно коротких поздовжніх відстанях через нерівномірність морфологічних елементів та наявністю порогів і перепадів. Найбільші варіації спостерігаються в ступінчастому руслі, де надкритичні потоки переважно формуються від східчастих гребенів до точок удару [190]. Опір потоку гірських річок значно змінюється залежно від глибини потоку в порівнянні з великими річками. Рейд та Хікін [188] продемонстрували понад шість порядків коефіцієнта опору Дарсі – Вейсбаха для діапазону середньої глибини, яка становила від 20 до 36 см. Також вказували на труднощі в оцінках середньої глибини потоку на мілководдях з великими елементами шорсткості. В монографії [191] вказано, що геоморфологічні процеси, морфологія русла та гідравліка гірських потоків суттєво відрізняються від типового гравійного русла або звивистих річок.

Для басейну гірської річки гідродинамічно-активні ділянки (ГАД) є одними з найважливіших еколого-гідрогеохімічних факторів формування якості води. В роботі [87] проведено аналіз гідрологічних параметрів руслового стоку із визначенням просторового розподілу ділянок очищення потенційно

забруднених вод на ГАД в басейні р. Стрий. Було визначено абсолютні відмітки витоків 26 основних водотоків. За цими даними виявлені ділянки активного очищення на ГАД, їх просторове розміщення та геоекологічний аналіз приток різних порядків у басейні р. Стрий.

Аналіз опублікованих праць за даною тематикою показує важливість впливу ГАД на процеси самоочищення та складність проведення натурних спостережень. Ці причини зумовили необхідність моделювання та експериментальних лабораторних досліджень гідродинамічно-активних ділянок гірських річок. На основі результатів аналізу натурних спостережень на передгірських ділянках річок, а також нормативної та проектної документації були визначені межі значень основних діючих факторів, а саме число Фруда, глибина потоку та швидкість течії, які є визначальними для аналізу впливу ГАД на процеси самоочищення потоку. Вказані дослідження були проведені в лабораторії кафедри гідротехніки та водної інженерії НУ «Львівська політехніка», які виконувались на малому гідравлічному лотку. Його схема, прилади та методика проведення дослідів детально описані в розділі 2.

На рис. 4.35 показані результати лабораторних досліджень течії води в лотку на модельній ділянці та натурної гідродинамічно-активної ділянки. В лабораторії кафедри ГВІ проби відбирались з трьох точок, а на натурній ГАД із чотирьох, моделюючи ділянку відновлення та стабілізації потоку річки. Результати проведених дослідів підтверджують подібність процесів природного самоочищення річкових вод в лабораторних умовах та реальною течією гірських річок. Враховуючи складність проведення натурних спостережень, отримана можливість експериментального лабораторного відтворення цих процесів, за умови дотримання подібності і критеріїв моделювання гідравлічних явищ. При проходженні потоку через ГАД бачимо його значне насичення киснем, що сприяє зниженню забруднень амонієм та нітритами.

Для аналізу впливу структури течії ГАД на процеси самоочищення проведено візуалізацію потоку за допомогою фотозйомки. Отримані результати проведених досліджень показано на рис. 4.36-4.38.

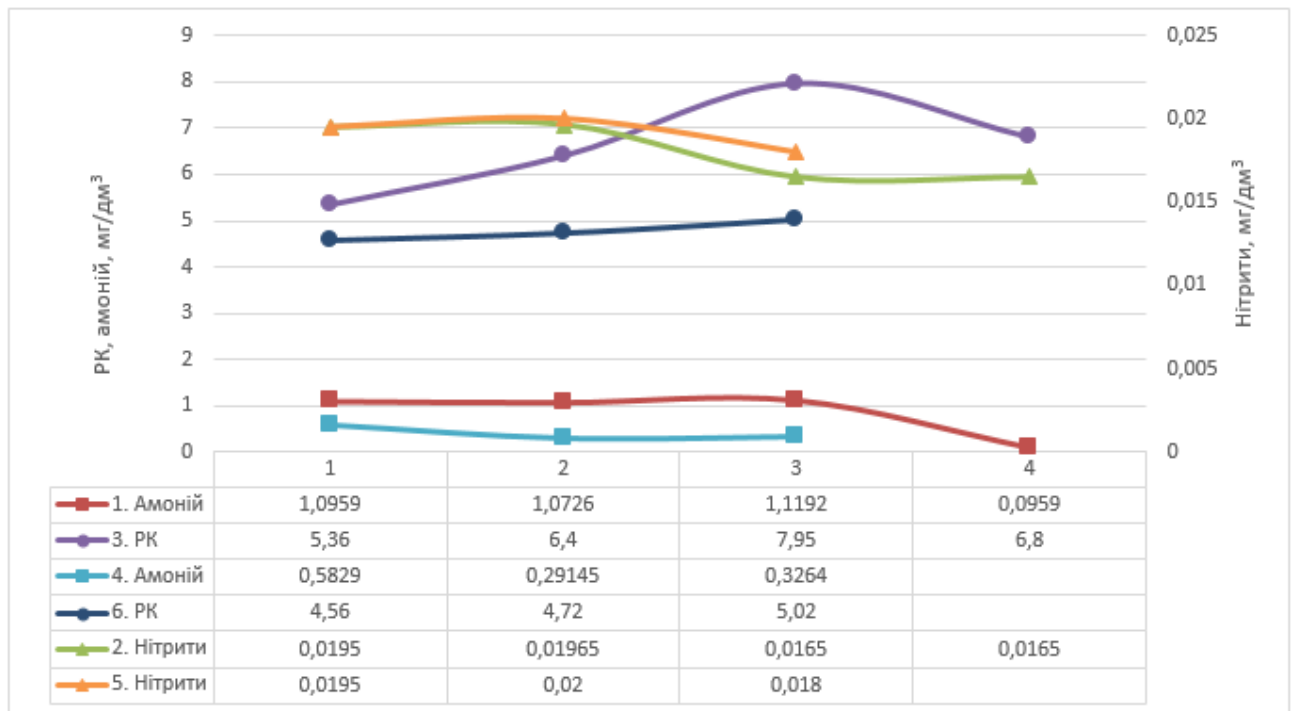


Рис. 4.35. Порівняльний аналіз зміни середніх значень хімічного складу води на модельній ГАД з результатами натурних досліджень (17 дослідів)

На рис. 4.35 спостерігали зміну гідрохімічних показників водопровідної води в лабораторії кафедри гідротехніки та водної інженерії, яка пройшла відстоювання із 1.09.2020 р. в баках експериментальної установки, а також значне зростання вмісту розчиненого кисню, особливо за збільшення витрати потоку. Ці показники є дещо відмінними від натурних досліджень, де проби відбиралися із річки Тишівниця.

Змінюючи довжину ділянки лотка моделювались переكاتи та водобійна ніша реальної гідродинамічно-активної ділянки, на якій були проведені натурні досліді на р. Тишівниця. В дослідженнях проведено вимірювання за різних режимів течії, що моделювало різні гідрологічні параметри. Було визначено вплив швидкості потоку, його глибини та структури ГАД на параметри його насичення киснем.

На рис. 4.36-4.37 показано структуру потоку на ГАД, а саме порогах, перекатах і водоспадах. Було проведено також візуалізацію течії води на донному порозі, який ми розглядали в третьому розділі (рис. 4.38). Донні

пороги – це гідротехнічні регуляційні споруди, які використовуються для зменшення розмивних процесів дна та берегів річок під час проходження паводків і повеней.

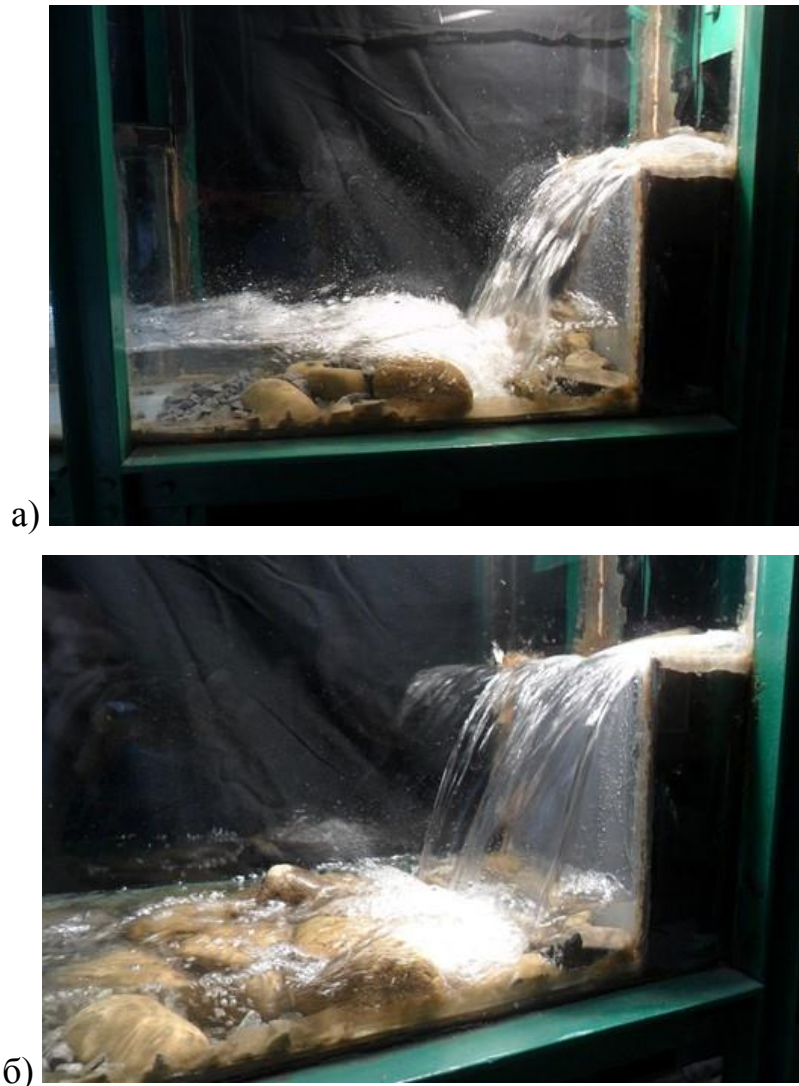


Рис. 4.36. Візуалізація потоку води при експериментальному моделюванні течії через водоспад: а) $Q_3 = 0,0012 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $Q_4 = 0,0018 \text{ м}^3/\text{с}$

На показаних вище рисунках спостерігали утворення водобійної ніші у випадку течії через водоспад та величини хвилі за проходження через пороги і перекати. Витрату води Q вимірювали трикутним водозливом із прямим кутом біля вершини.

Наявність ГАД на гірських та передгірських частинах річок Карпатського регіону сприяє процесам природного самоочищення природних вод.



Рис. 4.37. Візуалізація потоку води за моделювання течії через пороги та перекати: а) $Q_3 = 0,0012 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $Q_4 = 0,0018 \text{ м}^3/\text{с}$

Проведені дослідження факторів та умов формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий, а також ділянок значного антропогенного впливу, дозволили проводити більш детальний моніторинг якості природних вод басейну, зосереджуючи більшу увагу на виявлених проблемних ділянках негативного впливу. Було встановлено, що в річці Стрий достатньо активно проходять процеси самоочищення, які спричинені гідрологічними характеристиками річки та наявністю гідродинамічно-активних ділянок на передгірських територіях басейну.

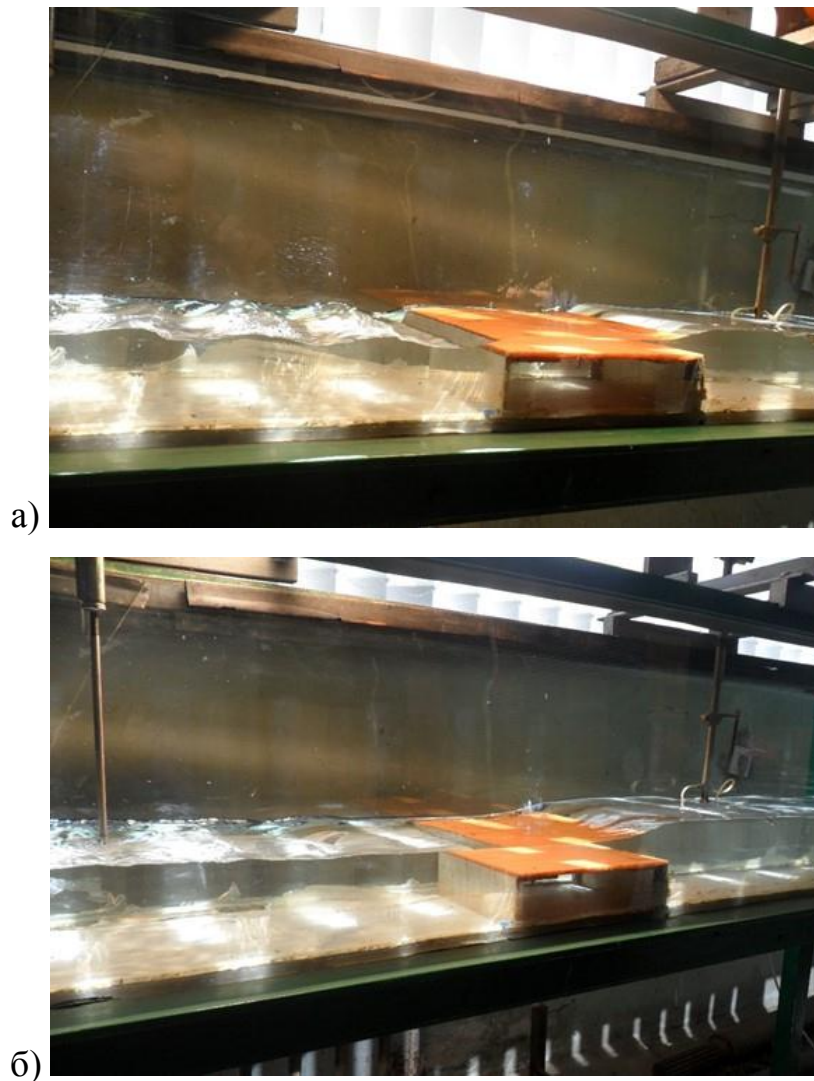


Рис. 4.38. Візуалізація потоку води при моделюванні течії через гідротехнічну споруду (донний поріг): а) $Q_3 = 0,0012 \text{ м}^3/\text{с}$; б) $Q_4 = 0,0018 \text{ м}^3/\text{с}$

Подальші дослідження структури потоку дозволять запропонувати уточнені розрахункові залежності та сучасні наукові методики оцінки процесів самоочищення поверхневих вод і антропогенного навантаження в басейнах гірських річок для розрахунку оптимальних об'ємів скидів стічних вод після очисних споруд КП “Стрийводоканал”.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено удосконалену методику розрахунку елементів берегоукріплень річок із використанням коефіцієнта обтічності та коефіцієнта форми каменя, які дозволяють уточнювати при обчисленнях розміри каменів,

стійких до дії річкового потоку та прогнозувати процеси формування донних наносів.

2. Аналіз результатів багаторічних досліджень показників хімічного складу річкової води за 2016-2020 рр. показав значне антропогенне навантаження на природні води в басейні річки Стрий. Проте ландшафтна басейнова екосистема р. Стрий зберегла потужну функцію самоочищення руслової води. Вона підтримується гірським рельєфом території, гідрологічними та гідроморфологічними властивостями річки, а також наявністю гідродинамічно-активних ділянок на гірських і передгірських територіях басейну. Тенденції до стійкого зростання вмісту забруднюючих речовин відносно ГДК в досліджуваній період ми не спостерігали.

3. Фізико-хімічні й фізичні показники води водозабору м. Стрий свідчать, що питна вода артезіанських свердловин є високої якості. Не підтверджені негативні впливи річкових вод басейну р. Стрий на родовища підземних вод. Якість річкової води є задовільною для її використання в господарсько-питному водопостачанні та для рекреаційних цілей.

4. Методом експериментального моделювання нами доведено, що проходячи через гідродинамічно-активні ділянки русел, гірські річки басейну р. Стрий за різних швидкостей потоку максимально насичують води киснем. Нами розроблено методику моделювання та візуалізації течії гірських річок в лабораторних умовах.

5. Висока насиченість киснем річкових вод басейну р. Стрий спричинена впливом гідродинамічно-активних ділянок, які сприяють цьому. Завдяки насиченню річкової води киснем активізується функція очищення забруднених вод від несприятливих мікроорганізмів, а також техногенних домішок. Гідродинамічно-активні ділянки сприяють підвищенню якісних параметрів річкових вод і збільшують потенціал водних ресурсів Передкарпаття.

Результати експериментальних та натурних досліджень за даним розділом викладено у публікаціях [10], [65], [76], [88], [165], [168], [186], [187].

РОЗДІЛ 5. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В БАСЕЙНІ Р. СТРИЙ І ВИСНОВКИ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Із зростанням чисельності населення, вирубкою лісів і багатьма іншими видами діяльності людини руйнівні повені відбуваються все частіше. Особливо небезпечні вони в місцях, де рівень водної поверхні річки, загородженої дамбами, перевищує позначки прилеглої місцевості та за переливів води через дамби затоплюється значна частина території. Вплив урбанізованих територій на річкові басейни проявляється у надмірному водоспоживанні, забрудненні води, зміні її гідрохімічного складу та рівня ґрунтових вод, видозмінах рослинного і тваринного світу, скороченні заплавної території, замуленні русел річок [44].

Проведений багатьма країнами аналіз повеней за останній період показав, що спостерігається тенденція до значного збільшення збитків від повеней, спричинена необдуманим проведенням господарської діяльності в заплавах гірських річок і на територіях із підвищеною небезпекою паводків. Прогнозоване потепління клімату і значне зростання господарського використання заплавної річок спричинить збільшення повторення та руйнівної сили повеней і паводків.

Важливими і невідкладними завданнями сьогодення є проведення моніторингу річок на урбанізованих територіях після проходження катастрофічних повеней і паводків для розроблення дієвих заходів щодо запобігання та захищенню населення. Це повинно зменшити затрати на ліквідування наслідків від завданих ними збитків.

5.1. Аналіз зміни та прогнозування руслових і екологічних процесів за умов мінливості природних факторів

Поверхневі водні об'єкти знаходяться за зростаючого антропогенного впливу, проте важливим є розуміння не тільки інтенсивності та направленості

цих процесів на водні геоекосистеми, але й природних передумов формування екологічного стану водних об'єктів. У роботі [192] визначено залежність стану поверхневих вод від горизонтальних потоків речовин, що надходять до русла водотоків та поверхневого стоку із водозбірної площі басейну. Вказано на необхідність врахування ландшафтної структури відповідного басейну у геоекологічних дослідженнях, а також прямих і зворотних зв'язків між рельєфом та гідрологічними особливостями. Географічне положення областей зумовлює ландшафтне різноманіття їх територій.

Було досліджено особливості ландшафтної структури басейну річки Стрий, що впливають на екологічний стан поверхневих вод та проведено аналіз прогнозів зміни кліматичних умов і перспектив розвитку ситуацій в зоні нашого басейну. Чисельність та тривалість періодів сильних опадів в басейні річки за холодної пори року загалом може збільшитись через їх перерозподіл до інтенсивніших. Це разом із зменшенням снігових покривів можна вважати за негативні тенденції [193]. Снігові та дощові паводкові потоки, які будуть наслідками зростання температур і кількості опадів, спричинять змінювання режимів річкового живлення із зменшенням снігової компоненти.

Враховуючи загальний річний перерозподіл опадів, їх кількість за добу буде зростати, але часовий період нестачі води для промислових та сільськогосподарських потреб населення, значно збільшиться за нерівномірного розподілу опадів впродовж року [193, 194]. Це спричинить значне зменшення чисельності малих річок, що будуть пересихати при збільшенні максимальних температур за меншої кількості дощів за літнього періоду. Аналіз графіків частоти паводків в Україні, показує збільшення їх кількості, що можна пояснити сучасним процесом зміни клімату. Потенційні ризики утворення руйнівних повеней також будуть збільшуватись за аналітичними даними та прогнозами дослідних моделей [193].

В проведеному аналізі кліматичних змін [4] бачимо зростання вказаних вище процесів і для басейну р. Стрий, що є найбільшою правою притокою в басейні річки Дністер. В наукових дослідженнях [193] для цього басейну

проведено аналіз умов зволоження, які є фактором, що враховує взаємодію режимів температур середовища та випадання дощів, які мають значний вплив для діяльності гідроекосистем.

За показник умов зволоження взято коефіцієнт зволоження (КЗ) повітря [194], який розраховували за функцією середньомісячних температур повітря і опадів. З наведеної на рис. 5.1 залежності бачимо, що прогнозна та аналітична криві КЗ є наближеними до 1,0 і є типовими показниками для цього басейну, що вказує на постійно високі рівні випаровувань та означають, що ризики утворення паводків на прогнозні періоди не зменшуються [4, 193].

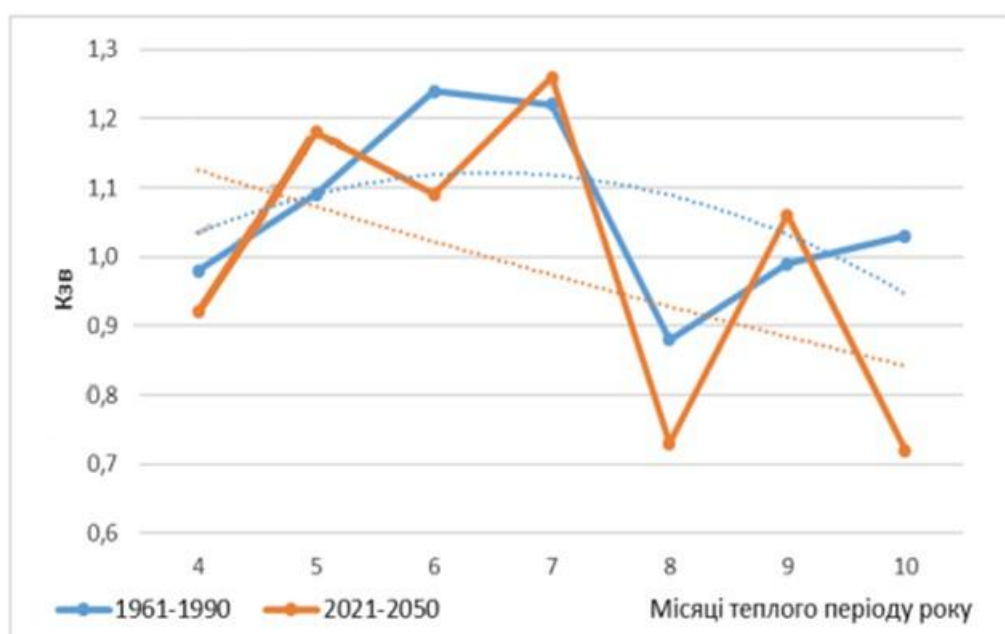


Рис. 5.1. Прогнозні та аналітичні криві показника КЗ у верхній течії р. Дністер [193]

Проаналізувавши дані Українського гідрометеорологічного центру і результати наукових робіт [193, 195], можемо зробити висновки, що порушення в кліматичних змінах до середини ХХІ століття можливо спричинять продовження теплих періодів в році ($t \geq 0^{\circ}\text{C}$), більше двох тижнів в порівнянні з ХІХ століттям. Через підвищення максимальних та мінімальних температур на території басейну р. Дністер в середині нашого століття можемо сподіватися на меншу кількість морозних днів ($t \leq -20^{\circ}\text{C}$) та зростання спекотних ($t \geq 30^{\circ}\text{C}$). Також в басейні річки Дністер зростає вірогідність більшого числа дощових

днів до п'яти, що більше одного міліметра в добу, а у нижній течії, ймовірно зростуть дні сухого періоду [193].

Зміни термічних режимів, підняття рівнів опадів можливо спричинять значні збільшення частоти та потужності повеней. Найзначніші змінювання на території Дністровського та Стрийського басейнів припадатимуть в осінні періоди. На ділянках верхнього Дністра, відмітки води можуть досягати максимальних позначок, що зумовлює їх фізико-географічне розміщення [193, 196].

5.2. Методологія удосконаленої оцінки антропогенного забруднення річкових вод та прогнозування екологічних ризиків погіршення їх якості

Відповідно до соціальних, технічних та економічних потреб використовують різні оцінки якості водних ресурсів, а саме екологічна, рекреаційна, економічна, економіко-екологічна та оцінка збитків від забруднення і порушення природного балансу. Екологічна оцінка водних ресурсів – це визначення стану водного об'єкта за показниками якості води, які обмежують видову різноманітність, біомасу живих організмів та ступеня дії на якість води зовнішніх умов [197].

Оцінки якості води є доволі складним та об'ємним питанням, позаяк полягають в порівнюванні середніх концентрацій на пунктах контролювання цих показників якості вод із встановленими нормативними значеннями інгредієнтів. Враховуючи засади зв'язаності природних вод, які були сформульовані В.І. Вернадським, в основі сучасних систем оцінки якості води мають бути класифікації, що враховують критерії складу і показники особливостей води. Ця система має одночасно задовольняти екологічні, гігієнічні та технологічні вимоги, але враховуючи складність поєднання цих завдань зараз такої системи немає [198].

Особливі труднощі виникають при необхідності аналізу і прогнозування якості різних ділянок водних об'єктів в деякий період або порівняння якості

води різних джерел за присутності там різноманітних поліютантів та виявлення закономірності зміни якості вод з часом, що призводить до потреби розробки методик комплексних оцінок якості води. Але відомі розроблені методики є дуже громіздкими і вимагають даних про компоненти води, які рідко визначаються контролюючими органами або використовують складні математичні залежності.

Комплексний показник гідрохімічного індексу забруднення води (ІЗВ) найчастіше використовують для оцінювання якісних показників водного об'єкту [79]. Його переважно визначають за шістьма або сімома гідрохімічними показниками. Частина з них є обов'язковими, а саме вміст розчиненого O_2 , водневий показник (рН) та значення біологічного споживання кисню (БСК).

$$ІЗВ = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / ГДК_i}{N}, \quad (5.1)$$

де C_i – концентрації складових чи величина параметру; N – число показників, що використовують для розрахування ІЗВ; $ГДК_i$ – встановлені величини ГДК.

Залежно від значення ІЗВ, ділянки водних об'єктів поділяються на класи (табл. 5.1). Перевагою ІЗВ є простота розрахунків і наявні натурні дані, тому він найчастіше використовується в Держводгоспі і Держкомгідрометі нашої країни для оцінювання забрудненості річок. Проте ІЗВ недостатньо характеризує стан чистих річок [79]. За висновками дослідників, для оцінки ступенів процесів самоочищення річок, динаміки змінювання екологічних потенціалів залежно від висот та географічного розміщення місцевості, об'ємів водного стоку, зміни величини антропогенних впливів, індекс забруднення води недостатньо враховує всі показники.

Комплексна оцінка ступеня забрудненості дозволяє оцінювати забрудненість водної течії за кількома складовими і показниками. На території США застосовують оригонський індекс якості води (ОІЯВ) [199]. За розрахунку ОІЯВ враховують температуру, рН, розчинений O_2 , БСК₅,

мінералізацію і фосфор. Зміни цих величин визначають зміну фізичних параметрів та рівень загрози здоров'ю жителів

$$OIAVB = \sqrt{n / \left(\sum_{i=1}^n S \cdot I_i^2 \right)}, \quad (5.2)$$

де SI_i – нижній індекс i -го параметру, n – число SI_i .

Цей OIAVB надає повнішу характеристику впливу виробничо-побутових і сільськогосподарських СВ на природні ВО та може використовуватись для оцінки багаторічного прогнозу, проте він не враховує прояви синергізму.

Таблиця 5.1

Класи якості води залежно від значення індексу забруднення води [79]

Рівень забруднення води	Значення ІЗВ	Клас якості води
Дуже чиста	До 0,2	1
Чиста	0,2-1,0	2
Помірно забруднена	1,0-2,0	3
Забруднена	2,0-4,0	4
Брудна	4,0-6,0	5
Дуже брудна	6,0-10,0	6
Надзвичайно брудна	>10,0	7

Проблемою оцінювання забруднень природної води займалися й українські науковці. Так Грибом В.Й. запропоновано використання комплексного екологічного індексу стану річкових екосистем визначати за гідрохімічними, токсикологічними та трофосапробіологічними параметрами [200, 201]

$$I_d = \sum (C_{i_{\text{факт}}} / C_{i_{\text{опт}}}) / n, \quad (5.3)$$

де $C_{i_{\text{факт}}}$ – фактичні концентрації i -го гідрохімічного чи трофосапробіологічного факторів; $C_{i_{\text{опт}}}$ – оптимальні концентрації i -го фактору; n – число показників.

Гідрохімічний (I_a) – блок сольового складу, що враховує вмісти сульфатів та хлоридів і мінералізацію води. Трофосапробіологічний (I_b) – блок еколого-санітарних параметрів, який враховує вміст завислих речовин, БСК₅,

розчинений O_2 , ХСК, NO_2 і NO_3 , NH_4 , фосфати, індекс сапробності, біомасу фітопланктону. Токсикологічний (I_c)–блок спеціальних показників радіаційної і токсичної дії, включаючи Cu, Cr, Mn, Zn , феноли та ін. Тому показник комплексного екологічного індексу стану водної екосистеми визначають із залежності

$$I_e = (I_{a\max} + I_{b\max} + I_{c\max}) / 3. \quad (5.4)$$

В екологічній класифікації із п'яти класів води, для першого класу значення I_e становлять <1 (еталон, природні сукцесії). Другий клас – це добрий стан води із $I_e < 3$ (розхитування системи), а 3 клас – стан задовільний $I_e < 8$ (випадання окремих видів). До 4 класу відносять проміжний стан із $I_e < 21$ (порушуються трофічні зв'язки), а до 5 класу із незадовільним станом або екологічна криза за $I_e > 21$. Визначення даного індексу майже не відрізняється від методик визначення ІЗВ і тому має подібні до нього недоліки.

На основі результатів проведених досліджень за період 2016-2021 рр. нами визначено індекс забруднення води для р. Стрий на ділянці від смт. В. Синьовидне до м. Жидачів та зроблено аналіз ІЗВ за 2010-2015 рр. за даними лабораторії очисних споруд (ЛОС) м. Стрий та Басейнового управління Західно Бугу та Сяну (рис. 5.2). Отримані результати порівнювались з науковими дослідженнями Хільчевського В.К., які були проведені у 1994-2009 рр. [11].

Отримані на рис. 5.2 залежності показують значне зростання ІЗВ після очисних споруд м. Стрий за 2016-2021 рр., що підтверджується результатами ЛОС. Проте наші дослідження за 2020 р. вказують на зменшення ІЗВ, що можна пояснити покращенням роботи очисних споруд за рахунок менших надходжень стічних вод від промислових підприємств, більшість з яких припинили своє виробництво. До місця впадіння в р. Дністер показники ІЗВ відновлюють своє значення майже до початкових параметрів у пункті відбору проб смт. В. Синьовидне, що підтверджує значний вплив процесів самоочищення в басейні річки Стрий.

Характеристикою для оцінки впливу забруднення урбанізованих територій, прийнятий коефіцієнт антропогенного навантаження забруднюючою

речовиною K_i , який визначається як відношення маси m_i забруднюючої речовини в об'ємі стічних вод до річкового стоку за рік в створі урбанізації [140]

$$K_i = \frac{C_i Q_c}{Q} = \frac{m_i}{Q}, \quad (5.5)$$

де K_i - коефіцієнт антропогенного навантаження забруднюючою речовиною, т/км³; m_i - річне надходження забруднюючої речовини у водотік, т / рік.; Q - водний стік річки, км³/рік; Q_c - річна витрата стічних вод, км³/рік; C_i - концентрація забруднюючої речовини, т / км³.

Найбільш універсальною характеристикою антропогенного навантаження є нормоване навантаження окремими забруднюючими речовинами K'_i , приведене до гранично допустимої концентрації (ГДК) цих речовин (ГДК_{*i*}):

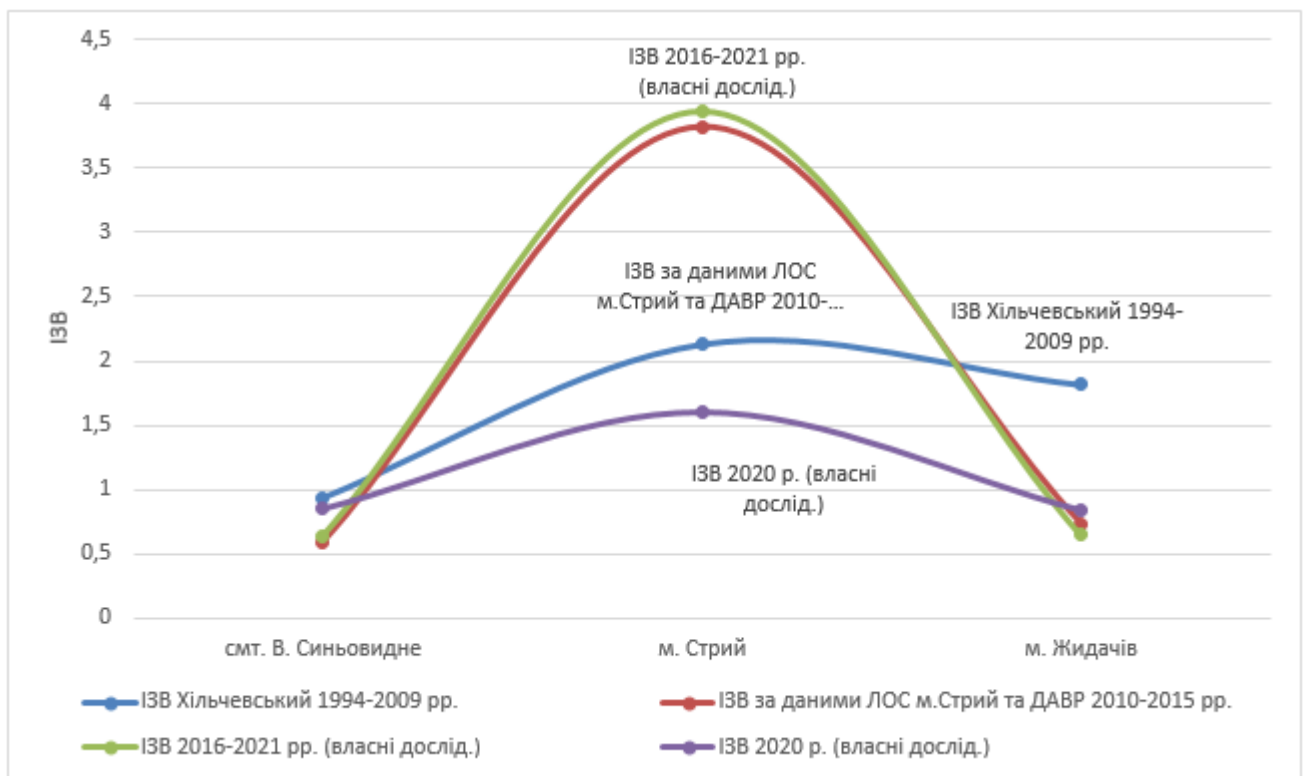


Рис. 5.2. Результати дослідження основних параметрів якості води р. Стрий та аналіз ІЗВ за період 1994-2021 рр.

$$K'_i = \frac{C_i Q_c}{Q \text{ГДК}_i}. \quad (5.6)$$

За цим рівнянням видно, що при $K' < 1$ водотік в середньому здатний розбавити забруднюючу речовину, яка надходить і зменшити її концентрацію нижче ГДК, а за $K' > 1$ у водному об'єкті буде спостерігатися підвищене антропогенне навантаження цією забруднюючою речовиною, що може негативно вплинути на екологічний стан водотоку.

Після визначення речовин, які мають найбільше значення в антропогенному навантаженні, може бути визначений сумарний кількісний показник характеристики антропогенного навантаження водотоку, що пов'язаний з конкретною урбанізованою територією. Для цього слід використовувати інтегральний безрозмірний коефіцієнт антропогенного навантаження K_n , який можна представити в наступному вигляді

$$K_n = \sum_{i=1}^n \frac{C_i Q_c}{Q ГДК_i}, \quad (5.7)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$ - забруднюючі речовини, які визначаються.

Як і у випадку коефіцієнта K'_i , за $K_n < 1$ водотік в основному здатний розбавити домішки, які надходять до рівня нижче ГДК, але якщо $K_n > 1$ його екологічний стан буде порушено. Наведений для K_n вираз є наближеним, оскільки не враховує фонове забруднення води $C_{\phi i}$ на підході до центру урбанізації. За врахування $C_{\phi i}$, величина K_n набуває більш точного значення коефіцієнта, який характеризує сумарну нормовану величину антропогенного навантаження на водотік

$$K_n = \sum_{i=1}^n \frac{C_i Q_c}{Q (ГДК_i - C_{\phi i})}. \quad (5.8)$$

Забруднення річкової води в результаті контакту з донними відкладеннями призводить до накопичення в них великої кількості поллютантів. Накопичені в донних відкладеннях забруднюючі речовини за певних умов можуть переходити в розчинні форми і забруднювати водні маси, спричиняючи вторинне забруднення. Особливості руслового процесу конкретного водного об'єкту можуть суттєво впливати на ці процеси, оскільки результуючі

замулення русел залежать від співвідношення між швидкістю седиментації наносів в меженеві періоди та розмивом відкладень під час повеней.

Врахування вказаної динаміки руслового процесу вимагає точніших даних з гідрології водотоку, його морфологічні характеристики, склад донних і завислих наносів, наявність техногенних та антропогенних домішок в руслових грунтах. Вплив кожного з цих факторів на точність оцінки об'єму забруднених відкладень, повинен встановлюватися на основі спеціальних досліджень при розробці комплексу заходів щодо поліпшення екологічного стану водотоку [202, 203].

Вказана методика може бути використана для розробки природоохоронних програм, спрямованих на зменшення антропогенного навантаження на річки. Однак для підвищення точності у визначенні рівня антропогенного навантаження необхідно збільшити кількість спостережень, підвищити контроль над об'ємами і якістю СВ зареєстрованих водокористувачів, а також продовжити облік джерел забруднення. Це пов'язано з тим, що для оцінки антропогенного навантаження за запропонованою методикою необхідні достовірні дані про водний стік річки, який можна отримати в спеціальній літературі, але дані про об'єми СВ і кількості забруднюючих речовин від кожного водокористувача отримати досить складно.

5.3. Обґрунтування необхідності вдосконалення берегоукріплювальних та регулюючих заходів на р. Стрий для захисту території від підтоплення

Прикарпаття є однією з територій у Європі, які найбільш схильні до паводків та повеней. Останні екологічні дослідження прогнозують тенденції до частішої появи цих руйнівних явищ на карпатських територіях. В минулому повені спостерігались при періодичності один випадок за тридцять років, але зараз вони виникають кожні 3-4 роки або частіше. За останні десять років на Львівщині було 5 руйнівних повеней, матеріальні втрати, які вони спричинили

були більшими 100 млн. дол. США [122]. В Європейських країнах комплексна система протипаводкового захисту розвинена краще та дає можливість зменшувати шкоду від них. Значна частина інженерних споруд для протипаводкового захисту зараз в Україні є несучасні та майже знищені.

Різко розчленований рельєф та незначна потужність ґрунтів за надмірного атмосферного зволоження створюють в Карпатах умови для частого виникнення паводків, які супроводжуються ерозійними процесами [96]. Важливими природними факторами запобігання цим негативним явищам є лісові насадження та відсутність розорювання схилів територій.

Критичні ситуації, які склались із заходами для протипаводкового захисту у Львівській області попередніми роками, призводять до значних держбюджетних фінансових витрат. Аналіз величини шкоди, спричиненої повенями в нашій області вказує про зростання об'ємів виділених коштів для ліквідації наслідків повеней. Зараз урядом витрачається більше коштів і сил для подолання результатів повеней замість ліквідації причин їх появи. Врегулювання цієї важливої проблеми є пріоритетною задачею для розвитку нашої держави у цьому столітті [122].

Для вирішення проблеми паводків в регіонах Західної України КМУ було затверджено Державну програму для протипаводкових захистів річкових басейнів Прута, Дністра і Серету [204], яка включає проведення протипаводкових заходів на 3,914 млрд. дол. до 2025 року. Із цієї суми 0,5 млрд. дол. виділили для проведення вказаних заходів на Львівщині.

В проведених нами дослідженнях були виділені основні фактори, які впливають на трансформацію русла, ерозійні та зсувні явища на території Прикарпаття, а також зроблено аналіз ефективності наявного протипаводкового захисту населених пунктів від підтоплення і руйнування. В Карпатському регіоні маємо тісний взаємозв'язок між гідрометеорологічними та топографічними умовами. Зі збільшенням середньої висоти вододілу на 100 м середньорічна кількість опадів зростає на 68 мм, а коефіцієнт поверхневого

стоку на 0,1. Збільшення кута нахилу на 5% додає 77,5 мм поверхневому стоку [108].

Взаємодія між факторами викликає небезпечні екзогенні процеси в басейнах річок. Сильні опади призводять до 10–100-кратного збільшення стоку води та повені. Через значний похил русла швидкість потоку збільшується і настає руйнування. Потоки переміщують значні донні відкладення, сприяючи міграції русла річок, що спричиняє руйнування будівель та інженерних споруд, викликає зсуви, селеві потоки, кам'яні обвали та ерозійні процеси на схилах.

Інтенсивні опади в червні 2020 року призвели до масштабних паводків у Івано-Франківській, Чернівецькій, Львівській та Закарпатській областях. Найскладніша ситуація була на Прикарпатті та Буковині, де було оголошено про “червоний” рівень безпеки (рис. 5.3). Вершина повені, яка припала на 23—27 червня є найбільшою на Західній Україні за шістьдесят років, а матеріальні втрати від неї становили від 3 до 4 млрд грн. (рис. 5.4-5.5).

Наш аналіз даних гідрологічного моніторингу дозволив зробити графіки рівнів течії річки Стрий в період загострення безпеки повеней від 2018 до 2020 років (рис. 5.5) та їх сумарну річну графічну залежність (рис. 5.6) [22]. На графіках спостерігаємо постійні максимальні покази за весняно-літнього періоду. На сумарних графіках за 2018-2020 рр. можемо бачити, що в липні місяці формуються найнебезпечніші умови для паводків і повеней. Але ці висновки вимагаються подальших досліджень і аналізу загальної тенденції змінювання кліматичних умов.

В повені 2020 року на Івано-Франківщині було затоплено 13 тисяч будинків і в деяких випадках вода зайшла просто на подвір'я будинків та в приміщення, яким було нанесено значні пошкодження, а в окремих випадках будинки фактично розвалилися. На території Стрийського району після потужних злив розлилися річки Свіча та Турянка, що спричинило підтоплення близько сотні житлових будівель (рис. 5.7).



Рис. 5.3. Зміна берегової лінії річок внаслідок повені у 2020 році: а) Івано-Франківська обл.; б) Чернівецька обл. (<https://news.24tv.ua/>)



Рис. 5.4. Змінювання рівня води за паводку в червні 2020 року на річці Стрий біля мостового переходу: а) вершина повені; б) завершення повені

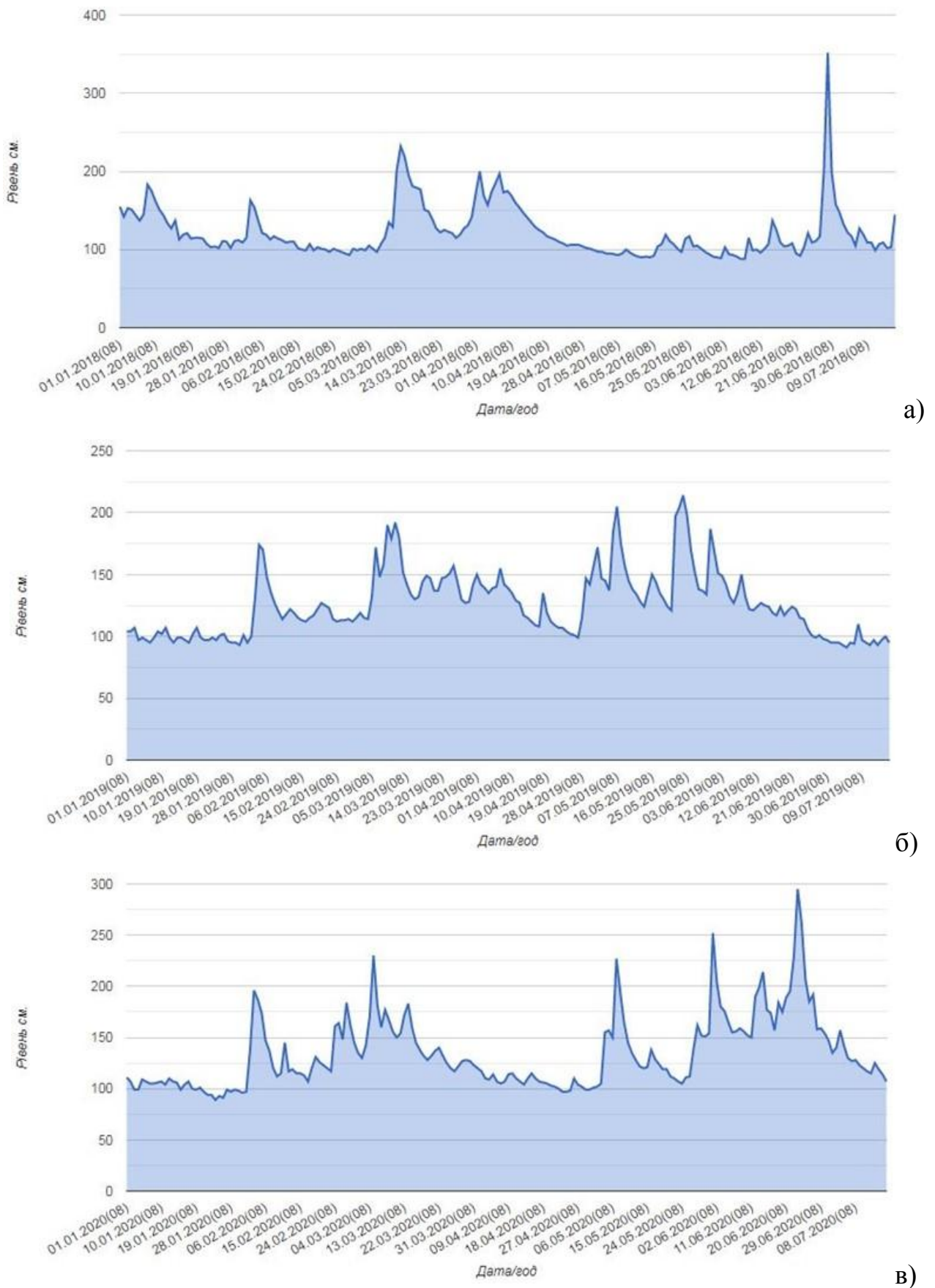


Рис. 5.5. Зміна рівнів течії в річці Стрий за періодів збільшення небезпеки паводку у 2018 (а), 2019 (б) та 2020 (в) роках (пункт смт. В. Синьовидне)

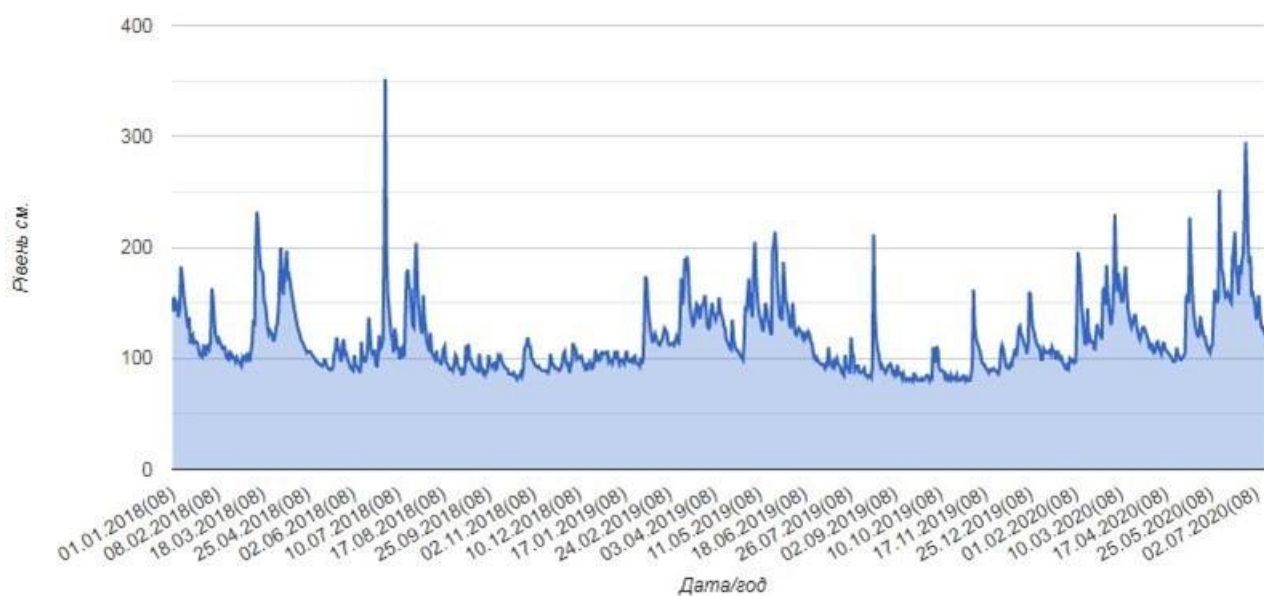


Рис. 5.6. Річний сумарний графік рівня течії річки Стрий за 2018-2020 р.



а)



б)

Рис. 5.7. Затоплення житлових будинків в результаті повені 2020 р.: а) Івано-Франківська обл.; б) с. Зарічне Стрийського району



а)



б)

Рис. 5.8. Пошкодження транспортної інфраструктури внаслідок повені на Західній Україні у 2020 р.

Всього через негоду тільки у Ів.-Франківській обл. зруйновано 110 км автомобільних доріг, а пошкоджені 428 км, пошкоджені або зруйновані 220 мостів (рис. 5.8) та зруйновано 1850 метрів берегоукріплень [204].

Основною причиною трансформації структури річкової системи та інтенсивних деформацій русла є поселення в прибережних захисних смугах річки, гідротехнічні впливи на водозбір та інтенсивна діяльність з видобутку гравійно-піщаної суміші в межах річкового русла та заплав [95]. Видобуток гравію у відкритих кар'єрах русла річки вниз за течією дуже сильно впливає на деформації русла вгору в басейні річок Прикарпаття, утворюючи у руслах та заплавах глибокі пониження шириною до декількох кілометрів. Відкриті кар'єри суттєво змінюють морфометричні показники русла річки і характеристики потоку, спричиняють дефіцит завислих наносів нижче за течією русла та інтенсивну ерозію вище по течії.

За проходження паводку, переважно, спостерігаємо найбільший рівень течії, але окремими роками цей рівень є вищим при весняних повенях. Водночас, бувають підняття рівнів спричинені утворенням заторів. Дослідження максимальних рівнів води у багаторічні періоди П.Ф. Вишневського засвідчують, що зміни найвищих в році рівнів течії на річці Дністер і її притоках зумовлюються щорічною зміною кліматичних факторів.

За складних природних умовах Карпат ліс послаблює вплив кліматичних, метеорологічних та ґрунтово-літогенних чинників формування водного режиму гірської території. Порівняно з польовими угіддями, він у 1,6 раз покращує зарегульованість річкового стоку. Гідрологічна роль лісу посилюється зі збільшенням віку насаджень та вона більш інтенсивно проявляється у букових лісах і повільніше в ялинових. Проте за екстремальних метеоумов захисна роль лісу, незалежно від його віку, різко зменшується, внаслідок чого інтенсифікуються паводки і супроводжуючі їх ерозійно-селеві та зсувні процеси, що відбувалося під час останніх катастрофічних паводків 1998, 2001, 2008 рр.

В гірських ландшафтах важливими є технічні методи захисту від загрозливих природних явищ. На вразливих до водних паводків заплавних територіях водотоків та зонах затоплень населених пунктів і посівних площ, дорожньої інфраструктури та інших комунікаціях вкрай потрібно будувати захисні ГТ, а саме дамби, підпірні стінки, водоскидні лотки тощо, за максимальної водопропускної спроможності мостів. Для зсувонебезпечних ділянок гірських схилів досить важливим є посилення дренажу і водовідведення. У верхній частині гірських схилів із формуванням снігових лавин провідне значення належить інженерним спорудам – снігозатримним щитам, лавиновідводам, галереям і лавиногасникам. Треба зазначити, що цілком уберегтися від руйнівних природних явищ за мінливих гірських умов завдяки лісовим культурам і ГТС неможна. Ці фактори є проявом геологічних процесів омолоджень ландшафту та розвитку екосистеми [96], тому потрібно адаптувати діяльність людей до стихійних явищ, зменшити антропогенне навантаження в гірських екосистемах, зокрема на вразливих ділянках гірських схилових площ і заплав річок.

Посилення процесів ерозії і зсувів на площах схилів посприяли катастрофічним повеням, які пройшли на карпатських територіях в 2008 і 2010 роках. Це зумовлено глобальними змінами кліматичних та природних умов Українських Карпат, які спричинили випадіння потужних дощів, а пошкоджене техногенним впливом лісове покриття в горах не дає потрібний захист водозбірних площ. Зростанню руйнівних процесів на схилових територіях сприяють і незначні землетруси, що часто проходять в цьому регіоні [94].

За висновками міжгалузевої групи експертів уряду і НАН України, вказані руйнівні природні явища на карпатських територіях, спричинені спільним впливом природних факторів, а саме вологими літом і осінню, потужними зливами, надмірним насиченням ґрунту вологою, які були загострені антропогенним впливом.

Зростання загрозливих процесів на схилових територіях і деградація ґрунтового покриву Буковинських Карпат і Передкарпаття вимагає розроблення

та проведення заходів щодо екологічно зрівноваженого керування природним потенціалом в гірському регіоні. Проведені дослідження показали ймовірні загострення екологічних та водогосподарських ситуацій, особливо на ВО за значного антропогенного впливу, погіршення показників якості річкових вод при зменшенні об'ємів для розбавлення СВ, а також відсутності природного промивання річкових русел. Потрібно зменшити ерозійні процеси ґрунтових покриттів впровадженням ґрунтозахисних і інших заходів по збереженню та відтворенню продуктивності ґрунту.

Дослідження своєрідності багаторічних змін водності гірських водотоків та їх мінливості мають вкрай важливе значення для екологічного і гідрологічного аналізів. Аналізи просторово-часових відхилень максимальних стоків гірських річок мають важливе науково-практичне значення в прогнозуванні їх екстремальних значень. Вивчення умов їх формування, частоти виникнення і багаторічних закономірностей є дуже необхідними у розробці сучасних методів розрахунку і узагальнень в проектних та експлуатаційних роботах гідротехнічного будівництва [18, 19].

За нинішніх умов техногенні чинники зумовлюють збільшення повторюваності та руйнівних потужностей повеневих потоків. При знищенні лісових насаджень та нераціональному веденні сільського господарства суттєво збільшується граничний поверхневий стік до 300 %. Значного впливу в посиленні величини повеней мають розорювання схилових територій і застосування важких лісозаготівельних машин.

Наші дослідження, які проведені в третьому розділі за період 2002-2018 роки показали, що русло річки в деяких місцях змістилось на 60–80 метрів, суттєво змінивши конфігурацію. Роботи з відновлення берегоукріплень, проведених на деяких ділянках русла за цей період, виявились недостатньо ефективними. Вода в різних місцях русла підмиває береги, що зумовлює небезпечні зсувні процеси, які відбуваються безпосередньо біля русла. На цих ділянках необхідно ефективніше проводити заходи з регулювання та відновлення берегоукріплень [106, 127].

5.4. Напрямки подальших досліджень

Одним із шляхів нормалізації екологічного стану водних екосистем є оцінка їх здатності до самоочищення шляхом розрахунку величин асиміляційної ємності для кожного водного об'єкта або частини його акваторії. Використання показників, що характеризують асиміляційну ємність ресурсів річкового стоку, дозволяє виявити порогові рівні антропогенної трансформації водних екосистем. Напрямок подальших досліджень буде спрямований на розробку і впровадження природоохоронних заходів для поліпшення екологічного стану та забезпечення умов екологічної безпеки річково-басейнової системи річки Стрий. Для цього необхідно встановити гранично допустимі рівні антропогенних навантажень на водні екосистеми басейну шляхом розрахунку величин асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку.

Необхідна вичерпність і об'єктивність характеристик показників якості річкової води, які отримуються за достатньо великого переліку показників та характеризують своєрідність біотичних і абіотичних частин водної екосистеми. Подальші дослідження річкової води басейну за більшою кількістю показників дозволить розрахувати не тільки ІЗВ, але й екологічний індекс якості річкової води для прогнозування розвитку процесів самоочищення в р. Стрий.

Забруднення річкової води в результаті контакту з донними відкладеннями призводить до накопичення в них великої кількості поллютантів, що за певних умов можуть переходити в розчинні форми та забруднювати водні маси, спричиняючи вторинне забруднення. Особливості руслового процесу конкретного водного об'єкту можуть суттєво впливати на ці процеси, оскільки результуючі замулення русел залежать від співвідношення між швидкістю седиментації наносів в меженеві періоди та розмивом відкладень під час повеней.

Врахування вказаної динаміки руслового процесу в подальших дослідженнях вимагає точніших даних з гідрології водотоку та його

морфологічні характеристики, склад донних і завислих наносів, наявність техногенних та антропогенних домішок в руслових відкладеннях. Необхідно в подальшому провести аналіз мулових відкладів на наявність антропогенних забруднень, особливо на ділянці Стрий-Жидачів, яка відіграє значну роль в осадженні шкідливих домішок та сприяє нормалізації процесів природного самоочищення річкової води.

Для підвищення точності у визначенні рівня антропогенного навантаження необхідно збільшити кількість спостережень і підвищити контроль над об'ємами та якістю стічних вод зареєстрованих водокористувачів, а також продовжити облік джерел забруднення іншими малими підприємствами, кількість забруднюючих ними речовин від кожного водокористувача.

Необхідно продовжити дослідження процесу формування донних наносів, впливу інтенсивного відбору з русел річок басейну гравію і піску, що спричиняють зміну положення річки та провести аналіз стану берегоукріплень в басейні р. Стрий. Роботи з відновлення берегоукріплювальних споруд, проведені на певних ділянках русла за період досліджень, були недостатньо ефективними. Вода в різних місцях русла підмиває береги, що зумовлює небезпечні зсувні процеси, тому на цих ділянках потрібно розробити ефективніші заходи з регулювання і відновлень берегоукріплень.

Висновки до розділу 5

Обґрунтовано необхідність вдосконалення берегоукріплень та регулюючих заходів в басейні р. Стрий для захисту територій від підтоплення. В розробленні планів протипаводкових захистів в заплавах гірських потоків потрібно враховувати повністю всі водозбірні території. Місцеві заходи протипаводкового захисту, які не оцінюють повний процес проходжень повені в річковій заплаві, можуть спричинити суттєві погіршення загальної ситуації та збільшити збитки від паводків.

На території України необхідне негайне впровадження ефективної системи для прогнозування повеней та паводків, організація сповіщення населення про час повені, найбільші прогнозовані підняття рівня течії і тривалість паводку. Дуже важливим є своєчасне попередження жителів про ймовірний час повеней, їх наслідки та необхідні заходи для захисту від затоплень споруд і будівель.

Необхідне проведення інженерних досліджень ГТС гірських річкових басейнів, особливо огорожених дамбами річкових долин, де часто водна течія підіймається до значних рівнів вище заплав та заселених прилеглих територій. Техногенні впливи при цьому переважно мають функцію каталізаторів в природних процесах, які призводять до руйнівних наслідків.

Результати досліджень за даним розділом викладено у публікаціях [22], [31], [35], [40], [41], [88], [95], [118], [119], [186], [204].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновані способи розв'язання актуальних проблем басейнового природокористування у водозборі річки Стрий, що у Передкарпатті. З'ясовані закономірності функціонування модельної гідроекосистеми, природні й антропогенні аспекти формування фізико-хімічного складу природних вод басейну, запропоновано заходи з активізації функції самоочищення водотоків за захисту водних ресурсів гірських річок Львівщини.

1. Обґрунтовано доцільність екосистемного підходу за басейновим принципом для дослідження формування антропо- і техногенно змінених водних екосистем. Особливості геологічної будови визначають формування гідрологічних, геоморфологічних, геоекологічних та гідрохімічних умов території басейну р. Стрий, як і йому подібних. Господарське використання ресурсів території призводить до антропотрансформації ландшафтної екосистеми і визначає основні впливи на природні води.

2. Встановлено головні види антропогенного навантаження на екосистему басейну Стрия – це лісо- та агрогосподарська діяльність, комунальні скиди, втручання в морфологічну будову русла. Здійснено оцінювання вагомості їх впливу на якість природних вод досліджуваного регіону. Обґрунтовано вплив геоморфологічних, гідрологічних та гідроекологічних умов басейну р. Стрий на функцію природного самоочищення поверхневих вод і вплив гідродинамічно-активних ділянок в руслах річок на її підсилення.

3. Вдосконалено і використано методику досліджень факторів формування хімічного складу природних вод басейну, яка поєднує басейновий та ландшафтно-геохімічний підходи. Вона дозволяє інтегрально порівнювати найрізноманітніші природні та антропогенні впливи і виділити найважливіші параметри для проведення їхнього детального аналізу. Поєднання цих підходів дало можливість вдосконалити методику екологічного аналізу басейну річки Стрий.

4. Встановлено особливо сильний техногенний вплив на гідроекологічний стан басейну р. Стрий та умови формування природних вод. Найвагомим негативним чинником є скид недостатньо очищених стоків очисних споруд. В меншій кількості додаються засоби захисту рослин та мінеральні добрива, змиті із сільськогосподарських угідь. В урболандшафтах сильно впливають зливові стоки з міських і промислових територій, особливо залишків нафтопродуктів, стихійні звалища твердих побутових відходів.

5. Особливою загрозою для екологічних функцій самоочищення поверхневих вод є несанкціоновані кар'єрні розробки у водозборі р. Стрий, що порушують морфологію русла і погіршують гідрологічний режим та процес природного самоочищення води. Суттєво активізувалися ерозійні ґрунтові і літогенні процеси на ділянках лісорозробок. Не виконуються обсяги необхідної рекультивації порушених земель.

6. Аналіз води артезіанських свердловин системи водопостачання м. Стрий та узагальнення тривалих спостережень підтвердили високу якість підземних вод у басейні та відсутність негативного впливу річкової води басейну на підземні водні ресурси Братківського водозбору. Не виявлено систематичних перевищень вмісту відносно ГДК забруднюючих речовин. Якість річкової води Стрия є задовільною для її використання в господарському водопостачанні, а після доочистки у комунальних та рекреаційних цілях.

7. Експериментальні лабораторні й натурні дослідження сезонної зміни основних гідрохімічних показників якості річкових вод басейну за впливу урбанізованих територій довели значну позитивну роль гідродинамічно-активних ділянок в руслах річок на посилення функції природного самоочищення поверхневих вод.

8. Основними причинами руйнівних паводків, окрім антропогенних впливів, є недосконала система моніторингу поверхневих водозборів і відсутність надійних прогнозів. Розроблена нами досконаліша методика розрахунку елементів берегоукріплень річок із використанням коефіцієнта обтічності та коефіцієнта форми каменя дозволяє уточнювати при обчисленнях

розміри каменів, стійких до дії річкового потоку. З'ясована залежність формування річкового стоку гірських річок від коливань кліматичних параметрів.

9. Вдосконалення системи берегоукріплень та регуляційних заходів в басейні р. Стрий забезпечить захист територій від підтоплення. Нами доведено, що в розробленні планів протипаводкових захистів у заплавах гірських потоків потрібно враховувати повністю всі водозбірні території. Місцеві заходи протипаводкового захисту, які не оцінюють повний процес проходжень повені в річковій заплаві, спричиняють суттєві погіршення загальної ситуації та зумовлюють збитки від паводків.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Необхідно вдосконалити облік та уточнити достовірність звітів підприємств промисловості та сільського господарства про об'єми скидів і склад стічних вод, що надходять від них у водні об'єкти.

2. Необхідним є збільшення кількості пунктів екомоніторингу гідрохімічного складу та проведення періодичних аналізів санітарно-гігієнічних показників якості річкової води у місцях розміщення потенційних джерел забруднень. Необхідно встановити гранично допустимі рівні антропогенних навантажень на водні екосистеми басейну шляхом розрахунку величин асиміляційної ємності ресурсів місцевого річкового стоку.

3. Необхідно провести аналіз хімічного складу мулових відкладень природних водотоків на наявність в них антропогенних забруднень, а за необхідності, виконати днопоглиблювальні роботи із видаленням забрудненого мулу, що буде сприяти нормалізації процесів природного самоочищення річкової води.

4. Потрібно провести детальний моніторинг стану берегоукріплювальних споруд для проектування їх реконструкції, що забезпечить належний захист будівель, інженерних комунікацій та інфраструктури від паводків і повеней.

5. Для забезпечення належного очищення промислових та господарсько-побутових стічних вод необхідно завершити реконструкцію очисних споруд міста Стрий, що дозволить збільшити допустимі об'єми стоків і покращити якість їх очистки.

6. Виконати перевірку щодо дотримання правил розміщення у прибережних захисних смугах будівель промислового, житлового та господарсько-побутового призначення, а також оброблюваних сільськогосподарських угідь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пилипович О.В. Басейнова система як об'єкт геоекологічного аналізу. Стан, проблеми і перспективи природничої географії: Матеріали круглого столу, присвяченого. 2011. С.60-63.
2. Пилипович О.В. І. П. Ковальчук Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра: монографія [за науковою редакцією професора І.П. Ковальчука]. Львів–Київ: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 284 с.
3. Гнатів П. С., Снітинський В. В. Екосистеми і системний аналіз. Наукова монографія. Львів: Колір ПРО, 2017. 416 с.
4. Корытний Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании. Изд-во Института географии СО РАН, 2001. 163 с.
5. Корытний Л. М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию. *География и природные ресурсы*. 2017. № 2. С. 5–16.
6. Trifonova T. A., Mishchenko N. V. Assessing the soil-productive potential within river basins by using remotely sensed data. *Geography and Natural Resources*. 2016. Vol. 37, N 3. P. 192–199.
7. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60ЄС. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
8. Пилипович О. Концепція еколого-геоморфологічного моніторингу басейнових систем. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*; вип. 38. Львів, 2010. С. 302–310.
9. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія [за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука]. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. 592 с.
10. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleh, Hnativ Roman. Changing aquatic ecological systems of the foothills of the Dniester river basin under anthropogenic loading. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE 15 – 16 November 2019, GABROVO. P. 279-283.

11. Хільчевський В.К., Гончар О.М., Забокрицька М.Р. та ін. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України [за ред. В.К. Хільчевського та В.А. Сташука]. К.: Ніка-Центр, 2013. 256с.
12. Фізична карта України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.raster-maps.com/map-of-ukraine-15>.
13. Сливка Р.О. Геоморфологія Вододільно-Верховинських Карпат. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2001. 149 с.
14. Матолич Б., Ковальчук І., Іванов Є. та ін. Природні ресурси Львівщини. Львів: ПП Лукащук В. С., 2009. 120 с.
15. Кравчук Я.С. Геоморфологія Скибових Карпат. Львів : Видавн. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2005. 232 с.
16. Фото старого Львова. Село корчин. URL: <https://photo-iviv.in.ua/malovnychi-karpaty-abo-selo-korchyn-vodospad-hurkalo-ta-okolytsi/>
17. Фото-города. Верхнє Синьовиднє. <http://photogoroda.com/photo-goroda-verhnee-sinevidnoe-photo-city-10325.html>
18. Горбачова Л.О., Барандіч С.Л. Просторово-часова мінливість максимального стоку води весняного водопілля та паводків змішаного походження річок України. Наук. праці Укр НДГМІ, 2016, Вип. 269. С. 107-114.
19. Gnativ P. S., Lopotych N. Ja. Renewable water resources of northeastern macroslopes of Eastern Carpathians and their quality. *Біоресурси і природокористування*. 2014. Т.6, №5-6. С. 127-132.
20. Звіт про науково-дослідну роботу проведення просторового аналізу змін водного режиму басейнів поверхневих водних об'єктів на території України внаслідок зміни клімату [Електронний ресурс]. 2013. 228 с. – Режим доступу: <http://uhmi.org.ua/project/rvndr/avr.pdf>.
21. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання [за ред. М. І. Ромащенко]. Київ : Аграрна наука, 2002. 304 с.
22. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Яхно О.М., Гнатів Р.М.

Важливість захисту території від підтоплення та повеней на передгірських ділянках Карпатських річок. MONOGRAPH Heritage of european science: medicine, chemistry, biology, ecology, agriculture. Book 1. Part 4. Karlsruhe 2020. P. 131-137. (Колективна монографія)

23. Клименко В.Г. Гідрологія України: Навчальний посібник для студентів-географів. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. 124с.

24. Кирилюк О.В. Надрокористування в Україні [За ред. О.В. Кирилюка, Г.І. Рудька]. Чернівці: Букрек, 2019. 688с.

25. Карабин В., Колодій В., Яронтовський О., Козак Ю., Карабин О. Щодо динаміки забруднення ґрунтових вод Передкарпаття у зоні техногенезу родовищ нафти. Праці НТШ. Геологічний збірник 2007. Т. XIX. С. 182-190.

26. Карабин В.В., Козак Ю.З., Колодій В.В. Оцінка природних і техногенних ризиків забруднення фенолами питних вод Передкарпаття (на прикладі Стрийського водозабору). Пошукова та екологічна геохімія. 2006. № 5. С. 35–41.

27. Топольний Ф., Гелевера О., Моспан С. та ін. Екологічні проблеми сільського господарства Карпат. Праці НТШ : екологічний збірник. Т. XI: Екологічні проблеми Карпатського регіону. Львів, 2003. С. 351–360.

28. Криницький Г., Третяк П. Стан лісів Українських Карпат, екологічні проблеми та перспективи. Праці НТШ: екологічний збірник. Т. XI: Екологічні проблеми Карпатського регіону. Львів, 2003. С. 54–65.

29. Екологічна ситуація на північно-східному макросхилі Українських Карпат / за ред. М. А. Голубця. Львів : Поллі, 2001. 162 с.

30. Библюк Н.І., Ковальчук І.П., Мачуга О.С. Небезпечні стихійні явища в Карпатах: Причини виникнення та шляхи їх мінімізації. Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. Львів: РВВ НЛТУ України, 2008. Вип. 6. С. 105-119.

31. Снітинський В.В., Яхно О.М., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. Вплив екстенсивної лісогосподарської діяльності на зсувні та ерозійні явища в Карпатському регіоні. «ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ І

ДОВКІЛЛЯ»: збірник тез міжнар. наук. конф., (НЛТУ України, Львів, Україна, 28 – 30 травня 2020). С. 50-51.

32. Пилипович О. Аналіз антропогенного навантаження на басейнові системи Верхнього Дністра. Ресурси природних вод Карпатського регіону: проблеми охорони та раціонального використання. Матеріали одинадцятої Міжнародної наук.-практ. конференції (Львів, 23–24 травня 2012 р.). Львів: ЛьвЦНТЕІ, 2012. С. 45–50.

33. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП - Київ; Держ. служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2018. 98с.

34. Климчук Л.Н., Блинов П.В., Величко В.Ф., Примушко С.И., Фесенко О.В., Шестопалов В.М. Сучасні інженерно-геологічні умови України як складова безпеки життєдіяльності. Київ: ВПЦ “ЕКСПРЕС”, 2008. 205 с.

35. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. *Scientific Journal “Theory and building practice” (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2020. Volume 2, Number 1. P. 9-15.

36. Офіційний сайт НПП «Сколівські Бескиди». URL: <http://skole.org.ua/denudacijni.html>

37. Узагальнення матеріалів по вивченню екзогенних геологічних процесів по території діяльності підприємства та інженерно-геологічне довивчення території Львівської і частково Закарпатської областей: звіт про НДР / ДНВП “Геоінформ України”, ДП “Західукргеологія”; викон.: Т. Стахів – Львів, 2006. – 228 с.

38. Хлапук, В.В., Щодро О.Є. Дослідження місцевих розмивів біля річкових гідротехнічних споруд. Гідроенергетика України. 2014. № 2 – 3. С. 37 – 43.

39. Хлапук М.М., Щодро О.Є., Шинкарук Л.А., Безуськ О.В., Ясінська Л.Р. Узагальнення та використання наукових досліджень кафедри гідротехнічного будівництва НУВГП щодо запобігання шкідливій дії вод на річках України. *Вісник НУВГП*. Випуск 3(71) 2015р. Серія «Технічні науки». С. 230-235.

40. Gnativ R.M., Yakhno O.M., Gnativ I.R. Influence of quarrying on the change of longitudinal profiles in the mainstream of the river Stryi. *Conduct of modern science – 2016, November 30-december 7, 2016. Volume 16. Technical science, Mechanics*. P. 8-10.

41. Гнатів Р.М., Петриниць В.Ю., Гнатів І.Р. Розробка заходів в руслі річки Стрий для захисту територій і населених пунктів від паводків та повеней. Зб. матеріалів першої міжнародної інтернет-конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», 5-7 квітня 2017 р., м. Київ. 2017. С. 149.

42. Балабух В. Оцінка опадонебезпечності на території України. *Наук. праці УкрНДГМІ [за ред. В. Вишневського, О. Войцеховича]*. К.: 2000. Вип. 248. С. 77–84.

43. Дубіс Л. Ф., Ковальчук І. П., Михнович А. В. Небезпечні процеси у басейнових системах українських Карпат: поширення, інтенсивність розвитку, вплив на екологічний стан річкових русел *Наук. Збірник. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2006. Том 11. С. 59-69.

44. Шевчук В.М., Бурштинська Х.В. Методика моніторингу рік на урбанізованих територіях. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2011. Вип. 75. С. 73-82.

45. Ромащенко М., Савчук Д., Решетова О. Водні стихії, Карпатські повені, статистика, причини, регулювання. К.: Аграрна наука, 2002. 304 с.

46. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Протиповеневі водосховища - важливий спосіб регулювання повеней у Карпатах, УААН; Інститут гідротехніки і меліорації. К.: Аграрна наука, 2001. 25 с.

47. Рудько Г.І., Бондар О.І. Макроекологія України [За ред. Г.І. Рудька]. Київ-Чернівці: Букрек, 2020. 520 с.

48. Яцик А.В., Грищенко Ю.М., Волкова Л.А., Пашенюк І.А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник. К.: Генеза, 2007. 360 с.

49. Горбачова Л.О. Сучасні пріоритети та напрямки гідроекологічних досліджень річкових басейнів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Наук. Збірник. - 2006. Том 11. С. 338-341.

50. Кирилюк М. І. Режим формування історичних паводків в Українських Карпатах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: Наук. збірник. 2001. Т. 2. С. 163-167.

51. Козловський Б.І., Білоус Й.М., Когут Н.Є. Екологічні аспекти проходження повеней і паводків у Карпатському регіоні України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: Наук. збірник. 2000. Т. 1. С. 137-141.

52. Ободовський О.Г., Онищук В.В. Гідроекологічна та економічна оцінки збитковості катастрофічних паводків на річках Закарпаття. *Економічна та соціальна географія*. 2001. Вип. 50. С. 130-134.

53. Ободовський О. Г. Оцінка стійкості русел і класифікація паводків гірських річок. Україна і глобальні процеси: географічний вимір. Збірник наукових праць VIII з'їзду УГТ. 2000. Т. 2. С. 205-209.

54. Коноваленко О.С. Аналіз інтенсивності горизонтальних руслових деформацій на гірських річках Закарпаття. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: Наук. збірник. 2006. Т. 11. С. 153-158.

55. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Паводки в Карпатах - причини їх виникнення та повторюваність. Екологічні та соціально- економічні аспекти катастрофічних стихійних явищ у Карпатському регіоні (повені, селі, зсуви). 1999. С. 316-321.

56. Лук'янець О. І. Досвід оцінювання водності карпатських річок на наступні періоди. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: Наук. збірник. 2000. Т. 1. С. 206-209.

57. Іщук О.О., Середінін Є.С. Прогнозування й оцінка наслідків екстремальних повеневих ситуацій засобами просторового аналізу ГІС. *Вісник*

геодезії та картографії. 2000. № 2. С. 37-42.

58. Коваленко Л.Б. Некоторые особенности гидрохимического режима р. Днестр на участках с активными инженерными сооружениями. *Метеорология, климатология и гидрология*. 2000. Вып. 41. С. 3-8.

59. Ковальчук І.П., Михнович А.В. Оцінка трансформації гідрологічного режиму Дністра та ризику екстремальних паводків. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: Наук. збірник. 2002. Т. 3. С. 71-81.

60. Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону / М.А. Голубець, П. С. Гнатів, М. П. Козловський та ін. Львів: Поллі, 2007. 288 с.

61. Гайнріх Д., Гергт М. Екологія: dtv-Atlas: Пер. з 4-го нім. вид. [Наук. ред. пер. В.В. Серебряков]. К.: Знання-Прес, 2001. 287 с.

62. Іваненко О.Г., Белов В.В., Гриб О.М. Практична гідроекологія: Навчальний посібник. Одеса: ТЕС, 2009. 75 с.

63. Килимник О.М. Методичне керівництво з польової екогідрохімії. Одеса: ОДЕКУ, 2008. 210 с.

64. Ковальчук І.П., Курганевич Л.П. Гідроекологічний моніторинг: Навчальний посібник. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. 292 с.

65. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями: проект / за заг. ред.: А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Г.А. Верніченко та ін. Харків: УкрНДІЕП. 2012. 37 с.

66. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод: монографія / за ред. В. Д. Романенка. Київ: Логос, 2006. 408 с.

67. Мальцев П.М., Емельянова Н.А. Основы научных исследований. Київ. Вища школа, 1982. 192 с.

68. Хільчевський В.К., Савицький В.М., Красова Л.А., Гончар О.М. Польові та лабораторні дослідження хімічного складу води річки Рось : навчальний посібник [за ред. В.К. Хільчевського]. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. 143 с.

69. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Вплив урбанізованої території м. Стрий на якість річкової води. *Вісник ЛНАУ: агрономія*. 2020 № 24.

С. 17-22.

70. МВВ 081/12-0008-01. Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчиненого кисню методом йодометричного титрування за Вінклером. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76338

71. МВВ 081/12-0014-01. Поверхневі води. Методика виконання вимірювань біохімічного споживання кисню (БСК₅) (0,5-15 мг О₂/дм³). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=76349.

72. Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хромату як індикатора (метод Мора). ДСТУ ISO 9297: 2007: Державний стандарт України: Чинний від 01.01.2009. Київ, 2010. 10 с.

73. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначення рН: Затверджено: наказ Держстандарт від 12.03.2002 р. № 146. URL: http://document.ua/jakist-vodi_-viznachannja-rn-std2236.html

74. ДСТУ ISO 5667-6:2009 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок і струмків (ISO 5667-6:2005, IDT) [Чинний від 01.07.2011]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 22. с.

75. Рокочинський А.М., Сапсай Г.І., Шалай С.В. Основи наукових досліджень / за реакцією А.М. Рокочинського – Херсон: ОЛДІ ПЛЮС, 2017. 172с.

76. Налимов В.В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 207 с.

77. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleg, Machuga Oleg, Hnativ Roman Visualization of River Water Flow in Hydrodynamically Active Areas under Different Flow Regimes. *Journal of Ecological Engineering* 2021, 22(9), 130–136.

78. Васюков А. Е. Бланк А. Б. Химические аспекты экологической безопасности поверхностных водных объектов: монография. Х.: Институт монокристаллов, 2007. 256 с.

79. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. ВПЦ "Київський університет", 2019. 343 с.
80. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. К. : Ніка-Центр, 2012. 312 с.
81. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. М. : Эколайн, 2000. 266 с.
82. Боруцька Ю., Сахнюк І., Телегуз О., Медвідь Г. Геохімічна характеристика поверхневих вод басейну р. Стрий в умовах техногенезу. Ресурси природних вод Карпатського регіону: Матеріали доповідей XIII міжнарод. наук.-практ. конф., 29-30 травня 2014 р. Львів, 2014. С. 44-47.
83. Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: підручник. 3-тє вид., стер. К.: Т-во «Знання», КОО, 2006. 511с.
84. Природні ліси Українських Карпат [ред. А. Смалійчук та У. Гребенер] Львів: Карти і Атласи, 2018. 104 с.
85. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Папарига П.С. Сніговий покрив високогір'я Українських Карпат – індикатор забруднення довкілля. *Геохімія та рудоутворення*. 2011. Вип. 29. С. 89–93.
86. Карабин В. Гідрохімія головних іонів р. Білий Черемош. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2013. № 1–2 (162–163). С. 101– 106.
87. Боруцька Ю., Дяків В. Мінерально-сорбційні та киснево-кавітаційні комплексні геохімічні бар'єри на шляхах міграції потенційно забруднених природних вод у басейні р. Стрий. *Мінералогічний збірник*. 2014. Вип. 2, № 64. С. 195–214.
88. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Hnativ R. Influence of Climatic Factors on Runoff Formation and Surface Water Quality of the Stryi River Basin. In: Blikharskyu Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. pp. 436-442.
89. Пилипович О., Михнович А., Сорока О., Чікова І. Сучасні екзогенні процеси в межах Сколівських Бескидів: причини та наслідки прояву. *Проблеми*

геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій. 2014. С. 140-153.

90. Кравчук Я.С. Геоморфологія Передкарпаття. Львів : Меркатор, 1999. 188 с.

91. Ковальчук І., Пилипович О., Венгринович О. Кількісна оцінка механічної денудації в Карпатській частині басейну Дністра: природна та антропогенна складові. *Фізична географія та геоморфологія*. 2010. Вип. 1(58). С. 76-85.

92. Мамина Л.Р. Количественная оценка механической денудации гор Евразии. Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Географ. ф-тет МГУ, 2004. С. 133-135.

93. Гнатів П. С., Гринчак М. М. Стан рослинного покриву і втрати екологічного потенціалу наземних екосистем у гірському регіоні Львівщини у зв'язку з їхніми середовищестабілізаційними функціями. *Науковий вісник Національного ун-ту біоресурсів і природокористування України*. 2009. № 135. К.: НУБіП України, 2009. С. 13–21.

94. Солодкий В. Д., Беспалько Р. І., Казімір І. І. Екзогенні геодинамічні процеси Буковинських Карпат та Передкарпаття. *Екологічна безпека та природокористування*. 2013. Вип. 13. С. 54-63.

95. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Особливості формування поверхневого стоку гірських річок за вирубки лісів та розорювання схилених територій. *Науково-практичний журнал "Екологічні науки"*. 2020, № 3(30). С. 73-77.

96. Олійник В.С. Фактори виникнення паводкового стоку води в гірських лісах Карпат. *Наук. вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.2. С. 21-26.

97. Рак А. Ю. Взаємозв'язок та взаємозумовленість прояву стихійних явищ у гірсько-лісових екосистемах. *Наук. вісник НЛТУ України*. 2018. т. 28, № 3. С. 67-72.

98. Волосецький Б.І., Шпирналь Т.Г. Дослідження перенесення гравійно-галькових мас у руслі р.Стрий за даними геодезичного моніторингу. *Геодезія,*

картографія і аерофотознімання. 2013. Вип. 77. С. 115-121.

99. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Яхно О.М., Гнатів Р.М. Техногенні джерела надходження компонентів у природні води річок Карпатського регіону. X Міжнародна науково-практична конф. «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 29 - 30 квітня 2020 р., м. Чернігів. С. 108-109.

100. Осадчий В.І. Гідрологічні чинники формування хімічного складу поверхневих вод. Наукові праці УкрНДГМІ, 2013, Вип. 265. С. 54-65.

101. Bierman P.R., Montgomery R.D. Key Concepts in Geomorphology. New York: W.H. Freeman. 2014. P. 544.

102. Малі річки України: [довідник] / [за ред. А.В. Яцика]. Київ: Урожай, 1991. – 296 с.

103. Buffington J.M., Montgomery D.R., Shroder J., Wohl E. Geomorphic classification of rivers. *Treatise on Geomorphology. Fluvial Geomorphology*, 2013. Vol. 9. P. 730-767.

104. Боруцька Ю., Сахнюк І., Телегуз О., Медвідь Г., Кость М. Гідрогеохімічний аналіз басейну р. Стрий (екологічний аспект). *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2015. № 1-2. С. 108-117.

105. Бурштинська Х.В., Бабушка А.В., Бубняк І.М., Бабій Л.В., Третяк С.К. Вплив геологічних структур на характер зміщень русел рік верхньої частини басейну Дністра. *Геодинаміка*. Вип. 2 (27). 2019. С. 26-40.

106. Hajdukiewicz H., Wyżga B., Mikuś P., Zawiejska J., Radecki-Pawlik A. Impact of a large flood on mountain river habitats, channel morphology, and valley infrastructure. *Geomorphology*. 2016. Vol. 272. P. 55-67.

107. Ющенко Ю. Руслознавчі дослідження у Чернівецькому університеті/ Українська історична географія та історія географії в Україні. 2009. С. 36 – 37.

108. Kovalchuk Ivan, Mykhnovych Andriy, Pylypovych Olha and Rud'ko Georgiy. Extreme Exogenous Processes in Ukrainian Carpathians. *Book chapter in: Geomorphological impact of extreme weather: Case studies from central and eastern Europe*. Loczy Denes. Series: Springer Geography, 2013, Part 1, Pages 53– 67.

109. Mykhnovych A.V., Pylypovych O.V. Riverbed deformations in the upper Dnister catchment under gravel-pits exploitation. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. 2017. № 1. С. 112-122.
110. Watson A.J., Basher L.R. Stream bank erosion: a review of processes of bank failure, measurement and assessment techniques, and modelling approaches. Integrated Catchment Management Programme Report Series: Bank erosion review. Landcare ICM Report No. 2005-2006/01. P. 32.
111. Hu Z., Wang L., Tang H., Qi X. Prediction of the future flood severity in plain river network region based on numerical model: A case study. *Journal of Hydrology*. 2017. Vol. 29 (4). P. 586-595.
112. Peggy A. J. Assessing Stream Channel Stability At Bridges in Physiographic Regions. PUBLICATION NO. FHWA-HRT-05-072, JULY 2006. P. 147 URL: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/hydraulics/05072/>
113. J. David Allan, María M. Castillo. *Stream Ecology. Structure and function of running waters (Second Edition)*. Springer, 2007. 436p.
114. Blackwell W., Kondolf G.M., Piegay H. *Tools in fluvial geomorphology. Advancing river restoration and management. Sekond Edition*. 2003. pp. 541.
115. Richards K., Brasington J., Hughes F. Geomorphic dynamics of floodplains: ecological implications and a potential modelling strategy. *Freshwater Biology*, 2002. Vol. 47. pp. 559-579.
116. Wohl E. Particle dynamics: The continuum of bedrock to alluvial river segments. *Geomorphology*. 2015. Vol. 241. pp. 192-208.
117. Ободовський О. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України). Київ: Ніка-Центр, 2001. 274 с.
118. Яхно О.М., Гнатів Р.М., Дудар В.О., Гнатів І.Р. Руслові процеси річки Стрий та їх залежність від інтенсивних гравійно-піщаних розробок. XIX Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика». Матеріали конференції. Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2018. С. 81.

119. Gnativ I.R., Gnativ R.M. Influence of quarrying in the riverbed stryі at water intake facilities of water supply systems. Proceedings of the International scientific-practical conference of young scientists "BUILD-MASTER-CLASS-2016" Kyiv, Ukraine 16-18 November 2016 in Kyiv National University of Construction and Architecture. P. 158-159.

120. Hooke J.M. Hydromorphological adjustment in meandering river systems and the role of flood events. Sediment Dynamics and the Hydromorphology of Fluvial Systems. (Proceedings of a symposium held in Dundee, UK, July 2006). Vol. 306. pp. 127-135.

121. Іванов Євген Геокадастрові дослідження гірничопромислових територій: Монографія. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009. 372 с.

122. Бурштинська Х. В., Шевчук В.М. Методика дослідження зміщень русла ріки Дністер. *Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник НУ "Львівська політехніка"*. Львів: В-во Львівської політехніки, 2012. Вип. 76. С. 102–110.

123. Burshtynska Kh., Zayac I., Tretyak S., Halochkin M. Monitoring of the riverbed of river Dniester of the Carpathian Region using GIS technologies. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. 2017. vol. 29. pp. 25-36.

124. Бурштинська Х.В., Третяк С.К., Шевчук В.М. Моніторинг змін русла річки Стрий з використанням ГІС технологій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2018. Випуск І (35). С. 138-146.

125. Жидачівське управління водного господарства. URL: <http://zuvg.lviv.ua>

126. Рудько Г.І., Петришин В.Ю. Характеристика родовищ валунно-гравійно-піщаних порід у Львівській області та їх вплив на екологічний стан природного середовища. *Мінеральні ресурси України*. №1. 2014. С. 39-47.

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

September 2005. P. 779-803.

128. Kostrzewski A. Geosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. *Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”*. 1993. № 6. S.11–17.

129. Шварцев С.Л. Внутренняя эволюция геологической системы “вода – порода”. *Вестник РАН*. 2012. Т. 82. № 3. С. 242–251.

130. Савичев О.Г. Влияние взаимодействий в системе “вода – порода” на формирование состава речных вод бассейна Оби. Институт геологии и нефтегазового дела Томского политехнического университета. 2009. С. 74–80.

131. Савичев О. Г. Математическая модель формирования среднемноголетнего макрокомпонентного состава речных вод в условиях их антропогенного загрязнения. *Инженерная экология*. 2000. № 5. С. 37–46.

132. Габинет М.П., Кульчицкий Я.О., Матковский О.И. и др. Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат. Ч. 1 [под. общ. ред. Я.О. Кульчицкого и О.И. Матковского]. Львов : Вища школа, 1976. 200 с.

133. Геология и полезные ископаемые Украинских Карпат. Ч. 2 / [М.П. Габинет, Я.О. Кульчицкий, О.И. Матковский и др.]; под. общ. Ред. Я.О. Кульчицкого и О. И. Матковского. Львов : Вища шк., 1977. 220 с.

134. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.

135. Алексеевнина М.С., Поздеев И.В. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии: учеб. пособие. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2016. 205 с.

136. Екологічний потенціал наземних екосистем / М.А. Голубець, О.Г. Марискевич, Б. О. Крок та ін. – Львів: Поллі, 2003. 180 с.

137. Селезнева А. В. Антропогенная нагрузка на реки от точечных источников загрязнения. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2003. Т. 5. № 2. С. 268–277.

138. Гопчак І.В., Яцик А.В., Яцик І.А., Басюк Т.О. Оцінка екологічного стану поверхневих вод малих річок басейну р. Західний Буг за рівнем

забрудненості (на прикладі р. Гапа). *Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал* № 1 (802) – К: «Аграрна наука» НААН, 2020. С. 75-80.

139. Бондаренко Ю.В., Афонин В.В., Фисенко Б.В. Определение проектных гидрологических и морфометрических характеристик русел рек при их экологической реабилитации. *Научное обозрение*. 2015. № 4. С. 141–146.

140. Курочкина В.А., Богомолова Т.Г., Киров Б.Л. Антропогенная нагрузка на реки урбанизированных территорий. *Вестник МГСУ*. 2016. № 8. С. 100-109.

141. Водний кодекс України; Кодекс України про надра; Лісовий кодекс України; Повітряний кодекс України : за станом на 1 вересня 2011 р. / Верховна рада України. – Х. : Право, 2011. 248 с.

142. Остякова А.В., Каган П.Б. Экологические аспекты инженерных мероприятий по регулированию стока воды, перестроению русла и его очистке от загрязненных донных отложений. *Научно-практический Интернет-журнал «Наука. Строительство. Образование»*. 2011. № 2. С. 1–8.

143. Турка. URL: <https://mapio.net/a/96742099/?lang=uk>

144. Тухля. URL: <https://www.karpaty.info/ua/uk/lv/st/tukhlya/>

145. Тухля. URL: <http://skole.com.ua/uk/gallery/tuxlya-foto.html>

146. Боруцька Ю., Телегуз О., Медвідь Г. Оцінка впливу аграрного комплексу на стан природних вод басейну р. Стрий. Ресурси природних вод Карпатського регіону: XIV міжнар. наук.-практ. конф.. 28-29 травня 2015 р. : зб. наук, статей. Львів, 2015. С. 8—11.

147. Минеев В. Г. Агрохимия: [учебник]. [2-е изд.]. М. : Изд-во “Колос”, 2004. 720 с.

148. Примак І.Д., Манько Ю.П., Рідей Н.М. Екологічні проблеми землеробства [за ред. І. Д. Примака]. К. : Центр учеб. л-ри, 2010. 456 с.

149. База даних Головного управління статистики у Львівській області: Населення URL: <http://database.ukrcensus.gov.ua>

150. Снітинський В.В., Гнатів П.С., Лопотич Н.Я. Екобезпека і захист природного довкілля Східних Бескид : монографія. Львів: Камула, 2018. 180 с.

151. Вишневецкий В.Ю., Вишневецкий Ю.М. Анализ воздействия загрязняющих веществ на поверхностные водные объекты // *Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. "Экология 2009 – море и человек"*. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. № 7. С. 135-139.

152. Екологічний паспорт Львівської області за 2017-2019р. 2020 р. 265с.

153. Гнатів І.Р., Дацко Т.М. Ландшафтні екосистеми Прикарпатського регіону за зростаючого антропогенного навантаження. Матеріали XXI Міжнародного науково-практичного форуму, 22 – 24 вересня 2020 р. Львів: ННБК «АТБ», 2020. С. 130-132.

154. Библиук Н. І. Лісотранспортні засоби: теорія : [підручник]. Львів : Видавн. дім “Панорама”, 2004 р. 453 с.

155. Павленко С. М., Зима О. Г. Антропогенні зміни лісових масивів під впливом діяльності промислових підприємств. *Системи обробки інформації*. 2010. Випуск 5 (86). С. 242-245.

156. Спринський М.І., Лебединець М.В., Козак Ю.З. та ін. Поширення нафтопродуктів і фенолів у поверхневих водах басейну р. Стрий. *Вісник Львівського університету*. Серія геологічна. 2006. Вип. 20. С. 124–139.

157. Елин Е.С. Геоэкологическая роль фенольных соединений в Тюменском нефтегазовом регионе. Исследования эколога-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России: теория, методы и практика. Нижневартовск, 2000. С. 162–166.

158. Середин В.В. Санация территорий загрязненных нефтью и нефтепродуктами. *Геоэкология*. 2000. № 6. С. 5–25.

159. Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов А.И. и др. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. М. : Наука, 2002. 123 с.

160. Козак Юлія, Сахнюк Ірина, Телегуз Ольга Органічні сполуки в природних водах басейну р. Стрий на території впливу Стинавського нафтопромислу. Проблеми геології та нафтогазоносності Карпат: міжнародна

наукова конференція до 100-річчя від дня народження чл.-кор. НАН України М. Р. Ладиженського та 55-річчя ІГГГК НАН України, 26–28 вересня 2006 р.: тези доповідей. Львів, 2006. С. 99–101.

161. Алимов А.Ф. Элементы функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2001. 147 с.

162. Лукашев Д.В. Фоновое содержание тяжёлых металлов в двустворчатых моллюсках украинского участка р. Десны. *Гидробиол. журн.* 2011. Т. 47, № 3. С. 44-57.

163. Боруцька Ю.З. Кавітаційний та аераційний вплив гідродинамічних бар'єрів на якість природних вод басейну р. Стрий. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія.* 2015. № 3–4, Вип. 64. С. 66-69.

164. Экология эрозионно-русловых систем России [под ред. Р. С. Чалова]. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2002. 163 с.

165. Снітинський В.В., Яхно О.М., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. Зміна якості природних вод на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок. Матеріали XXV Міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», 6 – 9 жовтня 2020р., м. Київ. С. 256-259.

166. Young F. R. Cavitation. London, U. K. : Imperial College Press, 1999. 418 p.

167. Николадзе Г. И. Технология очистки природных вод. М.: Высш. шк., 1987. 480 с.

168. Strutinskiy V., Yakhno O., Machuga O., Hnativ I., Hnativ R. Analysis of interaction between a configurable stone and a water flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol 6, No 10 (96) (2018): Ecology. p. 14-20.

169. Конструкції річкових укріпних споруд на гірських автомобільних дорогах України: Альбом. 89-2000. РУС [Текст]/Державна служба автомобільних доріг: Наказ №3 42 від 04.08.2002 р. Івано-Франківськ: Галдорпрогрес, 2002. 149 с.

170. Хлапук М. М., Шинкарук Л.А., Ясінська Л.Р. Дослідження впливу донних порогів на структуру водного потоку перед ними на передгірських ділянках річок. *Вісник НУ "Львівська політехніка"*. 2013. № 755 : Теорія і практика будівництва. С. 449–456.

171. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Высоконадежные конструкции противно фильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности. *Гидротехническое строительство*. 2014. № 8. С. 18 – 25.

172. Горбань І.М. Чисельне моделювання еволюції нерівностей великого масштабу на річковому дні. *Прикладна гідромех.*, 2015. № 1, т.17. С. 21 – 36.

173. Rui Yan., Monaghan J.J. SPH simulation of skipping stones. *European Journal of Mechanics B/Fluid*, 2017. Vol. 61, part 1. P. 61 – 71.

174. Budnikov, A.A., Chaplina T.O., Pokazeev K.V. Motion of the objects of different sizes and the shapes on the surface of a vortex. *International Journal of Fluid Mechanics Research*. 2016. No 4, vol. 43. P. 368–374.

175. Garelli Luciano, Schaver Marco, Rodrigues Gustavo Rios, Langer Sabina C. Evaluation of a coupling interface for solving fluid – structure interaction problems. *European Journal of Mechanics B/Fluid*, 2016. Vol. 58. P. 117–127.

176. Sharma P.K., Khandelwal Manoj, Singh T.N. Variation on physico-mechanical properties of stone under different water environments. *Building and Environment*, 2007. Vol. 42, iss. 12. P. 4117–4123.

177. Ткачук С. Г. Теоретична формула граничної глибини місцевого розмиву біля мостових опор в зв'язних ґрунтах. *Гідравліка і гідротехніка*. Київ: НТУ України, 2012, вип. 66. С. 62 – 69.

178. Kuczkowski K. Male elektrownie wodne: Niekonwencjonalne źródła energii / K. Kuczkowski [i inni.]. – URL: <http://www.ely.pg.gda.pl>.

179. Sedlák Vladimír, Ječný Miloš. Deformation measurements on bulk dam of waterwork in east Slovakia. *Sbornik vedeckich prací Vysoké školy báňské. Technické Univerzity Ostrava: Řada hornicko-geologické*, 2004. No 2, vol. L. P. 1–10.

180. Machuga Oleg, Byblyuk Nestor, Byblyuk Natalia, Machuga Yurii. Kritériá pre dlhodobú prevádzku vodných diel horských riek. Mobile energy systems – Hydraulics – Environment – Ergonomics of mobile machines: Peer – review ed Proceedings. Zvolen: Technicka univerzita vo Zvolene, 2015. P. 79 – 87.

181. Hryniuk V.I., Arkhypova L.M. Regularity of effects of climatic changes on quality indicators of surface water of the Dniester basin. *Naukovyi Visnyk NHU, Environmental safety, labour protection*. 2018, № 3. P. 125-133.

182. Korchemlyuk M.V., Arkhypova L.M. and Prykhodko M.M. Environmental effects of global climate change. *Scientific Bulletin of IFNTUOG*, 2016. 1(13), pp. 120–129.

183. Гринюк В.І. Дослідження процесів самоочищення правих приток річки Свічі басейну Дністра. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2018, т. 28, № 3. С. 77-82.

184. Соболевський Е.Е. Гідрогеологічне районування. Географічна енциклопедія України: в 3 т. Т. 1: А–Ж. К.: “Українська радянська енциклопедія” ім. М. П. Бажана, 1989. С. 262.

185. Зоріна О.В. Научное обоснование совершенствования порядка экологогигиенического мониторинга качества природных и питьевых вод. *Environment & Health*. 2018, № 2. С. 29-35.

186. Гнатів І.Р. Вплив антропогенних факторів на якість питної води у свердловинах Стрийського водозабору. *Науково-практичний журнал “Екологічні науки”*. 2021, № 2(35). С. 25-29.

187. Volodymyr Snitynskyi, Petro Khirivskyi, Volodymyr Cherniuk, Ihor Hnativ, Roman Hnativ, Orest Verbovskiy, Irina Bihun. The Influence of Self-Cleaning Processes on the Quality of Drinking Water of Stryi Water Intake Wells. *Journal of Ecological Engineering* 2022, 23(4), 25–32.

188. Reid D.E., Hickin E.J. Flow resistance in steep mountain streams. *Earth Surface Processes and Landforms* 33: 2008. P. 2211–2240.

189. Chiari M., Rickenmann D. Back-calculation of bedload transport in steep channels with a numerical model. *Earth Surface Processes and Landforms* 36. 2011.

805–815pp.

190. Comiti F., Mao L., Wilcox A., Wohl E.E., Lenzi M.A. Field-derived relationships for flow velocity and resistance in high-gradient streams. *Journal of Hydrology* 340: 2007.48–62.

191. Radecki-Pawlik Artur, Pagliara Stefano, Hradecky Jan. *Open Channel Hydraulics, River Hydraulic Structures and Fluvial Geomorphology*. Publisher: CRC, Taylor & Francis. 2018. 516 p.

192. Крайнюков О.М., Кривицька М.І., Крайнюков О.О. Основні ландшафтні передумови формування екологічного стану водних об'єктів (на прикладі Харківської та Рівненської областей). «Молодий вчений». № 2 (42), лютий, 2017 р. С. 22-25.

193. Загорчевна Н., Сыродоев Г., Игнатьев И. Снижение уязвимости к экстремальным наводнениям и изменению климата в бассейне реки Днестр. Проект Инициативы ENVSEC [Электронный ресурс].

194. Ліпінський В.М., Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Активізація стихійних метеорологічних явищ на території України – прояв глобальних змін клімату. *Укр. геогр. журн.* 2007. №2. С. 11–20.

195. Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Аналіз зміни та прогнозування руслових і екологічних процесів за умов мінливості природних факторів. Матеріали XXII Міжнародного науково-практичного форуму, 5 – 7 жовтня 2021 р. Львів: ННВК «АТБ», 2021. Т. 1. С.190-194.

196. Качала С.В. Проблематика та методика дослідження комплексного гідроекологічного ризику. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування, науково-технічний журнал*. Івано-Франківськ. 2016. № 1 (13). С. 136-140.

197. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у 4 т., 7 кн. К.: Генеза, 2004. Т.4. 680с.

198. Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: Монографія/ Л.М. Архипова – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. 355 с.

199. The restoration of rivers streatems. Theories and experience./ Edited by James A.Gore. Faculty of Natures Sciences University of Tulsa. Butterworth Publ., 1985. 317 p.

200. Гриб И.В., Клименко М.О., Сондак В.В. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем. Т.1 Рівне ППФ «Волинські береги», 1999. 348 с.

201. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона : навч. посібник [за ред. В. К. Хільчевського]. К.: ВПЦ "Київський університет", 2015. 172 с.

202. Богомолова Т.Г., Курочкина В.А. Загрязнение речных русел на урбанизированных территориях и инженерные мероприятия по улучшению их экологического состояния. *Вестник МГСУ*. 2010. № 4. Т. 2. С. 399–404.

203. Gopchak I., Kalko A., Basiuk T., Pinchuk O., Gerasimov I., Yaromenko O., Shkirynets V. (2020). Assessment of surface water pollution in western Bug River within the cross-border section of Ukraine. *Journal of Water and Land Developmet*. 2020. No. 46 (VII-IX). P. 97-104.

204. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. The need to protect areas from flooding and shore protection on the rivers of Prykarpattia. *Scientific Journal "Theory and building practice"* (JTBP). Lviv: LPNU. 2021. Vol. 3, No. 1, 2021. P. 72-78.

Додатки

Додаток А
Рисунки розділу 1



Рис. А.1. Південні схили Орівського хребта, низькогірного рельєфу, с. Корчин
[16]



Рис. А.2. Круті схили Орівського хребта в околицях с. Корчин [16]



Рис. А.3. Улоговина В. Синьовидне в межиріччі річок Стрия і Опора [17]

Додаток Б
Рисунки розділу 2



Рис. Б.1. Лабораторне обладнання для гідрохімічних аналізів



Рис. Б.2. Електронне обладнання для вимірювання гідрохімічних показників

Додаток В

Рисунки розділу 3

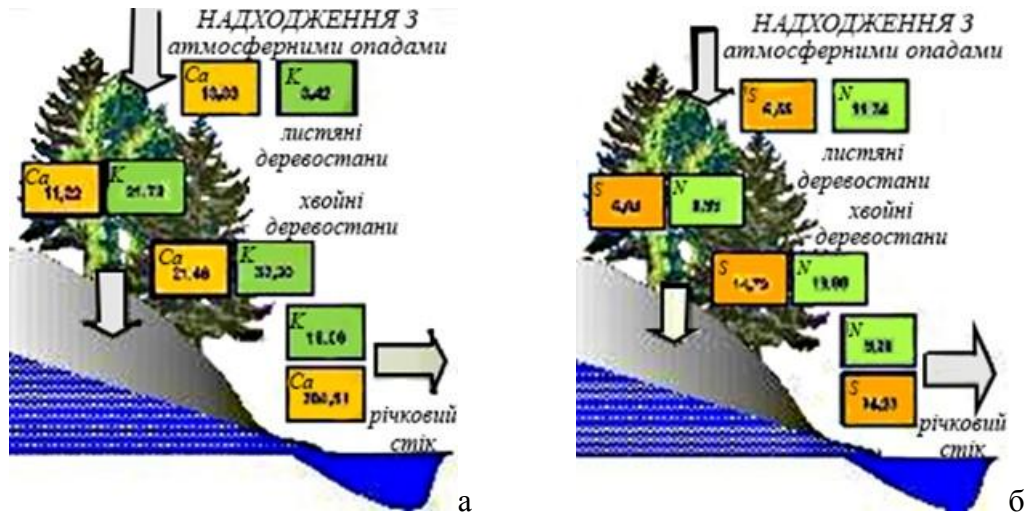


Рис. В.1. Надходження та винесення сполук на ділянці заліснених флішових Карпат (ст. Шимбарк, Польща) у 2009 р. (кг/га/рік): а) кальцію і калію; б) сірки та зв'язаного азоту [128]

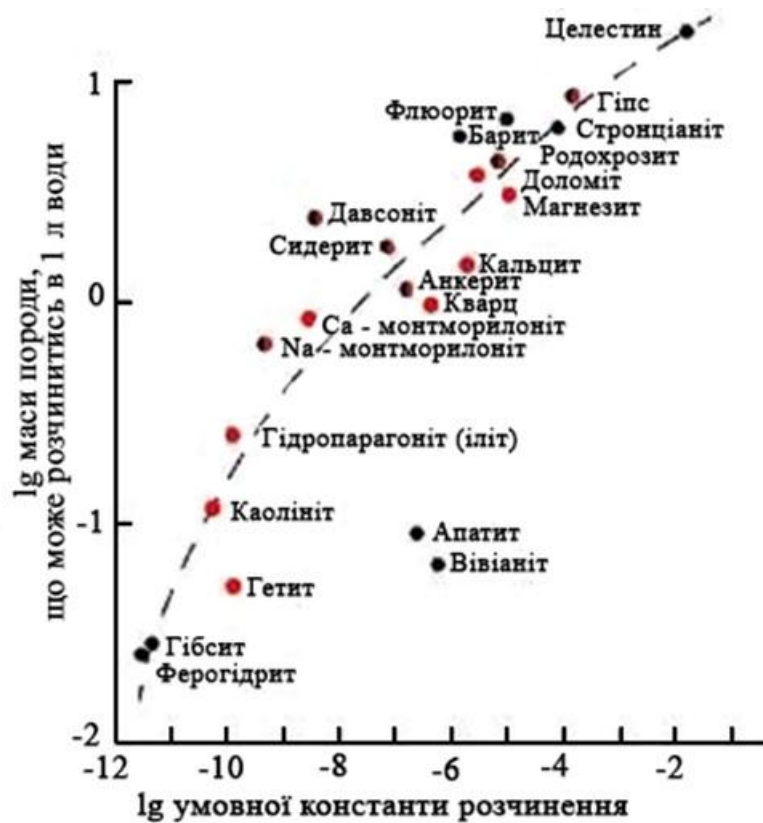


Рис. В.2. Послідовність вторинного мінералоутворення, як функція насичення води компонентами під час взаємодії “вода – порода” [130, 131]

Додаток Г
Рисунки розділу 3



Рис. Г.1. Розташування житлових будинків з потенційними джерелами забруднення на ПЗС р. Яблунька [143]



Рис. Г.2. Приватні житлові споруди в заплаві та першій терасі р. Опір у с. Тухля, на ділянці підвищеної небезпеки при проходженні повені та паводку [145]



Рис. Г.3. Розорювання ґрунтів на схилах гір на східній околиці в смт. Східниця

Додаток Д

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Вплив урбанізованої території м. Стрий на якість річкової води. *Вісник ЛНАУ: агрономія*. 2020 № 24. С. 17-22. doi.org/10.31734/agronomy2020.01.017 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено експериментальні дослідження із визначення впливу урбанізованої території м. Стрий на якість річкової води.*

2. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Особливості формування поверхневого стоку гірських річок за вирубки лісів та розорювання схилів територій. *Науково-практичний журнал “Екологічні науки”*. 2020, № 3(30). С. 73-77. doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.12 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено експериментальні дослідження зміни параметрів стоку в басейні р. Стрий*

3. Гнатів І.Р. Вплив антропогенних факторів на якість питної води у свердловинах Стрийського водозабору. *Науково-практичний журнал “Екологічні науки”*. 2021, № 2(35). С. 25-29. doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.4 (Index Copernicus).

4. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Процеси самоочищення за впливу урбанізації територій на передгірській та рівнинній ділянках р. Стрий. *Вісник ЛНАУ: агрономія*. 2021 № 25. С. 30-34. doi.org/10.31734/agronomy2021.01.030 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено лабораторні дослідження процесів самоочищення за впливу урбанізації територій.*

Статті у міжнародних виданнях, що включені до наукометричних баз, та розділи в закордонних монографіях

5. Strutinskiy V., Yakhno O., Machuga O., Hnativ I., Hnativ R. Analysis of

interaction between a configurable stone and a water flow. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol 6, No 10 (96) (2018): Ecology. p. 14-20. ISSN 1729-3774. doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148077 (Scopus). *Здобувачем проведено аналітичне опрацювання результатів досліджень та обґрунтування експериментальних залежностей.*

6. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Hnativ R. Influence of Climatic Factors on Runoff Formation and Surface Water Quality of the Stryi River Basin. In: Blikharskyi Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2020. EcoComfort 2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 100. Springer, Cham. pp. 436-442. doi.org/10.1007/978-3-030-57340-9_53 (Scopus). *Здобувачем проведено аналітичне опрацювання результатів моніторингу зміни параметрів стоку.*

7. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleg, Machuga Oleg, Hnativ Roman. Visualization of River Water Flow in Hydrodynamically Active Areas under Different Flow Regimes. *Journal of Ecological Engineering* 2021, 22(9), 130–136. doi.org/10.12911/22998993/141385 (Scopus). *Здобувачем вдосконалено діючу експериментальну установку та проведено візуалізацію потоку на ГАД гірських річок*

8. Volodymyr Snitynskyi, Petro Khirivskyi, Volodymyr Cherniuk, Ihor Hnativ, Roman Hnativ, Orest Verbovskiy, Irina Bihun. The Influence of Self-Cleaning Processes on the Quality of Drinking Water of Stryi Water Intake Wells. *Journal of Ecological Engineering* 2022, 23(4), 25–32. <https://doi.org/10.12911/22998993/146335> (Scopus). *Здобувачем проведено натурні дослідження процесів самоочищення в гірських водотоках на якість води водозабірних свердловин.*

9. Hnativ I.R. Modern economic activity and its impact on the state of the river-basin system of the Stryi river. *SWorldJournal*. 2021, №8, Part 2. P. 76-81. doi.org/10.30888/2663-5712.2021-08-02-083 (Index Copernicus).

10. Snitynskyi V., Khirivskyi P., Hnativ I., Yakhno O., Hnativ R. The importance of protecting the area from flooding and floods in the foothills of the Carpathian rivers. MONOGRAPH Heritage of european science: medicine, chemistry, biology, ecology, agriculture. Book 1. Part 4. Karlsruhe 2020. P. 131-137.

doi.org/10.30888/978-3-9821783-6-3.2020-01-04-016 *Здобувачем проведено аналітичне опрацювання результатів моніторингу зміни рівнів води в періоди зростання паводкової небезпеки.*

Інші публікації

11. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. Landslides and erosion phenomena in the foothills of the Carpathian region rivers. *Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2020. Volume 2, Number 1. P. 9-15. doi.org/10.23939/jtbp2020.01.009 (Index Copernicus). *Здобувачем проведено аналітичні дослідження зсувних та ерозійних явищ на передгірських ділянках річок Карпатського регіону.*

12. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Hnativ Roman. The need to protect areas from flooding and shore protection on the rivers of Prykarpattia. *Scientific Journal "Theory and building practice" (JTBP)*. Lviv: LPNU. 2021. Vol. 3, No. 1, 2021. P. 72-78. doi.org/10.23939/jtbp2021.01.072 (Index Copernicus). *Здобувачем проаналізовано основні фактори, які впливають на трансформацію русла, ерозійні та зсувні явища на території Прикарпаття.*

13. Snitynskyi Volodymyr, Khirivskyi Petro, Hnativ Ihor, Yakhno Oleh, Hnativ Roman. Changing aquatic ecological systems of the foothills of the Dniester river basin under anthropogenic loading. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE 15 – 16 November 2019, GABROVO. P. 279-283. *Здобувачем проведено аналіз впливу антропогенних і природно-кліматичних факторів на зміну водних екологічних систем басейну річки Стрий.*

14. Снітинський В.В., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Яхно О.М., Гнатів Р.М. Техногенні джерела надходження компонентів у природні води річок Карпатського регіону. X Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 29 - 30 квітня 2020 р., м. Чернігів. С. 108-109. *Здобувачем проаналізовано техногенні джерела надходження компонентів у природні води річок Карпатського регіону.*

15. Снітинський В.В., Яхно О.М., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. Зміна якості природних вод на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок. Матеріали XXV Міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», 6 – 9 жовтня 2020р., м. Київ. С. 256-259. *Здобувачем проведено натурні дослідження впливу ГАД на процеси самоочищення річкових вод.*

16. Снітинський В.В., Яхно О.М., Хірівський П.Р., Гнатів І.Р., Гнатів Р.М. Вплив екстенсивної лісогосподарської діяльності на зсувні та ерозійні явища в Карпатському регіоні. «ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ І ДОВКІЛЛЯ»: збірник тез міжнар. наук. конф., (НЛТУ України, Львів, Україна, 28 – 30 травня 2020). С. 50-51. *Здобувачем проведено аналіз впливу лісогосподарської діяльності на зсувні та ерозійні явища в Карпатському регіоні.*

17. Гнатів І.Р., Дацко Т.М. Ландшафтні екосистеми Прикарпатського регіону за зростаючого антропогенного навантаження. Матеріали XXI Міжнародного науково-практичного форуму, 22 – 24 вересня 2020 р. Львів: ННВК «АТБ», 2020. С. 130-132. *Здобувачем проаналізовано антропогенні впливи на ландшафтні екосистеми Прикарпаття.*

18. Гнатів І.Р. Процеси природного самоочищення на гідродинамічно-активних ділянках гірських річок/ І.Р. Гнатів// XI Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 26–27 травня 2021 р., м. Чернігів. С. 137-139. *Здобувачем проведено аналіз антропогенного навантаження на ландшафтні екосистем Прикарпатського регіону.*

19. Хірівський П.Р., Гнатів І.Р. Аналіз зміни та прогнозування руслових і екологічних процесів за умов мінливості природних факторів. Матеріали XXII Міжнародного науково-практичного форуму, 5 – 7 жовтня 2021 р. Львів: ННВК «АТБ», 2021. Т. 1. С.190-194. *Здобувачем проведено аналітичні дослідження зміни екологічних процесів за умов мінливості природних факторів.*

Додаток Е

Акти впровадження

Акт

передачі матеріалів дисертаційної роботи на тему
**«Вплив антропогенних факторів на гідродинамічні процеси та якість
 води басейну р. Стрий»**

Результати наукових досліджень аспіранта Львівського національного аграрного університету Гнатіва Ігоря Романовича з питань екологічної оцінки якості річкових вод за відповідними категоріями, а саме матеріали розділу «Результати теоретичних та експериментальних гідроекологічних досліджень в басейні р. Стрий» передані для використання та будуть впроваджені в Басейновому управлінні водних ресурсів Західного Бугу та Сяну.

Аналіз результатів експериментальних та натурних досліджень дав змогу визначити ділянки значного антропогенного впливу, дослідити фактори та умови формування хімічного складу природних вод басейну р. Стрий, що дозволяє виявити проблемні ділянки негативного впливу для проведення детальнішого моніторингу якості природних вод басейну.

Наукові матеріали дисертаційної роботи вказаного розділу та методики прогнозування зміни екологічних і гідродинамічних процесів в басейні р. Стрий дадуть можливість використати методологію удосконаленої оцінки антропогенного забруднення річкових вод та прогнозувати екологічні ризики погіршення їх якості.

Начальник Басейного управління водних
 ресурсів річок Західного Бугу та Сяну



А.В. Ковтун

Заступник начальника Басейнового управління
 водних ресурсів річок Західного Бугу та Сян

Н.С. Крута

17 листопада 2021р.

Додаток Ж



Львівський національний
аграрний університет

01-20-08/1-01
10.01.2022р.

АКТ

про впровадженні результатів дисертаційного дослідження

В дисертаційному дослідженні аспіранта Львівського національного аграрного університету Ігоря Гнатіва, виконаному на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія», встановлено закономірності формування фізико-хімічного складу природних вод басейну р. Стрий та процесів руслоутворення в залежності від антропогенного навантаження. Розроблено удосконалену методику розрахунку елементів берегоукріплень річок із використанням коефіцієнта обтічності та коефіцієнта форми каменя, які дозволяють уточнювати розміри каменів, стійких до дії річкового потоку та прогнозувати процеси формування донних наносів.

Дисертантом сформульовані пропозиції для врахування динаміки руслового процесу в дослідженнях техногенних та антропогенних впливів на нормалізацію процесів природного самоочищення річкової води. Для підвищення точності у визначенні рівня антропогенного навантаження необхідно збільшити кількість спостережень і підвищити контроль над об'ємами та якістю стічних вод зареєстрованих водокористувачів.

Автором дисертації обґрунтовано можливість отримання значного екологічного ефекту завдяки вдосконаленню берегоукріплень та регулюючих заходів в басейні р. Стрий для захисту територій від підтоплення і повеней. Ці напрацювання використовуються в навчальному процесі Львівського національного аграрного університету при викладанні дисциплін «Гідрологія» та «Технологія захисту водного середовища».

Проректор з наукової роботи
д.е.н., доцент

Завідувач кафедри екології
к.б.н., доцент



Ігор ЯЦІВ

Петро ХІРІВСЬКИЙ