

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**КЛИМЧУК ІГОР ЯРЕМОВИЧ**

УДК: 622.692.4.053

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ДЖЕРЕЛ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД В**  
**МЕЖАХ ЯРЕМЧАНСЬКОЇ ТУРИСТИЧНОЇ ДЕСТИНАЦІЇ**

101- Екологія

10 – Природничі науки

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.Я. Климчук

Науковий керівник **Архипова Людмила Миколаївна**  
доктор технічних наук, професор

**Івано-Франківськ – 2024**

## АНОТАЦІЯ

*Климчук І. Я.* Екологічна оцінка джерел питних підземних вод в межах Яремчанської туристичної дестинації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія (10 – Природничі науки). – Івано-Франківський технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2024.

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальне науково-практичне завдання екологічної оцінки джерел питних підземних вод в межах Яремчанської туристичної дестинації.

Проведено комплексне дослідження екологічного стану джерел питних підземних вод у туристичних дестинаціях Надвірнянського району Івано-Франківської області. В роботі аналізується вплив антропогенного навантаження, особливостей гірського Карпатського регіону, зміни кліматичних умов на якісні і кількісні показники ґрунтових вод.

Проведені дослідження охоплюють вивчення сучасного стану питних підземних водних джерел, визначення основних джерел забруднення, аналіз впливу зміни клімату на гідрологічний режим регіону, оцінку впливу туристичної діяльності на якість води та розробку удосконалених методів моніторингу водних ресурсів з використанням геоінформаційних систем (GIS).

Встановлено залежність водоспоживання досліджуваного регіону від джерел питних підземних вод. За результатами опитування доведено, що в Надвірнянському районі джерела питної води та колодязі є основним джерелом водопостачання для населення та туристів. Частка водоспоживання з цих джерел становить близько 70%. Соціологічне дослідження водопостачання та водовідведення в Надвірнянському регіоні, проведене в 2020 році, показало, що у регіоні є значна кількісна перевага у використанні децентралізованої системи водопостачання, особливо серед власників туристичних садиб, які

використовують індивідуальне водопостачання з підземних джерел. Значна кількість респондентів зафіксували ознаки забруднення питної води.

Досліджено зміни клімату регіону враховуючи його географічні особливості, спрогнозовано подальші зміни клімату та їх вплив на джерела питних підземних вод в регіоні. Доведено, що в Надвірнянському районі спостерігається тенденція до потепління, середньорічна температура повітря збільшується на 1,29% щорічно та середньорічна кількість опадів зменшується на 0,22%. Це призводить до зміни режиму підземних вод, зокрема до пониження рівнів води та зменшення дебіту джерел.

Окрім того, було підтверджено, що дані, отримані від EOS CROP Monitoring, представляють собою ефективний засіб для збору метеорологічної інформації, який можна успішно застосовувати для моніторингу та прогнозування рівнів води в природних джерелах. Це відкриває перспективи для використання супутникових даних у прогнозуванні гідрологічних умов в інших регіонах України та за її межами.

Виявлена висока кореляція між дебітом аналізованого джерела та рівнем води у колодязі населеного пункту Микуличин. Коефіцієнт детермінації  $r^2$  сягнув значення 0,99, що демонструє належність джерел до першого від поверхні водоносного горизонту ґрунтових вод. Значення середньоквадратичної помилки апроксимації моделі  $\text{FitSdErr}$  становить 0,035, вказуючи на високу точність моделі у відповідності до зібраних експериментальних даних.

Встановлено значущу регресійну залежність між дебітом джерела та кількістю опадів, що особливо виразно проявляється при використанні даних, отриманих з супутника. Коефіцієнти регресії становили:  $r^2 = 0,73$  для дебіту джерела і  $r^2 = 0,6$  для рівня води в колодязі. Отримана функціональна залежність, яка дозволяє прогнозувати рівні води і дебіти ґрунтових вод з урахуванням кількості опадів із часовим інтервалом в один день для гідрогеологічних умов Надвірнянського району.

В рамках проведеного дослідження здійснено всебічний аналіз фізико-хімічних показників підземних вод з акцентом на визначення екологічного стану питних підземних вод у районах Яремчанщини та Надвірнянського району. У дослідженні було оцінено характеристики впливу основних забруднювачів на підземні водні джерела та визначено ключові чинники забруднення в гірських туристичних дестинаціях.

Отримано функціональну залежність між висотою свердловини над рівнем моря та концентрацією амонію ( $\text{NH}_4^+$ ) з коефіцієнтом кореляції  $-0,96$ , що дозволяє прогнозувати концентрацію іонів амонію у ґрунтових водах туристичної дестинації в залежності від абсолютної висоти місцевості. Аналогічно, було виявлено зворотній зв'язок між висотою виходу ґрунтових вод та концентрацією нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ), з коефіцієнтом кореляції  $-0,81$ , що свідчить про підвищення концентрації нітратів із збільшенням рекреаційного навантаження з пониженням абсолютних висот місцевості в Надвірнянському районі.

За результатами експериментальних досліджень, виявлено, що більшість проб підземних вод відповідали класу "дуже чиста" за індексом забруднення води (ІЗВ), де для природних джерел цей показник варіювався від  $0,05$  до  $0,30$ . Водночас, ІЗВ для колодязів і свердловин коливався від  $0,20$  до  $1,06$ , демонструючи, що більшість проб також відповідали класу "дуже чиста", хоча одна проба вказувала на "помірно забруднену" воду.

У результаті моніторингу встановлено, що якість води з джерел і колодязів в Надвірнянському районі в цілому відповідає нормам питної води. Однак, у окремих випадках були виявлені перевищення допустимих концентрацій окремих показників.

Запропоновано спосіб покращення методу GIS досліджень в області дослідження природних підземних водних джерел, особливо для

важкодоступних регіонів або складного чи дороговартісного моніторингу, використовуючи супутникові кліматичні дані та їх подальше опрацювання.

На основі запропонованого способу було визначено індекс потенціалу зон ґрунтових вод Надвірнянського району. Цей індекс дозволяє оцінити доступність підземних водних джерел в регіоні і має практичне впровадження в КНПП, що підтверджено актом впровадження.

Виявлено, що вирубка лісів у регіоні склала близько 15% за останні два десятиліття, що мало вплив на зміну гідрологічного режиму і потенціал ґрунтових вод. Виділено наступні зони: перша зона з найнижчим потенціалом займає мінімальну площу - 0,166 кв. км в Надвірнянському районі; друга зона, характеризується як середня за потенціалом, розповсюджується на більшу площу - 71,915 кв. км і визначає середній рівень доступності підземних водних ресурсів; третя зона з високим потенціалом охоплює площу порядку 140,629 кв. км та відображає наявність сприятливих умов для використання водних ресурсів; четверта зона охарактеризована відмінним потенціалом, займає дуже малу територію - 0,554 кв. км і відзначається найкращими гідрологічними умовами.

Цифровізовано метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод та застосовано його для досліджуваного регіону, з метою отримання точних вхідних даних для екологічних моделювань. На основі проведеного дослідження було встановлено зміни в динаміці рівнів води та обсягів опадів за останні роки. Аналіз показав, що річне поповнення ґрунтових вод варіювалося між 782 мм у 2017 році та -254 мм у 2022 році. Від'ємне значення вказує на зниження рівнів води в поверхневих водоносних горизонтах, що може свідчити про загрозу їх пересихання із подальшими змінами клімату. В середньому, за період з 2017 по 2022 рік, річне поповнення склало 347 мм, що становить близько 32,88% від річного обсягу опадів.

Цифровий метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод дозволяє отримати точні вхідні дані для екологічних моделювань, що сприятиме підвищенню ефективності управління водними ресурсами. Удосконалений метод Коркмаза впроваджено в навчальний процес, що підтверджується актом впровадження.

Шляхом моделювання використовуючи вдосконалені методи GIS визначено потенційний вплив туристичної галузі на природні водні джерела та колодязі з врахуванням кліматичних, фізико-хімічних, географічних та антропогенних чинників.

Розроблено картографічну модель руху ґрунтових вод території Надвірнянського району, яка може бути використана для планування водогосподарських заходів, управління водними ресурсами та оцінки ризику забруднення питних підземних вод.

За допомогою параметрів програмних продуктів MODFLOW і MT3DMS, було створено комп'ютерну модель, яка симулює можливий рух та забруднення ґрунтових вод, особливо внаслідок органічних відходів від туристичної інфраструктури. Шляхом моделювання забруднення ґрунтових вод на прикладі впливу Вольєрного господарства КНПП було встановлено, що забруднення джерела Жонка нітратами в маловодний період прогнозно складає 4 - 10 мг/л, а потрапляння нітратів в струмок Чепелів поблизу джерела Жонка в обсязі 1-4 мг/л, що підтверджено експериментальними польовими дослідженнями. Моделювання довело, що туристична галузь впливає на зниження якості питної води з джерел і колодязів.

Отримані результати мають наукову новизну та будуть використані для розробки заходів з підвищення рівня екологічної безпеки питних підземних вод в туристичних дестинаціях Надвірнянського району.

Отримані дані вказують на необхідність подальших досліджень для розробки ефективних стратегій збереження та управління підземними водними

джерелами в умовах змінюваного клімату та зростаючого туристичного навантаження.

**Ключові слова:** питні підземні води, екологічна оцінка, туристичні дестинації, зміни клімату, прогнозування, екологічний стан, забруднювачі, геоінформаційні системи (GIS), сталий розвиток, якість води, ґрунтові води, гідроекосистеми, моделювання.

## ABSTRACT

*Klymchuk I. Ya.* Environmental assessment of drinking groundwater sources within the Yaremche tourist destination. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 101 – Ecology (10 – Natural Sciences). – Ivano-Frankivsk Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2024.

In the dissertation research, a relevant scientific and practical task of environmental assessment of sources of drinking groundwater within the Yaremche tourist destination was addressed. A comprehensive study of the ecological condition of drinking groundwater sources in tourist destinations of the Nadvirna district in the Ivano-Frankivsk region was conducted. The work analyzes the impact of anthropogenic load, characteristics of the Carpathian mountain region, and changes in climatic conditions on the qualitative and quantitative indicators of groundwater.

The research covered the study of the current state of drinking groundwater sources, identification of the main sources of pollution, analysis of the impact of climate change on the hydrological regime of the region, evaluation of the impact of tourist activity on water quality, and the development of improved methods for monitoring water resources using Geographical Information Systems (GIS).

It was established that water consumption in the studied region depends on sources of drinking groundwater. Survey results showed that, in the Nadvirna district, sources of drinking water and wells are the primary source of water supply for the population and tourists, accounting for about 70% of water consumption. A sociological study of water supply and sanitation in the Nadvirna region, conducted in 2020, revealed a significant quantitative advantage in the use of a decentralized water supply system, particularly among owners of tourist estates, who use individual water supply from underground sources. A significant number of respondents recorded signs of drinking water pollution.



Changes in the climate of the region were studied considering its geographical characteristics, further changes in the climate and their impact on sources of drinking groundwater in the region were forecasted. It has been proven that the Nadvirna district is experiencing a warming trend, with the average annual air temperature increasing by 1.29% annually and the average annual amount of precipitation decreasing by 0.22%. This leads to changes in the groundwater regime, specifically to a lowering of water levels and a decrease in the flow of sources.

Furthermore, it was confirmed that data obtained from EOS CROP Monitoring represent an effective means of collecting meteorological information, which can be successfully used for monitoring and forecasting water levels in natural sources. This opens up prospects for the use of satellite data in forecasting hydrological conditions in other regions of Ukraine and beyond.

A high correlation was found between the flow rate of the analyzed source and the water level in the well of the Mykulychyn settlement. The coefficient of determination  $r^2$  reached a value of 0.99, indicating that the sources belong to the first from the surface water-bearing horizon of groundwater. The average squared error of the approximation model  $\text{FitSdErr}$  is 0.035, indicating the high accuracy of the model in accordance with the collected experimental data.

A significant regression dependency between the source's flow rate and the amount of precipitation was established, which is particularly pronounced when using data obtained from satellites. The regression coefficients were:  $r^2 = 0.73$  for the source's flow rate and  $r^2 = 0.6$  for the water level in the well. The obtained functional dependency allows predicting water levels and groundwater flows considering the amount of precipitation with a one-day time interval for the hydrogeological conditions of the Nadvirna district.

Within the framework of the conducted research, a comprehensive analysis of the physico-chemical indicators of groundwater was carried out, focusing on determining the ecological state of drinking groundwater in the areas of Yaremche

and the Nadvirna district. The study evaluated the characteristics of the impact of major pollutants on underground water sources and identified key pollution factors in mountain tourist destinations.

A functional dependency between the well's elevation above sea level and the concentration of ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) with a correlation coefficient of -0.96 was obtained, allowing the prediction of ammonium ion concentrations in groundwater of the tourist destination depending on the absolute elevation of the terrain. Similarly, an inverse relationship between the height of groundwater emergence and nitrate concentration ( $\text{NO}_3^-$ ), with a correlation coefficient of -0.81, was found, indicating an increase in nitrate concentration with increasing recreational load and decreasing absolute heights of the terrain in the Nadvirna district.

As a result of experimental studies, it was found that most samples of groundwater corresponded to the "very clean" class according to the water pollution index (WPI), where for natural sources, this indicator varied from 0.05 to 0.30. At the same time, the WPI for wells and boreholes ranged from 0.20 to 1.06, showing that most samples also corresponded to the "very clean" class, although one sample indicated "moderately polluted" water.

As a result of monitoring, it was established that the water quality from sources and wells in the Nadvirna district generally meets the standards for drinking water. However, in some cases, exceedances of permissible concentrations of individual indicators were detected.

A method for improving GIS research in the field of studying natural groundwater sources was proposed, especially for inaccessible regions or complex or costly monitoring, using satellite climate data and their further processing. Based on the proposed method, the index of groundwater zone potential in the Nadvirna district was determined. This index allows assessing the availability of groundwater sources in the region and has practical implementation in the KNPP, which is confirmed by the act of implementation.

It was revealed that deforestation in the region amounted to about 15% over the last two decades, which affected the change in the hydrological regime and the potential of groundwater. The following zones were identified: the first zone with the lowest potential occupies a minimum area - 0.166 sq. km in the Nadvirna district; the second zone, characterized as average in potential, extends over a larger area - 71.915 sq. km and determines the average level of accessibility of groundwater resources; the third zone with high potential covers an area of approximately 140.629 sq. km and reflects the presence of favorable conditions for the use of water resources; the fourth zone, characterized by excellent potential, occupies a very small area - 0.554 sq. km and is noted for the best hydrological conditions.

A digital method for assessing sources of groundwater recharge was digitized and applied to the studied region, aiming to obtain accurate input data for ecological modeling. Based on the conducted research, changes in the dynamics of water levels and amounts of precipitation over recent years were established. The analysis showed that annual groundwater replenishment varied between 782 mm in 2017 and -254 mm in 2022. The negative value indicates a decrease in water levels in surface water-bearing horizons, which may indicate a threat of their drying out with further climate changes. On average, for the period from 2017 to 2022, the annual replenishment was 347 mm, which constitutes about 32.88% of the annual precipitation volume.

The digital method for assessing sources of groundwater recharge allows obtaining accurate input data for ecological modeling, which will contribute to increasing the efficiency of water resource management. The improved Korkmaz method has been introduced into the educational process, which is confirmed by the act of implementation.

By modeling using improved GIS methods, the potential impact of the tourism industry on natural water sources and wells was determined, taking into account climatic, physicochemical, geographical, and anthropogenic factors.

A cartographic model of groundwater movement in the Nadvirna district was developed, which can be used for planning water management activities, managing water resources, and assessing the risk of contamination of drinking groundwater.

Using the parameters of the software products MODFLOW and MT3DMS, a computer model was created to simulate possible movements and pollution of groundwater, particularly due to organic waste from tourist infrastructure. Through modeling, it was established that pollution of the Zhonka source with nitrates during the low-water period is forecasted to be between 4 - 10 mg/L, and the influx of nitrates into the Chepeliv stream near the Zhonka source in the volume of 1-4 mg/L, which was confirmed by experimental field studies. Modeling proved that the tourism industry affects the reduction of drinking water quality from sources and wells.

The obtained results have scientific novelty and will be used to develop measures to increase the level of environmental safety of drinking groundwater in tourist destinations of the Nadvirna district.

The data indicate the need for further research to develop effective strategies for the conservation and management of underground water sources under changing climate conditions and increasing tourist load.

**Keywords:** drinking groundwater, ecological assessment, tourist destinations, climate change, forecasting, ecological condition, pollutants, Geographic Information Systems (GIS), sustainable development, water quality, groundwater, hydroecosystems, modeling.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Науков праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**

1. **Klymchuk, I. Ya.**, Matiyiv, K. M., Arkhyrova, L. M., Korchemlyuk, M. V. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, No. 3. Pp. 208-214. **(індексується в Scopus)**. (Особистий внесок – провів дослідження якості підземних водних джерел в гірських туристичних регіонах, аналіз фізико-хімічного складу води, вивчив сезонні коливання та підготував дані для публікації).
2. **Климчук І.Я.** Ефективність еколого-кліматичного та інших моделювань шляхом розподільних обчислень. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. № 1 (23). С. 54-59. **(наукове фахове видання України)**. (Особистий внесок – розробив методологію еколого-кліматичного моделювання, провів аналіз використання екологічних моделювань з застосування розподільних обчислень, опрацював результати та підготував статтю до публікації).
3. **Климчук І.Я.**, Корчемлюк М.В., Архипова Л.М. Сезонні коливання фізико-хімічного складу води з джерел та колодязів в межах Яремчанської туристичної дестинації. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2022. №2(24). С. 27-34. **(наукове фахове видання України)**. (Особистий внесок – аналізував сезонні коливання та фізико-хімічний склад підземних вод, зібрав та обробив зразки води, підготував результати дослідження до публікації).
4. **Климчук І.Я.**, Архипова Л.М. Дослідження змін клімату в карпатському регіоні: наслідки та виклики для гірськолижних курортів. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2023. №1(27). С. 66-74. **(наукове фахове видання України)**. (Особистий внесок – провів аналіз

наслідків зміни клімату для гірськолижних курортів, вивчив температурні тренди та опади, розробив рекомендації для адаптації до зміни клімату).

5. **Климчук І.Я.**, Архипова Л.М. Аналіз живлення підземних вод в Надвірнянському районі методом Коркмаза. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2024. №2 (28). С. 19-27. **(наукове фахове видання України)**. (Особистий внесок – розробив і застосував метод Коркмаза для аналізу живлення підземних вод, здійснив вимірювання та інтерпретацію даних, підготував звіт про результати дослідження).

#### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

6. **Klymchuk I. Ya.**, Arkhyrova L. M. Modeling the groundwater potential of Nadvirna district using analytical hierarchy and GIS methods. *XVII International Conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment*. Kyiv, November 7-10, 2023.

7. **Klymchuk I. Ya.** Correlation between the flow of sources and the impact of climate change in the Carpathian region. *International scientific conference Natural resource potential, ecology, and sustainable development of administrative units of the Republic of Latvia and Ukraine amidst EU legislative requirements*. Riga, Latvia, August 30–31, 2022. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2022. Pp. 35-39.

8. **Климчук І. Я.**, Архипова Л. М. Удосконалення методики відбору даних та встановлення кореляційного зв'язку між опадами та дебітом природного водного джерела. *Наукова весна 2023: Тези доповідей, XII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 1-3 березня 2023 р. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*. С. 96-98.

9. **Климчук І. Я.** Гідроенергетичний потенціал річок карпатського регіону України. *Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля: Матеріали міжнародної конференції, ІФНТУНГ, 24-25 листопада 2022 року*. С. 76-79.

10. **Климчук І. Я.** Перспективи використання живих фільтраційних мембран на основі комбуча SCOBY. *Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти*: Тези доповідей II Міжнародної інтернет-конференції, Харків, 25 лютого 2022 р. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. С. 54-56.

11. **Климчук І. Я.,** Архипова Л. М. Огляд екологічних досліджень природних водних джерел карпатського туристичного регіону. Тези доповідей міжнародного наукового симпозіуму *Тиждень еколога – 2021*, 18-20 жовтня 2021 р. Кам'янське: ДДТУ. С. 78-82.

12. **Климчук І. Я.,** Дідоха Х. М., Архипова Л. М. Необхідність оцінки якості джерел питних підземних вод в межах Яремчанської туристичної дестинації. 6-й Міжнародний молодіжний конгрес *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: Матеріали 6-го Міжнародного молодіжного конгресу, Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 228-229.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

13. Matiyiv K., **Klymchuk I.**, Arkhypova L., Korchemlyuk M. Surface Water Quality of the Prut River Basin in a Tourist Destination. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23. No. 4. Pp. 107-114. **(індексується в Scopus)**. (Особистий внесок – аналізував якість поверхневих вод у басейні річки Прут у туристичній місцевості, визначив фізико-хімічний склад води, провів аналіз літературних джерел та формулювання цілей дослідження, опрацював результати досліджень та сформулював частину висновків).

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	18
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ ДЖЕРЕЛ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД В ТУРИСТИЧНИХ ДЕСТИНАЦІЯХ .	26
1.1 Дослідження джерел питних підземних вод .....	26
1.2 Екологічні проблеми питних підземних вод Надвірнянського району	29
1.3 Характеристика впливу основних забруднювачів ґрунтових вод туристичних дестинацій .....	32
1.4. Екологічний стан питних підземних вод Яремчанщини та використання підземних водних джерел в туризмі .....	35
1.5 Оцінка впливу туристичної діяльності на екологічний стан підземних вод Надвірнянського району .....	38
1.6 Постановка завдань дослідження та конкретизація мети роботи.....	39
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ЧИННИКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ПИТНИХ ДЖЕРЕЛ В МЕЖАХ ГІРСЬКИХ ТУРИСТИЧНИХ ДЕСТИНАЦІЙ .	41
2.1 Методологічні підходи та методи дослідження .....	41
2.2 Гідросоціологічний профіль: аналіз використання підземних водних джерел та інших систем водопостачання в Надвірнянському районі .....	49
РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ҐРУНТОВІ ВОДИ: АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ .....	61
3.1 Аналіз тенденції зміни клімату та їх впливу на регіон.....	61
3.2 Лісистість як чинник змін рівня ґрунтових вод.....	76
3.3 Моделювання прогностичних тенденцій зміни клімату.....	82
3.4 Моніторинг впливу змін клімату на зміну дебіту водних джерел.....	86
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ В ГІРСЬКІЙ ТУРИСТИЧНІЙ ДЕСТИНАЦІЇ НАДВІРНЯНСЬКОГО РЕГІОНУ .	106



4.1 Фізико-хімічні показники забруднення підземних водних джерел, колодязів та свердловин .....	106
4.2 Сезонні зміни фізико-хімічних показників підземних водних джерел, колодязів, свердловин та встановлення залежностей .....	119
4.3 Встановлення залежностей фізико-хімічних показників на основі результатів проведених досліджень .....	128
<b>РОЗДІЛ 5 ПОТЕНЦІЙНІ ЗОНИ ҐРУНТОВИХ ВОД ТА ВПЛИВ</b>	
<b>ТУРИСТИЧНОГО СЕКТОРУ НА НИХ .....</b>	<b>137</b>
5.1 Визначення гідрологічного поновлення ґрунтових вод опадами в регіоні .....	137
5.2 Моделювання потенційних зон ґрунтових вод досліджуваної території методами аналітичної ієрархії та GIS .....	148
5.3 Моделювання руху ґрунтових вод та забруднення туристичним сектором підземних водних джерел .....	155
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>165</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>169</b>
<b>ДОДАТОК А АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАНДИДАТСЬКОЇ</b>	
<b>ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>183</b>
<b>ДОДАТОК Б АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ В ОСТВІТНІЙ ПРОЦЕС .....</b>	<b>185</b>
<b>ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА .....</b>	<b>186</b>

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Вода є основною складовою життя людини і забезпечує сталість всіх систем людського організму. Значну роль у забезпеченні якісної питної води відіграє екологічний стан джерел підземної води та водних екосистем. Окрім цього, вплив підземних вод і водоносних шарів відслідковується на взаємозв'язку і цілісності поверхневих вод і водних угідь. Актуальність теми зумовлена великою кількістю іноземних досліджень в обраному напрямку. Дослідження по екологічній оцінці підземних джерел питної води і водоносних шарів були початі німецькими науковцями: Крістіан Гріблер, Хайде Штейн, Клаудія Келлерманн, Свен Беркхофф та їхніми колегами, основну увагу приділено біологічній складовій підземних питних вод [1]. Перші спроби інтегративної концепції екологічної оцінки підземних водних екосистем зробили Крістіан Стіуб, Сімона Ріхтер, Крістіан Гріблер [2].

Значний вплив на якість підземних джерел питної води має специфіка гірської місцевості, ландшафти, геолого-мінералогічна складова гірських порід та господарська діяльність. Таким чином в Карпатському регіоні спостерігається проблема якості питної води з підземних джерел, оскільки специфіка місцевості сприяє збільшеному вмісту важких металів в підземних та поверхневих водах, що відображається у дослідженнях Л.М. Архипової, Я. О. Адаменко та інших вітчизняних вчених які досліджували гідроекосистему Карпат [3,4,5]. Загальний вплив якості поверхневих і підземних вод стан здоров'я населення досліджували Л.А. Прохорова, О.В. Непша, Т.В. Зав'ялова [6]. Вплив надлишкового вмісту важких металів у питній воді на організм людини описані в роботах Г.І. Архіпова, Т.О. Мудрак, Д.В. Завертана [7]. На основі висновків попередніх дослідників постало актуальне питання очищення питної води та методів нормування біохімічних характеристик для нівелювання негативного впливу на організм людини, саме в цьому напрямку дослідження

проводили О.Ф. Мисник, А.О. Литвиненко, праці яких полягають в очищенні питної води від солей і важких металів наноккомпозитом цирконію (IV) оксиду [8].

Однак, тематика залишається не до кінця вивченою, більшість існуючих досліджень мають локальний характер і націлені на місцеві водні об'єкти, які не включають проблематику специфіки Карпатського туристичного регіону. Велика кількість дослідних напрацювань по поверхневих водах досліджуваного регіону і недостатня вивченість підземних вод, в тому числі придатних для пиття. Відсутність оновленої і структурно об'ємної екологічної оцінки, яка відображає залежності техногенного і природного впливу на стан джерел підземних вод. Існуючі методики фільтрації води потребують удосконалення для локального індивідуального застосування місцевими жителями і промисловістю.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.**

Дисертаційна робота виконувалась згідно з науково-технічними програмами та планами науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, та безпосередньо пов'язана із науковими тематиками: 175/21 «Оцінка рекреаційного навантаження на територію готельно-туристичного комплексу «Буковель»; міжнародним проектом «Валоризація історичної та культурної спадщини шляхом створення та промоції Карпатського культурного шляху» (HUSKROUA/1901/3.1/0005).

**Мета та завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є оцінка екологічного стану джерел питних підземних вод в межах Карпатської туристичної дестинації з врахуванням природних і антропогенних факторів.

#### **Завдання дисертаційної роботи:**

1) Встановити залежність водоспоживання досліджуваного регіону від джерел питної води та колодязів

2) Провести моніторинг фізико-хімічних показників води з джерел і колодязів, та визначити індекси забруднення води з джерел і свердловин в різні періоди і придатність води для пиття

3) Дослідити зміни клімату регіону враховуючи його географічні особливості, спрогнозувати подальші зміни клімату та їх вплив на джерела питних підземних вод в регіоні

4) Запропонувати спосіб покращення методу GIS досліджень в області дослідження природних підземних водних джерел, особливо для важкодоступних регіонів або складного чи дороговартісного моніторингу, використовуючи супутникові кліматичні дані та їх подальше опрацювання

5) За допомогою удосконалених методів GIS досліджень знайти індекс потенціалу зон ґрунтових вод регіону для покращення моніторингу підземних водних джерел

6) Цифровізувати метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод та застосувати його для досліджуваного регіону, з метою отримання точних вхідних даних для екологічних моделювань

7) Шляхом моделювання використовуючи вдосконалені методи GIS визначити потенційний вплив туристичної галузі на природні водні джерела та колодязі з врахуванням кліматичних, фізико-хімічних, географічних та антропогенних чинників.

**Об'єкт дослідження** – кількісні і якісні екологічні показники джерел питних підземних вод в туристичних дестинаціях.

**Предмет дослідження** – закономірності змін кількісних і якісних показників джерел питних підземних вод Надвірнянського району Івано-Франківської області в залежності від змін клімату, антропогенного навантаження і природних особливостей регіону.

**Методи дослідження.** Під час виконання роботи використано методи: соціологічне опитування, статистичний, спостереження та аналізу, польові

дослідження, порівняння, прогнозування, моделювання. Формування баз даних та обробку екологічної інформації здійснено в середовищах Microsoft Excel, MapInfo, Google Maps, EOS Data, Past4, Surfer. Моделювання гідрофізичних та хімічних процесів в MODFLOW. Використання та покращення методів GIS, зокрема для застосування методу Коркмаза для знаходження поновлення водних підземних джерел від кількості опадів.

Для прогнозування і встановлення залежностей використовувався застосунок Table Curve.

**Положення, що виносяться на захист.** Закономірності функціонування підземних водних джерел в Яремчанській туристичній дестинації з врахуванням географічних, кліматичних, фізико-хімічних показників та покращення методів GIS досліджень.

#### **Наукова новизна:**

1. Дістало подальшого розвитку екологічна оцінка підземних джерел питної води, що поєднана з фізико-хімічним моніторингом та аналізом кліматичних змін Надвірнянського району. Такий підхід дозволяє прогнозувати доступність питних підземних вод в туристичних дестинаціях з врахуванням впливу змін клімату.

2. Удосконалені методи геоінформаційних систем для дослідження природних підземних водних джерел, особливо в умовах важкодоступних регіонів, що дозволяє шляхом використання супутникових кліматичних даних і їх опрацювання покращити точність моніторингу водних ресурсів та доступність питних підземних вод в туристичних дестинаціях із визначенням різних типів потенційних зон ґрунтових вод.

3. Отримано просторові закономірності зміни якості підземних водних джерел від висоти джерела над рівнем моря, зокрема тісний зв'язок з вмістом азотовмісних сполук, що дозволяє прогнозувати концентрацію забруднюючих речовин у ґрунтових водах туристичної дестинації в залежності від абсолютної

висоти місцевості та удосконалив подальшу оцінку впливу на довкілля антропогенного навантаження в Надвірнянському районі.

4. Отримано тісні функціональні залежності: між дебітом джерела і рівнем води в свердловині для експериментальної території с. Микуличин; між кількістю опадів і дебітом джерел; між кількістю опадів і рівнем води в колодязях, що дозволяє прогнозувати зміни ресурсів питних підземних вод на досліджуваній території.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблені заходи і методи впроваджено в моніторинг Карпатського національного природного парку (КНПП), що підтверджується відповідним актом впровадження. Вид впроваджених результатів: удосконалені методи застосування геоінформаційних систем і даних супутникових спостережень для дослідження природних підземних водних джерел, особливо в умовах гірських регіонів, що дозволило покращити ефективність моніторингу водних ресурсів в межах Карпатського національного природного парку.

Встановлено, що в Надвірнянському районі джерела питної води та колодязі є основним джерелом водопостачання для населення та туристів. Частка водоспоживання з цих джерел становить близько 70%. Запропонований спосіб використання супутникових кліматичних даних для оцінки потенціалу зон ґрунтових вод дозволить прогнозувати максимально допустиме рекреаційне навантаження за показником питних підземних вод.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в освітній процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Методологія екологічних досліджень».

**Особистий внесок здобувача.** Безпосередньо автором:

– встановлено залежність водоспоживання досліджуваного регіону від джерел питної води та колодязів [1, 2, 12, 13];

- проведено моніторинг фізико-хімічних показників води з джерел і колодязів, та визначено індекси забруднення води з джерел і свердловин в різні періоди і придатність води для пиття [1, 2, 4, 10, 12, 13];
- досліджено зміни клімату регіону враховуючи його географічні особливості, спрогнозовано подальші зміни клімату та їх вплив на джерела питних підземних вод в регіоні [3, 4, 5, 6];
- запропоновано спосіб покращення методу GIS досліджень в області дослідження природних підземних водних джерел, особливо для важкодоступних регіонів або складного чи дороговартісного моніторингу, використовуючи супутникові кліматичні дані та їх подальше опрацювання [6, 7, 8, 9];
- за допомогою удосконалених методів GIS досліджень знайдено індекс потенціалу зон ґрунтових вод регіону для покращення моніторингу підземних водних джерел [6, 7];
- цифровізовано метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод та застосовано його для досліджуваного регіону, з метою отримання точних вхідних даних для екологічних моделювань [6, 7, 9];
- шляхом моделювання використовуючи вдосконалені методи GIS визначити потенційний вплив туристичної галузі на природні водні джерела та колодязі з врахуванням кліматичних, фізико-хімічних, географічних та антропогенних чинників [3, 6, 7,].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: XVII Міжнародній конференції "Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища" (м. Київ, 7 – 10 листопада 2023 р.); Міжнародній науковій конференції "Природничий ресурсний потенціал, екологія та сталий розвиток адміністративних одиниць Республіки Латвія та України в умовах законодавчих вимог ЄС" (м. Рига, Латвія, 30 – 31 серпня 2022 р.); Науковій весні 2023: Тези доповідей XII

Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Наукова весна 2023" (м. Дніпро, 1 – 3 березня 2023 р.); Міжнародній конференції "Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля" (ІФНТУНГ, 24-25 листопада 2022 р.); II Міжнародній інтернет-конференції "Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти" (м. Харків, 25 лютого 2022 р.); Міжнародному науковому симпозиуму "Тиждень еколога – 2021" (м. Кам'янське, 18-20 жовтня 2021 р.); 6-му Міжнародному молодіжному конгресі "Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування" (м. Львів, 2021 р.); 2021 IEEE International Conference on Applied sciences, (May 12-14 2021, Hunedoara, Romania).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць, серед яких дві статті індексуються в наукометричній базі даних Scopus; чотири статті опубліковані в наукових фахових виданнях, затверджених МОН України; сім матеріалів та тез доповідей представлені на міжнародних конференціях.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота викладена на 188 сторінках машинописного тексту та містить структурований зміст, що складається зі вступу, п'яти основних розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Робота ілюстрована 27 таблицями та 49 рисунками, що допомагають глибше зрозуміти проведені дослідження та аналіз отриманих результатів. Список використаних джерел включає 105 наукове найменування.

**Подяка.** Автор висловлює щире подяку науковому керівнику доктору технічних наук, професору Архиповій Л. М. за наукові консультації, цінні поради у роботі над дисертацією. Окрема подяка всьому колективу кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, а особливо гаранту освітньої програми доктору технічних наук, професору



Мандрику О. М. та завідувачу кафедри - доктору технічних наук, професору Адаменку Я. О. за всебічну допомогу та підтримку. Автор висловлює подяку колективу Карпатського національного природного парку (КНПП) за консультації, підтримку і сприяння у проведенні наукових досліджень.

## РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ ДЖЕРЕЛ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД В ТУРИСТИЧНИХ ДЕСТИНАЦІЯХ

### 1.1 Дослідження джерел питних підземних вод

Джерела питних підземних вод є основними джерелами водопостачання та виробничо-технічного використання в деяких регіонах України, вони відіграють важливу роль у забезпеченні населення питною водою. Найважливіші питні підземні джерела загальнодержавного значення належать до корисних копалин. Ресурсний потенціал та експлуатаційні запаси питних підземних джерел залежать від багатьох чинників, зокрема: фізико-географічних, геолого-гідрологічних та й від різних антропогенних чинників. Саме антропогенні чинники змінюють якість джерел, умови використання та живлення підземних вод. Хоча підземні води значною мірою залежні від антропогенних та фізико-географічних чинників, однак їх екологічна стійкість до змін функціонування є вищою в порівнянні з поверхневими водами – завдяки природній екологічній захищеності від потрапляння забруднювачів з поверхні.

На території України, зокрема в Карпатському регіоні поширеним є використання підземних питних вод для забезпечення потреб населення та деяких галузей економіки [9].

Вивчення гідрологічного забезпечення підземних просторів України проводилось неодноразово починаючи з 20-х років ХХ століття. Значну кількість напрацювань з цього приводу публіковано вченими Інституту гідрогеології та інженерної геології, Інституту мінеральних ресурсів і центральної тематичної експедиції Міністерства геології УРСР. Проблематика висвітлюється в працях вітчизняних науковців, а саме в працях: С.С. Круглова, Б.І. Куделина, А.Е. Бабинця, І.К. Зайцева, М.А. Руденка, М.М. Васильєвського, С.А. Рубана, К.І. Макова, В.І. Лучинського, М.А. Шинкаревського, Б.Л.

Личкова. Проведено низку картографічних досліджень С.С. Кругловим, Л.С. Галецьким, Г.А. Шварцом, Д.С. Гурським та іншими.

В Україні основою раціонального використання та охорони питних підземних вод є загальнодержавні законодавчі акти, зокрема відповідні положення регламентуються Водним кодексом України [10], Законом України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» [11], Порядком здійснення державного моніторингу вод та іншими постановами [12], Загальнодержавною програмою «Питна вода України» на 2006-2022 роки [13] мета якої - забезпечення населення України якісною та доступною питною водою.

Перші напрацювання про вивчення та формування джерел на досліджуваній території виконані професором В.О. Шухевичем наприкінці ХІХ ст. [14] «Фізико-хімічні особливості джерел можливо ідентифікувати без спеціалізованого обладнання, окремі типи природних вод можуть бути визначені за їх характерним смаком та запахом, осадком, супровідними газами, якими може бути метан, сірководень та вуглець, що спрощувало їх вивчення». Історія вивчення водних джерел на території Карпатського регіону сягає понад сотню років. Розвиток рекреаційного туристичного комплексу, який швидкими темпами почав розвиватися в ХІХ - ХХ ст. зумовив розвиток досліджень особливості поширення та вивчення природних водних джерел. Перші наукові дослідження водних джерел пов'язані з іменами віденських геологів Е. Тітце, та К. Пауля, польських вчених С. Вейгель, М. Ломніцкі, С. Павловські, Л. Савіцкі, Г. Гасіоровські, Б. Свідерські, Г. Запалович та українських науковців Г.В. Козія, Г.П. Міллера, П.Н. Циса та інших.

Особливий вклад в дослідження водних джерел регіону зробив вище згаданий польський вчений Б. Свідерські. Він стверджував, що велика кількість водних джерел є результатом ерозійної діяльності льодовика під час плейстоценового зледеніння у четвертинному періоді [14]. В своїй монографії

також описує характер місцевого дренажу довкола північно-західних схилів Чорногірського масиву та розподіл природних водних джерел. Зазначає, що круті схили і стіни котлів джерельних і нижніх амфітеатрів, як правило, позбавлені постійної дегідратації поверхні і, як наслідок, неперервних лінійних ерозійних явищ. Що в цих зонах ерозійні явища виникають періодично під час снігопаду і особливо рясних атмосферних опадів. Зазначається, що виходи природних водних джерел на поверхню пов'язані з грубими уламками вивітрювання на делювіальних височинах, серед реліктів пліоценових долин і на еродованих льодовиком схилах, з підніжжям конусу виносу і скидання на днищах карів та амфітеатрів, з відкладами стадіальних морен та з зсувними процесами [14].

В працях А. Мельника, П.М. Шубера, В. Шушняка, Л. Костів, В. Березняк згадується про виходи джерел на поверхню та їх вплив на поверхневі води, зокрема на р. Прут і притоки [14].

Сучасними детальними гідрогеологічними дослідженнями у районі м. Яремче по вивченню водних джерел займалася М.Б. Охітва. За результатами виявлено поширення тут підземних вод середньої мінералізації з підвищеним вмістом бромю, малої мінералізації, слабомінералізовані води з підвищеним вмістом органічної речовини, слабомінералізовані води з підвищеним вмістом заліза [14].

У період 2005-2006 рр. Р.Л. Кравчинський, В.К. Хільчевський, М.В. Корчемлюк, О.М. Стефурак, В.О. Шухевич проводилось вивчення фізико-хімічного складу водних джерел [15]. Дослідженням хімічного складу деяких природних водних джерел гірської території займалися В.М. Шестопалов, А.І. Самчук, А.Ю. Моїсеєв, Е.С. Попенко, а саме вивченням розподілу селену в природних водах Прикарпатського [16].

Отже, зважаючи на недостатню вивченість теми підземних джерел питних вод, у дисертаційній роботі поставлено такі завдання: систематизувати наявні

дані про підземні джерела питних вод в Карпатському регіоні, встановити залежність водоспоживання від джерел питної води та колодязів. Також, потрібно дослідити зміни клімату в регіоні та їх вплив на джерела питної води в Карпатському регіоні.

## **1.2 Екологічні проблеми питних підземних вод Надвірнянського району**

На початку 2000х років, працівниками Карпатського НПП розпочалися більш детальні роботи по комплексному обстеженню (інвентаризації та обліку) основних водних джерел, що розташовані на території Парку та прилеглих ділянок [14]. У процесі досліджень проводились описово-рекогносцирувальні роботи, визначення кількісних та якісних показників; складалися відповідні узагальнюючі табличні матеріали та картосхеми, надавалися рекомендації щодо облагородження території. Регулярний моніторинг якості води джерел, які використовуються для централізованого водопостачання населених пунктів, окремих домогосподарств та туристичних комплексів проводиться фахівцями Надвірнянської міськрайонної філії ДУ «Івано-Франківський обласний лабораторний центр МОЗ України» (раніше – обласної санепідемстанції) [14, 17].

Існує кілька екологічних проблем, пов'язаних з якістю джерел підземних вод у Карпатському регіоні. Ці проблеми виникають внаслідок різних видів людської діяльності та природних процесів. Ось деякі з ключових екологічних проблем, що впливають на якість підземних вод у Карпатах:

**Сільськогосподарська діяльність:** Інтенсивне ведення сільського господарства, включаючи використання добрив, пестицидів і гербіцидів, призводить до забруднення підземних вод. Ці хімічні речовини просочуються крізь ґрунт і досягати водоносних горизонтів, потенційно впливаючи на якість підземних водних ресурсів.

**Промислова діяльність:** Промислові операції, такі як видобуток корисних копалин, виробництво та утилізація відходів, призводять до потрапляння забруднюючих речовин у підземні води. Неправильне поводження та зберігання небезпечних речовин призводить до вивільнення токсичних хімікатів, важких металів та інших забруднювачів, які забруднюють підземні джерела води.

**Неналежне управління стічними водами:** Неналежні системи очищення та утилізації стічних вод становлять значну загрозу для якості підземних вод. Якщо каналізаційні та промислові стічні води не очищаються або не утилізуються належним чином, вони просочуються в ґрунт і забруднюють підземні водоносні горизонти [18].

**Урбанізація та розвиток інфраструктури:** Швидка урбанізація і неправильне землекористування сприяють забрудненню підземних вод. Такі види діяльності, як будівництво, прокладання доріг та неналежне захоронення відходів у міських районах, призводять до викидів забруднюючих речовин, які просочуються у підземні води [20].

**Природні геологічні процеси:** Природні фактори, такі як наявність певних мінералів або геологічних утворень, впливають на якість підземних вод. Наприклад, в районах з високим вмістом природного фтору або миш'яку підземні води є природно забруднені та непридатні для пиття без належного очищення [19].

**Зміна клімату:** Зміна клімату впливає на якість підземних вод різними способами. Зміни в характері опадів, температурі та гідрологічних циклах змінюють швидкість поповнення та структуру потоків підземних вод, що потенційно впливає на їхню якість. Крім того, підвищення рівня моря і штормові нагони призводять до проникнення солоної води в прибережні водоносні горизонти, що зробить їх непридатними для використання в якості прісної води.

Вирішення цих екологічних проблем вимагає поєднання регуляторних заходів, практики сталого управління земельними і водними ресурсами та підвищення обізнаності громадськості. Регулярний моніторинг якості підземних вод, впровадження належних систем управління відходами, просування сталих сільськогосподарських практик та покращення інфраструктури очищення стічних вод є важливими кроками для збереження якості джерел підземних вод в Карпатах [21].

Варто зазначити, що локальні дослідження та моніторинг нададуть більш детальну та актуальну інформацію про проблеми якості підземних вод у різних районах Карпатського регіону.

У сучасному світі питання управління водними ресурсами набуває особливої актуальності та важливості, особливо у зв'язку зі зростанням навантаження на природні джерела води та впливом зміни клімату. Однією з ключових складових водних ресурсів є підземні води, які грають важливу роль у задоволенні потреб населення, сільськогосподарського сектору та промисловості. Аналіз живлення підземних вод та розуміння їхнього циклу становлять особливу наукову та практичну важливість для сталого розвитку та забезпечення доступу до водних ресурсів.

На сьогоднішній день, сучасний світ стикається з численними викликами у сфері водних ресурсів, такими як зменшення кількості доступної прісної води, забруднення підземних вод, та нестабільність водних екосистем. Ці проблеми стають все більш серйозними та актуальними у зв'язку зі зростанням світового населення та збільшенням тиску на водні ресурси [22].

Останні наукові дослідження в галузі гідрології та гідрогеології справедливо підкреслюють зростаючий інтерес до аналізу живлення підземних вод та їхнього впливу на водні ресурси, відзначаючи загальний консенсус щодо важливості цієї проблеми [23, 14, 24]. Вони підкреслюють, що сучасна гідрологія та гідрогеологія потребують глибокого розуміння процесів, які

визначають кількість та якість підземних водних ресурсів для забезпечення сталого використання та планування їхнього використання.

Деякі з недавніх досліджень акцентують увагу на важливості розуміння водного балансу та джерел живлення підземних вод [25, 26, 27]. Вони розглядають питання, пов'язані з процесами, які визначають кількість та якість води, яка потрапляє до підземних резервуарів. Ці дослідження надають змогу встановити, які джерела внесення води до підземних водних систем є найважливішими, а також які фактори впливають на рівень підземних вод.

Інші дослідження, зокрема, приділяють увагу залежностям між опадами та рівнем підземних вод [28, 29]. Вони вивчають вплив опадів на коливання рівня підземних вод та розробляють методи прогнозування цих змін. Результати цих досліджень надають можливість краще розуміти взаємозв'язок між опадами та рівнем підземних вод, що має важливе значення для раціонального управління водними ресурсами, особливо в умовах надзвичайної зміни клімату.

Отже, враховуючи проблематику якості підземних джерел питних вод, перед нами постає завдання провести моніторинг та оцінити якість питної води.

### **1.3 Характеристика впливу основних забруднювачів ґрунтових вод туристичних дестинацій**

Підземні води є життєво важливим природним ресурсом, який відіграє значну роль у підтримці екологічного балансу землі. Карпатський регіон є одним з найбільш унікальних і різноманітних регіонів Європи, де знаходиться велика мережа підземних джерел. Ці джерела забезпечують значну частину питної води для місцевих жителів і підтримують туристичну індустрію. Однак екологічний стан цих джерел знаходиться під загрозою через різноманітну антропогенну діяльність, яка призводить до забруднення підземних вод забруднюючими речовинами. Характеристика основних забруднювачів



підземних вод має вирішальне значення для розуміння якості підземних водних джерел та розробки ефективних стратегій управління для їх захисту.

Забруднювачі підземних вод поділяються на дві основні категорії: природні та антропогенні. Природні забруднювачі включають мінерали, такі як залізо і марганець, та природні бактерії, які можуть впливати на смак і запах води. Антропогенні забруднювачі є результатом людської діяльності, включаючи сільськогосподарську практику, промислову діяльність та урбанізацію. Ці забруднювачі можуть суттєво впливати на якість підземних вод, що призводить до серйозних наслідків для здоров'я та довкілля.

Характеристика основних забруднювачів підземних вод у Карпатському регіоні має важливе значення для розробки ефективних стратегій управління для захисту підземних водних джерел. Цей розділ має на меті визначити та описати основні забруднювачі підземних вод у Карпатському регіоні, включаючи їх джерела, шляхи транспортування та вплив на екологічне здоров'я регіону. Розуміння характеристик цих забруднювачів є критично важливим для впровадження ефективних заходів для зменшення їх негативного впливу та забезпечення сталого використання підземних водних джерел у Карпатському регіоні.

Метою нашого дослідження є ідентифікація та опис основних забруднюючих речовин, що містяться у джерелах Карпатського регіону[].

Базуючись на обширних польових дослідженнях [30], лабораторних аналізах і попередніх дослідженнях [31], специфічних для Карпатського регіону [14], у наведеному нижче списку наведено основні забруднювачі, виявлені у джерелах [32]:

*Органічні забруднювачі:*

Пестициди та гербіциди: хімічні речовини, що використовуються в сільському господарстві для боротьби зі шкідниками та бур'янами.

Нафтові вуглеводні: отримані в результаті розвідки нафти і газу, транспортування та аварійних розливів.

*Неорганічні забруднювачі:*

Важкі метали: токсичні елементи, такі як свинець, кадмій і ртуть, які походять від промислової діяльності, видобутку корисних копалин і атмосферних опадів.

*Мікробіологічні забруднювачі:*

Бактерії: Патогенні бактерії, такі як *Escherichia coli* (*E. coli*), потрапляють у джерела води через відходи людей і тварин, становлячи ризик для здоров'я людини.

*Осад і завислі речовини:*

Розмиті частинки ґрунту: сільськогосподарська діяльність, вирубка лісів і будівництво призводять до ерозії ґрунту, що веде до утворення осаду у підземних джерелах.

*Радіоактивні забруднювачі:*

Радіонукліди: такі природні радіоактивні елементи, як уран і радій, забруднюють джерела води внаслідок геологічних процесів або діяльності людини, як-от видобуток корисних копалин і виробництво атомної енергії.

Ці забруднювачі мають відмінні характеристики, які визначають їх поведінку та вплив на джерела Карпатського регіону. Такі фактори, як стійкість, токсичність, біоаккумуляція, мобільність і походження джерела, впливають на долю та потенційну шкоду забруднюючих речовин у водних системах.

Розуміння характеристик цих забруднювачів має вирішальне значення для впровадження ефективних стратегій моніторингу, запобігання та відновлення. Усуваючи джерела забруднення та впроваджуючи відповідні методи господарювання, можна захистити джерела Карпатського регіону та зберегти їхню екологічну та суспільну цінність.

Отже, нами було поставлено завдання провести моніторинг фізико-хімічних показників води з джерел і колодязів, визначити індекси забруднення води з джерел і свердловин в різні періоди і придатність води для пиття.

#### **1.4. Екологічний стан питних підземних вод Яремчанщини та використання підземних водних джерел в туризмі**

Карпатський туристичний регіон, що охоплює сім країн Центральної та Східної Європи, переживає зростання туризму за останнє десятиліття. Цей гірський регіон, відомий своєю природною красою, біорізноманіттям і культурною спадщиною, стає все більш популярним напрямком як для внутрішніх, так і для міжнародних туристів.

За даними Комітету з імплементації Карпатської конвенції (CCIC), за останнє десятиліття кількість туристів, які відвідують Карпатський регіон, зросла приблизно на 3,5% на рік (CCIC, 2020) [33]. Цей темп зростання близький до середнього глобального темпу зростання туризму, який Всесвітня туристична організація (UNWTO) оцінює приблизно в 3,9% (UNWTO, 2020). [34].

Розвиток туристичної інфраструктури в регіоні також суттєвий. Дані CCIC свідчать про те, що кількість готелів, курортів та інших закладів розміщення в Карпатському регіоні за останнє десятиліття зросла приблизно на 2,8% на рік (CCIC, 2020). Це свідчить про узгоджені зусилля, щоб прийняти зростаючу кількість відвідувачів і забезпечити їм комфортне та зручне проживання. [33]

Проте стрімкий розвиток туризму в Карпатському регіоні також створює проблеми. Природна та культурна спадщина регіону ризикує зазнати негативного впливу зростання кількості туристів. CCIC закликає до впровадження в регіоні практики сталого туризму, щоб забезпечити збереження його унікальних активів (CCIC, 2020).

Підсумовуючи, слід сказати, що темпи розвитку туризму в Карпатському регіоні вражають, але ним потрібно обережно керувати, щоб забезпечити сталість унікальних надбань регіону. Майбутні дослідження мають бути зосереджені на визначенні ефективних стратегій сприяння сталому туризму в Карпатському регіоні.

Використання підземних джерел води в туристичних цілях стає все більш популярним трендом у всьому світі. Карпатський регіон є одним з регіонів, які приваблюють велику кількість туристів завдяки своїй природній красі та культурному розмаїттю. Регіон має значну кількість підземних джерел води, які використовуються для різних туристичних цілей, включаючи купання, пиття та рекреацію.

Карпатський регіон України зосереджує значну кількості джерел, лише в Карпатському національному природному парку налічується 50 джерел, за якими ведеться моніторинг [14]. Ці джерела, що характеризуються високою мінералізацією та різноманітним хімічним складом, представляють значний потенціал для розвитку лікувально-оздоровчого туризму в регіоні.

Температура джерел коливається від 4 до 10 градусів за Цельсієм, а дебіт - від 0,1 до 15 літрів на секунду [14]. Ці відмінності, разом з унікальним хімічним складом, роблять кожне джерело особливим, пропонуючи різні терапевтичні та рекреаційні можливості. Наприклад, джерела з високим вмістом іонів кальцію та магнію корисні для здоров'я серцево-судинної системи, тоді як джерела з високим вмістом сірки мають терапевтичний вплив на стан шкіри.

Однак, щоб повністю реалізувати цей потенціал, необхідно провести комплексне картування цих джерел та включити їх до туристичних маршрутів. Наразі багато з цих джерел не позначені належним чином і не доступні для туристів. Створення детальних карт, які включають інформацію про місцезнаходження, дебіт, температуру та хімічний склад кожного джерела, допомагають туристам обрати джерела, які найкраще відповідають їхнім

інтересам та потребам. Ці карти також можуть бути використані для розробки екскурсій та оздоровчих програм, що ще більше сприятиме використанню джерел у туризмі.

Крім того, картування джерел сприяє їх ефективному управлінню та збереженню. Це допомагає відстежувати вплив туризму на джерела та впроваджувати заходи для запобігання забрудненню та надмірній експлуатації. Наприклад, згідно проведеного дослідження КНПП, що 10% мають ознаки забруднення, а рівень нітратів у деяких випадках перевищує гранично допустиму концентрацію 45 мг/л [14]. Регулярний моніторинг і картування дозволяють виявити такі проблеми на ранній стадії і вжити відповідних заходів.

Використання підземних джерел води в туристичних цілях має як позитивний, так і негативний вплив на навколишнє середовище та місцеві громади. З одного боку, туристична діяльність, така як купання, плавання і пиття з підземних джерел, приносить економічні вигоди місцевим громадам. До цього входить матеріальний дохід і можливості для працевлаштування. З іншого боку, туристична діяльність призводить до деградації навколишнього середовища, включаючи забруднення води, ерозію ґрунту та знищення природних середовищ існування. Крім того, надмірна експлуатація підземних джерел води призводить до зниження рівня ґрунтових вод і виснаження підземних водоносних горизонтів, що вплине на доступність води для майбутніх поколінь [35].

Незважаючи на потенційний вплив туризму на підземні джерела води, бракує комплексних досліджень на цю тему, особливо в Карпатському регіоні. Більшість досліджень зосереджені на екологічній оцінці підземних джерел води та впливі антропогенної діяльності на якість підземних вод. Існує потреба у комплексному дослідженні, яке вивчає наслідки використання підземних джерел води для туристичних цілей.

На закінчення, джерела в Карпатському регіоні України пропонують значні перспективи для туризму. Однак для повної реалізації цього потенціалу необхідне комплексне картування цих джерел та включення їх до туристичних маршрутів. В ході аналізу літератури, ми прийшли до висновку, що є значна кількість досліджень поверхневих вод. Проте, потрібно глибше дослідити саме підземні джерела питної води.

### **1.5 Оцінка впливу туристичної діяльності на екологічний стан підземних вод Надвірнянського району**

Карпатський регіон, що характеризується багатим біорізноманіттям і природною красою, щорічно приваблює велику кількість туристів. Хоча туризм робить значний внесок у місцеву економіку, він також чинить тиск на природні ресурси регіону, зокрема на ресурси підземних вод [36]. Це дослідження має на меті оцінити вплив туристичної діяльності на стан підземних вод у Надвірнянському районі.

Оцінка була проведена з використанням комбінації польових досліджень, тестування якості води та аналізу вторинних даних щодо кількості туристів, споживання води та утворення відходів. Також було розглянуто вплив змін землекористування внаслідок розвитку туристичної інфраструктури.

Туристична діяльність у Надвірнянському районі має декілька потенційних впливів на стан підземних вод:

- Збільшення споживання води:

приплив туристів призводить до збільшення споживання води, що знижує рівень ґрунтових вод і потенційно призвести до дефіциту води в пік туристичного сезону.

- Утворення відходів:

Неналежна утилізація твердих відходів туристами та туристичними об'єктами призводить до забруднення ґрунтових вод. Це особливо

занепокоєння, враховуючи залежність регіону від підземних вод для пиття та інших побутових потреб.

- **Зміни у землекористуванні:**

Розвиток туристичної інфраструктури часто передбачає зміни у землекористуванні, що змінює схеми поповнення ґрунтових вод і вплинути на якість води. Наприклад, будівництво готелів і курортів може збільшити непроникні поверхні, зменшуючи інфільтрацію дощової води і, таким чином, впливаючи на поповнення ґрунтових вод [37].

- **Скидання стічних вод:**

Скидання стічних вод із готелів та інших туристичних об'єктів, якщо їх не очищати належним чином, забруднює підземні водні ресурси.

Незважаючи на те, що туризм приносить економічні вигоди, надзвичайно важливо керувати його впливом на навколишнє середовище для забезпечення сталого використання ресурсів підземних вод. Це вимагає впровадження ефективних методів управління відходами, стратегій сталого водокористування та ретельного планування розвитку туристичної інфраструктури для мінімізації впливу на поповнення ґрунтових вод.

## **1.6 Постановка завдань дослідження та конкретизація мети роботи**

У ході подальшого дослідження заплановано провести аналіз питань взаємозв'язку водоспоживання та джерел питної води в обраному регіоні. Зокрема, планується дослідити, як наявні джерела питної води та колодязі взаємодіють із загальною інфраструктурою системи водопостачання регіону з метою подальшої оптимізації цього взаємозв'язку.

Планується провести моніторинг фізико-хімічних показників води з джерел і колодязів для отримання даних, які будуть використані для комплексної оцінки якості води та для розробки стратегій покращення її придатності для пиття в різні періоди.

В контексті вивчення впливу змін клімату на підземні води, поставлено завдання провести аналіз прогнозованих змін та їх можливого впливу на джерела питних підземних вод. Спеціальна увага буде приділена географічним особливостям регіону з метою підготовки до подальших досліджень та адаптації стратегій управління водними ресурсами.

Одним із напрямків роботи буде вдосконалення методів GIS для дослідження природних підземних водних джерел. Планується запропонувати підхід, який використовує супутникові кліматичні дані та їх подальше опрацювання для підвищення точності та надійності отриманих результатів, зокрема у важкодоступних регіонах.

Розглянуто можливість використати удосконалені методи GIS для визначення індексу потенціалу зон ґрунтових вод з метою поліпшення моніторингу підземних водних джерел у регіоні.

Поставлено ціль розробити та використати цифровий метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод для отримання точних вхідних даних для екологічних моделей та прогнозування впливу на водні екосистеми.

Останнім етапом передбачено моделювання впливу туризму на природні водні джерела та колодязі, використовуючи удосконалені методи GIS. Мета - визначити можливі наслідки розвитку туризму з урахуванням різноманітних факторів, що включають кліматичні, фізико-хімічні, географічні та антропогенні впливи.



## **РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ЧИННИКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ПИТНИХ ДЖЕРЕЛ В МЕЖАХ ГІРСЬКИХ ТУРИСТИЧНИХ ДЕСТИНАЦІЙ**

### **2.1 Методологічні підходи та методи дослідження**

Визначено науковий підхід та інструментарій для проведення дослідження. У цьому розділі ми систематизуємо та детально описуємо використані методичні підходи, емпіричні засоби та аналітичні методи, спрямовані на вирішення ключових завдань нашого дослідження.

Засновуючись на визначених дослідницьких цілях, ми впроваджуємо ретельно обрані методологічні підходи, спрямовані на вирішення конкретних завдань та відповіді на поставлені наукові питання. Використання таких підходів є ключовим елементом для досягнення наукової обґрунтованості та достовірності результатів.

Окрім того, розділ ретельно розглядає застосовані методи аналізу та обробки даних, включаючи вдосконалені алгоритми та статистичні моделі. Описуються крок за кроком всі етапи дослідження, від обрання методів до їхньої реалізації, що забезпечує наукову спрямованість та системність у проведенні дослідження.

Цей розділ виявляється ключовим в усьому науковому контексті, створюючи фундамент для належного розуміння та інтерпретації отриманих результатів. Він демонструє обґрунтованість обраних методів та методологічних підходів, а також вказує на їхню відповідність структурі та цілям нашого дослідження.

В процесі дослідження використано наступні методи: соціологічне опитування, статистичний, спостереження та аналізу, польові дослідження, порівняння, прогнозування, фізико-хімічні методи та моделювання [38].

Нижче представлений послідовність застосування методів та цілі, які потрібно досягнути використовуючи ці методи.

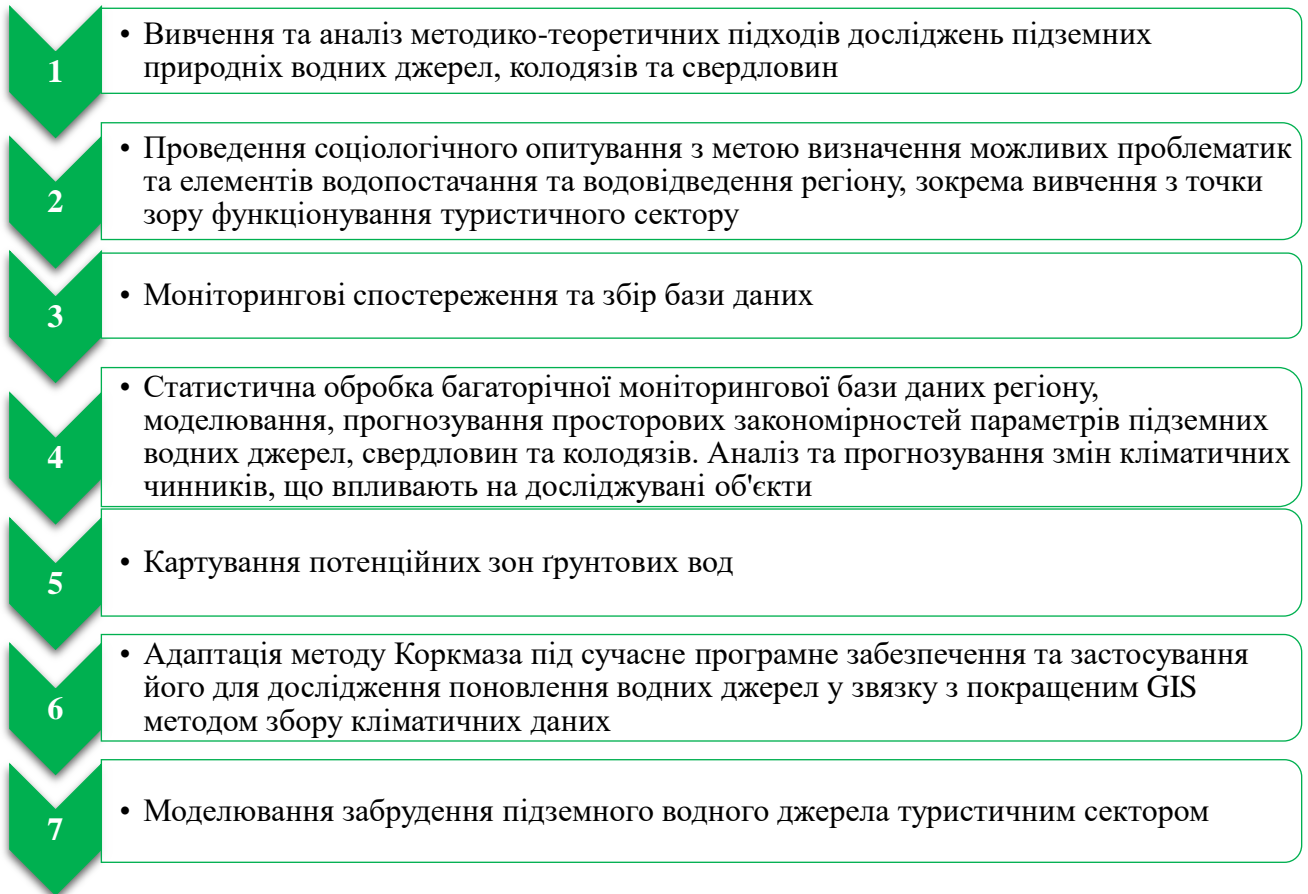


Рисунок 2.1 – Запланована послідовність проведення дослідження

В процесі дослідження підземних джерел питної води, їх взаємодії з кліматичними змінами та впливу туристичного сектору, використовувалися методи: гідрологічні, геофізичні, моделювання, статистичний аналіз, геоінформаційні, соціологічні опитування, та прилади для отримання комплексної інформації.

Для вибіркового та репрезентативного відбору проб води використовувалися гідрологічні методи дослідження. Рандомізований відбір проб надавав можливість вибирати проби води випадковим чином, забезпечуючи об'єктивність та представленість даних у дослідженні. Кластерний відбір передбачав групування проб за різними ознаками, такими як

географічне положення чи гідрологічні умови, з подальшим відбором представників з кожного кластера для докладнішого аналізу. Грабельний відбір використовувався для швидкого та ефективного збору проб води з різних глибин та точок джерел.

В процесі вибору пластикових контейнерів для зберігання та транспортування проб води в рамках нашого дослідження підземних джерел питної води, вибір матеріалу для пляшок та корків виявився важливим аспектом забезпечення надійності та точності наших даних. У нашому випадку, високоякісний поліетилен низької щільності (LDPE) виявився оптимальним вибором для застосування у відборі проб, завдяки його високій хімічній стійкості та низькій проникливості [39].

Корки для пляшок обрано також з LDPE, оскільки цей матеріал виявив високу еластичність та здатність до ефективної герметизації. Це важливо для запобігання витокам та забрудненню проб води зовнішніми факторами. Крім того, обрані корки мають добру хімічну стійкість, що гарантує їхню невзаємодію з хімічним складом води під час зберігання та транспортування.

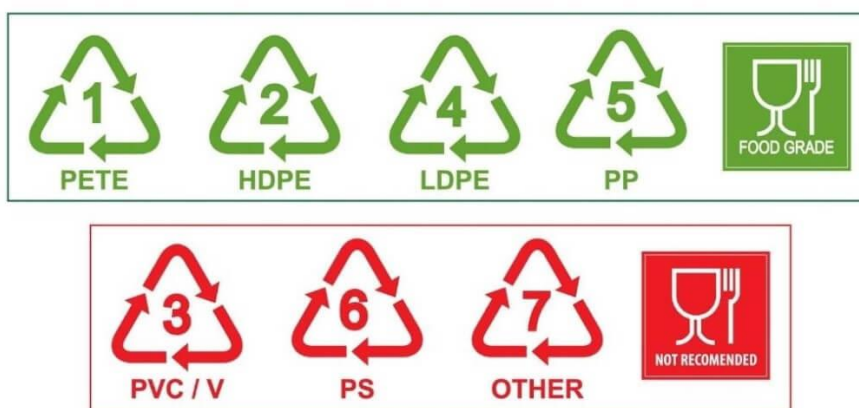


Рисунок 2.2 – Види пластику

Пляшки, виготовлені з поліетилена низької щільності (LDPE), є оптимальним вибором для зберігання та транспортування проб води з ряду ключових причин. Важливо враховувати фізичні та хімічні властивості цього

матеріалу, оскільки вони мають значний вплив на інтегритет та стабільність проб під час дослідження. Розглянемо детальніше, чому пляшки із LDPE є оптимальними:

*Хімічна стійкість:* LDPE є хімічно стійким матеріалом, що означає його мінімальну взаємодію з хімічним складом води. Це важливо для забезпечення того, що властивості води залишаються незмінними протягом часу зберігання у пластиковій пляшці [39].

*Низька проникливість:* LDPE має низьку проникливість, що робить його ефективним бар'єром для уникнення проникнення зовнішніх речовин або забруднень у пробу води. Це особливо важливо для утримання чистоти та невідмінності зразка.

*Гнучкість та еластичність:* Гнучкість та еластичність LDPE роблять його ідеальним для створення герметичних корок та пластикових тіл пляшок. Це запобігає витокам та дозволяє ефективно запечатувати пляшку під час відбору проби та її подальшого зберігання.

*Легкість та прозорість:* LDPE легкий, що спрощує транспортування та робить його зручним для використання у віддалених місцях. Крім того, матеріал може бути прозорим, що дозволяє візуально контролювати стан проби та виявляти будь-які зміни у воді.

Таблиця 2.1 – Властивості пластику LDPE

<b>Властивість</b>	<b>Пластик LDPE</b>
Хімічна стійкість	Хімічно стійкий, мінімальна взаємодія з хімічним складом води
Проникливість	Низька проникливість, ефективний бар'єр для зовнішніх речовин та забруднень
Гнучкість та еластичність	Забезпечує гнучкість та еластичність для створення герметичних корок та пластикових тіл
Легкість та прозорість	Легкий, зручний для транспортування; може бути прозорим для візуального контролю

З урахуванням цих факторів, використання пляшок із LDPE є обґрунтованим вибором для забезпечення надійності та консервації фізико-хімічних характеристик проби води протягом усього процесу дослідження.

У відборі проб води було важливо дотримуватися рекомендацій щодо температурних умов. Відбір проводився при температурі, відповідній середній температурі джерела води, та проби транспортувалися у контейнерах з термоізоляцією та охолодженням. Це заходи спрямовані на уникнення впливу зовнішніх температур на фізико-хімічний стан води під час транспортування.

Вибір високоякісних матеріалів для пластикових пляшок та корків та дотримання встановлених параметрів гарантує стабільність та надійність отриманих проб води. Ці заходи є ключовими для забезпечення достовірності наших результатів та висновків у рамках нашого дослідження підземних джерел питної води.

В розв'язанні складних завдань у галузі вивчення впливу кліматичних змін та туристичного сектора на підземні джерела питної води велике значення приділяється застосуванню різноманітних програм і приладів для збору та обробки даних. Розділ, що стосується використаних програм і приладів, визначає не лише технічні аспекти нашого дослідження, але й є основою для подальших аналізів та висновків. В цьому розділі ми ретельно розглянули інструментарій, використаний у ході дослідження, та визначили його ключову роль у досягненні наукової обґрунтованості та достовірності отриманих результатів.

*Використані програми:*

1) Microsoft Excel: У рамках даного дослідження було використано програмне забезпечення Microsoft Excel для базового оброблення та аналізу даних. Excel було використано для створення електронних таблиць, введення та організації даних, а також для виконання різних обчислень та аналізу

результатів. Програма дозволила здійснити відповідні обчислення та побудувати необхідні графіки для візуалізації даних.

2) MapInfo, ArcGIS, QGIS, Surfer: У дослідженні використовувалися декілька геоінформаційних систем (ГІС) - MapInfo, ArcGIS, QGIS, Surfer, що було обумовлено потребою у використанні різних програм для вирішення конкретних завдань просторового аналізу та картографування джерел питної води та їх змін. Кожна з цих ГІС має свої унікальні можливості та інструменти, що дозволяють ефективно виконувати різні види аналізу та візуалізації даних. MapInfo використовувався для створення та редагування векторних та растрових карт, а також для виконання базового просторового аналізу. ArcGIS був використаний для більш складного просторового аналізу, включаючи аналіз великих обсягів даних та моделювання гідрогеологічних процесів. QGIS використовувався для виконання аналізу та візуалізації просторових даних за допомогою вільно доступного програмного забезпечення. Surfer використовувався для побудови тривимірних моделей рельєфу та водойм для подальшого аналізу. Такий підхід до використання різних ГІС дозволив отримати більш повну та об'єктивну картину щодо джерел питної води та їх змін, а також забезпечив можливість виконання різноманітних аналітичних операцій.

3) CorelDraw: Використання CorelDRAW дозволило професійно оформити отримані дані та результати дослідження для подальшої презентації та публікації. Завдяки функціоналу CorelDRAW створювали різноманітні графічні елементи, використовувати різні кольори, шрифти та стилі для найкращого відображення даних. Крім того, програма дозволяє ефективно працювати з векторними об'єктами, що забезпечує високу якість зображень та швидкість роботи навіть з великими обсягами даних. Таким чином, використання CorelDRAW дозволило створити привабливі та інформативні

графічні матеріали, які чітко відображають результати дослідження та роблять їх зрозумілими для аудиторії.

4) ModFlow та ModelMuse: Використовувалися для моделювання руху ґрунтових вод та впливу туристичного сектора на забруднення водних джерел. Програмні пакети дозволили врахувати складну гідрогеологічну структуру та властивості гідрологічних об'єктів у моделюванні. Однією з ключових особливостей використання ModFlow та ModelMuse є їх здатність інтегруватися з широким спектром вхідних даних, включаючи результати попередніх досліджень з фізико-хімічних, кліматичних та гідрологічних параметрів [40]. Це дозволило побудувати комплексні моделі руху ґрунтових вод та прогнозувати наслідки забруднення водних ресурсів, що виникають в результаті туристичної діяльності.

5) TableCurve 2D: Використовувалася для статистичного аналізу та регресійного аналізу. Для регресійного аналізу використовувалися різні моделі, які дозволили встановити зв'язки між кліматичними факторами та іншими змінними, такими як рівень підземних вод або їх забруднення. Для кліматичного прогнозування були використані дані з метеорологічних спостережень та супутникові дані, які були підтверджені та підтримані даними з гідрогеологічних досліджень. Це дозволило побудувати моделі, які прогнозують зміни в залежності від різних кліматичних умов.

6) Past4, Sigmaplot, EOS: Використовувалися для статистичного аналізу та моделювання даних. Past4 використовувався для статистичних обчислень, включаючи кореляційний аналіз та аналіз дисперсії. Sigmaplot був використаний для візуалізації даних та побудови графіків, що допомогло краще розуміти характеристики досліджуваних змінних та їх взаємозв'язки. EOS використовувався для отримання точних супутникових кліматичних даних.

7) Google Maps, Google Forms, Google Doc: Використовувалися для збору та організації даних, а також для взаємодії з учасниками дослідження.

Google Maps використано для візуалізації географічних даних та визначення місцезнаходження досліджуваних об'єктів, що сприяло кращому розумінню просторового контексту дослідження. Google Forms був використаний для створення опитувальників та збору даних від учасників дослідження. Цей інструмент дозволив зручно та ефективно зібрати відповіді від учасників та організувати отримані дані для подальшого аналізу.

*Використані прилади:*

1) Тестові смужки SenSafe®: Використовувалися для виявлення концентрації Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Fe<sup>+2</sup> у воді.

2) Фотометр PoolLAB 1.0: Використовувався для кількісного визначення концентрації певних речовин у воді.

3) Нітратомір H-401: Використовувався для визначення концентрації нітратів у воді.

4) GPS-навігатор Garmin GPSMAP 60Cx: Використовувався для точного визначення місцезнаходження джерел питної води та взятих проб.

Оксиметр/pH-метр/кондуктометр/TDS/солемір AZ-86031:

Використовувався для вимірювання різних фізико-хімічних параметрів води.

Отже, розглянуті та систематизовані методичні підходи, емпіричні засоби та аналітичні методи, що використовуються для вирішення ключових завдань дослідження. Виокремлено важливість вибору наукового підходу та методологічних інструментів у забезпеченні об'єктивності та достовірності результатів.

Висвітлено використання різноманітних програм та приладів, таких як Microsoft Excel, GIS-системи, програми моделювання, інструменти аналізу та вимірювання параметрів води. Важливий акцент робиться на обґрунтованості обраних методів та їхньої відповідності структурі та цілям дослідження.



Отже, розділ виявляється фундаментальним для визначення наукового підґрунтя дослідження, забезпечуючи необхідну обґрунтованість та системність у виборі та реалізації методологічних підходів та аналітичних методів.

## **2.2 Гідросоціологічний профіль: аналіз використання підземних водних джерел та інших систем водопостачання в Надвірнянському районі**

В розділі даного дослідження з соціологічних аспектів вивчено різні фактори, пов'язані із водопостачанням та водовідведенням в Надвірнянському регіоні. Особлива увага приділена видам водопостачання та споживанням питної джерельної води, а також видам водовідведення. Участь у соціологічному опитуванні взяли близько 100 респондентів, більшість із яких є власниками туристичних закладів розміщення, таких як садиби і готелі.

Це дослідження покликане розкрити відмінності та особливості використання водних ресурсів місцевою громадою та підприємцями у сфері туризму. Опитування охопило аспекти можливого забруднення води та використання систем фільтрації, розглядаючи їхню роль у забезпеченні якості та безпеки води для споживачів.

Результати цього опитування виступають основою для подальших досліджень, зокрема в контексті зміни клімату, впливу опадів на водні ресурси та потенціалу рівня ґрунтових вод. Цей підхід дозволяє визначити взаємозв'язок між соціальними практиками водокористування та природними факторами, роблячи висновки для подальших стратегій управління водними ресурсами в даному регіоні.

Нами розроблена анкета опитувань з метою глибокого вивчення питань водопостачання та водовідведення в Надвірнянському регіоні, з фокусом на практиках та уявленнях власників туристичних закладів. Вона охоплює широкий спектр аспектів, включаючи джерела водопостачання, віддаленість від водних джерел, використання та види водовідведення.

Анкета також спрямована на вивчення особливостей використання та споживання джерельної води, а також на виявлення можливих проблем забруднення та необхідності додаткової фільтрації. Отримані відповіді стануть важливим етапом для розуміння водних викликів у регіоні та розробки подальших стратегій для покращення якості водопостачання та водовідведення.

Таблиця 2.1 – Розроблені питання для соціологічного опитування, щодо визначення гідросоціологічного профелю Надвірнянського регіону

№	Питання
1	Чи належать Вам заклади розміщення туристів, якщо так, то які?
2	Віддаленість вашого закладу розміщення туристів від річки Прут чи її приток?
3	Яким видом водопостачання користуєтесь?
4	Який тип водовідведення стічних вод використовуєте?
5	Джерелом водопостачання у Вас є?
6	Ви споживаєте для пиття воду з підземних джерел (колодязі, свердловини, витоки підземних джерел)?
7	Якщо споживаєте джерельну воду, то це вода з?
8	Чи спостерігаєте Ви ознаки забруднення питної води (каламутність, запах, колір, осад)?
9	Ви використовуєте додаткову фільтрацію питної води та чи бачите необхідність в додатковій фільтрації?
10	Оберіть ваш населений пункт або напишіть, якщо не знайшли свій варіант серед наведених
11	Якщо Ви використовуєте індивідуальне водовідведення, то яке саме?

*Метод збору контактних даних:* Контактні дані для розсилок і дзвінків збиралися з різних джерел, таких як каталоги закладів розміщення та осіб, надавачів туристичних послуг з розміщення. Використовувалися також туристичні портали КАРПАТИ.INFO [41] та hotels24.ua [42] для отримання інформації про місцевих жителів і туристичний сектор. Мета - забезпечити доступ до різних груп населення та зберегти репрезентативність вибірки.

Таблиця 2.2 – Методи соціологічного опитування та їх опис

<b>Методи соціологічного опитування</b>	<b>Опис</b>
<b>Розсилка в месенджерах (Viber і Telegram):</b>	Здійснювалася розсилка анкет у месенджерах, таких як Viber і Telegram. Контактні дані отримувалися з різних джерел, включаючи загальнодоступні бази даних, каталоги закладів розміщення і туристичні портали. Мета - забезпечити широкий охоплення та отримати репрезентативні відповіді.
<b>Телефонні опитування:</b>	Анкети розсилалися у телефонному форматі, через SMS та дзвінки. Контактні дані для цього збиралися з відкритих джерел, таких як каталоги та інші доступні бази даних. Мета - максимально охопити аудиторію та отримати різноманітні відгуки.
<b>Безпосередні опитування на місці в регіоні:</b>	Збирання відповідей проводилося особистим опитуванням на місці в регіоні. Використовувалися стандартні опитувальники та інтерв'юери для взаємодії з безпосередніми учасниками дослідження. Мета - отримати докладні відповіді від місцевих мешканців.

*Загальна мета підходу:* Забезпечення репрезентативності вибірки та отримання різноманітних відповідей від місцевих громадян шляхом використання різних каналів зв'язку та джерел інформації.

За результатами попереднього вивчення регіону на скупчення приватних садиб і готелів було проведено соціологічне опитування, в рамках якого було опитано близько 100 респондентів-власників туристичних закладів розміщення.

На графіку рис. 2.3 відображено розподіл опитуваних на три основні групи відповідно до їхнього місця проживання та виду власності. Перша група включає власників готелів чи хостелів, друга - власників садиб, а третя - мешканців регіону. Розподіл представлений у відсотках для кожного конкретного населеного пункту, зазначаючи, чи це місто чи село.

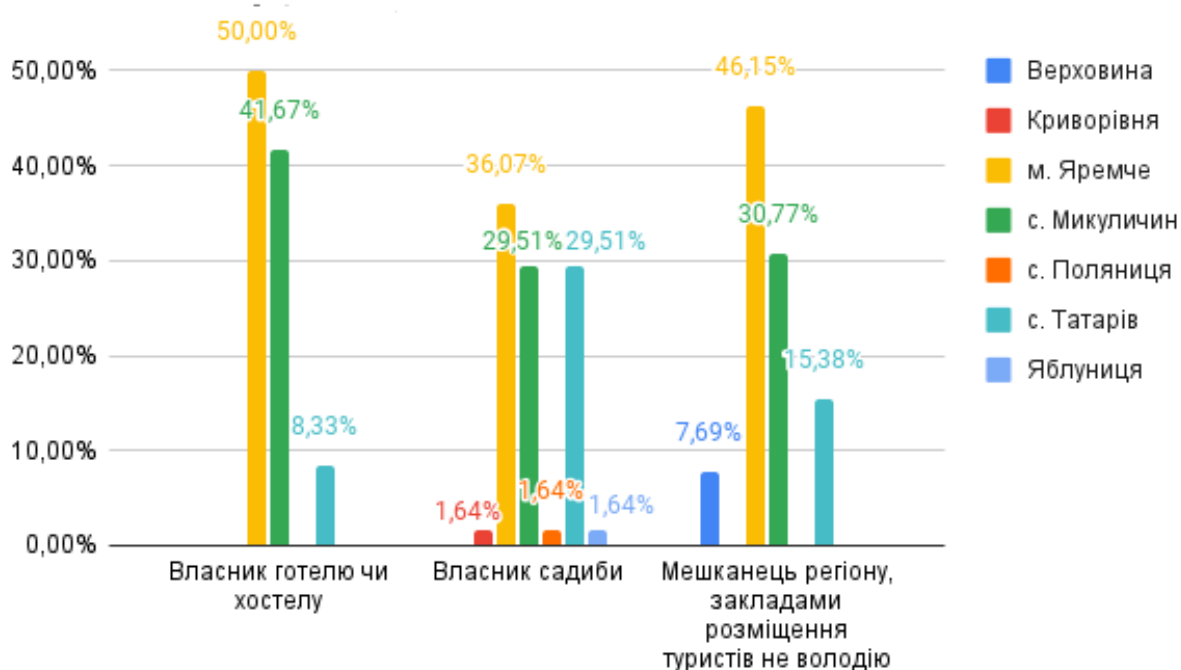


Рисунок 2.3 - Розподіл опитуваних на три основні групи відповідно до їхнього місця проживання та виду власності

Згідно з результатами опитування, серед власників готелів чи хостелів, 50% респондентів проживають у місті Яремче, 41.47% - у селі Микуличин, та 8.33% - у селі Татарів.

Друга група, власники садиб, відзначається різноманітністю місць проживання: 1.64% з Криворівні (село), 36.07% з Яремчі (місто), 29.51% з Микуличина (село), 1.64% з Поляниці (село), 29.51% з Татарова (село) та 1.64% з Яблуниці (село).

У третій групі, до якої входять мешканці регіону, розподіл складається з 7.69% з Верховини (село), 46.15% з Яремчі (місто), 30.77% з Микуличина (село) та 15.38% з Татарова (село).

Ці результати надають дані щодо географічного розташування та типу власності респондентів, що є важливим у вивченні питань водопостачання та водовідведення в зазначеному регіоні.

На рисунку 2.4 відображено розподіл опитуваних на три основні групи за видами водопостачання, а також узагальнені показники з усіх трьох груп. Розподіл представлений у відсотках для кожного конкретного виду водопостачання.

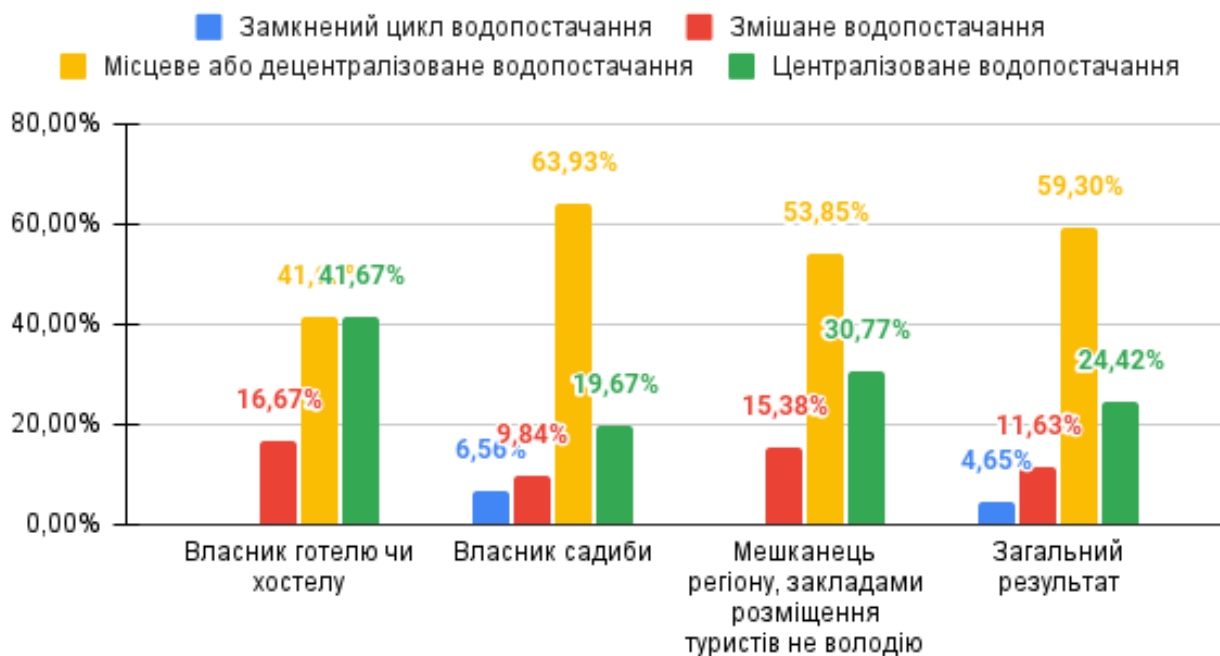


Рисунок 2.4 - Розподіл опитуваних на за видом водопостачання

У першій групі, власники готелів чи хостелів, 16.67% вказали на змішане водопостачання, 41.66% обрали місцеве або децентралізоване водопостачання, і 41.67% віддали перевагу централізованому водопостачанню.

Друга група, власники садиб, показує наступний розподіл: 6.56% - замкнений цикл водопостачання, 9.84% - змішане водопостачання, 63.94% -

місцеве або децентралізоване водопостачання, і 19.67% використовують централізоване водопостачання.

Третя група, що включає мешканців регіону, має наступний розподіл: 15.38% - змішане водопостачання, 53.85% - місцеве або децентралізоване водопостачання, і 30.77% використовують централізоване водопостачання.

Узагальнені показники показують, що 4.65% опитаних користуються замкненим циклом водопостачання, 11.63% вибрали змішане водопостачання, 59.30% використовують місцеве або децентралізоване водопостачання, а 24.42% віддали перевагу централізованому водопостачанню.

Цей графік дозволяє детально проаналізувати перевагу децентралізованого виду водопостачання в залежності від типу власності респондентів та в регіоні в цілому.

На рисунку 2.5 зображено результати, щодо частоти споживання питної води з підземних джерел серед трьох груп опитуваних. Також представлені узагальнені показники для всіх трьох груп.



Рисунок 2.5 - Розподіл споживання питної підземної води з колодязів, свердловин та природних водних джерел

У першій групі, 41.66% власників готелів іноді споживають питну воду з колодязів, свердловин чи природних джерел, 41.67% не користуються цим джерелом взагалі, а 16.67% споживають регулярно.

Друга група, власники садиб, має такий розподіл: 22.95% іноді використовують воду з цих джерел, 4.92% не користуються питною водою, тоді як 72.13% споживають її регулярно.

Третя група, мешканці регіону, показує такий розподіл: 23.08% іноді використовують воду з колодязів, свердловин чи природних джерел, 15.38% не користуються питною підземною водою, тоді як 61.54% споживають її регулярно.

Загальні показники свідчать, що 25.58% опитаних іноді використовують питну воду з підземних джерел, 11.63% не користуються нею взагалі, а 62.79% споживають її регулярно.

Ці показники дозволяють детально проаналізувати звички споживання питної води різними групами респондентів та визначити основні тенденції у використанні підземних водних ресурсів в досліджуваному регіоні, яка полягає у тому, що майже 63% туристичного сектору Надвірнянського району залежні від підземних питних джерел. Тому, визначення і прогнозування екологічного стану підземних водних джерел є надзвичайно актуальним.

Виявлено, що 39.53% респондентів зафіксували ознаки забруднення питної води, що вказує на досить великий відсоток осіб, які усвідомлюють проблеми у якості водопостачання. Загальний результат для всіх груп склав 60.47% "ні", що свідчить про відсутність ознак у більшості випадків. Проте, враховуючи великий відсоток виявлених проблем, можна зазначити потребу у подальших дослідженнях якості та заходів безпеки питної води рис. 2.6.

Лише невелика частка відсотків респондентів 1.16% визнала використання фільтрів для води, але одночасно не вбачає необхідності в додатковій фільтрації. Це може свідчити про їхню впевненість у високій якості

води, яку вони отримують за допомогою вже встановлених засобів фільтрації рис.2.7.

Значна кількість респондентів 39.53% не використовує фільтрацію води, проте вбачає необхідність у використанні цього методу для забезпечення питної води вищої якості рис.2.7.

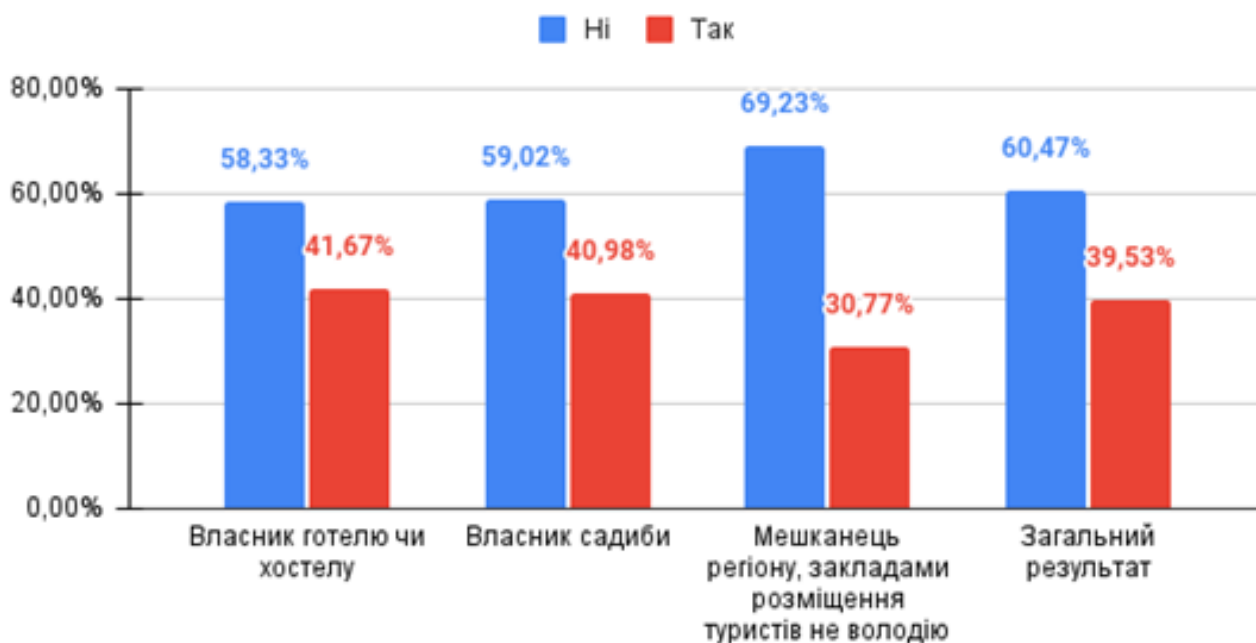


Рисунок 2.6 – Кількість респондентів, що спостерігають ознаки забруднення питної води

Мінімальний відсоток тих, хто не використовує фільтрацію 1.16%, може свідчити або про відсутність у них обізнаності про наявні ризики води, або про повну довіру до системи водопостачання і якості джерел водопостачання.

Велика кількість учасників опитування 31.40% визнала, що не використовує фільтрацію і воді не вбачає необхідності в додатковій фільтрації. Це може вказувати на впевненість у високій якості місцевої води та відсутність серйозних побоювань стосовно її безпеки рис. 2.7.

Отже, отримані дані свідчать про різноманіття відношення до фільтрації питної води серед населення, що може бути визначено як індивідуальними



переконаваннями, рівнем обізнаності та впевненість в безпеці місцевих систем водопостачання.



Рисунок 2.7 – Результати опитування, щодо використання та необхідності фільтрації питної води

В рамках аналізу виявлені значущі відмінності у виборі видів систем водовідведення рис.2.8. Власники готелів та хостелів, в основному, віддають перевагу централізованому водовідведенню - 83.33%, водночас як власники садиб демонструють більшу різноманітність: 78.69% - індивідуальне водовідведення та 18.03% децентралізоване водовідведення.

Мешканці регіону, з свого боку, виявили більш виражену різноманітність у використанні видів водовідведення. 7.69% мають замкнений цикл з фільтрацією, 69.23% індивідуальне та 23.08% централізоване водовідведення. Загальний аналіз результатів з усіх груп свідчить про те, що індивідуальне водовідведення є переважаючим типом серед опитованих 68.60%, в той час як централізоване водовідведення становить 27.91%.

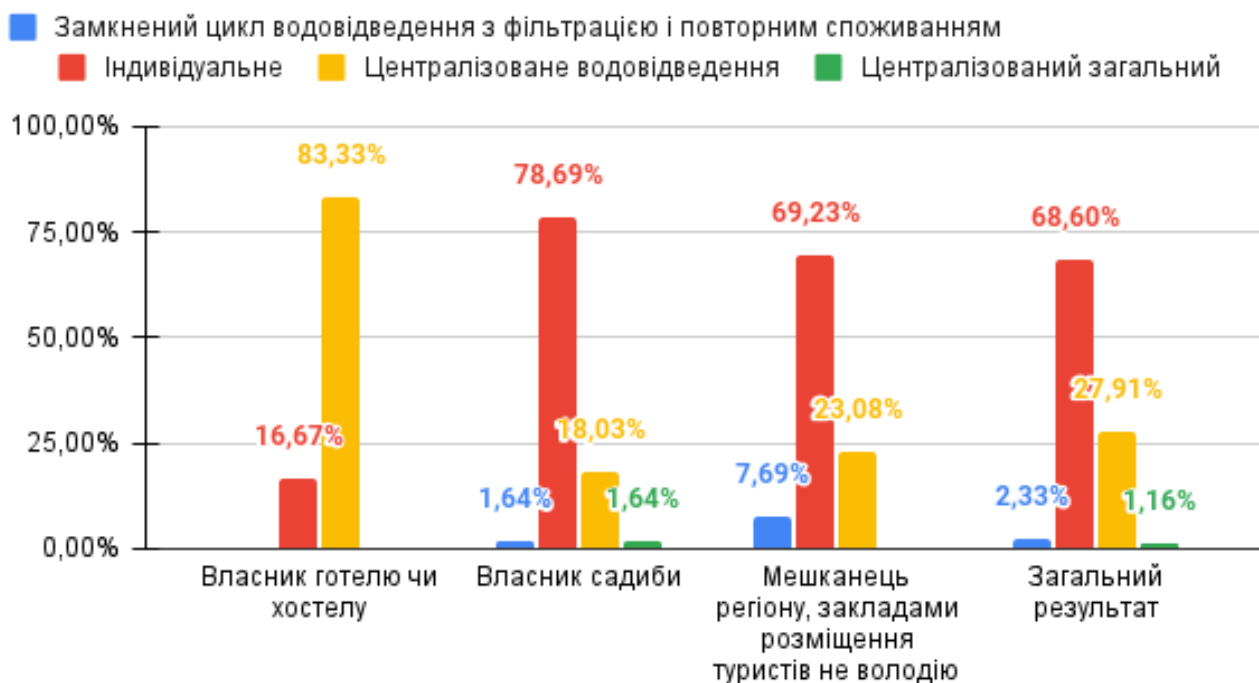


Рисунок 2.8 – Використання типів систем водовідведення туристичним сектором розміщення

У результаті аналізу можна виокремити вибір систем водовідведення різними групами опитуваних. Власники готелів та хостелів здебільшого використовують централізовані системи водовідведення, що складає 83.33% від їхнього вибору. У той час як власники садиб та мешканці регіону виявили вищий рівень використання індивідуальних систем водовідведення, з відсотками 78.69% та 69.23% відповідно.

Це відмінність може бути пояснена різними потребами та обставинами, що властиві різним групам. Власники готелів та хостелів вважають централізоване водовідведення більш зручним та ефективним у великих будівлях, де потрібно забезпечити стабільність та високий рівень обслуговування.

Власники садиб та мешканці регіону віддають перевагу індивідуальним системам водовідведення через більшу автономію та можливість контролю над власною водоспоживаною системою, що може бути особливо важливим у віддалених чи мало населених районах.

Отже, у підрозділі, присвяченому соціологічному дослідженню водопостачання та водовідведення в Надвірнянському регіоні, були ретельно досліджені різні аспекти, пов'язані з використанням водних ресурсів. Досліджено три основні групи респондентів: власники готелів чи хостелів, власники садиб та мешканці регіону, вивчено їхні практики водокористування та споживання води з питних підземних джерел.

Аналіз розподілу за місцем та видом водопостачання підкреслює різноманітність і регіональні відмінності у використанні водних систем. Централізоване та децентралізоване водопостачання займають основну частину у структурі водопостачання. Індивідуальні підходи до водовідведення потенційно сприяють дифузному забрудненню водних ресурсів.

Діаграми, які відображають розподіл споживання питної води та спостереження з ознаками забруднення, вказують на важливі аспекти якості та екологічної безпеки води для населення туристичної дестинації. Спостереження ознак забруднення, хоча й невелике в загальному обсязі, вказують на вимогу споживачів до контролю та забезпечення якості водопостачання.

Висновки з аналізу соціологічного дослідження дозволяють усвідомити важливі взаємозв'язки між соціальними групами та їхнім використанням водних ресурсів. Дані цього дослідження слугують підставою для подальших стратегій управління водними ресурсами в регіоні, особливо враховуючи вплив змін клімату та соціокультурні фактори.

### **Висновки до розділу**

Соціологічне дослідження водопостачання та водовідведення в Надвірнянському регіоні, проведене в 2020 році, показало, що у регіоні є значна кількісна перевага у використанні децентралізованої системи водопостачання. Це пов'язано з різними факторами, такими як тип власності, місце проживання та рівень обізнаності про проблеми водопостачання та водовідведення.

За результатами дослідження можна зробити такі висновки:

- Власники готелів та хостелів, як правило, використовують централізоване водопостачання – 41.67% та водовідведення 83.33%. Це пов'язано з потребою в стабільному та високому рівні обслуговування в таких великих будівлях.

- Власники туристичних садиб, як правило, використовують індивідуальне водопостачання – 63.94% та водовідведення – 78.69%. Це пов'язано з більшою автономією та можливістю контролю над власною системою водоспоживання.

- Власники приватних домогосподарств та мешканці регіону, як правило, використовують індивідуальне водопостачання – 53.85% та водовідведення – 69.23%. Це пов'язано з погано розвиненими централізованими системами через ландшафтні гірські особливості регіону.

- 63% опитаних на постійній основі користуються водою з підземних джерел, 25% - на нерегулярній. Значна кількість респондентів зафіксували ознаки забруднення питної води. Це вказує на потребу у подальших дослідженнях для покращення якості та безпеки питної води.

- Дане дослідження дозволяє отримати уявлення про стан водопостачання та водовідведення в регіоні, а також про особливості водокористування різними групами населення, це дозволить спрямувати подальші дослідження на прогноз кількості води в питних підземних джерелах та моніторингу якості.

## РОЗДІЛ 3 ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ГРУНТОВІ ВОДИ: АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

### 3.1 Аналіз тенденції зміни клімату та їх впливу на регіон

Паризька угода 2015 року встановлює глобальні рамки для обмеження рівня глобального потепління значно нижче 2°C, переважно до 1,5°C (градусів Цельсія), порівняно з доіндустріальним рівнем. Для досягнення цієї глобальної температурної мети країни прагнуть якнайшвидше скоротити зростання викидів парникових газів, а потім швидко скорочувати їх, ґрунтуючись на найкращих наявних наукових даних, економічній та соціальній доцільності [43].

Наслідки зміни клімату вже добре помітні щодо підвищення температури повітря, танення льодовиків і зменшення полярних крижаних шапок, підвищення рівня моря, посилення опустелювання, а також по екстремальних погодних явищах, таких як хвилі спеки, посухи, повені і шторми. Зміна клімату не є глобально рівномірною та впливає на деякі регіони більше, ніж на інші.

Зміна клімату - це глобальне явище, яке має значний вплив на екосистеми та природні ресурси. Карпатський регіон, розташований у Центральній Європі, є особливо вразливим до наслідків зміни клімату, враховуючи його різноманітні екосистеми, включаючи ліси, гори та річки, а також залежність від цих ресурсів для його соціально-економічного розвитку [44]. Це дослідження вивчає вплив зміни клімату на Карпатський регіон за останні 40 років. Особлива увага приділена змінам клімату на різних висотах.

Використовуючи дані з метеорологічних та гідрологічних станцій Карпатського регіону, проаналізовано зміни температури та кількості опадів, на різних абсолютних висотах. Аналіз показав, що в регіоні спостерігається загальне потепління. За 40 років температура в регіоні зросла на 2,4°C. Кількості опадів зменшилася за 40 років на 117 мм. Висувається гіпотеза, що ці зміни можуть суттєво вплинути на дебіт водних джерел у регіоні, оскільки,

загальновідомо, що в районах з низькою кількістю опадів і високими температурами спостерігається зниження доступності до питних водних ресурсів.

Зменшення обсягів питних підземних води може мати серйозні наслідки для соціально-економічного розвитку Карпатського регіону, особливо в туристичному секторі, який значною мірою залежить від водних ресурсів. Крім того, зміни у водному потоці вплинуть на природні екосистеми регіону, які вже перебувають під тиском людської діяльності та змін у лісокористуванні.

Дослідження підкреслює важливість використання передових технологій, таких як супутниковий збір даних для моніторингу довкілля. Результати цього дослідження свідчать про те, що супутниковий збір даних є більш точним, достовірним і ефективним методом збору даних, ніж традиційні наземні вимірювання та дані отримані з найближчих метеостанцій.

Карпатський регіон є життєво важливою екосистемою, яка підтримує низку туристичних, лісогосподарських та екологічних систем. Однак цей регіон стикається із загрозою зміни клімату, яка спричиняє значні зміни температури, кількості опадів та структури водних ресурсів. Незважаючи на важливість цього питання, існує невелика кількість досліджень щодо впливу зміни клімату на водні ресурси в Карпатському регіоні. Тому існує потреба дослідити вплив зміни клімату на водні ресурси в цьому регіоні, щоб розробити ефективні стратегії моніторингу та управління цими ресурсами в контексті триваючої зміни клімату. Це дослідження має на меті заповнити цю критичну прогалину в знаннях, проаналізувавши зміни температури, кількості опадів за останні 40 років.

Одним з досліджень, яке виділяється, є робота Молдован І.А. та її колег (2020), які використовували супутникові дані для аналізу змін снігового покриву. Вони виявили, що сніговий покрив зменшувався протягом останніх кількох десятиліть, що призвело до змін у часі та величині водного потоку в

гірських річках. Вони також виявили, що танення снігу стає все більш важливим джерелом води в регіоні, що має наслідки для управління та планування водних ресурсів.

Ще одним помітним дослідженням є робота Овсепяна А. та його колег (2021), які досліджували вплив зміни клімату на водні ресурси у Вірменському нагір'ї, що має багато спільного з Карпатами. Вони виявили, що за останні кілька десятиліть у регіоні спостерігається зменшення кількості опадів і підвищення температури, що призвело до змін у доступності та якості води. Вони також виявили, що регіон вразливий до посух і дефіциту води, що має наслідки для сільського господарства і населених пунктів [45].

Крім того, з'являється все більше досліджень, які зосереджуються на соціальному та економічному впливі зміни клімату на гірські регіони. Наприклад, у дослідженні Такааки К. [46] з колегами (2020) вивчався вплив зміни клімату на туристичну галузь в японських Альпах. Вони виявили, що зміни снігового покриву та погодних умов призвели до занепаду гірськолижного туризму, що мало економічні та соціальні наслідки для гірських громад.

Загалом, ці дослідження підкреслюють нагальну потребу в удосконаленні стратегій моніторингу, управління та адаптації до впливу зміни клімату на водні ресурси в гірських регіонах, зокрема в Карпатах. Вони також підкреслюють важливість міждисциплінарних досліджень, які враховують як фізичні, так і соціальні аспекти цього критичного питання.

Одним із завдань дисертаційного дослідження було: збір і аналіз ключових метеорологічних даних, таких як температура повітря та кількість опадів 1979 по 2021 роки, та виявлення залежностей впливу кліматичних показників на дебіт природних водних джерел. Поставлено завдання, визначення точнішого методу збору кліматичних даних для подальших досліджень.

Для збору даних і їх аналізу використовувався сервіс Meteoblue. Meteoblue використовує передові технології для створення, відображення та розповсюдження даних про погоду. Meteoblue обчислює запатентовані моделі симуляції погоди з високою роздільною здатністю. Важливо, що жодна модель погоди (її також називають «автономною» або «необробленою») не є ідеальною. Залежно від погодної ситуації, місця розташування, пори року чи навіть часу доби один прогноз може бути точнішим за інший [47].

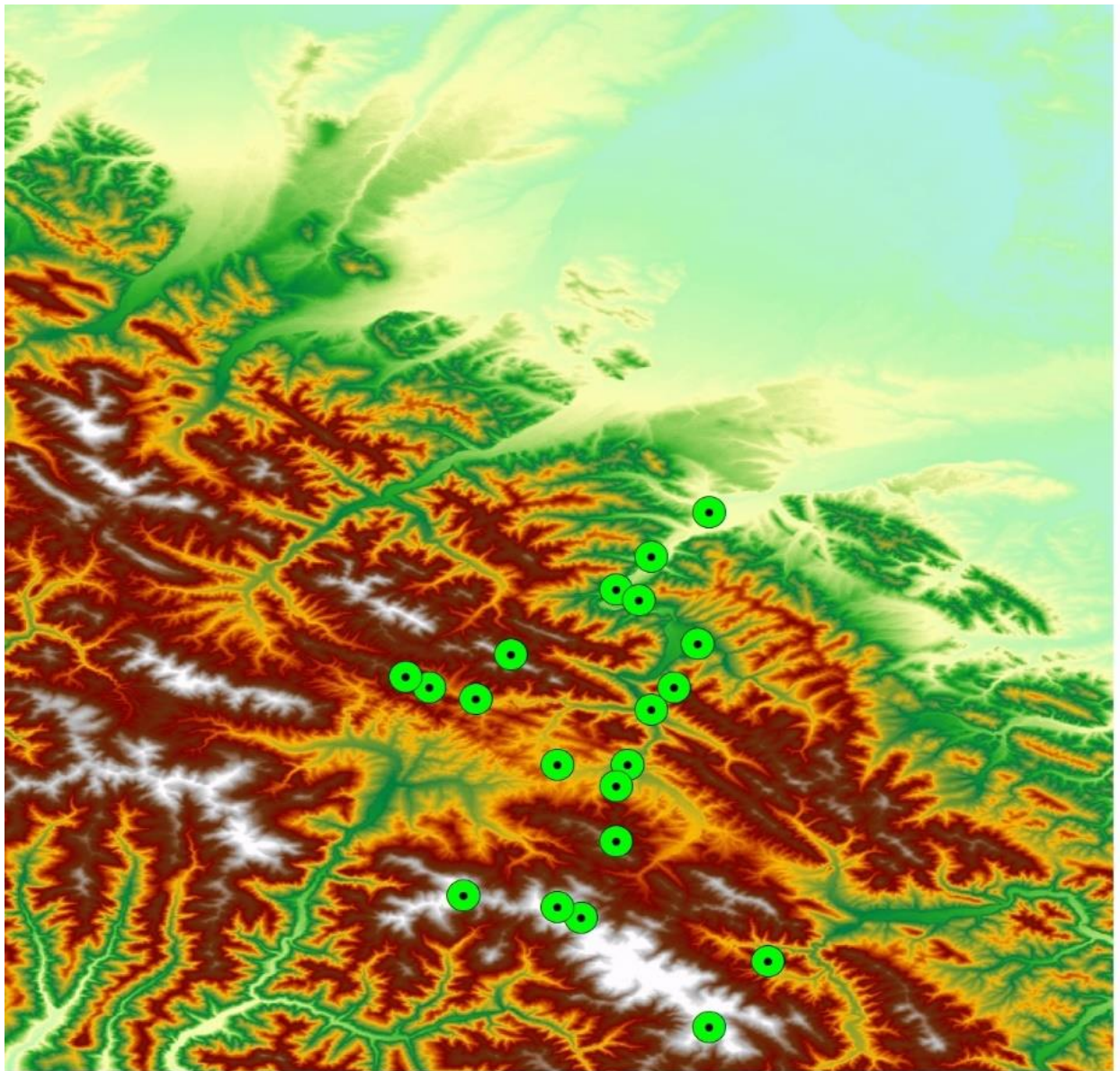
На наступних діаграмах представлено, як зміна клімату вплинула на досліджувані пункти за останні 40 років, як джерело даних використовується ERA5, атмосферний реаналіз глобального клімату п'ятого покоління ECMWF, що охоплює часовий діапазон з 1979 по 2021 рік з просторовою роздільною здатністю 30 км [47].

Мікроклімати та місцеві відмінності не відображаються. Тому температура часто буде вищою, ніж показано на екрані, особливо в містах, а кількість опадів може змінюватись в залежності від рельєфу місцевості.

Щоб краще зрозуміти масштаби кліматичних змін у Карпатському регіоні, було зібрано кліматичні дані у 20 різних точках на різних висотах, зокрема, акцентовано увагу на температурі та рівню опадів за останні кілька десятиліть, щоб виявити будь-які значні зміни в кліматичних показниках. На меті було дізнатися різницю зміни клімату на різноманітних висотах, особливо на вершинах Карпатських гір та в підніжжі рис.3.1 [48].

Проаналізовані метеорологічні дані, наведені в Таблиці 3.1, на початку та наприкінці тренду, надали можливість отримання кількісних параметрів змін температури та опадів у часі в кожному з 20 пунктів спостережень за 40 років.





● Досліджувані об'єкти

**Висоти**

**Значення**



1:533 240

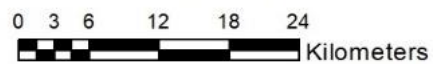


Рисунок 3.1 – Карта абсолютних висот досліджуваної території з точками аналізу метеорологічних параметрів

Таблиця 3.1 - Кількісні показники зміни середньорічної температури повітря та річної суми опадів за 40 років на різних абсолютних висотах в Карпатському регіоні

№	Місце дослідження	Висота, м.н.р. м.	Середньорічна температура за 1979-2021 рр., С <sup>0</sup>			Середньорічні опади за 1979-2021 рр., мм.		
			Початок тренду, С <sup>0</sup>	Кінець тренду, С <sup>0</sup>	Ріст темп. за 40 років, на С <sup>0</sup>	Початок тренду, мм	Кінець тренду, мм	Зменшення річної суми опадів, мм
1	Яремче	580	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
2	Делятин	419	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
3	Микуличин	716	4,50	7	2,5	1255,9	1070,8	185,1
4	г.Синяк	1613	2,9	5,4	2,5	1484,4	1373,6	110,8
5	Дземброня	917	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
6	г.Пожижевськ	1794	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
7	Вороненко	920	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
8	г.Кукул	1526	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
9	Ямна	600	6	8,3	2,3	1051,1	942,4	108,7
10	Буковель	1163	2,9	5,4	2,5	1484,4	1373,6	110,8
11	г. Довга	1295	3,3	5,8	2,5	1376,1	1226,6	149,5
12	г. Петрос	2020	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
13	Ворохта	850	4,5	7	2,5	1255,9	1170,8	85,1
14	Поляниця	878	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
15	г. Ягідна	1168	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
16	Дора	481	6,5	8,8	2,3	999,6	921,4	78,2
17	г. Говерла	2061	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
18	г. Осередок	887	3,7	6,2	2,5	1253,9	1120,6	133,3
19	г. Піп Іван	2022	2,7	5,1	2,4	1301,7	1201,2	100,5
20	Татарів	685	5,3	7,7	2,4	1110,6	989,6	121

Аналіз залежності змін клімату від висоти місцевості не виявив суттєвих закономірностей рис. 3.2.

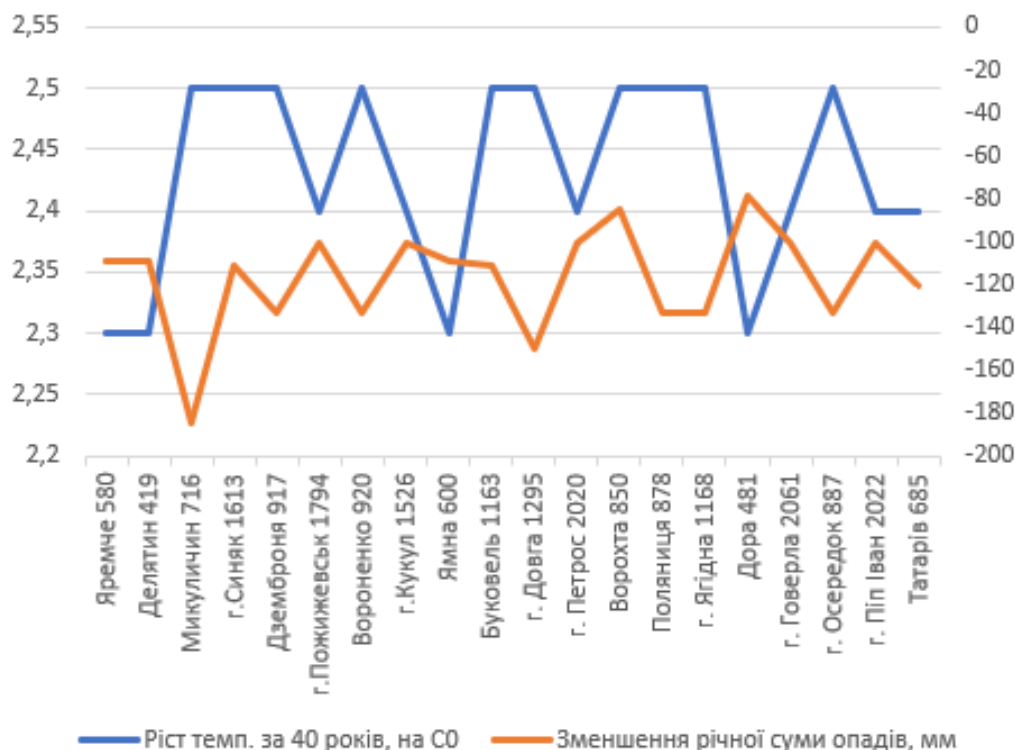


Рисунок 3.2 – Зміни клімату на різних високогірних вершинах

Отже, для більш детального аналізу розглянемо територію найбільшого гірськолижного курорту Буковель, що знаходиться в Івано-Франківській області.

Буковель, розташований в українських Карпатах, є одним з найпопулярніших туристичних напрямків у регіоні [49]. Завдяки своєму стратегічному розташуванню, Буковель був обраний як місце для збору даних про зміну клімату в Карпатському регіоні. Також проаналізувавши метеорологічні дані інших популярних туристичних місць в регіоні, було визначено, що подібна ситуація спостерігалася і в інших місцях, де проводився аналіз даних [50].

Дані, зібрані в Буковелі, виявили тенденцію до підвищення температури та зменшення кількості опадів, що збігається з результатами, отриманими в

інших місцях регіону. Це підкреслює масштаби зміни клімату в Карпатах і необхідність постійного моніторингу та досліджень для кращого розуміння його впливу на екосистему та природні ресурси регіону [51].

На рис. 3.3 показано відхилення середньомісячних температур червня від середньобагаторічної норми для кожного місяця (Червня) з 1979 року до теперішнього часу. Аномалія показує, наскільки місяць був теплішим або холоднішим за середній кліматичний показник за 43 роки (1979-2022 рр.). Таким чином, місяці позначені червоним на стовпчастій діаграмі були теплішими, а позначені синім - холоднішими ніж норми. У більшості місць із роками спостерігається збільшення кількості теплих місяців, що відображає глобальне потепління, пов'язане зі зміною клімату.

На графіку рис. 3.3 показано відхилення місячних червневих сум опадів від середньобагаторічної норми для кожного місяця (Червня) з 1979 року до теперішнього часу. Аномалія показує, у якому місяці випало більше чи менше опадів, ніж у середньому за 43 роки розрахункового періоду. Таким чином, місяці позначені зеленим на діаграмі вказують на більш мокрі, а позначені коричневим кольором - більш сухими, ніж зазвичай [52].

June monthly anomalies for temperature and precipitation 1979–2023.

Буковель 48.36°N, 24.39°E.

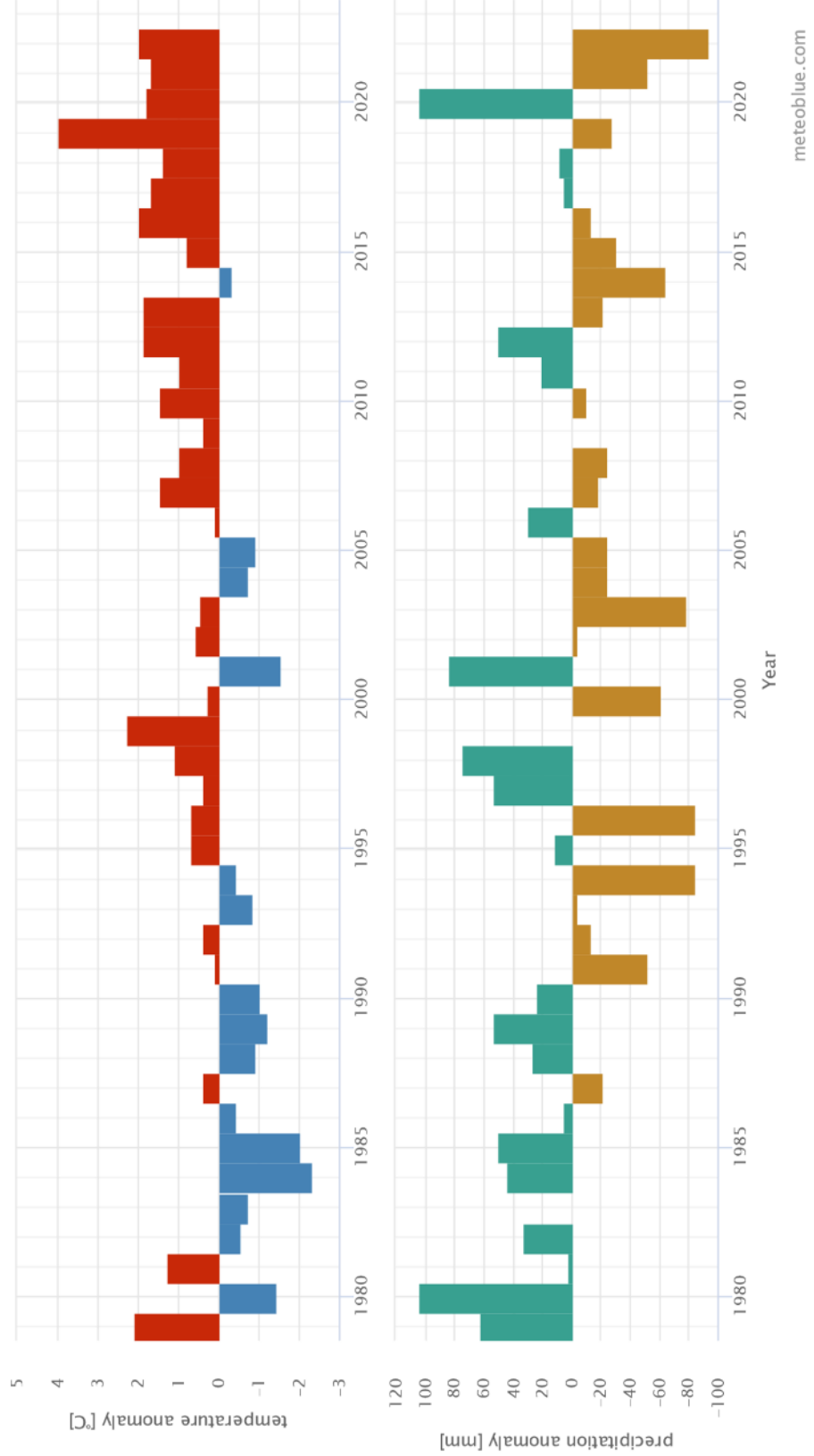


Рисунок 3.3 – Відхилення середньомісячної температури та суми опадів за червень в період 1979-2022 року від середньобіжорічного значення

Таким чином, можемо візуально спостерігати збільшення температури повітря та зниження кількості опадів на прикладі місяця червня за останні 43 роки.

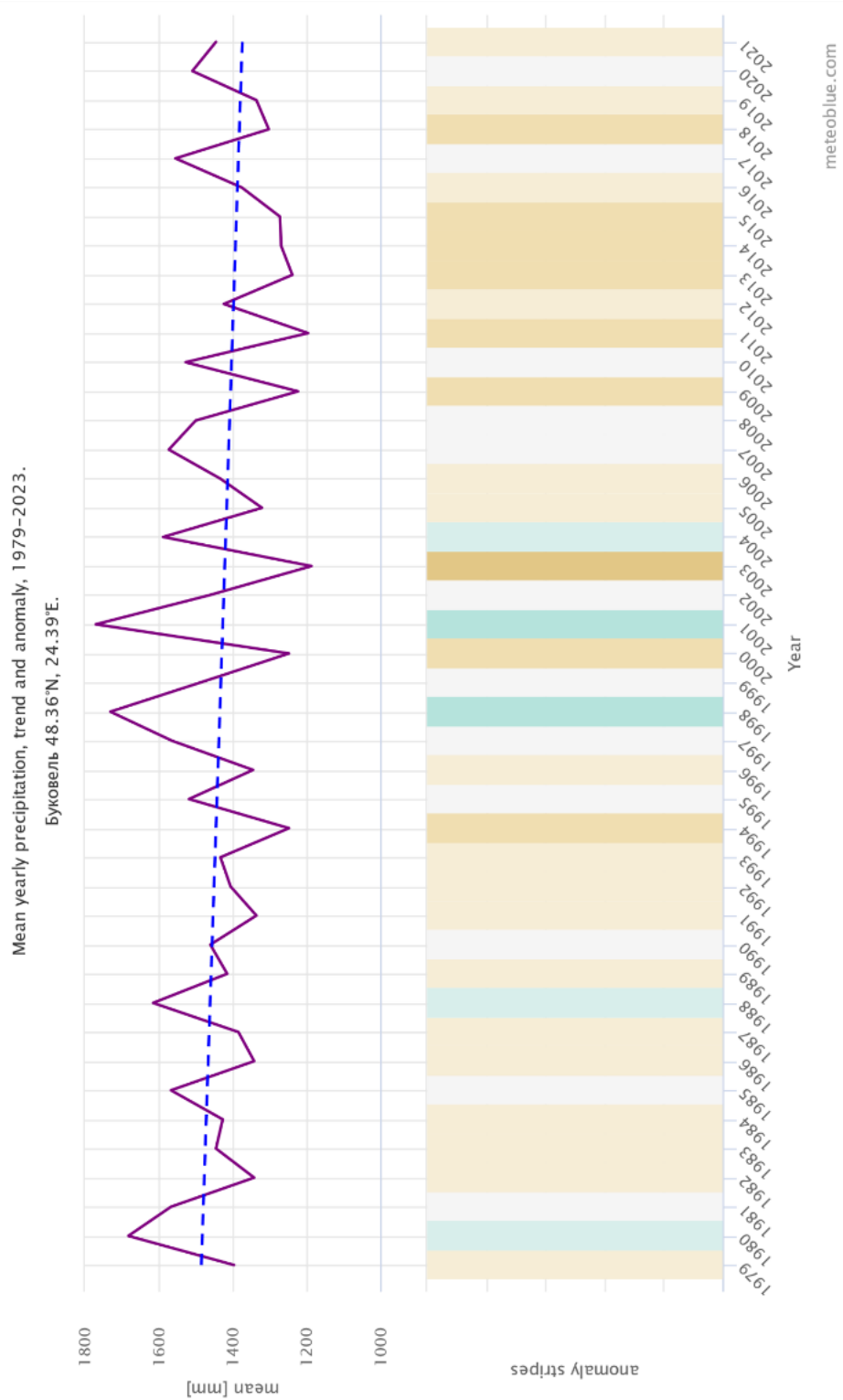


Рисунок 3.4 – Лінія тренду зміни кількості опадів в період 1979–2022 року

На рис. 3.4 показано оцінку середньої кількості опадів для гірськолижного курорту Буковель. Пунктирна синя лінія – це лінійна тенденція зміни клімату. Якщо лінія тренду горизонтальна, то умови не змінні, а в даному випадку лінія йде в низ, то умови в Буковелі згодом стають сухішими, оскільки спостерігаємо тенденцію до зниження опадів.

У нижній частині графіка рис. 3.4 показані кольором смуги опадів. Кожна кольорова смуга є загальною кількістю опадів за рік: синя - більш мокрі роки, червона - більш сухі.

Таким чином, можемо стверджувати, що лінійна тенденція зміни клімату вказує на зменшення кількості опадів і збільшення кількості посушливих років.

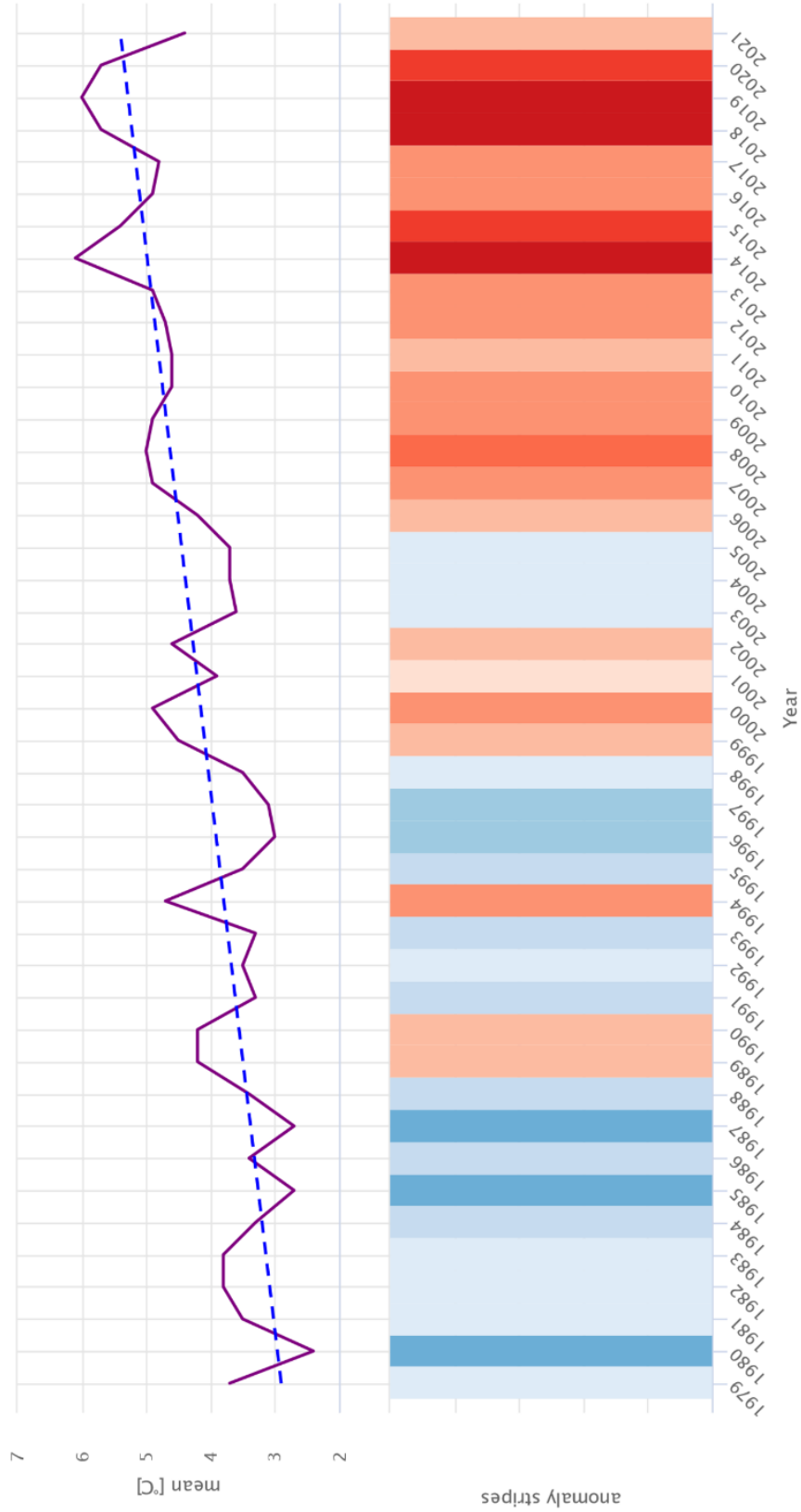
На верхньому графіку рис. 3.5 показано оцінку середньорічної температури для гірськолижному курорті Буковель. Пунктирна синя лінія – це лінійна тенденція зміни клімату. Лінія тренду піднімається зліва направо, тобто тенденція зміни температури позитивна і в Буковелі стає тепліше через зміну клімату. На досліджуваному прикладі спостерігаємо тенденцію до збільшення середньорічної температури з 3°C до 5,2°C.

У нижній частині графіка рис. 3.3 показані кольором смуги потепління. Кожна кольорова смуга є середньою температурою за рік: синя - більш холодні роки, червона - більш теплі.

Зібрані кліматичні дані з Буковелю, проведений аналіз дозволяє стверджувати, що простежується чітка тенденція до підвищення середньорічної температури повітря за останні кілька десятиліть на 2,2°C. Це тривожна тенденція, оскільки вона свідчить про вплив зміни клімату на Карпатський регіон і погіршення природних умов для зимового курорту.

Mean yearly temperature, trend and anomaly, 1979–2023.

Буковель 48.36°N, 24.39°E.



meteoblue.com

Рисунок 3.5 – Збільшення середньорічної температури впродовж 1979-2022 років



Надалі було проаналізовано середньомісячні показники змін клімату для території Буковелю графік рис. 3.6. Представлено середньомісячні зміни температури повітря та кількості опадів протягом досліджуваного періоду. Графік розділений на дві частини: верхня частина відображає зміни температури, а нижня - зміни опадів.

Очевидно, чітка тенденція до підвищення температури протягом 40-річного періоду дослідження. Лінійний графік відображає середньомісячну зміну температури за ці роки, і видно, що найвищі зміни температури відбуваються в літні місяці червень, липень і серпень, тоді як найнижчі зміни температури відбуваються в зимові місяці грудень, січень і лютий. Середньомісячне підвищення температури становить приблизно  $0,1-0,3^{\circ}\text{C}$  за десятиліття, з більш значним підвищенням на  $1,2-1,5^{\circ}\text{C}$  протягом літніх місяців.

Нижня частина графіка показує зміни кількості опадів за той самий досліджуваний період. Графік ілюструє чітку тенденцію до зменшення кількості опадів у Карпатському регіоні протягом досліджуваного періоду. Лінійний графік відображає середньомісячні зміни кількості опадів, і видно, що менші зміни кількості опадів відбуваються у весняні місяці березень, квітень і травень, тоді як більші зміни кількості опадів відбуваються у літні місяці червень, липень і серпень. Середньомісячне зменшення кількості опадів становить приблизно 2-3 мм за десятиліття, з більш значним зменшенням на 15-20 мм протягом літніх місяців.

Таким чином, проведений аналіз дає візуальне уявлення про середньомісячні зміни температури повітря та кількості опадів у Карпатському регіоні за 40-річний період. Нами доведено, що за досліджуваний період спостерігається загальне підвищення температури та зменшення кількості опадів. Ці зміни можуть мати значний вплив на екосистеми та природні ресурси регіону, а також на соціально-економічний розвиток території.

Monthly anomalies for temperature and precipitation 1979–2023.

Буковель 48.36°N, 24.39°E.

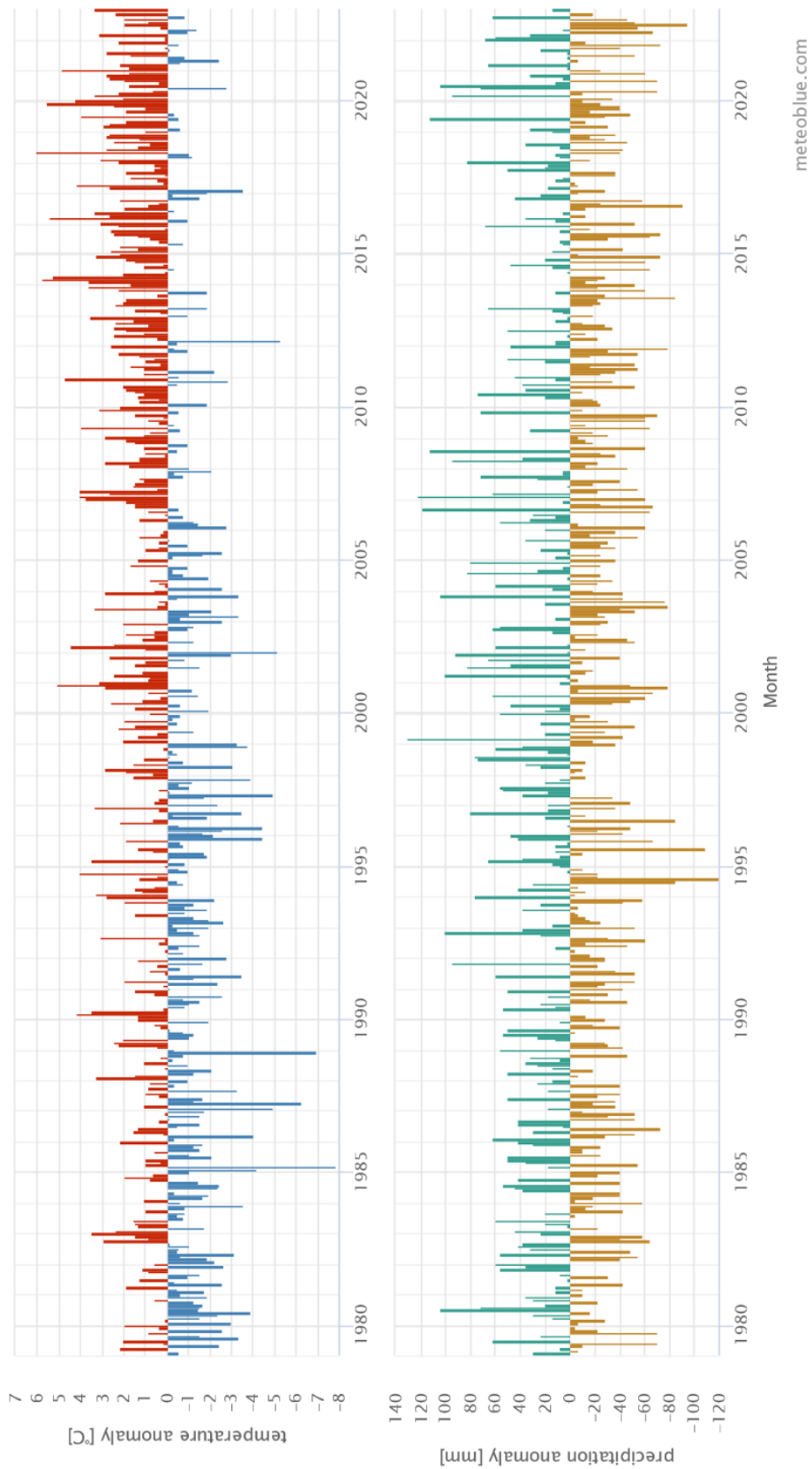


Рисунок 3.6 – Середньомісячна аномалія зміни температури та опадів впродовж 1979-2022 років

Потепління та зменшення кількості опадів у Карпатському туристичному регіоні створює значні наслідки та виклики для гірськолижних курортів. Зменшення снігового покриву прогнозно призведе до скорочення гірськолижного сезону, що зменшить доходи та можливості працевлаштування для місцевих громад. Гірськолижним курортам доведеться більше покладатися на штучне виробництво снігу, що є дорогим та екологічно нестійким. Туристи також змінять свої вподобання на інші види зимового відпочинку або оберуть гірськолижні курорти в інших регіонах, що призведе до скорочення туризму в Карпатському туристичному регіоні. Крім того, наслідки зміни клімату можуть спричинити зміни природних ландшафтів та екосистем у цьому регіоні.

Для вирішення цих проблем гірськолижні курорти повинні розробити стратегії адаптації, такі як диверсифікація своєї діяльності, інвестиції в технології штучного засніження та просування альтернативних туристичних продуктів.

Отже, в дисертаційному дослідженні доведено значний вплив зміни клімату в Карпатському регіоні Центральної Європи. Аналіз метеорологічних даних з регіону показує, що за період 1979-2022 років середньорічна температура в ньому підвищилася на  $2,4^{\circ}\text{C}$ , а кількість опадів за цей же період зменшилася на 117 мм. Ці кліматичні зміни мають однаковий суттєвий вплив на різних висотах. Такі зміни, особливо з низькою кількістю опадів і високими температурами, призведуть до зменшення доступності води, що матиме наслідки для соціально-економічного розвитку регіону, особливо в туристичному та сільськогосподарському секторах.

Це дослідження підкреслює важливість використання передових технологій, таких як збір супутникових даних для моніторингу навколишнього середовища.

Отже, це дослідження підкреслює нагальну потребу вжити заходів для вирішення проблеми зміни клімату в Карпатському регіоні і в цілому. Це

включає реалізацію заходів зі скорочення викидів парникових газів, розробку стратегій адаптації для пом'якшення впливу зміни клімату на природні екосистеми та соціально-економічний розвиток регіону, а також використання передових технологій моніторингу довкілля для покращення розуміння величини зміни клімату.

### **3.2 Лісистість як чинник змін рівня ґрунтових вод**

Лісовий фонд є невід'ємною складовою екосистем та виконує низку важливих функцій, серед яких збереження біорізноманіття, регулювання клімату, та утримання водних ресурсів. Моніторинг стану вирубки лісів та ефективні заходи заліснення є критичними для забезпечення стійкості лісових екосистем та підтримання екологічної рівноваги водних екосистем в Надвірнянському регіоні.

Вирубка лісів може призвести до змін у кліматичних умовах на місцевому рівні. Ліси виконують роль природного регулятора температури, вологості та обміну парниковими газами в атмосфері. Видалення лісового покриву призводить до зменшення поглинання сонячного випромінювання та може спричинити збільшення температури повітря. Також, це може вплинути на мікроклімат та тепловий баланс, що має подальший вплив на місцевий клімат.

Заліснення визначається як процес насадження або відновлення лісового покриву на територіях, які втратили свою лісову природність через вирубку чи інші антропогенні дії. Сучасна вирубка лісів, викликана деревозаготівельною діяльністю та іншими економічними потребами, має суттєвий вплив на лісові і водні екосистеми.

Лісовий покрив відіграє ключову роль у регуляції водного режиму. Коріння дерев та лісової рослинності вбирають велику кількість води з ґрунту, сприяючи утриманню вологи і переводу частини поверхневого стоку в підземний. Вирубка лісів призводить до зниження рівня ґрунтових вод та збільшення ризику

пересихання джерел. Вирубка лісів впливає також на гідрологічний баланс регіону та призводить до збільшення ризику повеней.

Моніторинг стану вирубки лісів та активне заліснення є невід'ємними частинами стратегії сталого лісового господарювання в Карпатському регіоні. Вивчення впливу вирубки лісів на клімат та гідрологічний баланс є критичним для прийняття науково обґрунтованих рішень щодо управління лісовими ресурсами та збереження екологічної рівноваги в цьому регіоні.

В дисертаційному дослідженні поставлене завдання визначити зміни в лісовому покриві Надвірнянського району з метою подальшого визначення потенціалів ґрунтових вод. Для аналізу лісового покриву використовувались дані отримані з супутникових знімків 1992 та 2022 років геологічної служба США (USGS — United States Geological Survey) [53]. За допомогою ГІС інструментів досліджень зміни в лісовому покриві регіону. Результат зображений на рис. 3.7.

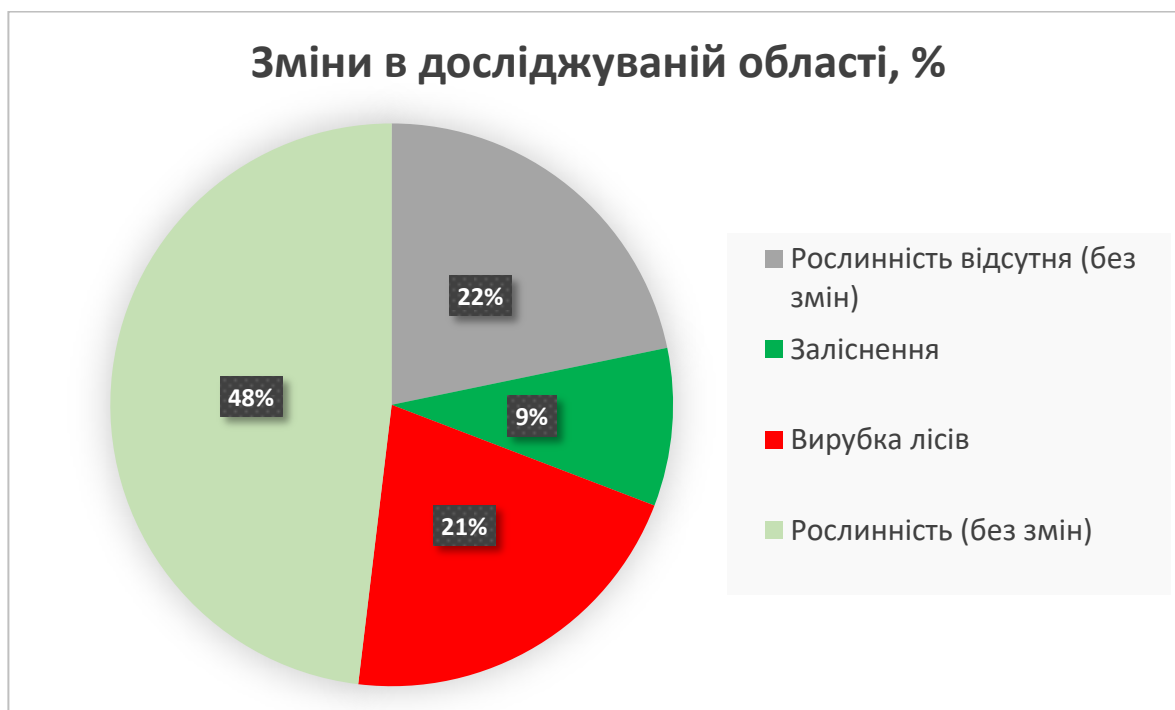


Рисунок 3.7 – Зміни в залісненні і вирубці лісів в Надвірнянському районі з 1992 до 2022 роки

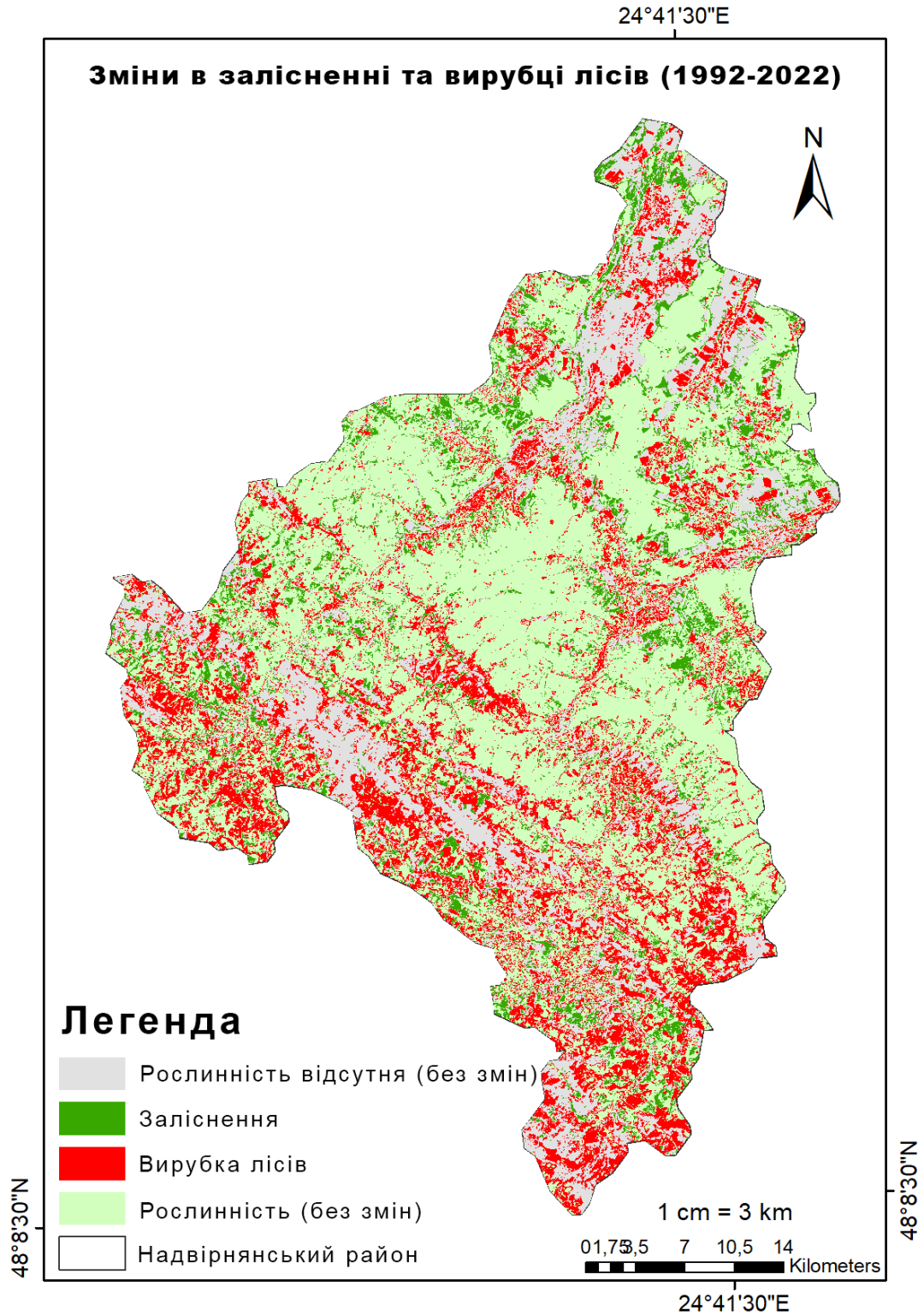


Рисунок 3.8 – Результат ГІС аналізу зміни стану лісового покриття  
Надвірнянського району

Рисунок 3.8 показує зміни у рослинності в досліджуваній області за період з 1992 по 2022 рік.

#### *Рослинність відсутня*

Площа рослинності, яка відсутня в досліджуваній області, становить 413,75 км<sup>2</sup>, що складає 22% території. Це означає, що в цій області в період між 1992 та 2022 зміни не відбулися, як правило це зони доріг, будівель та інших участків на яких не було лісів.

#### *Заліснення*

Площа лісів у досліджуваній області збільшилася на 172,67 км<sup>2</sup> або 9% всієї території. Це збільшення відбулося в основному за рахунок відновлення лісових масивів після пожеж та вирубки, а також за рахунок створення лісових насаджень.

#### *Вирубка лісів*

Площа лісів у досліджуваній області зменшилася на 400,91 км<sup>2</sup> - 21% від досліджуваної території. Це зменшення відбулося в основному за рахунок вирубки лісів для потреб промисловості та будівництва.

#### *Рослинність (без змін)*

Площа лісів, яка залишилася без змін, становить 915,00 км<sup>2</sup> - 48% від території Надвірнянського району. Це означає, що більша частина лісів у досліджуваній області збереглася за цей період.

У цілому, рисунки 3.7 і 3.8 демонструють, що в досліджуваній області відбулися негативні зміни у рослинності за період з 1992 по 2022 рік. Зокрема, площа лісів збільшилася на 172,67 км<sup>2</sup> або 9% від всієї площі, що є значним показником. Однак, площа вирубки лісів склала 400,91 км<sup>2</sup> або 21%. Це означає, що в районі на 12% переважає вирубка лісів над залісненням, що є негативною тенденцією і існує ризик подальшої вирубки лісів з метою розширення туристичного розважального сектору. Для того, щоб запобігти цьому, необхідно

проводити ефективні лісоохоронні заходи, а також популяризувати значення лісів для екології та економіки району.

Конкретні рекомендації щодо подальших дій:

- Необхідно продовжувати проводити лісовідновлювальні заходи, щоб збільшити площу лісів у досліджуваній області.
- Необхідно посилити контроль за діяльністю лісозаготівельних підприємств, щоб запобігти незаконній вирубці лісів.
- Необхідно проводити освітні кампанії, щоб підвищити обізнаність населення про важливість лісів для екології та економіки.

Дослідження динаміки рослинності в Надвірнянському районі за період з 1992 по 2022 рік виявило значущі тенденції вирубки лісів, які можуть впливати на кліматичні параметри регіону. Однак, потрібно вводити заходи для збільшення площі лісів шляхом охорони природного відновлення та комплексі лісовідновлювальні заходи. Оскільки, збільшення лісового покриття буде сприяти зниженню температури поверхні і атмосфери, а також впливати на вологозабезпеченість.

Зростання лісового покриття сприяє зменшенню поверхневої температури через механізми тіньовідділення та вологозберігання. Лісові масиви розсіюють сонячне випромінювання та зменшують тепловий потік до атмосфери, що буде сприяти втриманню нижчих температур. Крім того, ліси впливають на теплообмін через процеси транспірації, зменшуючи температуру атмосфери через пароутворення.

Втрата лісового покриття призводить до збільшення поверхневої температури та зменшення вологозберігання. Також, це відобразиться на збільшенні поверхневого стоку та зниженні поновлення підземних вод, що в свою чергу призведе до повені, які в досліджуваному регіоні не рідкість.

Таким чином, розгорнуте дослідження лісового покриття в Надвірнянському районі вказує на необхідність дбайливого управління



лісовими ресурсами та розробки стратегій лісоохорони для збереження стійкості кліматичної системи регіону. Важливо підкреслити, що збалансоване використання та відновлення лісів може визначити екологічну майбутність даного регіону, забезпечуючи його стабільність в контексті змін клімату.

Збільшення лісового покриття відіграє ключову роль у підтримці водного балансу, впливаючи на природні питні джерела та ґрунтові води.

*Вплив на ґрунтові води:*

Збільшення площі лісів сприяє покращенню гідрологічного циклу. Лісовий покрив функціонує як ефективний резервуар для вологи, затримуючи та перерозподіляючи опади. Ліси також сприяють зменшенню стікання води через інфільтрацію в ґрунт, що дозволяє ґрунтовим водам зберігати стабільний рівень.

*Вплив на природні питні джерела:*

Збільшення площі лісового покриття позитивно вплине на джерела, які є джерелами питної води. Лісові екосистеми забезпечують важливий фільтраційний бар'єр, що сприяє підтримці високої якості води в природних джерелах. Це особливо важливо для забезпечення доступу до безпечної та здорової води для місцевого населення.

*Негативні наслідки:*

Втрата лісового покриття через вирубку призведе до зменшення водозберігаючих властивостей екосистем та підвищення ризику ерозії ґрунту. Це впливає на якість ґрунтових вод та призвести до зменшення рівня води в природних джерелах.

В цілому, ефективне управління лісовими ресурсами важливо для підтримки сталого водного балансу регіону. Збереження та відновлення лісів важливі для збалансованого водозабезпечення, зменшення ризику стихійних явищ та забезпечення стійкості водних екосистем. Врахування цих аспектів при

прийнятті рішень щодо землекористування сприятиме збереженню важливих водних ресурсів регіону.

Результати дослідження виявили чітку тенденцію до підвищення температури, зменшення кількості опадів та вирубки лісів що перевищує заліснення на 12% у досліджуваному регіоні за останні кілька десятиліть. Це викликає занепокоєння, оскільки має значні наслідки для доступності та якості водних ресурсів у регіоні, що, в свою чергу, впливає на туристичну сферу та інші аспекти місцевої економіки [54].

### **3.3 Моделювання прогнозних тенденцій зміни клімату**

Зміни клімату є однією з ключових проблем сучасного світу, вимагаючи глибокого розуміння та наукового аналізу для вирішення їхніх наслідків. У цьому контексті, моделювання та прогнозування змін клімату стають важливою складовою для належного реагування на виклики, пов'язані із зміною середовища. Одним із поставлених завдань дисертаційного дослідження є розгляд використання моделі авторегресії (AR) для аналізу та моделювання кліматичних змін.

Моделювання AR, базуючись на математичних принципах авторегресивних процесів, є профільним інструментом для вивчення часових залежностей у змінах певних змінних, що характеризують кліматичні явища. Цей підхід дозволяє урахувати інтервал часу та динамічні аспекти вивчення природних процесів.

Додатково, використання вдосконалених методів сингулярного розкладу (SVD) в нашому дослідженні є ключовим компонентом для покращення аналізу. Ці методи дозволяють виявити основні компоненти та усунути шум в даному контексті, що забезпечує більш точне моделювання та аналіз динаміки змін кліматичних параметрів.

Дослідження спрямоване на застосування потенціалу моделі AR у сполученні з методами SVD для вивчення, розуміння та прогнозування кліматичних змін.

За допомогою моделі авторегресії (AR) з представленням типу випадкового процесу; як такий, він використовується для опису певних змінних у часі процесів у природі та за допомогою вдосконалених методів SVD усунули шум і розклали на власні ланки [55].

$$X_t = \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

де  $\varphi_1, \dots, \varphi_p$ — параметри моделі, а  $\varepsilon_t$  це білий шум.

Застосувавши модель авторегресії та кліматичні дані середньоденної температури з 1979 року по 2022 рік спрогнозували збільшення щорічної температури в м. Яремче рис.3.9.

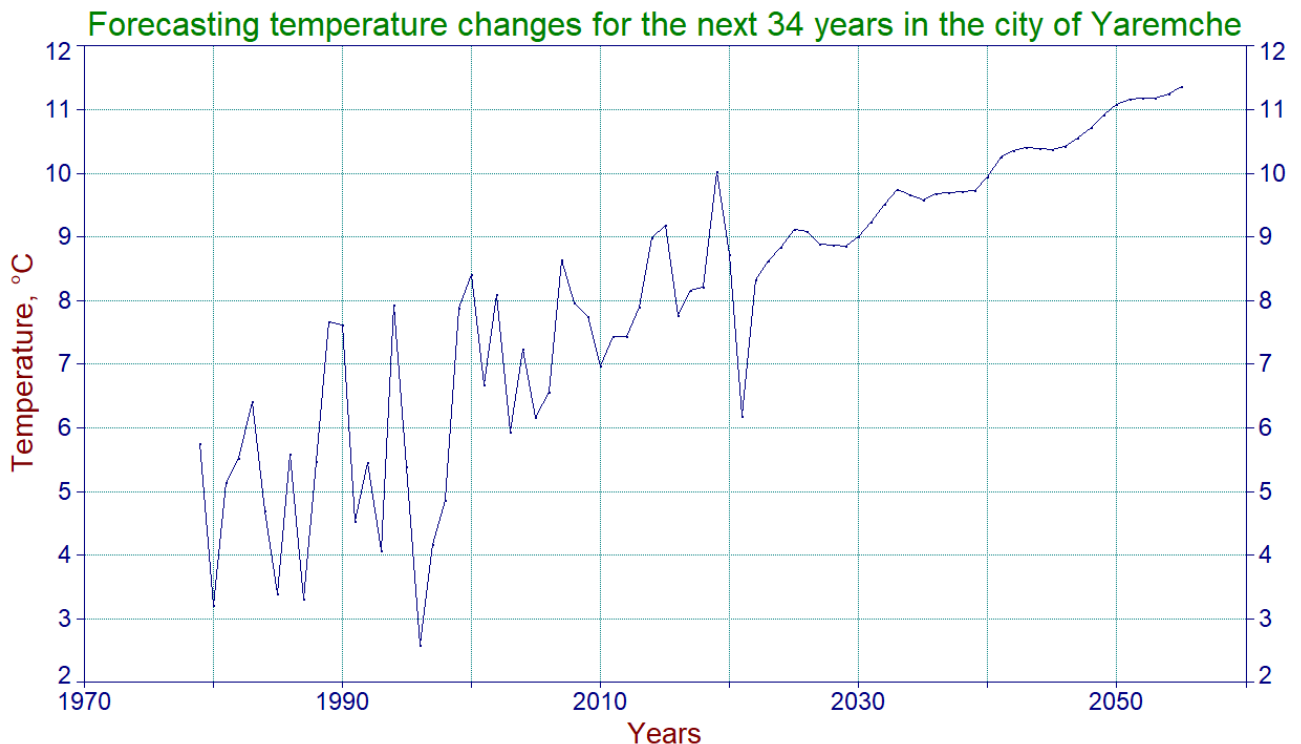


Рисунок 3.9 – Модель прогнозованої зміни середньорічної температури на наступні 34 роки для м. Яремче

Модель відображає прогнозовану зміну середньорічної температури в місті Яремче на наступні 34 роки до 2055 року, використовуючи програму Tablecurve 2d, демонструє тенденцію до зростання.

У 1979 році середньорічна температура становила 5,76 градусів. Протягом наступних декількох десятиліть спостерігається коливання температури, але загальна тенденція вказує на її зростання. Наприклад, у 1990 році середньорічна температура досягла 7,62 градусів, а в 2000 році - вже 8,40 градусів.

Прогноз на наступні 34 роки також показує зростання середньорічної температури. Зокрема, в 2030 році очікується середньорічна температура 9,00 градусів, в 2040 році - 9,95 градусів, а в 2050 році - 11,08 градусів. Прогноз на 2055 рік вказує на середньорічну температуру 11,36 градусів.

Отже, в дисертаційному дослідженні вперше для Яремчанщини було змодельовано прогнозування змін середньорічної температури на наступні 34 роки.

Спрогнозовано зміни кількості опадів для м. Яремче до 2055 року. Для прогнозування використовувались архівні кліматичні дані від 1979 року рис.3.10.

Загалом, дані вказують на значну варіативність річних опадів, що відображає типову непередбачуваність погодних умов.

У період з 1979 по 2021 рік спостерігається коливання від мінімального значення 656,57 мм у 2000 році до максимального значення 1537,27 мм у 1981 році. Загалом, протягом цього періоду спостерігається явна тенденція до зменшення опадів рис.3.10.

Прогноз на період з 2022 по 2055 рік також показує значну варіативність, теж зі зниженням максимальних значень опадів. Найвище прогнозоване значення становить 1245,08 мм у 2029 році, а найнижче - 244,58 мм у 2047 році рис.3.10.

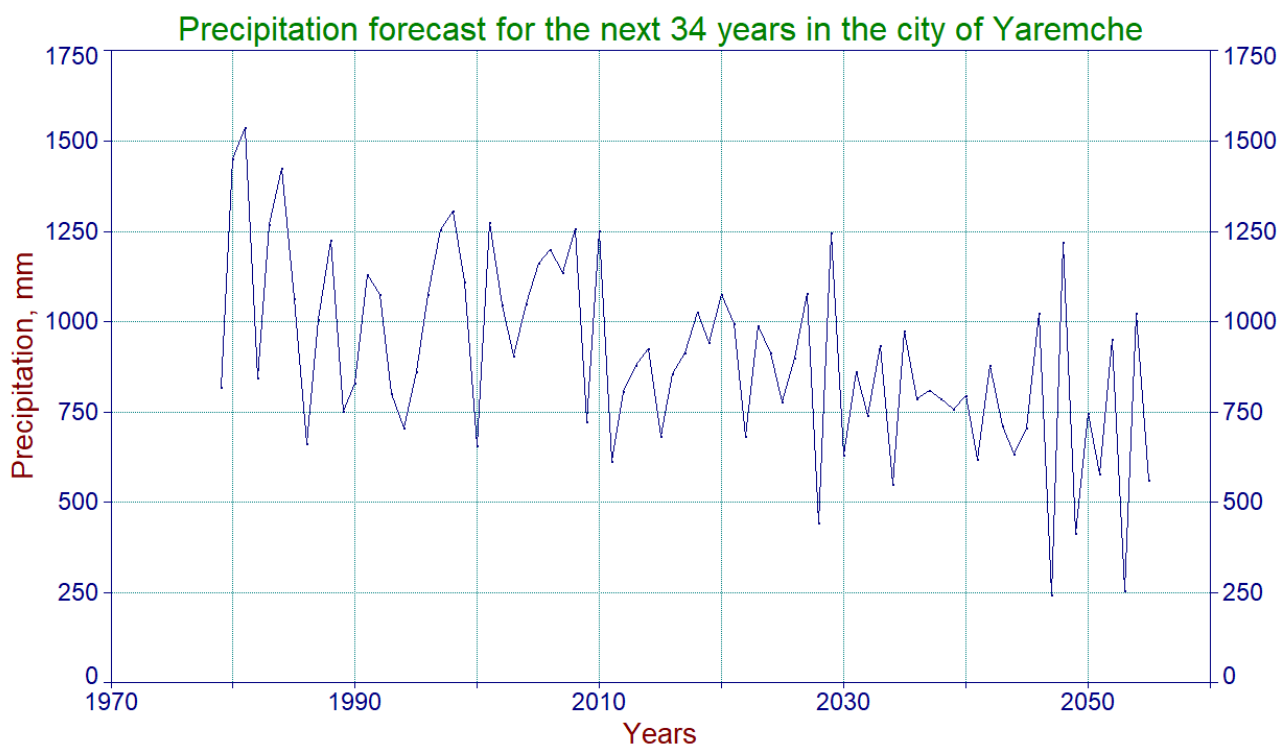


Рисунок 3.10 – Прогнозування кількості опадів на наступні 34 роки в м. Яремче

На основі аналізу даних, отриманих за допомогою програми Tablecurve 2d, можна зробити висновок, що в місті Яремче протягом наступних 34 років до 2055 року очікується тенденція до поступового зростання середньорічної температури.

Протилежна ситуація спостерігається з опадами. Прогнозовані зміни в кількості опадів демонструють виражену тенденцію до зниження. Це відображає загальну картину глобального потепління, яке впливає на кліматичні умови в усьому світі.

Отже, результат проведених досліджень є вирішенням поставлених задач щодо вивчення змін клімату в регіоні враховуючи його географічні особливості, спрогнозовано подальші зміни клімату в регіоні. Отримано функціональну залежність, яка може бути використана в подальших дослідженнях з метою визначення впливу змін клімату на підземні водні джерела. Результати прогнозування використано для регуляції моніторингових програм КНПП, що підтверджується актом впровадження КНПП.

### 3.4 Моніторинг впливу змін клімату на зміну дебіту водних джерел

Подальшим кроком наших досліджень став аналіз впливу змін клімату на зміну дебіту водних джерел. Результати базуються на багаторічних даних дебіту джерел, температури та кількості опадів на досліджуваній території [57]. Представлено зв'язок змін дебіту води джерел та змін кількості опадів за окремі роки. Виділено прояви пересихання джерел при значних змінах опадів на території [56].

Загалом дослідженнями охоплено 50 точок спостережень за природними водними джерелами [58]. Роботи проводились у меженний бездошовий період, тому отримані результати є максимально точними з точки зору оцінки підземного стоку району та характеристики фізико-хімічних параметрів води досліджуваних природних об'єктів.

Результати польових обстежень вносились у зведену відомість, що відображена у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Дебіт води природних джерел за 2019 – 2022 роки

№	Координати		Дебіт води 2019р., мл/с	Дебіт води 2020р., мл/с	Дебіт води 2021р., мл/с	Дебіт води 2022р., мл/с
1	24° 35' 36.0492"	48° 12' 25.2504"	120	150	140	70
2	24° 35' 1.2156"	48° 12' 10.6128"	600	640	650	400
3	24° 34' 32.0268"	48° 11' 41.9352"	500	500	450	200
4	24° 34' 17.94"	48° 11' 32.4744"	800	900	850	400
5	24° 34' 14.1744"	48° 11' 28.1472"	100	200	150	50
6	24° 33' 32.4684"	48° 11' 28.104"	5	10	5	0
7	24° 33' 54.1332"	48° 11' 22.3836"	10	10	10	2
8	24° 34' 9.12"	48° 10' 29.2512"	1,9	5	4	0
9	24° 33' 57.1356"	48° 10' 12.5508"	50	80	60	50
10	24° 33' 29.8764"	48° 9' 54.414"	10	20	10	2
11	24° 32' 48.0624"	48° 9' 49.518"	200	210	200	100
12	24° 32' 7.2132"	48° 9' 54.6876"	0	2	1	0
13	24° 32' 8.6244"	48° 9' 53.4996"	150	100	100	100
14	24° 31' 54.3576"	48° 9' 32.3028"	100	150	150	50
15	24° 32' 6.6516"	48° 9' 16.812"	100	150	150	60
16	24° 32' 11.9904"	48° 9' 14.1624"	10	15	10	5
17	24° 32' 11.436"	48° 9' 13.2408"	10	10	10	8
18	24° 32' 10.9212"	48° 9' 11.8944"	150	150	150	50
19	24° 32' 11.778"	48° 9' 10.0692"	10	20	10	5

20	24° 32' 12.5412"	48° 8' 55.7412"	150	200	150	100
21	24° 32' 18.0528"	48° 8' 52.404"	40	50	40	10
22	24° 32' 56.1084"	48° 8' 38.184"	100	150	150	100
23	24° 32' 56.5512"	48° 8' 35.376"	750	800	750	330
24	24° 32' 56.2344"	48° 8' 35.9772"	150	200	150	50
25	24° 32' 51.4392"	48° 8' 30.0948"	200	220	200	100
26	24° 32' 55.0428"	48° 8' 17.6424"	50	50	50	20
27	24° 32' 54.564"	48° 8' 16.3284"	0	2	1	0
28	24° 32' 52.4328"	48° 8' 13.9488"	150	100	120	100
29	24° 32' 49.2216"	48° 8' 9.0564"	25	20	25	10
30	24° 32' 48.8904"	48° 8' 8.1636"	50	60	50	20
31	24° 32' 49.38"	48° 8' 7.1988"	450	500	450	250
32	24° 32' 49.5204"	48° 8' 3.336"	0	0	2	0
33	24° 32' 21.1992"	48° 7' 40.404"	25	50	10	5
34	24° 32' 15.9216"	48° 7' 33.3516"	50	50	40	30
35	24° 31' 2.6508"	48° 8' 51.1872"	100	150	100	50
36	24° 31' 21.0216"	48° 9' 1.7784"	0	5	2	0
37	24° 31' 24.9924"	48° 9' 3.1032"	0	2	2	0
38	24° 31' 26.3964"	48° 9' 2.9484"	0	0	0	0
39	24° 31' 26.562"	48° 9' 2.9016"	0	5	2	0
40	24° 31' 27.1344"	48° 9' 2.7972"	0	2	1	0
41	24° 31' 29.8848"	48° 9' 3.5712"	0	0	0	0
42	24° 31' 30.6552"	48° 9' 3.9384"	30	50	30	2
43	24° 31' 31.62"	48° 9' 4.32"	10	15	10	0
44	24° 31' 35.7636"	48° 9' 6.7392"	0	0	0	0
45	24° 31' 38.0352"	48° 9' 6.3972"	0	2	1	0
46	24° 31' 43.464"	48° 9' 5.6016"	10	15	10	0
47	24° 31' 45.4044"	48° 9' 5.7168"	8	10	10	0
48	24° 32' 13.4952"	48° 9' 16.542"	0	1	1	0
49	24° 32' 14.9676"	48° 9' 20.2428"	100	100	100	10
50	24° 32' 18.0744"	48° 9' 20.736"	700	750	650	300

Методом порівняльного аналізу визначено значну зміну дебіту досліджуваних водних джерел, а саме в 2019 році спостерігається збільшення дебіту води та відновлення витoku пересохлих джерел, що зумовлене збільшенням цілорічної кількості опадів. В 2022 році спостерігається зменшення дебіту води в джерелах та пересихання деяких джерел, що зумовлене зменшенням кількості опадів в році відповідно до середнього значення за 4 роки рис. 3.11.

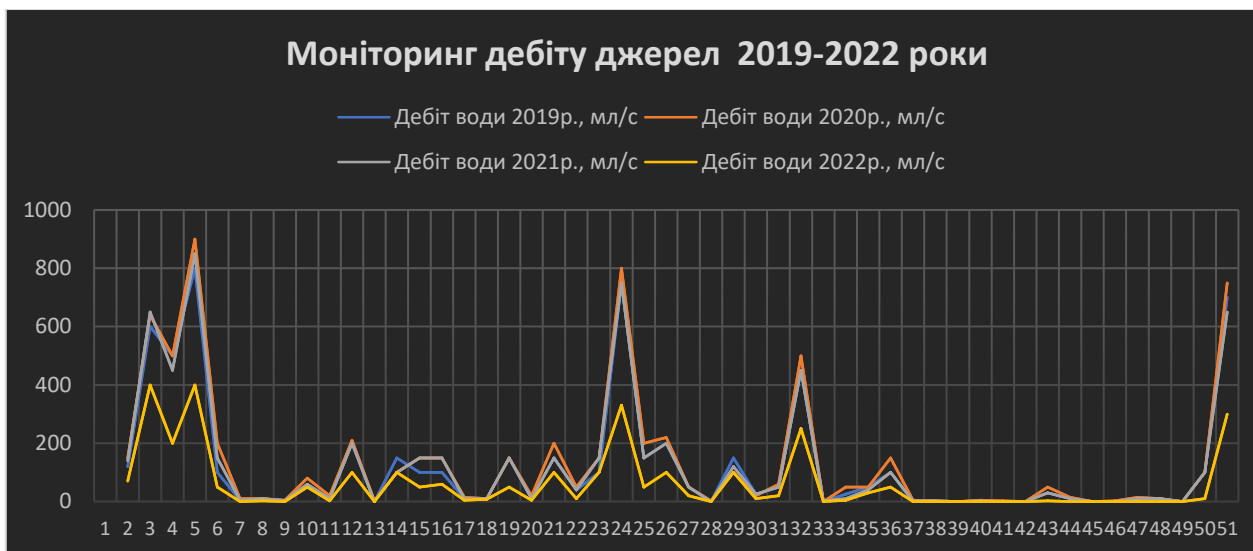


Рисунок 3.11 – Моніторинг дебіту джерел 2019 – 2022 роки

Для збору даних про опади і температуру в досліджуваному регіоні було задіяно продукт EOS CROP Monitoring компанії EOS Data Analytics, за допомогою якого отримано середньому річну температуру повітря за 4 років та середньорічну кількість опадів [59] рис.3.12. Для знаходження функціональної залежності між дебітом джерел та кількістю опадів нами був вибраний період з 2019 прослідковується стає температурне зростання з несуттєвими відхиленнями значень максимальної температури в порівнянні з середньорічною. Показник накопичення опадів демонструє значне зниження опадів за перше півріччя, якщо середньо річний показник становить більше 1000 мм то річний показник 2022 року менше 250 мм опадів, фактично, при взаємодії незначних температурних збільшень та значних зменшень опадів спостерігається в досліджуваному районі засуха джерел. Аналогічна ситуація і на добовому графіку опадів рис.3.12.



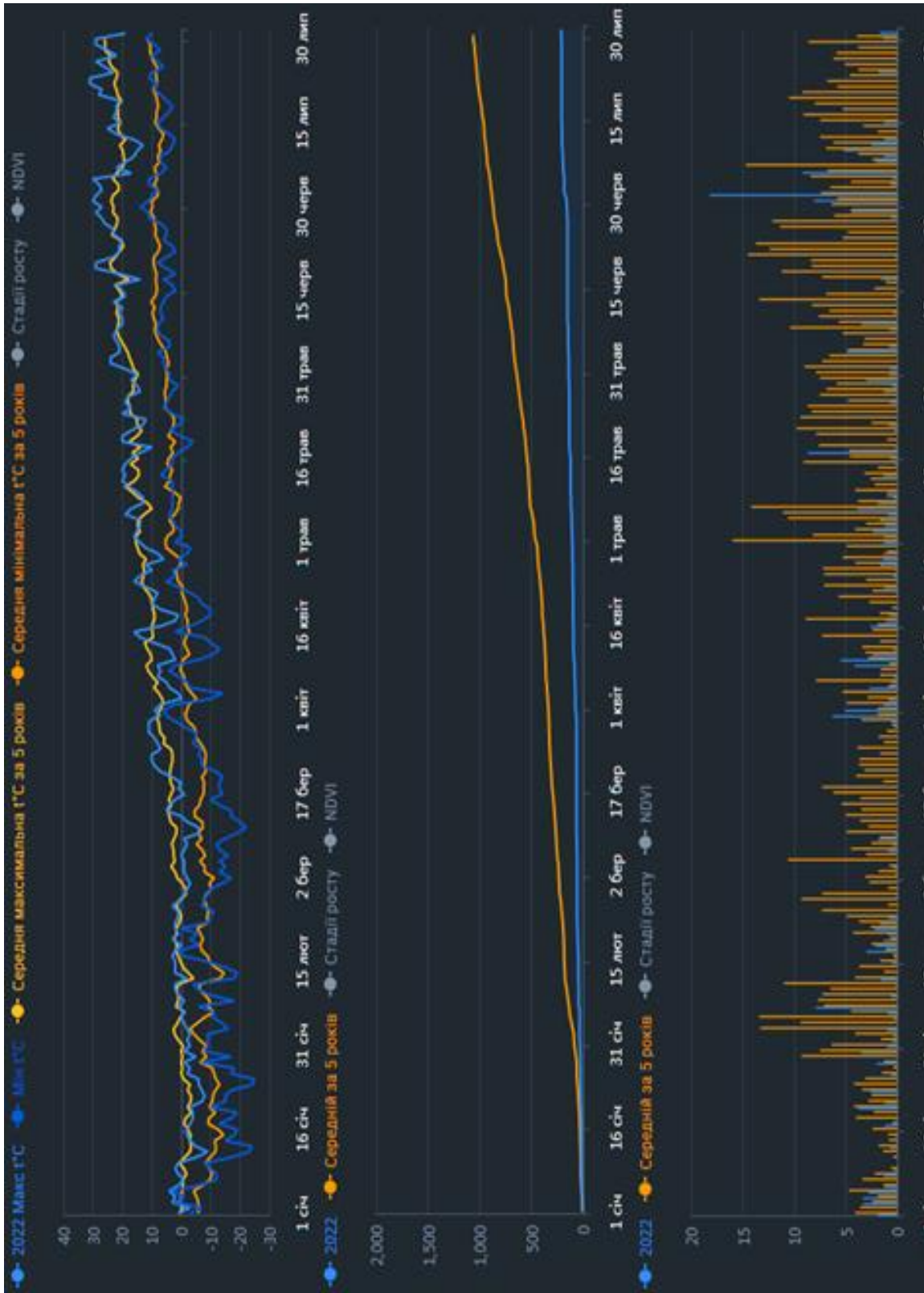


Рисунок 3.12 – Моніторингові дані температури, накопичення опадів та добових опадів за перше півріччя в 2022 року в порівнянні з середньорічними за 4 років.

Проведене дослідження змін клімату та водних джерел у Карпатському регіоні базується на об'ємних даних, які охоплюють багато років спостережень.

Результати вказують на важливий вплив кліматичних змін на дебіт води джерел та стан підземних водних джерел в досліджуваній території.

Методом аналізу дебіту води в 50 природних джерелах за період 2019-2022 років виявлено значні коливання. У 2019 році спостерігалось збільшення дебіту води, супроводжуване відновленням витоків пересохлих джерел, що пов'язано зі збільшенням кількості опадів. У 2022 році відзначено зменшення дебіту води та пересихання деяких джерел. Як встановлено є наслідком зниження кількості опадів.

Моніторинг температури повітря та опадів показав стабільне температурне зростання, але водночас спостерігається значне зниження кількості опадів, особливо в першій половині року 2022. Це призвело до ситуації засухи джерел. Підкреслено важливість взаємозв'язку між температурними змінами та опадами для гідрологічної стабільності.

Отримані результати наводять на висновок, що в Карпатах відзначається значна варіабельність водних ресурсів, яка впливає на екосистему регіону. Поглиблення подальших досліджень та розробка стратегій управління водними ресурсами важливі для адаптації до змін клімату та збереження природних джерел у майбутньому.

### **3.5 Знаходження функціональних закономірностей між дебітом водних джерел і кількістю опадів для території Надвірнянського району, Івано-Франківської області**

У даному підрозділі досліджується регресійна залежність між дебітом водних джерел і кількістю опадів. Дане дослідження має на меті покращити розуміння взаємозв'язку між показниками дебіту води та кількості опадів і його вплив на доступність та стабільність водних ресурсів.

Одним з основних завдань даного дослідження було встановлення статистично значущої регресійної залежності між кількістю опадів та дебітом водних джерел і рівнем води в колодязях. Це дозволяє зрозуміти, наскільки зміна кількості опадів впливає на дебіт водних джерел та доступність водних ресурсів.

Під час проведення дослідження було виявлено необхідність удосконалення методики відбору даних, щоб збирати достовірні та репрезентативні дані про дебіт водних джерел, рівні води в колодязях та кількість опадів. З метою вирішення цієї проблеми, були розроблені та використані нові методики.

Застосовані в даному дослідженні методики встановлення функціональної залежності дозволяють виявити та оцінити вплив змін у кількості опадів на дебіт водних джерел та рівень води в колодязях з високою точністю та достовірністю. Результати цього дослідження є важливими для розробки стратегій управління водними ресурсами.

Для визначення балансу підземних вод за балансовими критеріями використовують гідрологічне рівняння [14].

$$\Delta V = Q_{IN} - Q_{OUT} \quad (3.2)$$

$Q_{IN}$  : це загальне надходження води до водоносного горизонту регіону,

$Q_{OUT}$  : Загальний вихід (дебіт) водоносного горизонту регіону,

$\Delta V$  : Зміна об'єму запасів підземних вод (негативний, позитивний, нульовий).

Для дослідження підземних вод були використані дані вимірювань джерела в с. Микуличин. Дані отримані моніторинговими заходами КНПП табл.3.3.

Таблиця 3.3 - Щоденні рівні підземних вод (Н, см) у контрольному колодязі біля джерела, с. Микуличин Івано-Франківської області, 2017р [14].

Число	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	25,6	25,0	28,3	33,6	35,1	35,0	26,6	26,8	25,1	31,9	29,1	28,8
2	25,6	27,3	28,2	33,0	34,4	32,0	26,4	26,4	25,0	30,5	28,8	29,5
3	25,6	32,7	27,9	30,9	34,0	30,5	26,1	26,0	38,1	29,8	28,4	32,6
4	25,6	40,8	27,4	30,4	33,4	29,3	26,0	26,0	43,2	29,4	28,0	32,8
5	25,5	43,2	27,2	29,5	34,0	28,8	25,6	26,0	41,0	28,9	27,6	33,0
6	25,6	42,5	27,1	29,7	36,1	28,4	25,8	25,9	36,6	28,4	27,2	32,0
7	25,6	41,8	26,9	29,7	38,5	29,2	26,3	25,9	34,1	28,0	26,8	22,5
8	25,5	38,5	26,7	29,8	41,0	40,1	26,6	26,0	34,1	27,9	26,6	21,7
9	25,4	35,0	26,3	29,0	42,7	41,8	26,4	25,9	32,5	27,4	26,2	22,4
10	25,3	32,6	26,3	28,6	43,0	39,1	26,0	25,8	31,4	27,0	26,2	24,6
11	25,3	31,5	26,3	28,3	41,2	34,4	25,8	25,5	29,0	26,8	26,2	28,4
12	25,3	30,0	26,2	28,0	39,4	33,1	25,6	25,5	28,5	26,4	26,2	30,0
13	25,4	29,0	26,5	28,1	36,4	33,3	25,7	25,5	27,5	26,1	26,3	31,6
14	25,4	28,4	27,5	28,0	42,6	30,6	25,7	25,2	27,0	26,0	26,3	41,6
15	25,4	28,0	31,6	27,6	43,2	29,5	25,6	25,2	26,7	25,7	26,3	41,4
16	25,2	27,8	36,5	27,6	43,2	29,3	25,6	25,1	26,2	25,7	26,2	42,7
17	25,1	28,4	41,4	27,6	42,3	29,1	25,8	25,1	26,1	25,7	26,2	43,8
18	24,9	27,9	41,6	27,1	38,7	29,0	25,8	25,0	26,1	25,6	26,2	43,4
19	24,9	28,4	42,2	27,0	35,2	29,0	25,7	25,0	26,0	25,7	26,3	42,1
20	24,8	28,4	41,0	27,0	33,0	29,3	25,5	25,0	27,4	25,6	26,6	39,6
21	24,9	29,0	37,4	27,0	32,4	28,9	25,5	25,1	28,7	25,6	26,6	35,8
22	24,9	29,3	34,2	27,1	32,9	28,1	25,7	25,6	41,3	25,7	26,6	34,1
23	25,0	29,8	32,8	27,4	34,0	28,0	26,4	25,6	49,3	25,6	26,2	32,7
24	25,0	30,8	31,9	27,1	33,0	28,6	28,7	25,6	48,2	25,7	26,1	31,6
25	25,0	31,4	32,2	30,0	32,5	28,3	29,2	25,3	44,0	25,8	26,0	31,6
26	25,0	30,8	33,1	29,4	31,9	27,5	30,9	25,1	43,0	25,8	26,5	32,1
27	25,0	29,4	35,1	39,9	32,0	27,3	32,4	25,1	40,2	26,1	26,7	33,1
28	25,0	28,6	37,1	41,0	36,7	27,0	30,3	25,0	39,0	26,4	26,8	34,2
29	25,0		38,6	37,3	41,4	26,9	29,5	25,1	35,2	26,6	27,4	33,9
30	25,0		38,2	34,8	40,8	26,7	28,4	25,1	33,5	29,1	28,1	32,4
31	25,0		36,0		37,8		27,2	25,1		29,1		31,2
Сер. дек.	<b>25,0</b>	<b>29,9</b>	<b>35,1</b>	<b>32,1</b>	<b>35,0</b>	<b>27,7</b>	<b>28,6</b>	<b>25,2</b>	<b>40,2</b>	<b>26,5</b>	<b>26,7</b>	<b>33,0</b>
Сер. міс.	25,2	31,7	32,2	30,1	37,2	30,6	26,9	25,5	33,8	27,1	26,8	33,1
Мін. міс.	24,8	25,0	26,2	27,0	31,9	26,7	25,5	25,0	25,0	25,6	26,0	21,7
Макс. міс.	25,6	43,2	42,2	41	43,2	41,8	32,4	26,8	49,3	31,9	29,1	43,8

Аналіз даних таблиці 3.3. дозволив отримати середні, мінімальні та максимальні річні показники рівнів підземних вод табл.3.4.

Таблиця 3.4 – Середньо, мінімально та максимальньо річний показник рівнів підземних вод [14]

Сер. річ	30,0	
Мін. річ.	21,7	08.12.2017
Макс. річ.	49,3	23.09.2017

Розрахункові таблиці для визначення середньодобових величин дебіту склалися наступним чином: з кривої  $Q_{дж.} = f(H_{кол.})$  було знято значення дебіту через певні інтервали рівнів (у нашому випадку через 3,5 см), але з таким розрахунком, щоб відрізки кривої у межах інтервалу можна було б прийняти за прямі лінії.

Зняті з кривої величини  $Q_{дж.}$  значення записували у графу «0» навпроти відповідних рівнів. Значення дебіту води для кожного сантиметра рівнів обчислювали за лінійною інтерполяцією і записували у відповідну графу. Приклад складеної розрахункової таблиці наведено нижче (табл. 3.5)

Результати були оформлені у вигляді таблиць (табл. 4.6), у яких зазначалися середні, мінімальні та максимальні величини дебіту за декаду, місяць та рік [14].

Для встановлення зв'язку між режимом джерела і природними факторами, що визначають його, надалі будується комплексний графік рис.3.14 на якому окрім результатів гідрогеологічних досліджень за окремими елементами режиму джерела можуть відображатися деякі метеорологічні дані (зміна атмосферного тиску, температури повітря, дефіциту вологості, опадів тощо), а також дані про режим підземних вод (рівні, температура, хімічний склад) водоносного горизонту, який живить джерело. За необхідності на цьому ж

графіку може відображатися динаміка зміни гідрологічного режиму річок та інших поверхневих водотоків.

Таблиця 3.5 – Розрахункова таблиця для визначення середнього за добу дебіту природного водного джерела у с. Микуличин, Івано-Франківської області,  $\text{дм}^3/\text{с}$  [14]

Рівень води, см	Дебіт, $\text{дм}^3/\text{с}$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
21								0,090	0,092	0,093
22	0,094	0,094	0,095	0,097	0,098	0,100	0,102	0,104	0,105	0,107
23	0,109	0,110	0,113	0,115	0,117	0,119	0,121	0,123	0,125	0,127
24	0,129	0,130	0,134	0,136	0,138	0,141	0,143	0,145	0,148	0,150
25	0,152	0,150	0,157	0,160	0,163	0,165	0,168	0,170	0,173	0,176
26	0,178	0,180	0,184	0,187	0,190	0,193	0,196	0,199	0,202	0,204
27	0,207	0,210	0,214	0,217	0,220	0,224	0,227	0,230	0,233	0,237
28	0,240	0,240	0,247	0,251	0,254	0,258	0,262	0,265	0,269	0,272
29	0,276	0,280	0,284	0,288	0,292	0,296	0,300	0,304	0,308	0,312
30	0,316	0,320	0,325	0,330	0,334	0,339	0,343	0,347	0,352	0,356
31	0,361	0,370	0,371	0,375	0,380	0,385	0,390	0,395	0,400	0,405
32	0,410	0,420	0,421	0,426	0,431	0,437	0,442	0,447	0,453	0,458
33	0,464	0,470	0,475	0,481	0,487	0,493	0,499	0,505	0,511	0,517
34	0,522	0,530	0,535	0,542	0,548	0,555	0,561	0,568	0,574	0,580
35	0,587	0,590	0,601	0,608	0,615	0,622	0,629	0,636	0,643	0,650
36	0,657	0,660	0,672	0,680	0,688	0,695	0,703	0,710	0,718	0,726
37	0,733	0,740	0,750	0,758	0,766	0,775	0,783	0,791	0,800	0,808
38	0,816	0,830	0,834	0,843	0,852	0,861	0,870	0,879	0,888	0,897
39	0,906	0,920	0,925	0,935	0,944	0,954	0,964	0,973	0,983	0,993
40	1,003	1,010	1,023	1,034	1,044	1,055	1,065	1,076	1,086	1,096
41	1,107	1,120	1,129	1,141	1,152	1,163	1,174	1,185	1,197	1,208
42	1,219	1,230	1,243	1,255	1,267	1,279	1,292	1,304	1,316	1,328
43	1,340	1,350	1,366	1,379	1,392	1,404	1,417	1,430	1,443	1,456
44	1,469	1,480	1,497	1,511	1,525	1,538	1,552	1,566	1,580	1,594
45	1,608	1,620	1,637	1,652	1,667	1,682	1,697	1,711	1,726	1,741
46	1,756	1,770	1,787	1,803	1,819	1,835	1,851	1,866	1,882	1,898
47	1,914	1,930	1,948	1,964	1,981	1,998	2,015	2,032	2,049	2,066
48	2,082	2,100	2,118	2,136	2,154	2,172	2,190	2,208	2,226	2,244
49	2,262	2,370	2,487	2,60						

Таблиця 3.6 – Отримані щоденні розрахункові дебїти води джерела у с. Микуличин Івано-Франківської області, дм<sup>3</sup>/с [14]

Число	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0,168	0,152	0,251	0,499	0,590	0,587	0,196	0,202	0,150	0,405	0,280	0,269
2	0,168	0,217	0,247	0,464	0,548	0,410	0,190	0,190	0,152	0,339	0,269	0,296
3	0,168	0,447	0,237	0,356	0,522	0,339	0,180	0,178	0,830	0,308	0,254	0,442
4	0,168	1,086	0,220	0,334	0,487	0,288	0,178	0,178	1,366	0,292	0,240	0,453
5	0,168	1,366	0,214	0,296	0,522	0,269	0,168	0,178	1,107	0,272	0,227	0,464
6	0,168	1,279	0,210	0,304	0,660	0,254	0,173	0,176	0,703	0,254	0,214	0,410
7	0,168	1,197	0,204	0,304	0,861	0,284	0,187	0,176	0,530	0,240	0,202	0,100
8	0,165	0,861	0,199	0,308	1,107	1,010	0,196	0,178	0,530	0,237	0,196	0,090
9	0,163	0,587	0,187	0,276	1,304	1,197	0,190	0,176	0,437	0,220	0,184	0,098
10	0,160	0,442	0,187	0,262	1,340	0,920	0,178	0,173	0,380	0,207	0,184	0,143
11	0,160	0,385	0,187	0,251	1,129	0,548	0,173	0,165	0,276	0,202	0,184	0,254
12	0,160	0,316	0,184	0,240	0,944	0,470	0,168	0,165	0,258	0,190	0,184	0,316
13	0,163	0,276	0,193	0,240	0,688	0,481	0,170	0,165	0,224	0,180	0,187	0,390
14	0,163	0,254	0,224	0,240	1,292	0,343	0,170	0,157	0,207	0,178	0,187	1,174
15	0,163	0,240	0,390	0,227	1,366	0,296	0,168	0,157	0,199	0,170	0,187	1,152
16	0,157	0,233	0,695	0,227	1,366	0,288	0,168	0,150	0,184	0,170	0,184	1,304
17	0,157	0,254	1,152	0,227	1,255	0,280	0,173	0,150	0,180	0,170	0,184	1,443
18	0,150	0,237	1,174	0,210	0,879	0,276	0,173	0,152	0,180	0,168	0,184	1,392
19	0,150	0,254	1,243	0,207	0,601	0,276	0,170	0,152	0,178	0,170	0,187	1,230
20	0,148	0,254	1,107	0,207	0,464	0,288	0,165	0,152	0,220	0,168	0,196	0,964
21	0,150	0,276	0,766	0,207	0,431	0,272	0,165	0,150	0,265	0,168	0,196	0,643
22	0,150	0,288	0,535	0,210	0,458	0,240	0,170	0,168	1,141	0,170	0,196	0,530
23	0,152	0,308	0,453	0,220	0,522	0,240	0,190	0,168	2,600	0,168	0,184	0,447
24	0,152	0,352	0,405	0,210	0,464	0,262	0,265	0,168	2,118	0,170	0,180	0,390
25	0,152	0,380	0,421	0,316	0,437	0,251	0,284	0,160	1,469	0,173	0,178	0,390
26	0,152	0,352	0,470	0,292	0,405	0,224	0,356	0,150	1,340	0,173	0,193	0,420
27	0,152	0,292	0,590	0,993	0,410	0,217	0,431	0,150	1,023	0,180	0,199	0,470
28	0,152	0,262	0,740	1,107	0,710	0,207	0,330	0,152	0,906	0,190	0,202	0,535
29	0,152		0,870	0,758	1,152	0,204	0,296	0,150	0,601	0,196	0,220	0,517
30	0,152		0,834	0,574	1,086	0,199	0,254	0,150	0,493	0,280	0,240	0,431
31	0,152		0,657		0,800		0,214	0,150		0,280		0,371
Сер. дек.	0,152	0,314	0,613	0,489	0,625	0,232	0,269	0,156	1,196	0,195	0,199	0,468
Сер. міс.	0,158	0,459	0,498	0,352	0,800	0,381	0,209	0,164	0,675	0,216	0,203	0,565
Мін. міс.	0,148	0,152	0,184	0,207	0,405	0,199	0,165	0,150	0,150	0,168	0,178	0,090
Макс. міс.	0,168	1,366	1,243	1,107	1,366	1,197	0,431	0,202	2,600	0,405	0,280	1,443

Таблиця 3.7 – Середньо, мінімально та максимально річний показник дебіту джерела в с. Микуличин, поблизу вище досліджуваного колодязя [14]

Сер. річ.	0,389	
Мін. річ.	0,09	08.12.2017
Макс. річ.	2,6	23.09.2017

Дослідження включає використання наступних джерел даних:

- продукт EOS CROP Monitoring компанії EOS Data Analytics [59];
- архівні погодні дані найближчої метеостанції спостереження;
- моніторингові щоденні дані дебіту джерела та рівня води в колодязі біля джерела в с. Микуличин;
- методика та рівняння визначення регресійної залежності Пірсона [60].

За допомогою продукт EOS CROP Monitoring компанії EOS Data Analytics виділено область аналізу даних в регіоні досліджень Рис. 3.13. Це ділянка розміром приблизно 284.1 га. в центрі с. Микуличин, що включає в себе місце розташування джерела та колодязя зі щоденними цілорічними моніторинговими показниками за 2017р табл.3.3.



Рисунок 3.13 - Інтерфейс ресурсу CROP Monitoring з виділеною зоною збору статистичних кліматичних даних в с.Микуличин, Надвірнянського району



Виділена територія обиралась з врахуванням наступних параметрів: покриття моніторингових точок, розташування на мало урбанізованій території без забудови для кращого супутникового спостереження, майже максимально доступна площа в EOS CROP Monitoring яку можна обрати.

Для визначення ефективності використання EOS CROP Monitoring проведено порівняння метеорологічних даних з найближчої метеостанції та EOS CROP Monitoring та встановлення кореляційної залежності між рівнем дебіту досліджуваного джерела і рівнем води колодязя в с. Микуличин.

Коефіцієнт регресії визначається за таблицею 3.8 тісноти зв'язку.

Таблиця 3.8 – Таблиця значень тісноти зв'язку регресії [61]

<b>Кореляція</b>	<b>Негативна</b>	<b>Позитивна</b>
Відсутня	–0.09 до 0.0	0.0 до 0.09
Низька	–0.3 до –0.1	0.1 до 0.3
Середня	–0.5 до –0.3	0.3 до 0.5
Висока	–1.0 до –0.5	0.5 до 1.0

Досліджено залежність дебіту джерела де здійснювався вимір рівнів та рівня води в колодязі поблизу. Аналізувалися показники щоденного цілолітнього моніторингу. Коефіцієнт регресії розраховувався за формулою.

$$y = (a + cx^2 + ex^4 + gx^6 + ix^8 + kx^{10}) / (1 + bx^2 + dx^4 + fx^6 + hx^8 + jx^{10}) \quad (3.3)$$

Та склав  $r^2 = 0,99$  рис.3.14, що свідчить про *тісну регресійну залежність рівня води в колодязі та дебіту джерела, що розташовується поблизу*. Середня квадратична помилка апроксимації моделі до експериментальних даних було визначено за формулою.

$$FitSdErr = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (3.4)$$

Вона становить  $FitSdErr = 0,035243946$ . Це свідчить про те, що модель має несуттєву середню помилку прогнозування і добре відповідає експериментальним спостереженням. Значення *F-статистики визначили за формулою*.

$$F = D_1/D_2 \quad (3.5)$$

Значення *F-статистики склало* ( $Fstat$ ) = 854421,85, що вказує на релевантність отриманої функціональної залежності, яка отримана за допомогою програмного продукту TableCurve рис.3.14.

Коефіцієнт детермінації  $DF Adj r^2 = 0,99$  свідчить про те, що 99% мінливості залежної змінної пояснюється незалежними змінними. Це дуже високий показник, який свідчить про сильний зв'язок між змінними рис.3.14.

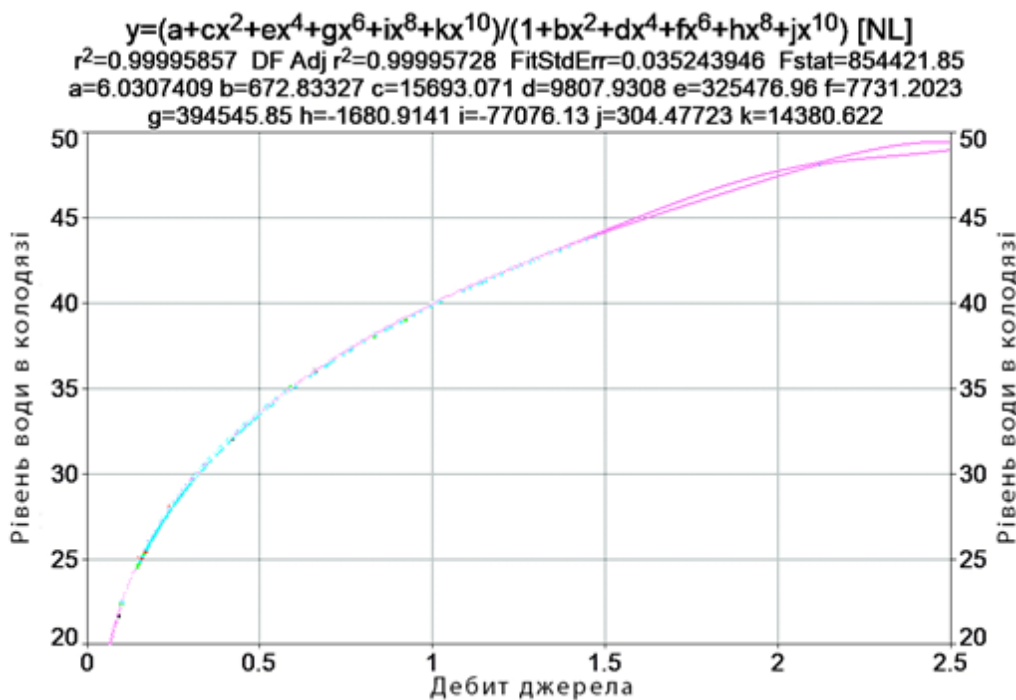


Рисунок 3.14 – Регресійний аналіз дебіту джерела та рівня води в колодязі поблизу

Згідно дослідження спостерігається зміщення в часі між кількістю випавших опадів і рівнем води в колодязі. Воно залежить від гідрогеологічних умов, проникності гірських порід, крутизни і кутів нахилів схилів, тощо.

Тобто буде відрізнятися в різних районах, тож нами була поставлена задача дослідити функціональну залежність між рівнем води в досліджуваному колодязі та рівень дебіту води в джерелі поблизу в с. Микуличин і Надвірнянському районі в цілому.

Проаналізувавши регресійний зв'язок між даними про опади за 2017 рік отриманими зі супутника EOS CROP Monitoring та моніторинговими даними дебіту джерела і рівня води в колодязі отримали з різноманітною варіацією зміщення по днях низьку регресійну залежність Табл 3.9.

Таблиця 3.9 – Порівняння отриманих результатів регресійного аналізу

<b>Крок зміщення</b>	<b>Коефіцієнт кореляції дебіту джерела і опадів</b>	<b>Коефіцієнт кореляції рівня води колодязя і опадів</b>
Без зміщень	$r^2 = 0,153998957$	$r^2 = 0,166734789$
1 день	$r^2 = 0,270749063$	$r^2 = 0,265874384$
2 дні	$r^2 = 0,262906255$	$r^2 = 0,269601713$
3 дні	$r^2 = 0,224494236$	$r^2 = 0,248236051$
4 дні	$r^2 = 0,194256653$	$r^2 = 0,220455988$
5 днів	$r^2 = 0,142515627$	$r^2 = 0,181503702$

Однак була помічена закономірність незначного покращення регресійної залежності застосовуючи в розрахунках зміщення по днях, протиставляючи попередній день з наступним. Ця залежність зумовлюється водним балансом, накопиченням і використанням опадів. Аналіз таблиці 3.9 показує, що краща залежність спостерігається із кроком зміщення 1 та 2 дні.

Обґрунтування низької регресійної залежності пов'язана тим, що в аналізі була вибірка за цілий рік, де декілька місяців були зі снігопадами і відповідно опади концентрувалися в сніговому покриві не потрапляли до підземних водних джерел, що суттєво зменшувало тісноту зв'язку.

Тому нами було обрано для розрахунків залежностей опадів і рівнем (дебіту) водного джерела літній місяць, а саме червень. Такий вибір зумовлений точною відсутністю опадів у вигляді снігу в досліджуваному регіоні.

Було отримано залежності в яких тіснота зв'язку як і очікувалось значно вища рис.3.15.

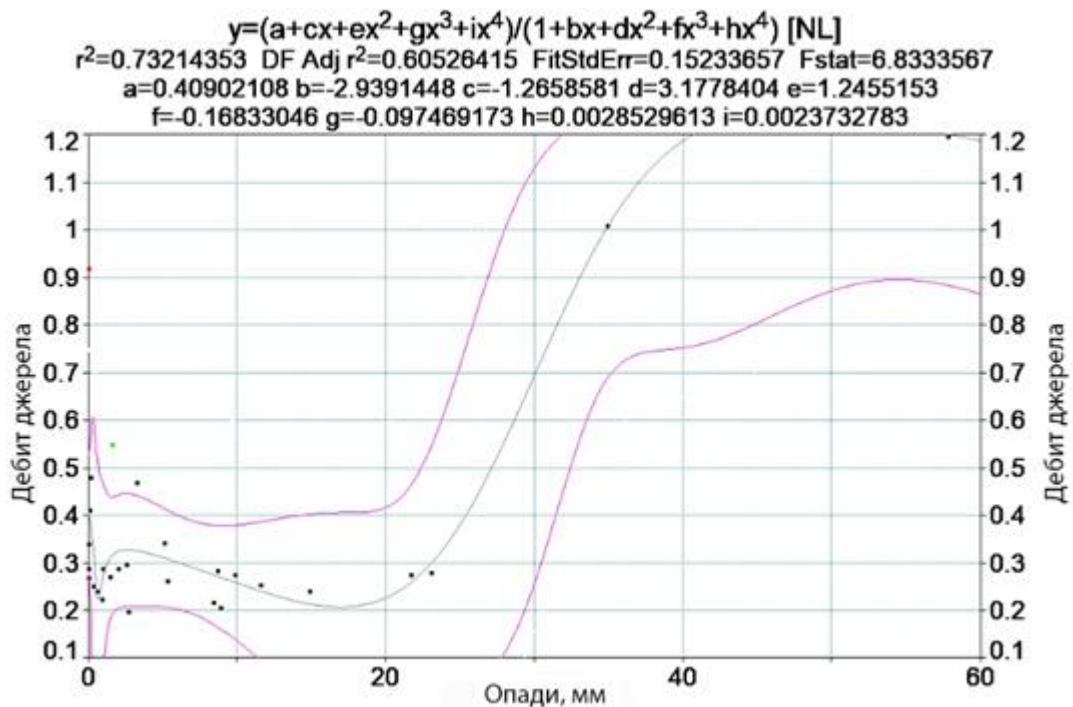


Рисунок 3.15 - Регресійний аналіз опадів та дебіту джерела в червні 2017 року зі зміщенням на 1 день відповідно запропонованої методики

Коефіцієнт регресії склав  $r^2 = 0,73$  рис.3.15, що свідчить про *тісну регресійну залежність дебіту джерела від опадів*.

Середня квадратична помилка апроксимації моделі до експериментальних даних було визначено. Вона становить  $FitSdErr = 0,15233657$ . Це свідчить про

те, що модель має невелику середню помилку прогнозування і добре відповідає експериментальним спостереженням.

Значення *F*-статистики склало (*Fstat*) = 6.8333567, що вказує на релевантність отриманої функціональної залежності, яка отримана за допомогою програмного продукту TableCurve рис.3.15.

Коефіцієнт детермінації *DF Adj r2* = 0,60 свідчить про те, що 60% мінливості залежної змінної пояснюється незалежними змінними. Це середній показник, який свідчить про наявний зв'язок між змінними рис.3.15.

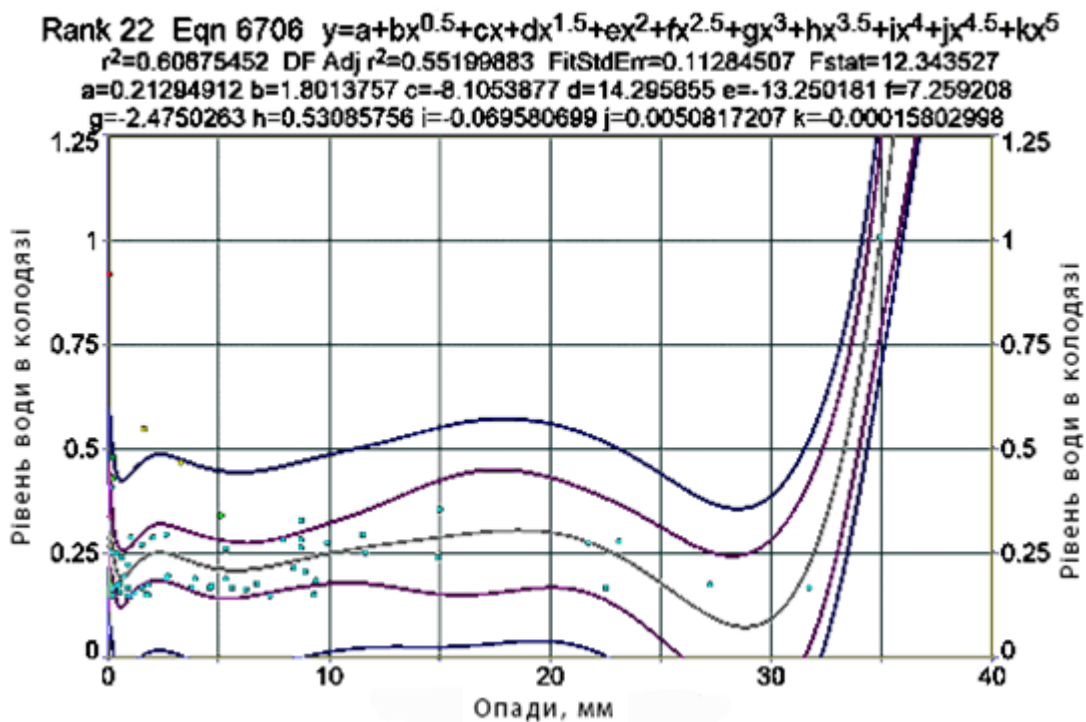


Рисунок 3.16 - Регресійний аналіз опадів та рівня води в колодязі за літо 2017 року зі зміщенням на 1 день відповідно запропонованої методики

Таблиця 3.10 – Порівняння тісноти отриманих залежностей отриманих методом збору вхідних даних за червень 2017 року зі зміщенням в 1 день.

<b>Крок зміщення</b>	<b>Коефіцієнт регресії опадів за літо 2017 року EOS CROP Monitoring і дебіту джерела</b>	<b>Коефіцієнт регресії опадів з метеостанції за літо 2017 року і дебіту джерела</b>
Без зміщення	$r^2 = 0,275813377$	$r^2 = 0,273192311$
1 день	$r^2 = 0,73214353$	$r^2 = 0,392877491$

Проведено регресійний аналіз між даними про опади отримані за допомогою супутника та дебітом джерела і рівнем води в колодязі за один місяць по вище зазначеній методиці зі зміщенням на 1 день та при умові відсутності опадів у вигляді снігу. Проаналізовано показники за червень 2017 року. Отримали коефіцієнт регресії  $r^2 = 0.73$  залежності дебіту джерел від кількості опадів із часовим кроком 1 день та  $r^2 = 0.6$  для залежності рівня води в колодязі від кількості опадів із часовим кроком 1 день.

Отже, в результаті дисертаційного дослідження встановлені функціональні залежності для питних підземних вод Надвірнянського району. А саме, залежності рівня дебіту від кількості опадів та рівня води в колодязі від кількості опадів з часовим проміжком 1 день

Аналогічні обрахунки зроблені на основі вхідної інформації про опади отриманої за допомогою метеостанції UKLI,15004099999,33000599999. Отримали тісноту зв'язку  $r^2 = 0.54$  для дебіту, що свідчить про середню регресійну залежність та  $r^2 = 0.47$  для рівня води, що свідчить про середню тісноту зв'язку табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Результати регресійного аналізу з порівнянням дебіту і рівня води

Крок зміщення	Регресійний аналіз дебіту джерела і рівня води в колодязі та опадів за червень 2017 року взятих з EOS CROP Monitoring		Регресійний аналіз дебіту джерела і опадів з метеостанції за червень 2017 року	
	Дебіт	Рівень води	Дебіт	Рівень води
1 день	$r^2 = 0.73$	$r^2 = 0.6$	$r^2 = 0.54$	$r^2 = 0.47$

Проведено регресійний аналіз, оскільки, на відміну від кореляційного аналізу не з'ясовує чи істотний зв'язок, а займається пошуком моделі цього зв'язку, вираженої у функції регресії.

Отже, отримано наступне рівняння для функціональної залежності зміни рівня дебіту і кількості опадів.

$$y = (0.40 + cx + 1.24x^2 + -0.097x^3 + 0.0023x^4)/(1 + -2.93x + 3.177x^2 + -0.168x^3 + 0.0028x^4) \quad (3.6)$$

Також, вираження для функціональної залежності зміни рівня води в колодязі і кількості опадів.

$$y = 0.212 + 1.80x^{0.5} + -8.10x + 14.29x^{1.5} + -13.250x^2 + 7.259x^{2.5} + -2.475x^3 + 0.530x^{3.5} + -0.069x^4 + 0.0050x^{4.5} + 0.000158x^5 \quad (3.7)$$

Спостерігається більший зв'язок даних з супутника і досліджуваними показниками джерела та колодязя ніж закономірності між даними отриманими метеостанцією і показниками джерела та колодязя.

Спостерігається, що спосіб отримання даних за допомогою супутника EOS CROP Monitoring дещо точніший ніж з метеостанції.

Проведене дослідження ефективності використання EOS CROP Monitoring для збору метеорологічних даних виявило високий рівень регресії між дебітом досліджуваного джерела та рівнем води у колодязі с. Микуличин.

Коефіцієнт кореляції був розрахований за відповідною таблицею градацій, що вказує на високу позитивну залежність між рівнями води в джерелі та колодязі. Середньоквадратична помилка апроксимації моделі свідчить про високу точність прогнозування.

Додатково був проведений регресійний аналіз, використовуючи дані опадів, отримані зі супутника та метеостанції. Результати свідчать про високу регресійну залежність між опадами та дебітом джерела, особливо при використанні даних від супутника. Порівняння даних з метеостанції та EOS CROP Monitoring підтвердило точність та перевагу використання супутникових даних для прогнозування рівня води в джерелах.

Отже, можна зробити висновок, що EOS CROP Monitoring є ефективним інструментом для збору метеорологічних даних, які можуть бути успішно використані для моніторингу та прогнозування рівнів води у природних джерелах.

### **Висновки до розділу**

Вирішено поставлені завдання дисертаційного дослідження, щодо ефективності використання EOS CROP Monitoring для збору метеорологічних даних. Та отримано такі результати:

- Встановлений високий рівень кореляції між дебітом досліджуваного джерела та рівнем води у колодязі с. Микуличин. Коефіцієнт кореляції  $r^2 = 0,99$ , що свідчить про тісну залежність між кількісними показниками води в джерелі та колодязі. Середньоквадратична помилка апроксимації моделі становить  $\text{FitSdErr} = 0,035243946$ . Це свідчить про те, що модель релевантна і добре відповідає експериментальним спостереженням. Значення F-статистики склало  $(F\text{stat}) = 854421,85$ , що вказує на значущість кореляційного зв'язку.

- Встановлена висока регресійна залежність між дебітом джерела та опадами, особливо при використанні супутникових даних. Коефіцієнт регресії  $r^2$



= 0,73 для дебіту джерела від кількості опадів та  $r^2 = 0,6$  залежності рівня ґрунтових вод від опадів в досліджуваному Надвірнянському районі.

- Отримано функціональну залежність для прогнозування рівнів ґрунтових вод і дебітів джерел в залежності від кількості опадів з часовим рангом 1 день для гідрогеологічних умов Надвірнянського району.

- Доведено точність та перевагу використання супутникових даних для прогнозування об'ємів питних підземних вод. Порівняння даних з метеостанції та EOS CROP Monitoring підтвердило, що супутникові дані мають більш високу точність і надійність.

Крім того, було встановлено, що супутникові дані EOS CROP Monitoring є ефективним інструментом для збору метеорологічних даних, які можуть бути успішно використані для моніторингу та прогнозування рівнів води у природних джерелах. Це дає можливість використовувати супутникові дані для прогнозування рівня води в джерелах в інших регіонах України та світу.

Отримані результати мають практичне значення для розробки та реалізації заходів щодо забезпечення водопостачання та водовідведення в Яремчанській туристичній дестинації. Зокрема, вони можуть бути використані для:

- Прогнозування рівня води в джерелах з метою забезпечення безперебійного водопостачання населення та туристів.
- Оптимізації використання природних джерел для водопостачання.
- Захисту природних джерел від виснаження.

Крім того, отримані результати можуть бути використані для розробки нових методів моніторингу та прогнозування рівнів води у природних джерелах в інших регіонах України та світу.

## РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ В ГІРСЬКІЙ ТУРИСТИЧНІЙ ДЕСТИНАЦІЇ НАДВІРНЯНСЬКОГО РЕГІОНУ

### 4.1 Фізико-хімічні показники забруднення підземних водних джерел, колодязів та свердловин

Карпатський туристичний регіон характеризується великою кількістю туристичних закладів розміщення та високими показниками туристичних потоків, що зумовлює необхідність споживання якісної питної води для туристів та місцевого населення [62]. Важливу роль в постачанні питної води в регіоні відіграють підземні джерела, колодязі та свердловини, які складають більшу частину в водозабезпеченні закладів розміщення різноманітних типів [63]. З іншого боку, туристичні дестинації, особливо гірські, зумовлюють значний антропогенний тиск на довкілля, зокрема, й на якість природних вод [64]. До того ж, спостерігається висока частка децентралізованого водопостачання, що і зумовлює власників садиб використовувати колодязі та свердловини або джерела питної води поблизу [65]. Відповідно до аналізу літератури підземні джерела питної води в Яремчанській туристичній дестинації малодосліджені [66].

На основі попередньо проведеного опитування встановлено зворотній зв'язок від місцевого населення та власників туристичних закладів розміщення, щодо стану питної води в досліджуваному регіоні. За результатами анонімного опитування наведеного в розділі 2.2 більшість респондентів вказували на певні проблеми та наводили наявні чинники, які впливають на якість питних підземних вод. Отримані результати зумовили необхідність проведення дослідження та аналізу проб питних підземних водних джерел Яремчанської туристичної дестинації.

Для проведення експериментальних досліджень була обрана Яремчанська туристична дестинація, яку щороку відвідують понад 1 мільйон подорожуючих [67]. Актуальним для вивчення залишається питання динаміки питної води в підземних джерелах та свердловинах в даній місцевості, оскільки необхідно враховувати специфіку гірського ландшафту, вміст в гірській породі хімічних елементів, що обумовлюють специфічний хімічний склад підземних вод, присутність значних перепадів висоти та значну туристичну навантаженість [68].

Значний вклад в дослідження джерел питної води Карпатського регіону зробили Кравчинський Р.Л., Хільчевський В.К., Корчемлюк М.В., Стефурак О.М. в своїй монографії про моніторинг джерел питної води Карпатського НПП [69]. Грунтовно дослідженням складу питної води з джерел децентралізованого водопостачання займався Черєга А.М., Іщенко В.А. [70].

Для експериментального детальнішого дослідження були взяті проби води з витоків природних джерел, свердловин та колодязів Карпатської туристичної дестинації. При виборі місць відбору проб води для дослідження важлива роль приділена висотній зональності джерел [71].

Аналізи зразків питної води з джерел, свердловин та колодязів регіону виконано за наступними показниками: значення рН, температура, висота над рівнем моря, нітрати та нітроти, фосфати, амоній та мінералізація [72].

За допомогою візуальних мембранних тестів для питної води Sensafe визначено у зразках води вміст таких важких металів як: Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg, Fe [73].

Для оперативного моніторингу використовувалися згідно інструкцій наступні портативні прилади та реагенти:

- Ph метр, кондуктометр, солемір, оксиметр - AZ-86031;
- GPS-трекер – GPSmap 60Cx;
- візуальні тести вмісту нітратів та нітритів, фосфатів і амонію – Ptero;

- візуальні мембранні тести для визначення вмісту важких металів – Sensafe.

В процесі польових і лабораторних досліджень для визначення фізико-хімічних властивостей води застосовувалися наступні методи: фізичний, органолептичний, потенційно-метричний, титрометричний, фотометричний [74].

Основним нормативним документом (НД), що регулює якісні та кількісні показники питних вод було взято норми ДСанПіН 2.2.4-171-10 [75].

Структура системи моніторингу досліджуваних джерел загалом включала послідовне впровадження наступних етапів:

- 1) Збір доступної інформації - збір даних;
- 2) Польові вимірювання першого рівня – картографування;
- 3) Польові вимірювання другого рівня - відбір проб;
- 4) Польові вимірювання третього рівня – моніторинг.



Рисунок 4.1 - Структура системи моніторингу джерел та свердловин

В досліджуваному гірському регіоні спостерігається значне скупчення закладів розміщення туристів. Дані отримані з сайту надання послуг по розміщенню складають близько 1 тис. зареєстрованих закладів що надають послуги з тимчасового розміщення туристів [76].

В досліджуваному регіоні можна спостерігати перевагу використання децентралізованого водопостачання, яка складає 62,5% за відповідями респондентів, змішане водопостачання складає 32,5%. За результатами опитування більша частка децентралізованого водопостачання приходить на колодязі та свердловини – 77,5%, джерела – 22,5%. Важливим індикатором для

дослідження було посилення респондентів на ознаки забруднення (колір, каламутність, осад, запах) води для споживання, 37,5% опитуваних спостерігають ознаки забруднення, та відзначаються погіршення стану води в сезон паводків та повеней табл.4.1.

Таблиця 4.1 - Результати соціологічного дослідження щодо якості споживання питної води з підземних джерел серед власників туристичних закладів розміщення

<b>№</b>	<b>Пункт опитування</b>	<b>Кількість відповідей респондентів, %</b>
1	Власники тур. закладів розміщення	86,2
2	Децентралізоване водопостачання	62,5
3	Змішане водопостачання	32,5
4	Використання підземних вод	48,8
5	Споживання джерельної води для пиття	63,7
6	Використання колодязів, свердловин	77,5
7	Використання джерела з природнім витоком	22,5
8	Спостереження ознак забруднення питної води	37,5
9	Використання фільтрації питної води	26,3

Тож однією з задач нашого дослідження став фізико-хімічний аналіз питних підземних вод Яремчанської туристичної дестинації на ознаки забруднення питної води. Моніторинг за станом джерельної води ведеться вибірково санстанціями в разі надзвичайних повідомлень, коли надходять сигнали від місцевих жителів без періодичної сталості.

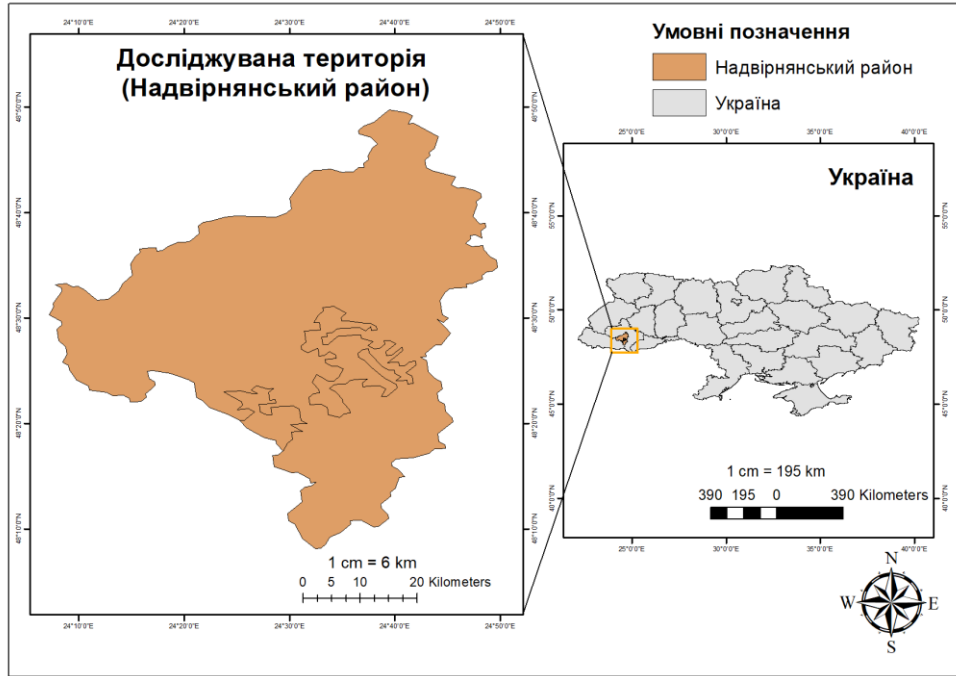


Рисунок 4.2 - Розташування досліджуваних природних джерел питної води, свердловин та колодязів

Пункти моніторингу за станом якості джерельних вод, свердловин та колодязів було обрано ґрунтуючись на даних соціологічного опитування, аналізі наукових досліджень [77,78,79] по обраному регіону та польовій розвідці.

На основі соціологічного опитування, аналізу наукових досліджень по обраному регіону [80,81,82] та польовій розвідці було встановлено пункти моніторингу за станом якості джерельних вод, свердловин та колодязів.

В кожному із зображених на рисунку 2 пунктів моніторингу було відібрано проби води згідно діючим НД. Визначалися GPS- координати та висота над рівнем моря після чого пункти відбору проб картографувалися. Відібрані проби досліджувалися на місці на органолептичні показники, температуру, солоність та кислотність використовуючи прилад AZ-86031.

Шляхом польових і лабораторних досліджень отримано фізико-хімічні показники питних підземних вод, які було опрацьовано та занесено в таблиці 4.2, 4.3, 4.4. Відбір проб здійснювався 07.04.21 року в гідрологічний сезон весняної повені. Згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 норма рН в питних підземних водах повинна становити 6,5-8,5 одиниць рН [75]. У порівнянні з нормами в отриманих результатах можемо спостерігати вихід за межі норм тільки у двох пробах підземних водних джерел з показником більш кислого середовища 5,58 та лужного 10,34, що зумовлює необхідність подальшого дослідження для встановлення причин впливу на показник рН, у всіх інших пробах показник рН в межах визначеної норми.

Іони амонію в досліджуваних пробах в межах норми, нітрити та фосфати також не перевищують показники екологічної безпеки.

Важкі метали (ВМ) є одні з найнебезпечніших компонентів забруднення [75]. Для джерельної води та колодязів і показники вмісту ВМ є досить вагомим приводом для встановлення моніторингу за водними об'єктами, особливу увагу для гірського регіону приділено таким елементам як Fe з валентністю +2 та Cu,

оскільки гірські породи даної місцевості багаті на сполуки цих металів та їх вміст у воді залежний від зменшення лісового покриву. Прослідковується вимивання важких металів з породи та просочення їх в джерела та в колодязі.

Спостерігається незначний вміст Fe та Cu у пробах, однак перевищення вмісту суми металів: міді, заліза, кобальта, цинка, кадмію, свинцю, нікелю, ртуті, марганцю та інших металів із валентністю +2 демонструються в 3 пробах №1,2,5 відібраних з природних джерел питної води див табл 4.2 та 4.3.

Таблиця 4.2 - Показники важких металів природних джерел Карпатського національного природного парку. 7 квітня 2021 року / Весняний паводок

№	Координати	Абсолютна висота, м.	Залізо (Fe <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	Важкі метали (Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg), мг/дм <sup>3</sup>	Cu, мг/дм <sup>3</sup>
1	N48024'42,1" E024032'16,6"	536,0	0,02	0,10	0,05
2	N48025'52,5" E024034'52,5"	564,0	0,02	0,05	0,02
3	N48019'51" E024034'59,6"	718,0	0,01	<0,01	0,02
4	N48019'45,3" E024034'55,4"	692,0	0,01	0,01	0,01
5	N48018'14,9" E024034'32,9"	731,0	0,02	0,02	0,02
6	N48016'20,5" E024035'0,08"	779,0	0,02	0,01	0,01
7	N4809'49,6" E024032'8,3"	1500,0	0,00	0,01	0,01



Таблиця 4.3 - Результати досліджень фізико-хімічного складу природних джерел Карпатського національного природного парку. 7 квітня 2021 року / Весняний паводок

№	Температура, °С	рН	Амоній іон, мг/дм <sup>3</sup>	Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфати, мг/дм <sup>3</sup>	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>
1	8,50	10,15	0,25	0,20	1,2	0,250	352
2	9,30	8,35	0,25	0,15	1,6	0,050	29
3	8,00	7,46	0,25	0,00	1,8	0,01	63
4	7,50	7,47	0,25	0,00	1,4	0,05	54
5	7,50	7,60	0,25	0,00	1,5	0,02	38
6	7,00	7,00	0,25	0,00	0,9	0,01	25
7	7,00	7,60	0,00	0,00	0,3	0,05	66

Спостерігається збільшення концентрації досліджуваних речовин в колодязях та свердловинах в порівнянні з природними джерелами.

В декількох пробах води з колодязів та свердловин виявлено перевищення рівня нітратів, а саме в пробах: №4, №5, №7.

Не критично підвищений вміст Fe та Cu у пробах. Вміст суми металів: міді, заліза, кобальта, цинка, кадмію, свинцю, нікелю, ртуті, марганцю та інших металів із валентністю +2 демонструються в 4 пробах відібраних з колодязів та свердловин див табл 4.4,4.5.

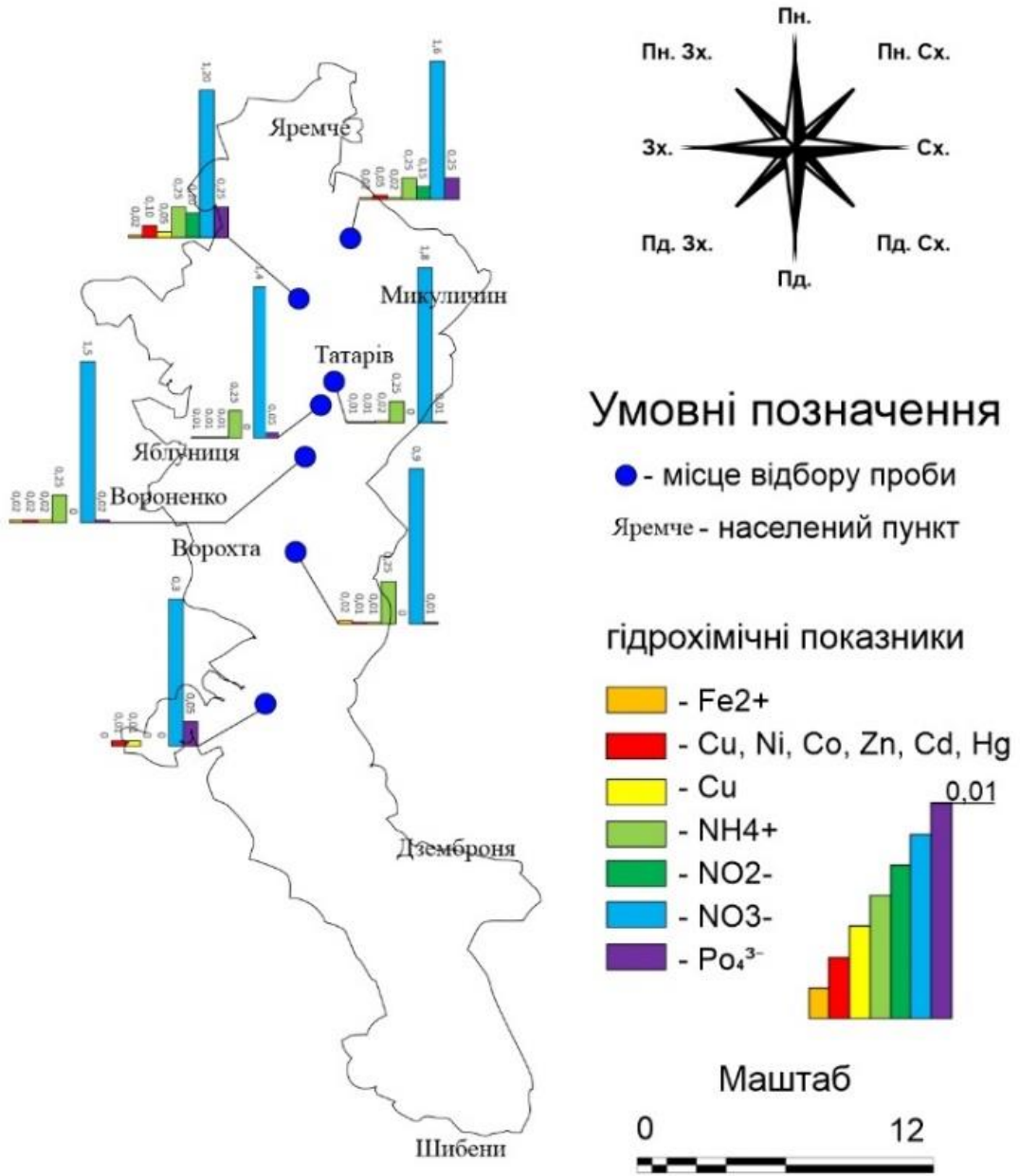


Рисунок 4.3 – Карта хімічних показників відібраних проб

Таблиця 4.4 - Результати досліджень показників важких металів свердловин на території туристичних садиб в межах Карпатського національного природного парку. 7 квітня 2021 року / Весняний паводок

Номер	Місце	Абсолютна висота, м. Координати	Залізо (Fe <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	Важкі метали (Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg), мг/дм <sup>3</sup>	Cu, мг/дм <sup>3</sup>
1	КНПП офіс	540 m, N48026'44,4" E024032'57,5"	0,02	0,10	0,05
2	Яремче колодязь	533 m, N48026'41,8" E024032'31,7"	0,02	0,07	0,05
3	Микуличин, "Нота бене", колодязь	580 m, N48024'34,2" E024036'06,8"	0,02	0,10	0,04
4	Микуличин, "Н і П", колодязь	595 m, N48023'36,2" E024035'52,1"	0,02	0,02	0,05
5	Микуличин, "Надія і П", Колодязь 2	595 m, N48023'36,2" E024035'52,1"	0,02	0,02	0,04
6	Татарів, колодязь	686 m, N48020'21,0" E024034'31,8"	0,02	0,07	0,03
7	Микуличини "Cozy Nest", колодязь	593 m, N48024'15,7" E024036'52,0"	0,02	0,02	0,01

Таблиця 4.5 - Результати досліджень фізико-хімічного складу свердловин на території туристичних садиб в межах Карпатського національного природного парку. 7 квітня 2021 року / Весняний паводок

Ном ер	Темпе ратура , °С	pH	Іон Амонію , мг/дм <sup>3</sup>	Нітрити іони, мг/дм <sup>3</sup>	Нітрати іони, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфат и, мг/дм <sup>3</sup>	Мінералізація, мг/д м <sup>3</sup>
1	8,80	7,90	0,70	0,15	0,50	0,000	105,00
2	6,70	10,34	0,25	0,10	2,10	0,250	189,00

3	9,90	7,29	0,35	0,15	2,7	0,1	331
4	11,60	6,80	0,25	0,18	5,3	0,05	334
5	11,80	6,62	0,90	0,15	6,3	0,05	270
6	9,00	5,58	0,25	0,00	0	0,05	166
7	9,10	6,92	0,25	0,00	5,9	0	223

Тип вод за мінералізацією в досліджуваних колодязях і свердловинах – нормально-прісні з показником мінералізації в межах 100-500 мг/л. В джерелах в пробі №1 - нормально-прісні води, в пробі №2,6 – найпрісніші з показником в межах 10-30 мг/л, усі інші проби джерельної води – дуже прісні з показником в межах 30-100 мг/л (Табл. 4.6).

Таблиця 4.6 - Розподіл досліджених природних джерел та колодязів Карпатського національного природного парку за мінералізацією (мг/дм<sup>3</sup>)

Тип вод за мінералізацією	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	Кількість джерел, шт.	Кількість криниць і свердловин, шт.
Надпрісні	<10	0	0
Найпрісніші	10-30	2	0
Дуже прісні	30-100	4	0
Нормально прісні	100-500	1	7
Пріснуваті	500-1000	0	0
Слабкосолонуваті	1000-3000	0	0

Для екологічних цілей застосовуються комплексні оцінки якості води за гідрохімічними показниками, які дають об'єктивнішу інформацію [83]. Індекс забруднення води (ІЗВ) належить до категорії показників, які найчастіше використовують для оцінки якості водних об'єктів. Цей індекс є типовим адаптивним коефіцієнтом і є середньою часткою перевищення ГДК за лімітованою кількістю індивідуальних інгредієнтів:

$$ІЗВ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (4.1)$$

де  $C_i$  – концентрація компонента (у деяких випадках – значення фізико-хімічного параметра),  $n$  – число показників, використаних для розрахунку

індексу, ГДКі – встановлене значення гранично допустимої концентрації і-компонента за відповідним типом водного об'єкта [14]. Залежно від ІЗВ вода оцінюється за класами табл.4.7.

Таблиця 4.7 - Класи якості питної води за показником ІЗВ [14]

<b>Класи якості води</b>	<b>Значення ІЗВ</b>
I — дуже чиста	$< 0,3$
II — чиста	$0,3 < \text{ІЗВ} < 1$
III — помірно забруднена	$1 < \text{ІЗВ} < 2,5$
IV — забруднена	$2,5 < \text{ІЗВ} < 4$
V — брудна	$4 < \text{ІЗВ} < 6$
VI — дуже брудна	$6 \text{ ІЗВ} < 10$
VII — надзвичайно брудна	$> 10$

В нашому дослідженні ІЗВ розраховувався за 6 показниками: іон амонію, нітрат-іон, фосфати, залізо, середнє значення суми металів (міді, заліза, кобальта, цинка, кадмію, свинцю, нікелю, ртуті, марганцю та інших металів із валентністю +2), заліза та міді окремо. Результат представлено в табл.4.8.

Таблиця 4.8 - Присвоєння класу якості води за показником ІЗВ в досліджуваних пробах води з джерел та свердловин

<b>№ проби</b>	<b>Місце розташування джерела води</b>	<b>ІЗВ</b>	<b>Характеристика якості води</b>	<b>Клас якості води</b>
<b>Природні джерела</b>				
1	Яремчанське ПОНДВ, біля садиби	0,26	Дуже чиста	I
2	Ямна, біля дороги	0,29	Дуже чиста	I
3	ур. Піги	0,30	Дуже чиста	I
4	ур. Підгребінь	0,25	Дуже чиста	I
5	Ворохта, з/в "Ребровач"	0,26	Дуже чиста	I
6	Ворохта, Ворохтянське	0,17	Дуже чиста	I

	ПОНДВ			
7	Говерлянське ПОНДВ	0,05	Дуже чиста	I
Колодязі і свердловини				
1	Криниця біля офісу КНПП	0,20	Дуже чиста	I
2	м. Яремче, Данів, свердловина	0,40	Чиста	II
3	с. Микуличин, "Нота бене", Киселюк, криниця	0,48	Чиста	II
4	с. Микуличин, "Надія і П", Попович, криниця	0,82	Чиста	II
5	с. Микуличин, "Надія і П", Попович, свердловина	1,06	Помірно забруднена	III
6	с. Татарів, Новак, криниця	0,06	Дуже чиста	I
7	с. Микуличин "Затишне гніздечко", Савчук, криниця	0,90	Чиста	II

В ході дослідження було виявлено закономірність вимивання важких металів з гірських порід, значна більшість проб джерельної води в яких спостерігається більша концентрація важких металів були відібрані на висотах 500-800 метрів над рівнем моря, тенденцію до збільшення забруднення зі зменшенням висоти встановлено за допомогою лінії тренду побудованої на отриманих результатах та їх співвідношенню рис. 4.4.

Дана залежність не розповсюджується на свердловини та колодязі, а тільки на джерела в досліджуваному регіоні.

Порівняно основні показники з гранично допустимими. Знайдено висотну залежність вмісту важких металів в пробах. Визначено фізико-хімічні показники, розраховано ІЗВ.

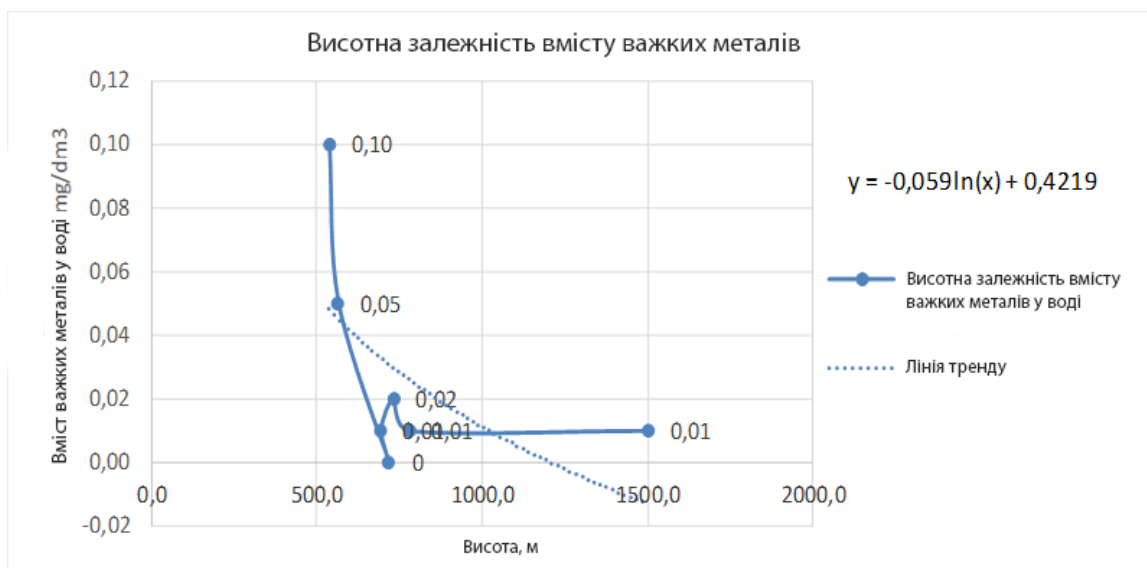


Рисунок 4.4 - Залежність вмісту металів від висоти

## 4.2 Сезонні зміни фізико-хімічних показників підземних водних джерел, колодязів, свердловин та встановлення залежностей

Карпатський національний природний парк (КНПП) є місцем великої кількості розвіданих підземних джерел питної води, значної кількості туристичних потоків, розповсюдженої децентралізованої системи водопостачання, які в сукупності зі специфікою гірського регіону і сезонною зміною рівнів і дебітів утворюють актуальний для регулярного моніторингу об'єкт. Підземні джерела та колодязі є водозабезпеченням житлових об'єктів у цьому регіоні. Моніторингові дослідження фізико-хімічного складу питної води з підземних джерел, свердловин та колодязів є необхідністю, оскільки в обраному регіоні нами було досліджено проби питної води на вміст нітратів, нітритів, фосфатів, амонію, визначено загальну мінералізацію та визначено рН, проаналізовано отримані результати та на їх основі сформовано висновки про вплив сезонних змін на живлення підземних вод. Тому, після перших відборів проб навесні 2021 року, ми продовжили моніторингові спостереження.

Сезонні зміни чітко виражені на території НПП за період спостереження вересень-листопад під час межені та квітень-травень під час весняної повені

2021 року. Ми спостерігаємо зміну вмісту нітратів та коливання вмісту фосфатів і амонію. В деяких досліджених пробах води показники нітратів значно вищі в період межені, ніж повені. Присутні відхилення від норми показника рН декількох досліджених пробах та низька загальна мінералізація води з природних джерел (<100 мг/л), яка може негативно впливати на здоров'я людини при довготривалому споживанню.

Аналіз факторів впливу децентралізованого водовідведення та антропогенного навантаження туристичними закладами розміщення на потенційне забруднення підземних питних вод, встановлено, що сезонні коливання якісних показників води виникають насамперед внаслідок змін головних джерел живлення та процесів денітрифікації.

Проблема забруднення нітратами природних водних джерел та криниць є поширеною. Особливо вона стосується регіонів із значним антропогенним тиском і де є значна кількість джерел надходження нітратів у водні системи. Перевищення нормативного значення нітратів у питній воді, що використовується місцевим населенням та туристами загрожують здоров'ю споживачів води і можуть стати причинами різноманітних захворювань. На території Карпатського туристичного регіону водопостачання здійснюється в основному з підземних вод, тому потенційні зміни в складі цих вод становлять загрозу екологічній безпеці і потребують постійного моніторингу та контролю.

Питанням встановлення фізико-хімічних властивостей і моніторингу джерел питних підземних вод українські і закордонні вчені займаються вже декілька десятиліть [84.85]. Проблемаам дифузійного забруднення поверхневих і підземних вод Карпатського регіону присвячені окремі дослідження [86.87]. Однак недостатньо уваги приділено саме сезонному коливанню хімічного складу питної води з підземних природних джерел та колодязів.

Однією із задач дисертаційного дослідження стало дослідження сезонних змін та коливань фізико-хімічних показників підземних джерел питної води і



криниць в рамках регулярного моніторингу КНПП на території Карпатського туристичного регіону. Завданням дослідження стали: 1) відбір проб води з виходів джерел підземних вод та колодязів розташованих неподалік туристичних закладів розміщення; 2) обробка отриманих даних; 3) визначення впливу сезонних коливань на зміну концентрацій нітратів у джерелах та колодязях.

Сезонні зміни та кліматичні умови мали істотний вплив на вибір місць відбору проб води для дослідження.

Відібрано 14 проб води у вересні-листопаді й квітні-травні 2021 року, у період з низькою (межінь) та високою (повінь) водністю. Отримані проби води було проаналізовано на вміст нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ), нітритів ( $\text{NO}_2^-$ ), амонію ( $\text{NH}_4^+$ ), фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), загальний вміст мінеральних речовин, показник  $\text{pH}$  в ґрунтових водах використовуючи органолептичний, потенціометричний, титрометричний, фотометричний методи і фотоколориметрію.

Йонний склад води з джерел суттєво коливався у кожному зі створів відбору проб та змінювався залежно від гідрологічного живлення джерел та їх розташування.

Водневий показник ( $\text{pH}$ ) характеризує активність іонів водню і є одним із найважливіших критеріїв якості води,  $\text{pH}$  будь-якої питної води має бути в межах 6,5–8,5. У період весняної повені 2021 р. величина  $\text{pH}$  мала відносно стабільні значення по усіх пробах з середнім показником – 7,94. У період межені середній показник  $\text{pH}$  склав – 8,16. Спостерігається незначне збільшення рівня  $\text{pH}$  в період маловоддя. Збільшення показника зафіксовано у створі №1, в період повені це – 10,15, в період межені 9,30, що більше за встановлену для питної води норму рис.4.5.

Порівняльна характеристика фізико-хімічного складу природних джерел в Карпатському НПП в періоди весняної повені та межені

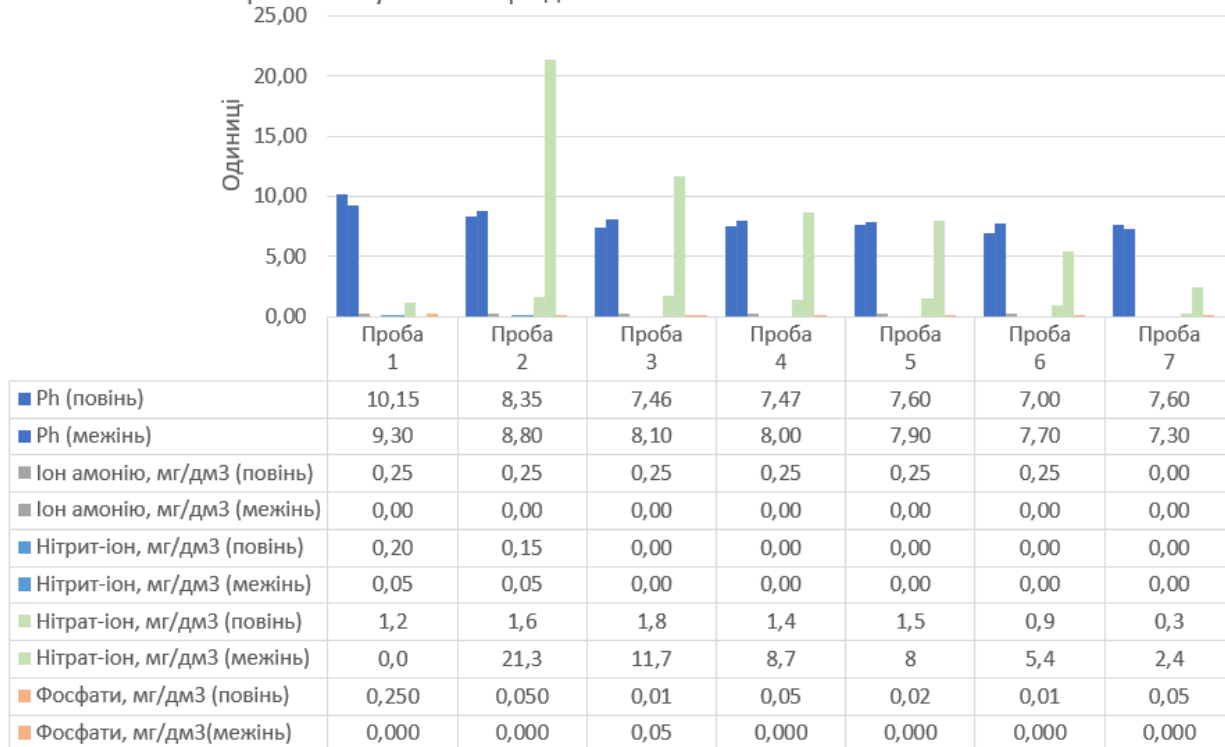


Рис. 4.5 - Порівняльна характеристика фізико-хімічного складу природних джерел в Надвірнянському районі в період весняної повені та межені

Згідно чинного законодавства ДСанПіН 2.2.4-171-10 допустима норма [75] нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ) складає  $\leq 50$  мг/дм<sup>3</sup> відповідно порівнявши з цим показником проаналізовані проби води можна констатувати, що вміст нітратів в усіх пробах в межах допустимої норми. Однак прослідковується збільшення вмісту нітратів в отриманих пробах в період межені, показники межені в декілька разів більші за період весняної повені Рис.4.5.

Водневий показник проб води колодязів та свердловин у період весняної повені 2021 р. відносно стабільний, значення в усіх пробах в межах 6,62-7,90. У період межені показники рН 6-8,90. Спостерігається незначне збільшення рівня рН в період багатоводдя в пробі №2 з показником 10,34 рис.4.6.

Найбільшу концентрацію нітратів (21,3 мг/дм<sup>3</sup>) в пробах було зафіксовано в осінній період у пробі № 2 місце відбору проби Ямна, неподалік від дороги. Найменші значення концентрації нітратів (0 та 0,30 мг/дм<sup>3</sup>) було визначено у точках №1 та №7 в різні сезонні періоди, точки відбору проб розташовані на території Яремчанського ПОНДВ біля садиби та на території Говерляньського ПОНДВ. У весняний багатководний період концентрації нітратів на деяких ділянках відбору проб води (№2, №3, №4, №5, №6, №7) зменшилися в декілька разів, що пов'язано з інтенсифікацією процесів денітрифікації та розбавленням

Рис.4.6.



Рис. 4.6 - Порівняльна характеристика фізико-хімічного складу криниць та свердловин в Надвірнянському районі в періоди весняної повені та межень

Спостерігається протилежна ситуація з вмістом іонів амонію (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) та фосфатів (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). В пробах відібраних в період повені збільшений вміст іонів

амонію в порівнянні з періодом межені, найбільший зафіксований показник складає (0,25 мг/дм<sup>3</sup>) в пробах: №1, №2, №3, №4, №5 та №6. У всіх пробах вміст амонію в межах зазначеної в ДСанПіН 2.2.4-171-10 норми, а саме  $\leq 2,6$  мг/дм<sup>3</sup> рис.4.6.

Йонний склад води з криниць та свердловин теж суттєво коливався у кожному зі створів відбору проб та змінювався залежно від гідрологічного живлення криниць та їх розташування.

Найбільшу концентрацію нітратів (37 мг/дм<sup>3</sup>) в свердловинах було зафіксовано в осінній період у пробі № 2 та №5 місце відбору проби м. Яремче та в с. Микуличин біля садиби «Надія і П». Найменші значення концентрації нітратів (0 та 0,50 мг/дм<sup>3</sup>) було визначено у точках №6 с. Татарів та №1 м. Яремче криниця біля офісу КНПП під час періоду весняної повені. У весняний період концентрації нітратів на деяких ділянках відбору проб води (№1, №2, №3, №4, №5, №7) зменшилися в декілька разів аналогічно до ситуації з джерелами.

Також, як і попередні проби з джерел присутня протилежна динаміка вмісту іонів амонію та фосфатів. В пробах періоду повені спостерігається збільшений вміст іонів амонію в порівнянні з періодом маловодним, найбільший зафіксований показник складає (0,90 мг/дм<sup>3</sup>) в пробі №5. У всіх пробах вміст амонію, нітратів, нітритів, фосфатів та показника Ph в межах зазначених в ДСанПіН 2.2.4-171-10 Рис.4.6.

За результатами проведення дослідження можемо зробити висновок, що, забруднення питних підземних джерел в регіоні не спостерігається, показники в нормі навіть при низькому рівні води та наповненості джерел вміст нітратів у воді з підземних джерел, колодязів та свердловин близький до гранично допустимих, але не перевищує їх. Зафіксовано тільки одне відхилення від норми показника рН. Однак небезпечною є тенденція до збільшення концентрації забруднюючих речовин особливо нітратного забруднення і подолання

граничних меж у період межені. Карпатський регіон – це туристично розвинений регіон, з великою кількістю туристичних закладів розміщення і туристичних потоків, які зростають з кожним роком. Швидкі темпи збільшення туристичної інфраструктури без централізованої системи водопостачання та водовідведення можуть призвести до збільшення потрапляння нітратів та нітритів до джерел питної води місцевого населення та туристів, що небезпечно захворюваннями пов'язані з нітратним отруєнням. Рекомендується запровадження постійного сезонного моніторингу за станом питної підземної води в регіоні з метою попередження забруднення питної води.



Рис. 4.7 - Порівняльна характеристика мінералізації природних джерел та колодязів в Надвірнянському районі в періоди весняної повені та межені

Показник загального солевмісту визначається наявністю у воді розчинених мінералів: натрію, сульфату кальцію, бікарбонатів, калію, хлоридів, магнію, неорганічних солей і ін. На рівень мінералізації підземних вод, колодязів та свердловин впливають: природні і антропогенні фактори, геологічні особливості місцевості, зливові стоки міст та сіл і стічні води децентралізованого водовідведення туристичних закладів розміщення [88].

Максимальне значення мінералізації води у створах усіх пунктів гідрохімічного моніторингу досягло у період осінньої межени (464 мг/дм<sup>3</sup>). Перевищення ГДК (1000 мг/дм<sup>3</sup>) не зафіксовано. Шляхом порівняльного аналізу встановлено низьку залежність підземних джерельних питних вод, колодязів та свердловин від сезонності та режимів живлення підземних вод.

В пробах води з природних джерел зафіксовано низький рівень мінералізації. Постійне споживання таких вод може призвести до вимивання з організму солей та мати негативний вплив на здоров'я людини і стати причиною виникнення хронічних захворювань таких як: карієс, рахіт, остеопорозу, серцево-судинних захворювань. Причина патологій вагітності жінок та гіпертонічних хвороб також у вживанні води з низьким вмістом солей [89].

Ситуація щодо нітратного забруднення питної води в Карпатському регіоні стабільна. Прослідковується незначне збільшення забруднення підземних вод нітратами в період вересень-листопад. Така тенденція може бути пов'язана з тим, що вміст нітратів у підземних водах контролюється природними і антропогенними факторами. Висуното допущення, що забруднення нітратів у підземні води відбувається з закладів туристичної індустрії, які становлять більшу частину земельних угідь від загального житлового землекористування.

На основі детального аналізу сезонних змін фізико-хімічних показників підземних вод у Карпатському національному природному парку, можна зробити наступні уточнені висновки.

Сезонні зміни впливають на якість підземних вод, зокрема на концентрацію нітратів, амонію, фосфатів, рівень рН та загальну мінералізацію. Встановлено, що в період межені концентрація нітратів у досліджених пробах зростає, порівняно з весняною повинню, що підкреслює необхідність звернення особливої уваги на регулярний моніторинг цих показників. В одній пробі, концентрація нітратів у період межені була в кілька разів вищою, ніж під час весняної повені, зі значеннями, що збільшилися з 21,3 мг/дм<sup>3</sup> до значень, що значно перевищують нормативні показники.

Вплив антропогенного навантаження на якість підземних вод також було підтверджено аналізом. Зокрема, зростання туристичних потоків та розвиток туристичної інфраструктури без належної системи водопостачання та водовідведення призводять до збільшення рівня нітратів та інших забруднювачів у питній воді. Це в свою чергу загрожує здоров'ю місцевого населення та туристів, збільшуючи ризик захворювань, пов'язаних з нітратним отруєнням.

Спостерігається також низька загальна мінералізація води з природних джерел, що не перевищує 100 мг/л, що може мати негативний вплив на здоров'я людей при довготривалому вживанні. Таке споживання може спричинити вимивання з організму солей і призвести до розвитку хронічних захворювань, таких як карієс, рахіт, остеопороз, серцево-судинні захворювання.

На підставі отриманих даних, моніторинг якості підземних вод виявляється критично важливим для забезпечення екологічної безпеки та охорони здоров'я населення, особливо у регіоні з високим рівнем туристичної активності. Регулярний моніторинг допоможе виявляти зміни в якості води

вчасно та розробляти ефективні стратегії для запобігання потенційного забруднення.

З огляду на викладене, стає очевидною необхідність запровадження постійного сезонного моніторингу стану підземних вод, що дозволить своєчасно виявляти забруднення та вживати заходів щодо його усунення. Також рекомендується розробка комплексних підходів до управління водними ресурсами з метою зниження ризиків для екологічної безпеки та здоров'я людей в Карпатському регіоні.

#### **4.3 Встановлення залежностей фізико-хімічних показників на основі результатів проведених досліджень**

У проведеному дослідженні джерел виявлено високу кореляційну залежність між показником збільшення висоти та рядом фізико-хімічних параметрів. Кореляційна матриця відображає ступінь зв'язку між фізико-хімічними показниками підземних вод, що дає змогу зробити важливі висновки щодо взаємодії між різними компонентами водного середовища.

Спостерігається сильний зворотній зв'язок між висотою забору води над рівнем моря і концентрацією амонію ( $\text{NH}_4^+$ ) з коефіцієнтом кореляції  $-0,96$ , що свідчить про істотне зниження рівня амонію зі зростанням висоти. Цей зв'язок має важливе значення, адже висока концентрація амонію у воді може бути індикатором органічного забруднення або стоків, що містять азот. Аналогічний зворотній зв'язок було виявлено між висотою і концентрацією нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ) з коефіцієнтом  $-0,81$ , підтверджуючи зменшення вмісту нітратів на більшій висоті.

Температура води виявилась тісно пов'язаною з концентрацією нітритів ( $\text{NO}_2^-$ ), демонструючи сильний позитивний кореляційний зв'язок з коефіцієнтом  $0,81$ . Це стверджує, що з підвищенням температури концентрація нітритів у воді зростає, що може бути пов'язано з активізацією мікробіологічних процесів.



Концентрація фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) має високий позитивний зв'язок з мінералізацією води, з коефіцієнтом 0,97. Це свідчить про те, що фосфати є одним з основних факторів, які впливають на мінералізацію підземних вод. Подібні високі показники кореляції між мінералізацією та іншими іонами, такими як нітрити (0,81) і нітрати (0,82), вказують на важливу роль цих аніонів у формуванні хімічного складу підземних вод.

Метали, такі як мідь (Cu), нікель (Ni), кобальт (Co), цинк (Zn), кадмій (Cd) і ртуть (Hg), також демонструють високі коефіцієнти кореляції з температурою води, що вказує на те, що підвищення температури може сприяти підвищенню концентрації цих металів у воді. Це стосується і комплексу металів (Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg), де коефіцієнти кореляції з температурою варіюють від 0,67 до 0,98, що свідчить про високий рівень залежності концентрації цих металів від температурних умов.

Значущий кореляційний зв'язок між рівнем рН та концентрацією нітритів ( $\text{NO}_2^-$ ) із коефіцієнтом 0,92 підтверджує, що зміни в кислотності води мають сильний вплив на мобілізацію нітритів. Підвищення рН забезпечує більш сприятливі умови для накопичення нітритів, що може бути пов'язано з процесами нітрифікації та денітрифікації, які відбуваються в підземних водах.

Крім того, сильний кореляційний зв'язок спостерігається між концентрацією фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) та нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ) із коефіцієнтом 0,81. Це може вказувати на схожість джерел чи шляхів потрапляння цих іонів у підземні води, або на їх спільну участь у біогеохімічних циклах, які впливають на хімічний склад води.

Високий позитивний кореляційний зв'язок між концентрацією фосфатів та мінералізацією (0,97) та між нітратами та мінералізацією (0,82) свідчить про те, що ці компоненти відіграють важливу роль у загальному мінеральному складі підземних вод. Ці дані є важливими для розуміння процесів формування

мінерального складу води і можуть бути використані для оцінки якості питної води, а також для розробки стратегій управління водними ресурсами рис. 4.7.

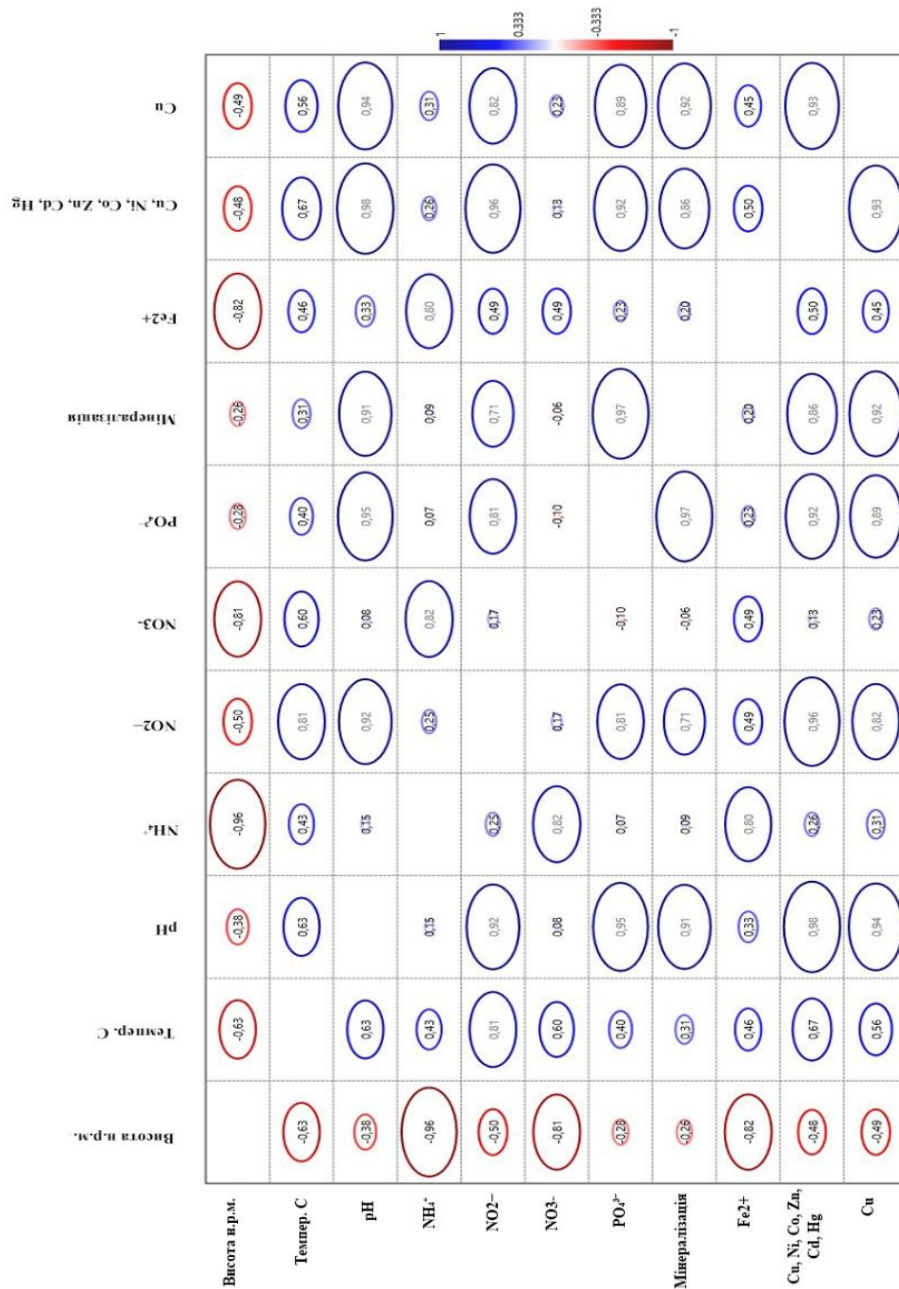


Рисунок 4.7- Кореляційна матриця фізико-хімічних показників джерел ґрунтових вод

Отримані результати свідчать про важливі взаємодії між висотними характеристиками джерел та їхнім хімічним складом в Яремчанській туристичній дестинації. Встановлені кореляції можуть служити основою для

подальших наукових досліджень, спрямованих на розуміння впливу різних факторів на екологічний стан джерел та їхні властивості.

У проведеному науковому дослідженні фізико-хімічних параметрів свердловин і колодязів виявлено високий рівень кореляції між різними показниками, що вказує на взаємозв'язок між характеристиками цих джерел.

На основі кореляційної матриці для колодязів, визначено ключові кореляції між фізико-хімічними показниками води.

Температура води має сильний зворотній зв'язок з рівнем рН, з коефіцієнтом кореляції  $-0,67$ , що свідчить про те, що з підвищенням температури вода стає більш кислою. Це може вказувати на активізацію кислотоутворюючих процесів при вищих температурах, що є важливим для розуміння процесів, які можуть впливати на хімічний склад води в колодязях.

Наявність амонію ( $\text{NH}_4^+$ ) також демонструє значний зворотній зв'язок з рівнем рН, з коефіцієнтом  $-0,54$ . Зниження рівня рН, яке супроводжується збільшенням концентрації амонію, є пов'язано з анаеробними умовами, що сприяють амоніфікації.

Фосфати ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) виявляють сильну кореляцію з нітритами ( $\text{NO}_2^-$ ) з коефіцієнтом  $0,76$ , що свідчить про спільні джерела або схожі процеси видалення цих речовин з води. Висока концентрація обох компонентів є індикатором органічного забруднення або активних біологічних процесів в колодязі.

Також спостерігається сильний позитивний зв'язок між концентрацією нітритів та мінералізацією води, з коефіцієнтом  $0,65$ . Цей зв'язок свідчить про те, що високий рівень нітритів сприяє збільшенню загальної кількості розчинених мінеральних речовин у воді.

Кореляція між мінералізацією та концентрацією  $\text{Fe}^{2+}$  є також високою ( $0,65$ ), що пов'язано з розчиненням залізовмісних мінералів або корозією

металів у воді. Високий вміст заліза в колодязній воді є проблемою, оскільки це може впливати на смак, колір та якість води.

Важливим є також зворотній зв'язок між концентрацією металів Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg та рівнем рН з коефіцієнтом  $-0,52$ . Зниження рН сприяє мобілізації металів, що збільшує їх біодоступність та токсичність рис. 4.8.

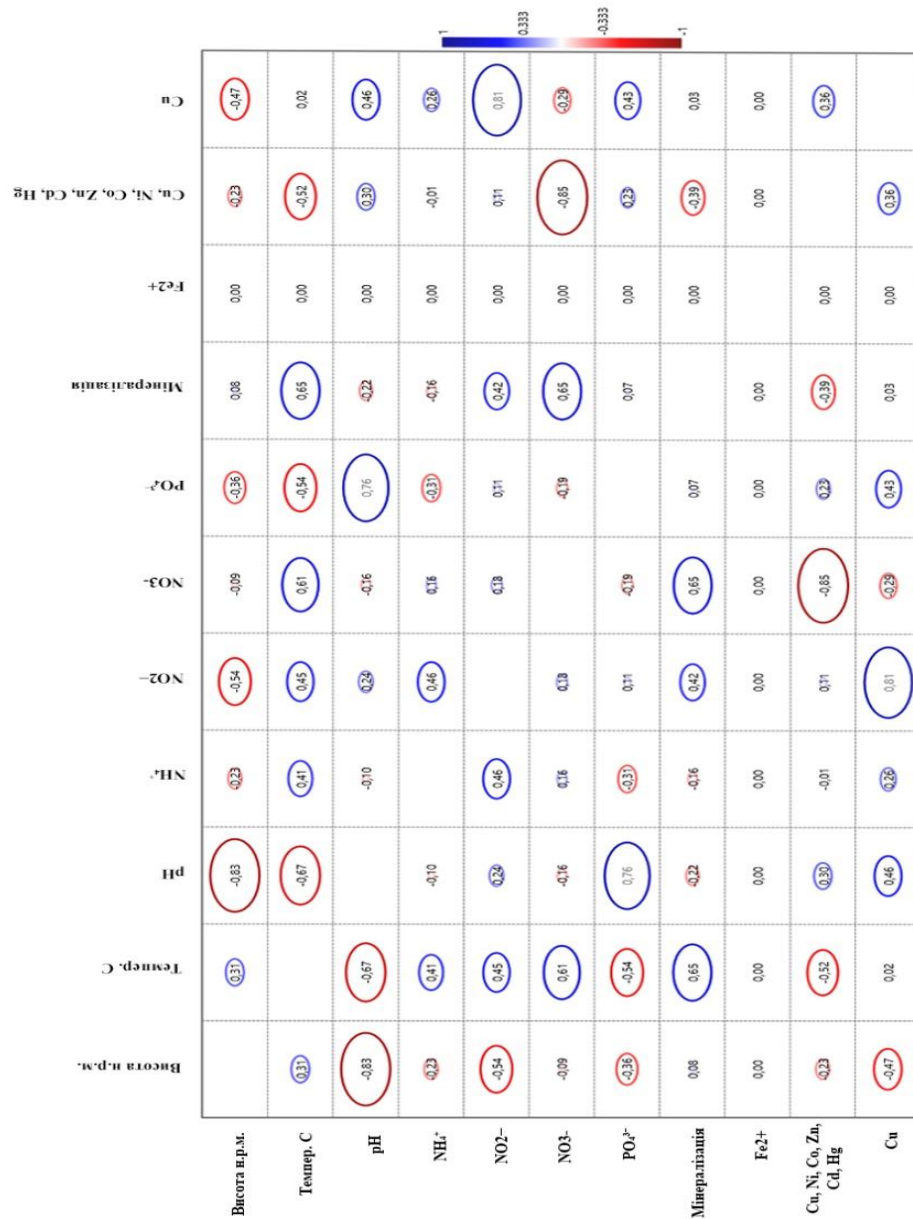


Рисунок 4.8 - Кореляційна матриця фізико-хімічних показників колодязів

Отримані результати дозволяють краще розуміти взаємозв'язки між фізико-хімічними характеристиками джерел та свердловин і колодязів в

досліджуваному регіоні, що є важливим для подальших досліджень та розробки стратегій управління та збереження водних ресурсів.

Загалом, кореляційна матриця для колодязів виявила зв'язки, що мають значення для розуміння хімічної динаміки підземних вод. Сильний зворотній зв'язок між температурою та рівнем рН вказує на те, що зміни температури можуть впливати на кислотність води, змінюючи таким чином її хімічні властивості. Співвідношення амонію та рівня рН підкреслює важливість моніторингу амонійних сполук, оскільки вони вказують на анаеробні умови та потенційне забруднення органічними речовинами.

Кореляція між фосфатами та нітритами висвітлює тенденцію спільного джерела забруднення або схожих процесів, що впливають на їх рівні в підземних водах. Зв'язок між нітритами та мінералізацією, а також між мінералізацією та концентрацією  $Fe^{2+}$ , наголошує на тому, що високий вміст цих сполук впливають на загальний мінеральний склад води, що має важливе значення для якості питної води.

Зворотній зв'язок між концентрацією металів та рівнем рН підтверджує, що кислотність води сприяє розчиненню металів, збільшуючи їх концентрацію та потенційну токсичність. Це важливо для оцінки ризиків, пов'язаних із вживанням води з колодязів, особливо в районах з високим рівнем промислового забруднення або інтенсивного сільськогосподарського використання.

Узагальнюючи, кореляційна матриця надає цінну інформацію, яка була використана для розуміння хімічної стабільності підземних вод у колодязях та розробки стратегій їх охорони та управління.

Крім того, ці дані використані для розробки кліматичних моделей, що враховують гідрофізичні та хімічні аспекти водних систем. Такий підхід є важливим для прогнозування та управління водними ресурсами в умовах

змінюючогося клімату, забезпечуючи науковий фундамент для прийняття ефективних рішень у галузі водного господарства та екології.

### **Висновки до розділу**

Проведено глибокий аналіз якості підземних джерел водопостачання у гірській туристичній дестинації Надвірнянського регіону. Основним завданням дослідження було визначення фізико-хімічних показників забруднення підземних вод та оцінка їх відповідності до стандартів ДСанПіН 2.2.4-171-10 [75]. У ході дослідження було встановлено, що в більшості відібраних проб підземних водних джерел показники рН перебували в межах норми, проте у двох пробах було зафіксовано відхилення — одне з більш кислотою реакцією (рН 5,58) та одне з лужною (рН 10,34).

Дослідження іонів амонію показало, що їхній вміст у всіх зразках не перевищував нормативних значень, що свідчить про відсутність забруднення азотними сполуками. Також в пробах води було визначено незначний вміст нітритів і фосфатів, які не перевищували показники екологічної безпеки.

Особливу увагу в дослідженні було приділено вмісту важких металів, адже вони є критичними забруднювачами. У трьох з відібраних проб було зафіксовано підвищений вміст суми металів, включаючи мідь, залізо, кобальт, цинк, кадмій, свинець, нікель, ртуть, марганець та інші метали з валентністю +2, особливо у воді, відібраній на висотах від 500 до 800 метрів над рівнем моря.

За результатами експериментальних досліджень, більшість відібраних проб підземних вод відповідали класу "дуже чиста" за індексом забруднення води (ІЗВ). Так, для природних джерел ІЗВ варіювався від 0,05 до 0,30, що відповідає класу "дуже чиста". Для колодязів і свердловин ІЗВ коливався від 0,20 до 1,06, де більшість проб також відповідала класу "дуже чиста", проте одна проба вказувала на "помірно забруднену" воду.

Таким чином, дослідження підтвердило загалом високу якість підземних вод у вибраних точках Надвірнянського регіону, що є суттєвим для забезпечення потреб туристичної індустрії та місцевого населення. Висотна залежність вмісту важких металів у воді виявлена у даному дослідженні, являє собою наукову новизну і вимагає подальшого аналізу для розуміння механізмів вимивання та транспортування цих металів у гірських умовах Надвірнянського району. Науковий внесок дослідження полягає також у детальному аналізі хімічного складу підземних вод і оцінки якості питної води за індексом забруднення води (ІЗВ), результати яких можуть бути застосовані для широкого спектру досліджень водних об'єктів.

Здійснено аналіз сезонних змін фізико-хімічних показників підземних вод Карпатського національного природного парку, з особливим фокусом на вплив сезонних коливань на якість води. Результати моніторингу води з джерел, колодязів та свердловин показали, що вміст нітратів, як правило, знаходився в межах допустимих норм. Однак, під час межені було виявлено збільшення їх концентрацій, що вимагає уваги з точки зору охорони здоров'я населення та екологічної безпеки.

Значення мінералізації води було низьким, з найвищим зареєстрованим показником у  $464 \text{ мг/дм}^3$  під час осінньої межені, що не перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК).

Наукова новизна даного дослідження полягає у виявленні чітких кореляційних зв'язків між висотою забору води та концентрацією азотовмісних сполук, таких як амоній та нітрати, в підземних водах. Встановлення прямої залежності концентрації амонію від висоти джерел питних підземних вод з коефіцієнтом кореляції  $-0,96$ , та зворотного зв'язку для нітратів з коефіцієнтом  $-0,81$ , є новими результатами, які можуть бути використані для покращення стратегій моніторингу якості підземних вод. Ці дані збагачують розуміння

процесів, що впливають на якість питної води в гірських умовах і дозволяють розробити більш точні моделі для прогнозування забруднення.



## РОЗДІЛ 5 ПОТЕНЦІЙНІ ЗОНИ ҐРУНТОВИХ ВОД ТА ВПЛИВ ТУРИСТИЧНОГО СЕКТОРУ НА НИХ

### 5.1 Визначення гідрологічного поновлення ґрунтових вод опадами в реґіоні

Проведено структурний аналіз живлення підземних вод на прикладі джерела на території села Микуличин у Надвірнянському районі за допомогою методу Коркмаза [90].

Дослідження живлення підземних вод має велике значення для розуміння обсягів водних ресурсів та їх використання для питного водопостачання в конкретних територіальних умовах. Актуальність полягає в необхідності визначення джерел живлення підземних вод і прогнозу можливих коливань рівня води в колодязях і дебіту води в джерелах.

Дослідження базувалося на методі Коркмаза та аналізі даних про опади, рівень води в колодязі та рівень опадів на території дослідження протягом періоду з 2016 по 2022 роки.

З урахуванням вищевикладеного, однією з задач дослідження є аналіз живлення підземних вод в Надвірнянському районі. Для прикладу було обрано село Микуличин у Надвірнянському районі. За допомогою методу Коркмаза встановлено джерела живлення цих вод. Дослідження має на меті не лише зрозуміти поточний стан ресурсів, але й визначити можливі тенденції та коливання в рівні води протягом визначеного періоду.

Для аналізу впливу опадів на живлення підземних вод були використані дані, отримані з супутникових спостережень EOS, також в дослідженні використовувались дані, що включали в себе історичні спостереження опадів з локальних метеорологічних зон. Для нашого дослідження дані про кількість дощових опадів були доступні з 2016 по 2022 роки.

Для аналізу зміни рівня підземних вод і їхнього відновлення було встановлено моніторинг свердловини та джерела поблизу. Дані про коливання рівня ґрунтової води декілька годин на день. Ці дані були використані для встановлення сезонних паттернів коливань рівня підземних вод.

Для статистичної обробки даних про опади та рівень підземних вод було використано програмне забезпечення Excel. За допомогою Excel було оброблено та проаналізовано дані, включаючи розрахунок середньорічної кількості опадів та побудову графіків залежності між опадами та рівнем підземних вод. Також визначено живлення дощовими опадами ґрунтових вод досліджуваної території с.Микуличин.

У дослідженні також використовувались дані про опади, отримані з супутників EOS, а також дані моніторингу рівня води в колодязях та дебіту джерела. Ці дані були інтегровані в аналізі.

Різноманітні форми опадів включають дощ, сніг та град, але в цій дискусії розглядається лише дощ. Спочатку дощ зволожує рослинність та інші поверхні, після чого починає просочуватися в ґрунт. Перша інфільтрація замінює вологу ґрунту, а потім надлишок повільно просочується через проміжну зону до зони насичення. Вода в зоні насичення рухається вниз і в бічних напрямках до місць виливання ґрунтових вод, таких як джерела на схилах гір або витoki на дні річок та озер [91].

Кількість вологості, яку територія втрачає через евапотранспірацію, в першу чергу залежить від кількості опадів, по-друге — від кліматичних факторів, таких як температура, вологість і т.д., по-третє — від типу, способу обробки землі та ступеня заселеності рослинністю. Наприклад, кількість вологості може збільшитися завдяки великим деревам, коріння яких глибоко проникає в ґрунт, піднімаючи і транслуючи воду, яка інакше була б поза впливом поверхневої евапорації [90].

У сухий період, коли швидкості евапотранспірації перевищують наявну вологу від опадів, поповнення ґрунтового столу є незначним, і рівні ґрунтової води знижуються Рисунок 5.1.

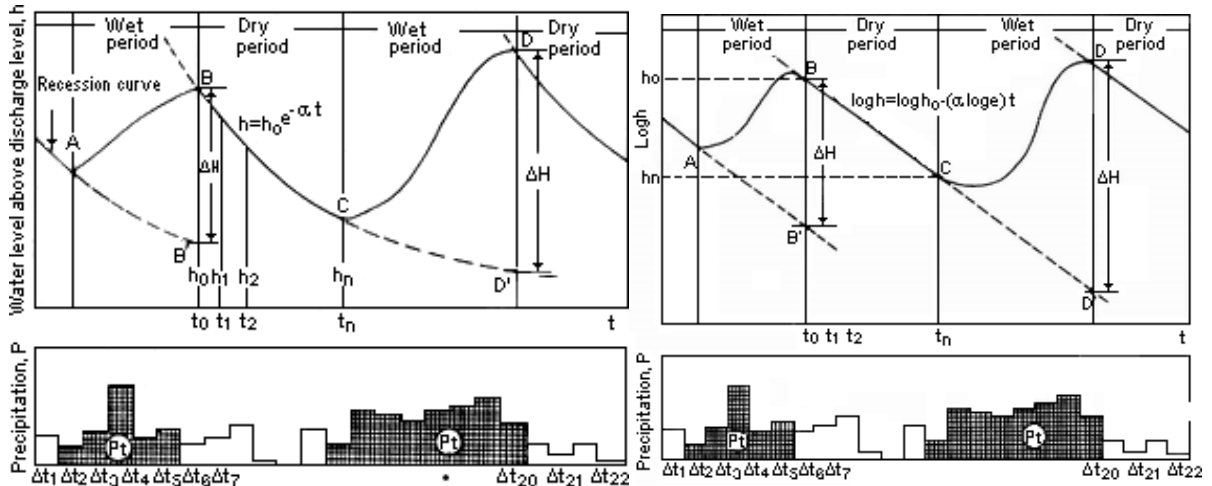


Рисунок 5.1 - Коливання рівня води, спричинені опадами, що поповнюють запаси води [90]

Записи про коливання рівня води у свердловинах є важливими та клопіткими для збору лише в тому випадку, якщо вони використовуються як основа для гідрологічних інтерпретацій. Навіть якщо записи про рівень води були важливими для приходження до висновків щодо поширення та розвитку ґрунтових вод у конкретних областях, багато з таких записів все ще очікує на інтерпретацію. Так само потребує аналізу багато кліматологічних та інших гідрологічних даних [93].

У загальному випадку можливо розрахувати амплітуду загального коливання рівня через інфільтрацію, якщо відомий загальний режим спаду, тобто поведінка водоносного горизонту без зовнішнього поповнення [92,90]. Подібно до будь-якої іншої експоненційної формули, на напівлогарифмічному графіку, коли рівень води вище рівня виливу відображається на логарифмічній шкалі, а час на арифметичній шкалі, криві спаду подаються практично як прямі лінії.

У логарифмічній системі з основою 10 формула має наступний вигляд [90]

$$\log h = \log h_0 - 0.4343at \quad (5.1)$$

Форма кривих спаду залежить від властивостей водоприймальності матеріалу водоносного горизонту, трансмісивності та геометрії [94].

Відновлення рівня ґрунтової води,  $dH$ , за природних гідрологічних умов є відображенням дзеркала кривої спаду. Відновлення рівня ґрунтової води змінюється з року в рік, залежно від кількості загального опадів ( $P_t$ ) у вологий період Рисунок 5.1.

Рівні ґрунтової води піддаються впливу сезонних циклів таких факторів, як поповнення від опадів, евапотранспірація та витік із свердловин, і демонструють сезонний патерн коливань [90]. Ступінь кореляції між коливаннями рівня ґрунтової води та коливаннями загальної кількості опадів ( $P_t$ ) у вологий період дає вказівку на ступінь зв'язку між поповненням та загальною кількістю опадів ( $P_t$ ) у вологий період.

Це дослідження розглядає безпосередню оцінку поповнення за допомогою відновлення рівня ґрунтової води ( $dH$ ) та загальною кількістю опадів ( $P_t$ ) протягом вологого періоду Рисунок 5.2.

Рівняння лінійної регресії має вигляд [90]

$$\Delta H = a + bP_t \quad (5.2)$$

де  $\Delta H$  - відновлення рівня ґрунтових вод, а  $P_t$  - сумарні опади за вологий період, а  $a$  і  $b$  - коефіцієнти регресії.

Інтервал опадів,  $P_e$  - це точка перетину прямої відновлення рівня ґрунтових вод з віссю нульових опадів (рис. 5.2), яка показує кількість поверхневого стоку та випаровування за той самий період. Відновлення або поповнення за рахунок опадів є функцією кількості загальних опадів ( $P_t$ ).

Якщо перехоплення становить  $P_e$ , то поповнення ( $P_s$ ) оцінюється як [90]

$$P_s = P_{tc} - P_e \quad (5.3)$$

де  $P_{tc}$  - результат обчислення загальної кількості опадів за допомогою рівняння [95] протягом вологого періоду року.

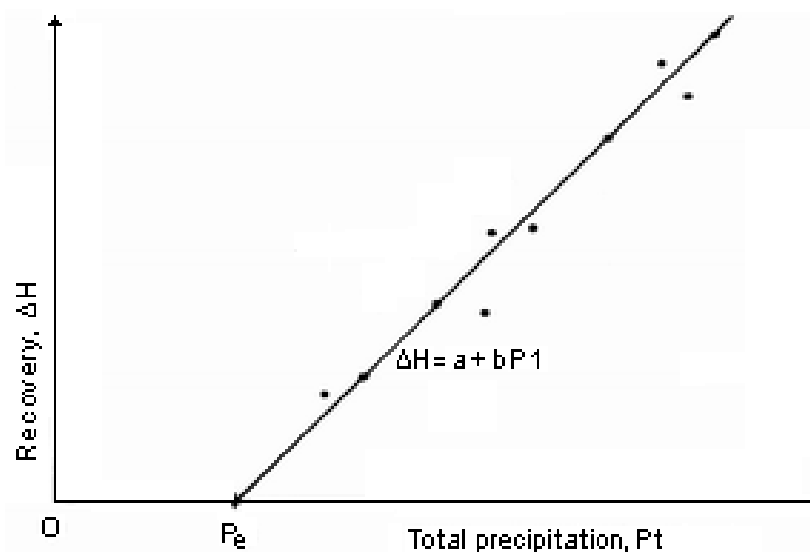


Рисунок 5.2 - Залежність відновлення рівня ґрунтових вод у водоносних горизонтах від загальної кількості опадів у вологий період [90]

Колодязь, розташований у селі Микуличин, був обраний, як об'єкт для вивчення та аналізу живлення підземних вод в Надвірнянському районі. Розташувавшись на координатах  $48^{\circ}25'6''$  широти та  $24^{\circ}36'31''$  довготи, на висоті 650 метрів над рівнем моря, він знаходиться в області з великим потенціалом для вивчення водних ресурсів.

Важливо відзначити, що живлення підземних вод на цій території здійснюється, в основному, завдяки атмосферним опадам, зокрема дощовим [94]. Ці опади впливають на вологу ґрунту та рівень води у колодязі. Значущим є той факт, що колодязь розташований недалеко від джерела. Нами була висунута і підтверджена гіпотеза тісного взаємозв'язку між дебітом води з джерела та рівнем води у колодязі, що підтверджується коефіцієнтом кореляції  $r^2 = 0.99$ . Це означає, що зміни в рівні води в колодязі майже на 100%

відповідають змінам в рівні води у джерелі, що робить ці два об'єкти ідеальними для порівняльного аналізу та подальшого дослідження.

Під час дослідження впродовж аналізованого періоду (з 2016 по 2022 роки) рівень води в колодязі був систематично і регулярно заміряний не один раз на день, а кілька разів, що дозволило отримати більш деталізовані та точні дані про його коливання. Ці регулярні вимірювання дозволяють більш глибоко досліджувати динаміку змін рівня води в колодязі та її кореляцію з опадами.

Результати цього дослідження можуть мати важливе значення для вивчення та планування використання водних ресурсів у Надвірнянському районі.

Дослідження живлення підземних вод методом Коркмаза виявляється чудовою альтернативою складним методам, які вимагають великої кількості додаткових даних, таких як склад ґрунтів та порід, щільність, кути нахилу, дренажні характеристики та інші параметри. Завдяки високій кореляційній залежності між рівнем води в колодязі та джерелом, метод Коркмаза дозволяє отримати науковий результат та зрозуміти процеси живлення підземних вод за допомогою мінімального набору вихідних даних.

Цей метод відкриває нові можливості для вивчення та моніторингу водних ресурсів, особливо в умовах, коли інші методи стають вкрай витратними та складними у реалізації через відсутність необхідних даних. Дослідження кількісних характеристик водних ресурсів Надвірнянського району методом Коркмаза відкриває новий підхід до аналізу та розуміння процесів живлення підземних вод та допомагає вирішити питання використання цих ресурсів туристичних дестинацій.

Дані про опади отримані за допомогою ресурсів EOS представлені в Таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Місячні та річні опади, в міліметрах в с. Микуличин

Рік	місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	142	155,2	45,9
2017	32,1	107,8	112,5	170,5	193,6	227,2	119,5	98,5	129,1	149,5	100,8	190,5
2018	30,8	66,7	63,1	26	70,7	195,6	174	78,4	42	38,3	48,2	76
2019	55,1	25,6	32,3	55,1	247	80,1	95	73,1	47,5	36,9	36	72,2
2020	20,3	90,4	56,5	25,8	163,5	204,4	98,2	44	120,4	81,7	26,5	41,8
2021	79,6	184,8	107,4	212,9	213,8	159,1	208,4	76,7	15,2	7,9	16,9	55,8
2022	31,5	26,6	11,2	34,6	34,9	18,1	55,5	32	37,4	-	-	-

Таблиця 5.2 містить дані про середньомісячні значення рівня води в досліджуваному колодязі, який розташований в с. Микуличин. Ці дані показують середньомісячний рівень води в цій свердловині протягом досліджуваного періоду. Дані про рівень води над рівнем скиду за період з січня 2016 року по січень 2022 року наведені в Таблиці 5.3.

Таблиця 5.2 - Середньомісячні значення рівня води в колодязі в с. Микуличин

Рік	місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	25,2	31,7	32,2	30,1	37,2	30,6	26,9	25,5	33,8	27,1	26,8	33,1
2018	24	24,6	27,5	26,4	31,9	37	34,8	37,4	26,9	23,3	22,7	21,2
2019	22,8	19	16,4	16,8	30,5	34,5	27,9	27,8	21,4	16,6	16,2	18,3
2020	16	18,9	20,1	20,9	28,4	33,3	28,1	19,8	24,2	29,7	24	18,8
2021	15,8	27	38,6	36,8	39,1	32,7	38,7	34,5	24	22,1	16,8	22,5
2022	18,5	19,9	20,1	18,6	17,5	16,2	17	19,5	20,1	18,8	19,1	17,5

Таблиця 5.3 - Рівень води від максимального рівня, у спостережній свердловині в с. Микуличин

Рік	місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	15,8	9,3	8,8	10,9	3,8	10,4	14,1	15,5	7,2	13,9	14,2	7,9
2018	17	16,4	13,5	14,6	9,1	4	6,2	3,6	14,1	17,7	18,3	19,8
2019	18,2	22	24,6	24,2	10,5	6,5	13,1	13,2	19,6	24,4	24,8	22,7
2020	25	22,1	20,9	20,1	12,9	7,7	12,9	21,2	16,8	11,3	17	22,2
2021	25,2	14	2,4	4,2	1,9	8,3	2,3	6,5	17	18,9	24,2	18,5
2022	22,5	21,1	20,9	22,4	23,5	24,8	24	21,5	20,9	22,2	21,9	23,5

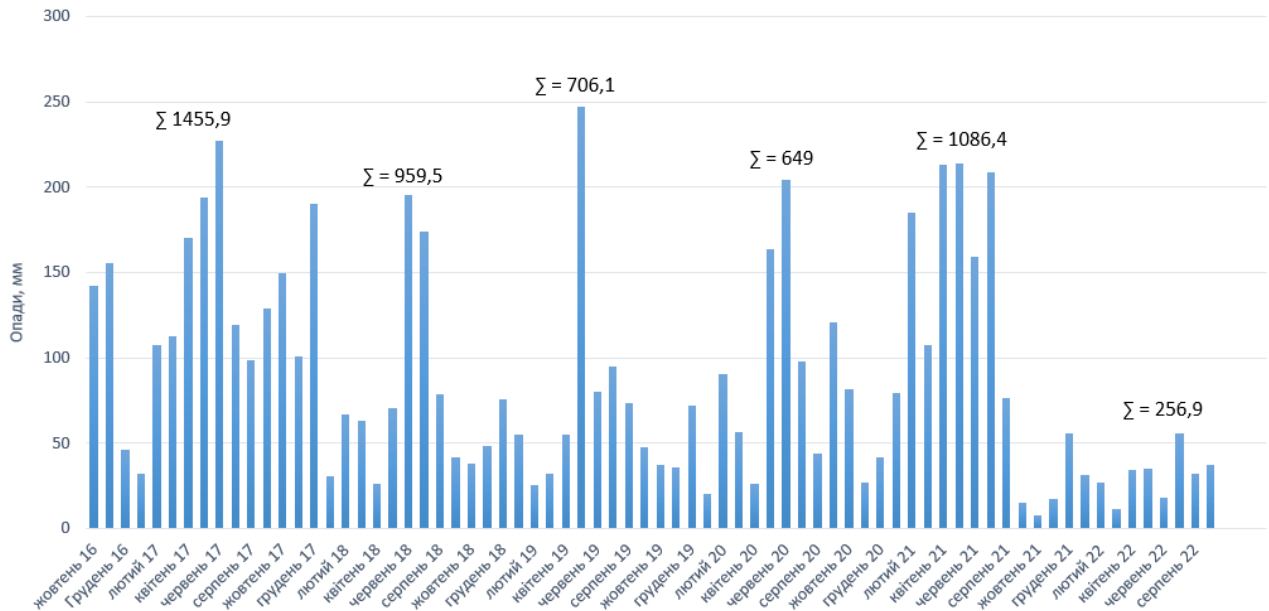


Рисунок 5.3 – Середньомісячна кількість опадів в Надвірнянському районі з 2016 по 2022 роки

Варто зазначити, що в той час як ми використовували Excel і комп'ютеризований підхід для зручності, оригінальний метод Коркмаза, як описано в статті, виконувався вручну з папером і нанесеними графіками.

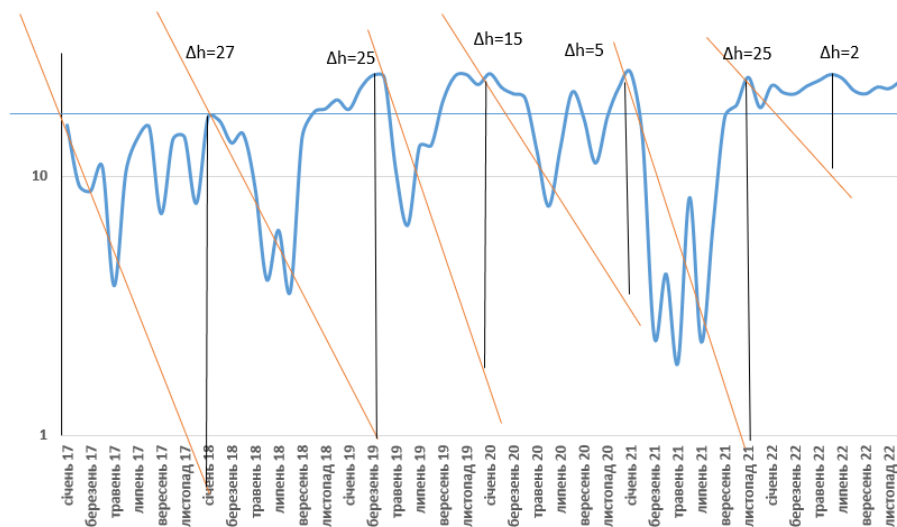


Рисунок 5.4 - Коливання рівня води в досліджуваному колодязі, спричинені опадами, що поповнюють запаси води



Рівень підземних вод коливається природним чином у відповідь на послідовність кліматичних подій і на обмеження, що накладаються гідрогеологічними і топографічними характеристиками.

Поповнення ґрунтових вод є найбільшим протягом весна-літо. Осінню та зимою поповнення рівня ґрунтових вод є незначним і рівень ґрунтових вод знижується (рис. 5.3 і 5.4).

Відновлення рівня води ( $\Delta H$ ) та сумарної кількості опадів ( $P_t$ ) протягом вологого періоду року для 2016-2022 водних років наведено на рис. 5.3 та 5.4. Результати лінійного регресійного аналізу наведені на рисунку 5. Рівняння лінійної регресії для обраного періоду наведено нижче (рис. 5.5).

$$\Delta H = 4,037 + 0,0241 P_t \quad (5.4)$$

Середній рівень опадів ( $P_e$ ) цього водоносного горизонту становить 170 мм (рис. 5.5). Розраховані значення ( $P_t$  с) сумарних опадів за допомогою рівняння (4) для водних років 2016-2022 рр. наведені в таблиці 4.

Результати розрахунку живлення за рахунок атмосферних опадів ( $P_s$ ) цього водоносного горизонту за рівнянням (4) для цього ж періоду наведені в табл. 5.3 та на Рисунок 5.5.

Щорічне поповнення на цій ділянці протягом досліджуваного періоду коливається від 782 міліметрів у 2017 році до -254 міліметрів у 2022 році, що свідчить про можливе пересихання деяких менших за об'ємом водоносних пластів в 2022 році. Середньорічне поповнення за період з 2017 по 2022 рік становить 347 міліметрів (Таблиця 5.3). Це становить близько 32,88 відсотків від середньорічної кількості опадів.

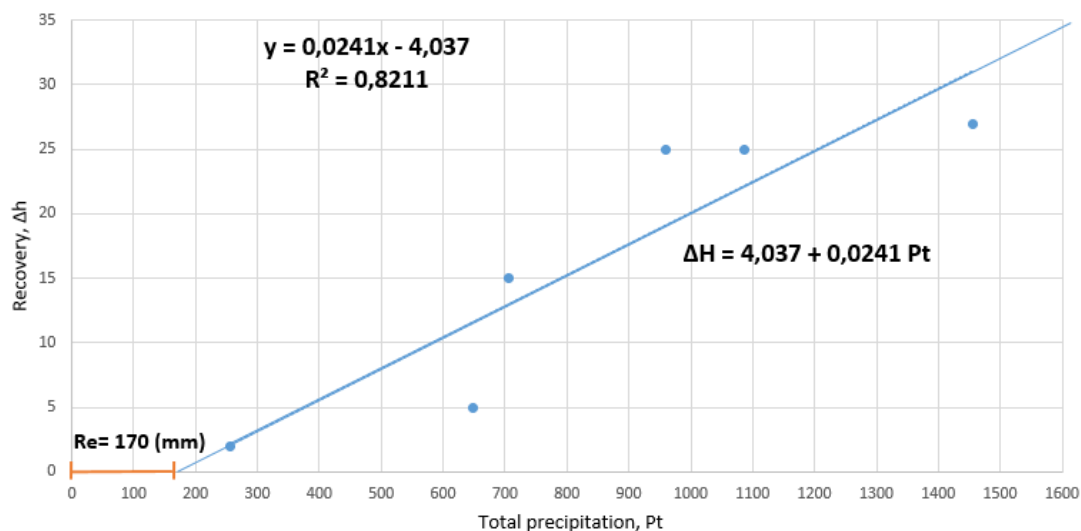


Рисунок 5.5 - Загальна кількість опадів за вологий період - Відновлення рівня ґрунтових вод в с. Микуличин та досліджуваній свердловині

Таблиця 5.3 - Зведені гідрологічні характеристики с. Микуличин та досліджуваної свердловини

Колодязь: с. Микуличин, 48°25'6" 24°36'31" Дані про опади: EOS Crop Monitoring				$(\Delta h-b)/m$	$P_{comp} - Re$	
Рік	Precip $\Delta h$	TotalP	$\Delta h$	Precip Comp	Recharge	
2017	1455,9	1533,9	27	952,8215768	782,8215768	
2018	959,5	1188,1	25	869,8340249	699,8340249	
2019	706,1	873,3	15	454,8962656	284,8962656	
2020	649	968,6	5	39,95850622	-130,0414938	
2021	1086,4	1407,9	25	869,8340249	699,8340249	
2022	256,9	362,4	2	84,52282158	-254,5228216	
<b>Середнє</b>	<b>852,3</b>	<b>1055,7</b>	<b>16,5</b>	<b>517,13693</b>	<b>347,1369</b>	<b>Поновлення 32,88%</b>

У результаті проведеного дослідження, присвяченого аналізу живлення підземних вод в селі Микуличин, Надвірнянському районі методом Коркмаза, були отримані важливі висновки, що сприятимуть кращому розумінню режиму підземних вод та їх використання в цьому регіоні.

Перш за все, дослідження показало, що живлення підземних вод в селі Микуличин відбувається переважно за рахунок атмосферних опадів, які складають значущу частку загальних опадів у регіоні. Середньорічна кількість

опадів становила 1055,7 міліметрів, що свідчить про важливість атмосферних опадів як джерела води для підземних вод у даному регіоні.

Важливим результатом є також встановлена кореляційна залежність між дебітом води з джерела та рівнем води в колодязі, яка була практично на рівні 0,99. Це свідчить про високу кореляційну залежність між двома об'єктами, що дає можливість використовувати результати дослідження на джерело води та колодязь для ефективного управління та прогнозуванням рівня води.

Окрім цього, дослідження показало динаміку змін в рівні води та кількості опадів протягом років. Щорічне поповнення води варіювалося від 782 міліметрів в 2017 році до -254 міліметрів в 2022 році, що може свідчити про можливе пересихання деяких водоносних пластів. Середньорічне поповнення протягом періоду з 2017 по 2022 роки становило 347 міліметрів, що становить близько 32,88% від середньорічної кількості опадів.

З урахуванням отриманих результатів, наша робота важлива для подальших розвідок та планування водних ресурсів в селі Микуличин та подібних регіонах. З врахуванням змін в кліматі та розвитку господарської діяльності, розуміння живлення підземних вод є ключовим фактором для забезпечення сталості водних ресурсів та їх ефективного використання.

Наукова новизна роботи полягає в застосуванні методу Коркмаза для аналізу живлення підземних вод у визначеному регіоні та в з'ясуванні залежностей між опадами та рівнем води в колодязях. Дослідження спрямоване на поглиблене розуміння водного циклу та може мати важливе практичне застосування для керування та планування водних ресурсів на вивченій території та в подібних географічних умовах.

Майбутні дослідження в цьому напрямку можуть включати докладніші розгляди гідрогеологічних умов та їх впливу на живлення підземних вод у даному регіоні, а також аналіз впливу змін в кліматі на режим підземних вод.

Такі дослідження допоможуть розвинути більш ефективні стратегії управління водними ресурсами та забезпечити їх стале використання в майбутньому.

## **5.2 Моделювання потенційних зон ґрунтових вод досліджуваної території методами аналітичної ієрархії та GIS**

Ґрунтові води є одним із найважливіших джерел водопостачання для різних регіонів нашої планети та України. Вони відіграють ключову роль у забезпеченні питною водою, сільськогосподарськими потребами, промисловими процесами та екосистемними функціями.

Надвірнянський район, розташований в Івано-Франківській області України, не є винятком у цьому відношенні. Забезпечення сталої та надійної доступності ґрунтових вод у цьому регіоні стає все більш важливим завданням в умовах зміни клімату та розвитку туристичної інфраструктури.

Індекс потенціалу ґрунтових вод (GWPI) є інструментом [96], призначеним для кількісної оцінки гідрологічного стану підземних водних ресурсів в конкретному регіоні. Цей індекс враховує різні фактори, такі як глибина ґрунтових вод, водозабезпечення, якість води, гідравлічні властивості ґрунтових водних шарів та багато інших. Оцінка GWPI допомагає розуміти, яким чином ґрунтові води можуть задовольняти потреби населення та господарства, а також виявляти можливість впливу гідрологічних факторів на середовище.

Пропонується детальне дослідження потенціалу ґрунтових вод у Надвірнянському районі, Івано-Франківської області. Ця робота має на меті розкрити важливі аспекти стану ґрунтових вод та їхнього використання в цьому регіоні, а також надати практичні рекомендації для ефективного управління водними ресурсами.

Застосовано метод аналітичної ієрархії (Analytic Hierarchy Process, АНР) [98] в контексті розробки індексу потенціалу ґрунтових вод (GPWI) [96].

Вважається, що АНР допомагає структурувати і враховувати різні фактори, які впливають на потенціал ґрунтових вод в досліджуваному регіоні.

Завдяки методу АНР призначено вагу різним факторам, таким як глибина ґрунтових вод, якість води, гідравлічні властивості, геологічна структура тощо. Це допомагає нам краще розуміти, які аспекти мають більший вплив на потенціал ґрунтових вод у моїй області [98].

Застосування методу АНР до розробки GPWI робить процес оцінки більш об'єктивним і науково обґрунтованим, що в свою чергу допомогло нам прийняти інформовані рішення з управління ґрунтовими водами. Більш теоретичний підхід АНР дозволяє покращити точність та надійність індексу GPWI [98], забезпечуючи більшу ефективність в розвитку і управлінні водними ресурсами у досліджуваному регіоні рис.5.6.

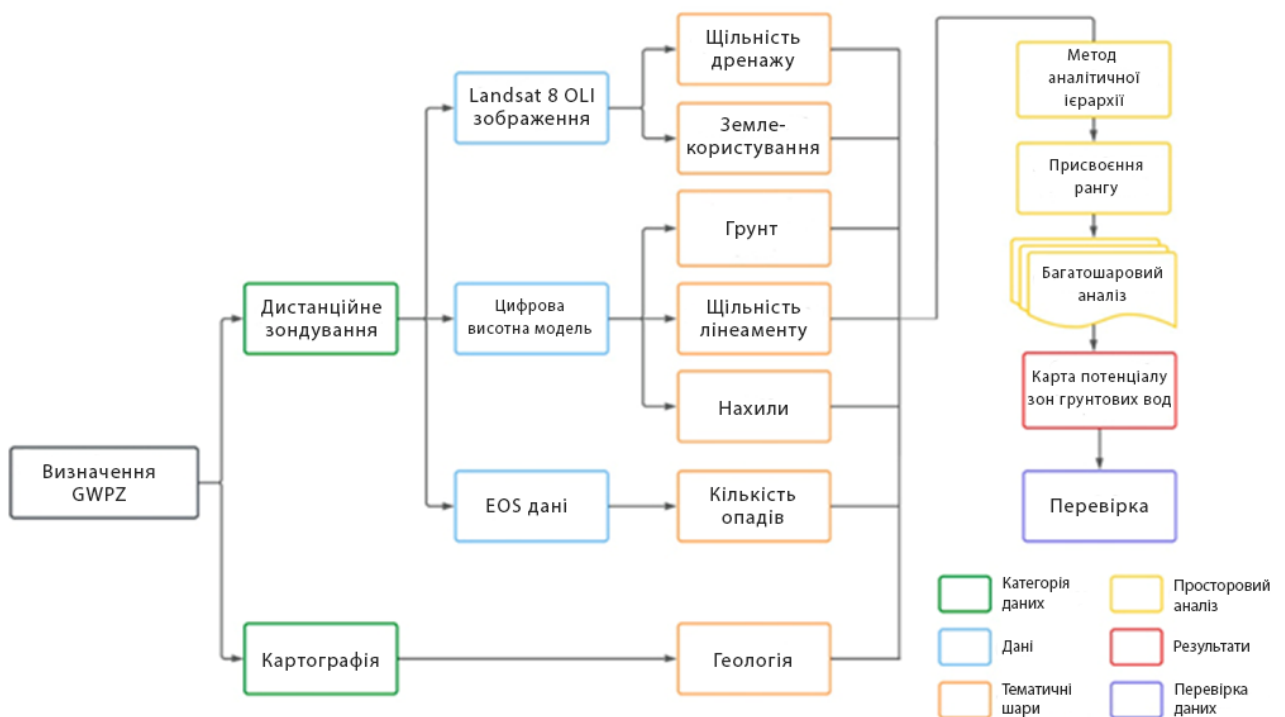


Рисунок 5.6 - Блок-схема методології, що використовується для картування потенційних зон підземних вод.

Для визначення зон використовувалась формула GPWI [96]

$$GWPI = \sum_{w=1}^m \sum_{j=1}^n (W_j \times X_i) \quad (5.5)$$

Де GWPI - індекс потенціалу ґрунтових вод.

$W_j$  - ваговий коефіцієнт для фактора  $j$ .

$X_i$  - значення фактора  $i$ .

$n$  - кількість факторів.

$m$  - кількість варіантів оцінки для факторів.

Еволюція і потік підземних вод в основному контролюються матеріальними особливостями літології, приповерхневими і підземними особливостями ґрунту, структурою і схемами дренажу, тоді як на поповнення підземних вод впливають кількість опадів, тип землекористування і швидкість інфільтрації.

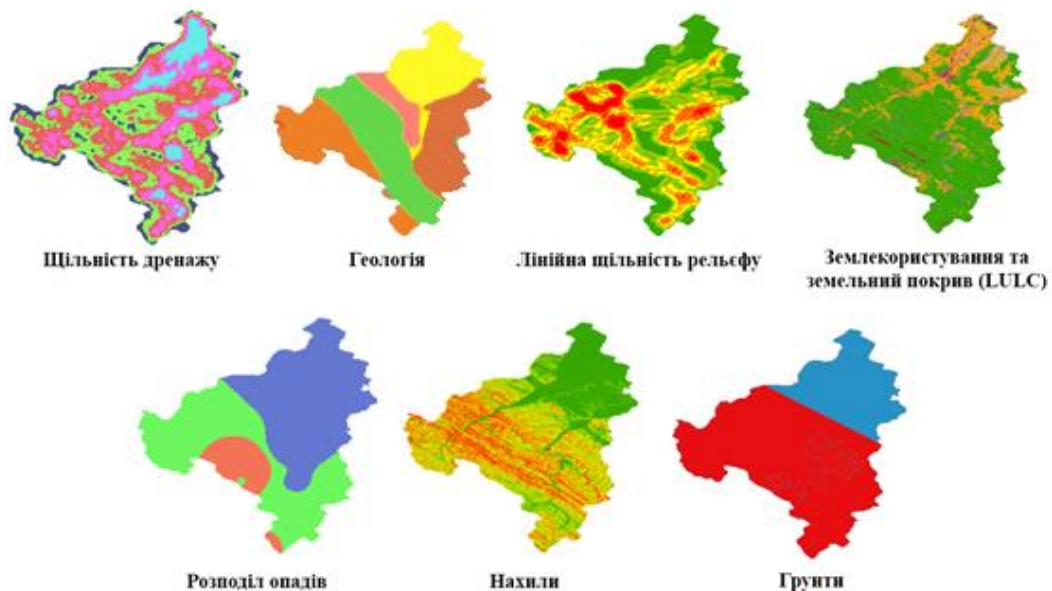


Рисунок 5.7 - Інформаційні цифрові карти, які містять інформацію про певний параметр і відображають різні гідрологічні аспекти досліджуваної території:

"Щільність дренажу", "Опади", "Землекористування та земельний покрив (LULC)", "Схил", "Ґрунт", "Геологія" та "Лінійна щільність рельєфу"

Створено гідрологічну карту щільності дренажу, отримали інформацію про розподіл води та її рух на території, де вона накопичується та як швидко інфільтрується в ґрунт, що є важливим для контролю розподілу стоку та регулювання швидкості інфільтрації в гідрологічній системі.

Другий вид карти - дощові опади - визначає місця та час інтенсивних опадів, які впливають на збагачення водними ресурсами та дозволяють прогнозувати потоки води та розробляти стратегії управління водними ресурсами [102] рис.5.7.

Карта землекористування та земельного покриву (LULC) вказує на розподіл різних типів ґрунтів та використання землі, що впливає на процеси інфільтрації та доступність водних ресурсів. Карта нахилу дозволяє визначити енергію водного потоку, ідентифікуючи території з великими нахилами рис.5.7.

Карта ґрунту вказує на різницю в інфільтрації води в ґрунт, що впливає на зберігання та доступність ґрунтових вод. Геологічна карта відображає розподіл геологічних формацій, контролюючи інфільтрацію, рух та зберігання води. Карта щільності лінійного рельєфу показує місця з підвищеною гідравлічною провідністю, сприяючи зростанню можливості води проникати в ґрунт та розподілятися по поверхні рис.5.7.

На зображеннях 5.8 та 5.9 відображено ваги критеріїв, отримані в результаті аналізу оцінок одного експерта.

Описано сім критеріїв, які впливають на GWPI, та визначено їх відносні ваги, які виражають ступінь важливості кожного критерію в загальній оцінці GWPI. Зокрема, "Rainfall" (Опади) [97] має найвищу вагу  $32,7\% \pm 17,0\%$ , що вказує на його значну роль у визначенні потенціалу ґрунтових вод. "Geology" (Геологія) та "Slope" (Нахил) мають ваги  $18,7\% \pm 8,1\%$  [99] та  $30,6\% \pm 11,1\%$  відповідно, що підкреслює їхнє ключове значення у формуванні GWPI. Інші критерії включають "Drainage density" (Щільність дренажу) з вагою  $5,9\% \pm 1,8\%$  [101], "LULC" (Використання земель та покриття) з вагою  $5,1\% \pm 1,9\%$ ,

"Lineament density" (Щільність лініаментів) з вагою  $3,9\% \pm 1,0\%$  та "Soil" (Ґрунт) з вагою  $3,2\% \pm 1,2\%$  [100] табл.5.4.

Вказано, що кількість критеріїв (n) становить 7, а кількість учасників (N) – 1. Значення консистентності рівня (Consistency Ratio - CR) становить 5,5%, що є нижче порогу 10% і вказує на прийнятну консистентність експертних оцінок. Власне значення (Eigenvalue) системи становить 7,439, що є важливим для визначення консистентності в рамках АНР. Окрім того, зазначено, що шкала значень (Scale) для порівнянь по парах становить 1, що є результатом використання уніфікованої шкали вагомості.

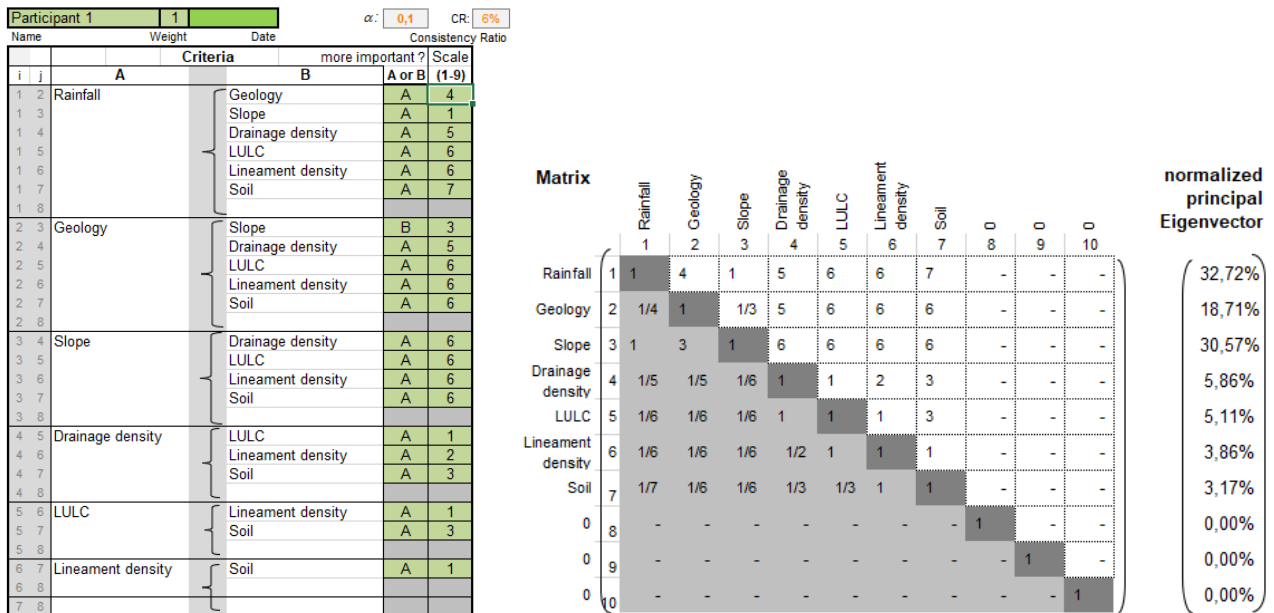


Рисунок 5.8 – Експертна оцінка та вага чинника

Таблиця 5.4 – Визначена вага кожного з застосованих чинників

Категорія	Вплив (%)
Розподіл опадів	32,72
Геологія	18,71
Нахили рельєфу	30,57
Щільність дренажу	5,86
Землекористування та лісовий покрив	5,11
Лінійна щільність	3,86
Ґрунти	3,17
<b>Загалом</b>	<b>100</b>



## AHP Analytic Hierarchy Process (EVM multiple inputs)

K. D. Goepel Version 15.09.2018

Free web based AHP software on: <http://bpmsg.com>

Only input data in the light green fields and worksheets!

n=  Number of criteria (2 to 10) Scale:  **AHP 1-9**

N=  Number of Participants (1 to 20)  $\alpha$ :  Consensus:

p=  selected Participant (0=consol.) 2 7 **Consolidated**

Objective Identification of Groundwater Potential Zone and Mapping using GIS/Remote Sensing Techniques and Analytic Hierarchy Process (AHP)

Author Date Thresh:  Iterations: 6 EVM check: 3,4E-10

Table	Criterion	Comment	Weights	+/-
1	Rainfall		32,7%	17,0%
2	Geology		18,7%	8,1%
3	Slope		30,6%	11,1%
4	Drainage density		5,9%	1,8%
5	LULC		5,1%	1,9%
6	Lineament density		3,9%	1,0%
7	Soil		3,2%	1,2%
8			0,0%	0,0%
9		for 9&10 unprotect the input sheets and expand the	0,0%	0,0%
10		question section ("+" in row 66)	0,0%	0,0%

Result

Eigenvalue Lambda:  MRE:

Consistency Ratio 0,37 GCI:  Psi:  CR:

Рисунок 5.9 – Результат аналітики ієрархічних процесів

Отримали наступні показники. Перша зона, яка має бідний потенціал, охоплює невелику площу, приблизно 0,166 квадратних кілометрів, на досліджуваній території. Друга зона має середній потенціал і охоплює значну площу, приблизно 71,915 квадратних кілометрів, що свідчить про середній рівень водних ресурсів та гідрологічних умов на цій території. Третя зона з добрим потенціалом охоплює велику площу, приблизно 140,629 квадратних кілометрів, що свідчить про сприятливі гідрологічні умови та наявність значних водних ресурсів. Четверта зона має відмінний потенціал, хоча її площа дуже невелика - всього 0,554 квадратних кілометрів. Та ця зона вирізняється високими гідрологічними можливостями табл.5.5 та рис.5.10.

Таблиця 5.5 – Визначення зон потенціалу ґрунтових вод

№	Потенціал зони	Площа (км <sup>2</sup> )
1	Бідний	0,166341
2	Середній	71,91476
3	Добрий	140,6294
4	Відмінний	0,55447

Ці дані надають важливу інформацію щодо різного рівня гідрологічного потенціалу різних зон на досліджуваній території. Такий аналіз може бути корисним при розробці стратегій управління водними ресурсами та охорони природи цієї області.

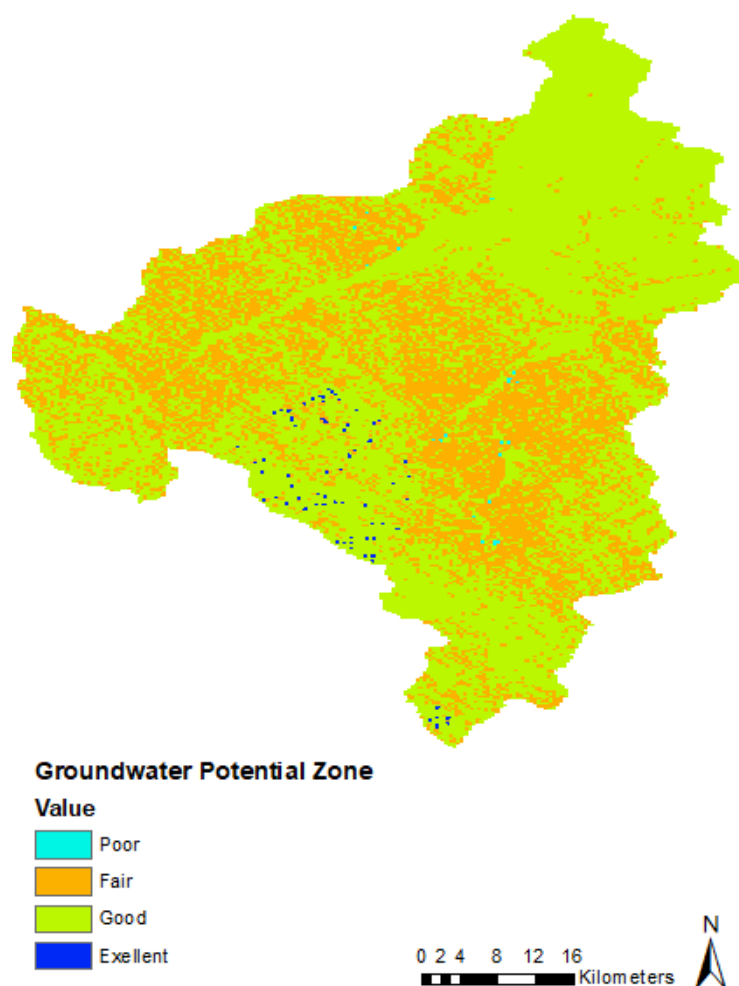


Рисунок 5.10 - Карта розподілу областей за різним потенціалом ґрунтових вод на основі аналізу всіх створених карт з аналітичною ієрархією

У даному дослідженні було вперше використано методи аналітичної ієрархії (АНР) та GWPI для аналізу гідрологічних умов і визначення потенціалу ґрунтових вод на території Надвірнянського регіону, який є популярним туристичним напрямком. Ця методологія дозволила отримати важливу інформацію щодо водних ресурсів цього регіону, що має велике значення для його природоохоронного та господарського розвитку.

За допомогою методу АНР та GWPI вдалося вперше детально оцінити та класифікувати гідрологічний потенціал Надвірнянського регіону. Це дозволяє вживати науково обґрунтовані заходи для збереження та раціонального використання водних ресурсів цього туристичного регіону, що є важливим для його сталого розвитку і збереження природних екосистем.

### **5.3 Моделювання руху ґрунтових вод та забруднення туристичним сектором підземних водних джерел**

У методі D8 напрямок потоку визначається напрямком найкрутішого спуску, або максимального падіння, від кожної комірки (Jenson and Domingue, 1988). Це розраховується таким чином [104]:

$$\text{maximum\_drop} = \text{change\_in\_z-value}/\text{distance} \quad (5.6)$$

Відстань розраховується між центрами комірок. Наприклад, якщо розмір комірки дорівнює 1, відстань між двома ортогональними комірками дорівнює 1, а відстань між двома діагональними комірками дорівнює квадратному кореню з 2. Якщо максимальне спускання до кількох комірок однакове, околиці збільшуються до тих пір, поки знайдено найкрутіший спуск.

Коли знайдено напрямок найкрутішого спуску, вихідна комірка кодується значенням, що представляє цей напрямок.

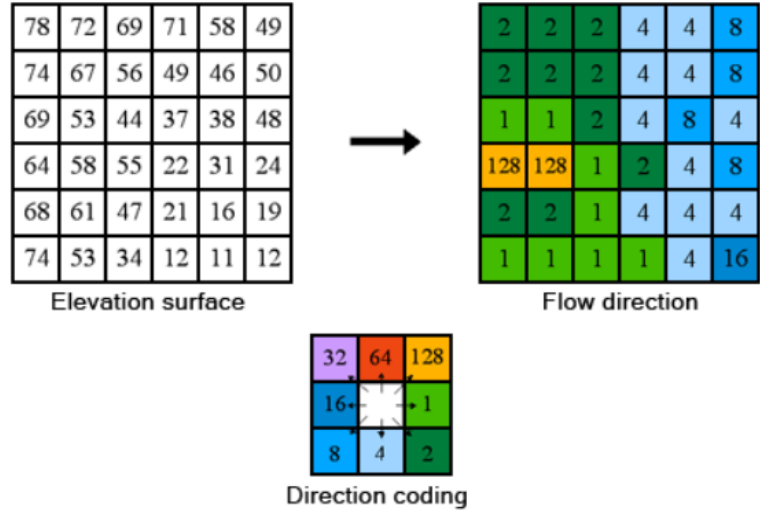


Рисунок 5.11 – Кодування напрямку потоку [104]

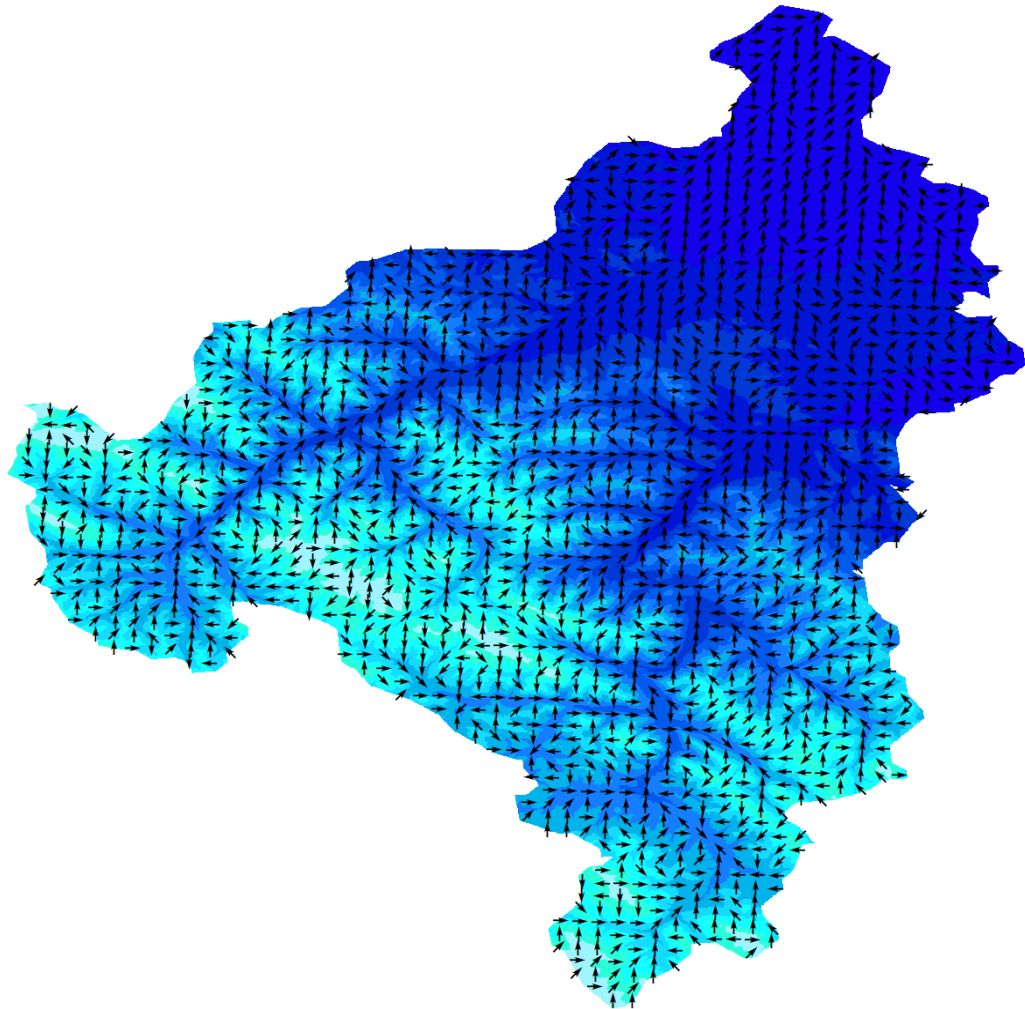


Рисунок 5.12 – Модель руху ґрунтових вод

Якщо всі сусіди знаходяться вище клітинки обробки, це буде вважатися шумом, буде заповнено до найнижчого значення сусідів і матиме напрямок потоку до цієї клітинки. Однак, якщо приймач з однією коміркою знаходиться поруч із фізичним краєм растру або має принаймні одну сусідню клітинку NoData, вона не заповнюється через недостатню інформацію про сусіда. Щоб вважатися справжнім одноклітинним приймачем, має бути присутня вся інформація про сусідів [104].

Якщо дві клітини течуть одна до одної, вони є стоками і мають невизначений напрямок потоку. Цей метод визначення напрямку течії з цифрової моделі рельєфу (ЦМР) представлений у Дженсона та Домінге (1988) рис.5.11.

На рис.5.12 представлена тривимірна векторна модель, що ілюструє напрямки стоку води на певній території. Використання синього кольору для векторів, які показують напрямок водного стоку, дані бути отримані з аналізу цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Вектори мають різну довжину та орієнтацію, що дозволяє визначити шляхи стоку води та потенційні водозбори.

Розроблена тривимірна модель демонструє рельєф території, де кожен вектор вказує на напрямок найбільшого ухилу з кожної точки. Ця інформація є ключовою для аналізу гідрологічних процесів, таких як водозбір, ерозія, осушення або інфільтрація води у ґрунт. Модель може бути використана для планування водогосподарських заходів, управління водними ресурсами та оцінки ризику повеней.

Карпатський регіон відзначається унікальною геологічною будовою, яка має важливе значення для руху ґрунтових вод і потенційного забруднення. Основну частину гірських порід тут складає фліш, який характеризується ритмічним чергуванням пісковиків, глинистих сланців та вапняків. Метою даного моделювання є визначення руху ґрунтових вод та впливу туристичної

діяльності, зокрема діяльності вольєрного господарства, на якість підземних водних джерел.

Гірська порода карпат – в більшості складається з флішу. Це пісковики, глинисті сланці, вапняки. Більша частина карпатських гір складається з потужних товщ пісковиків і сланців, що ритмічно чергуються. Такі товщі називаються флішем.

Для моделювання було зібрано дані за координатами джерела Жонка (48.44515, 24.53697) 536 м.н.р.м. та вольєрного господарства (48.44565, 24.53940) 570 м.н.р.м., відстань між якими складає 180 метрів, а різниця абсолютних висот 34 метри. Визначено геологічну проникність та пористість флішу з домішками сланцю, які складають -  $10^{(-9)}$  м<sup>2</sup> та 5% відповідно. Використовуючи параметри MODFLOW і MT3DMS [40], була побудована модель для симуляції можливого руху та забруднення ґрунтових вод органічними відходами від вольєрного господарства, яке в середньому генерує 60 літрів вологих фекальних відходів на день.

Гradient тиску (dh/dl) було визначено як:

$$dh/dl = (536 - 570) / 180 = -34 / 180 = -0.1889 \quad (5.7)$$

Таким чином, значення градієнта тиску (dh/dl) становить приблизно - 0.1889. Просочуваність кількості опадів в ґрунтові води для Надвірнянського регіону 33%, що було встановлено в попередніх дослідженнях. Для схематичної візуалізації моделюючих елементів розроблено схему розташування туристичного комплексу (джерела потенційного забруднення) рис.5.13.

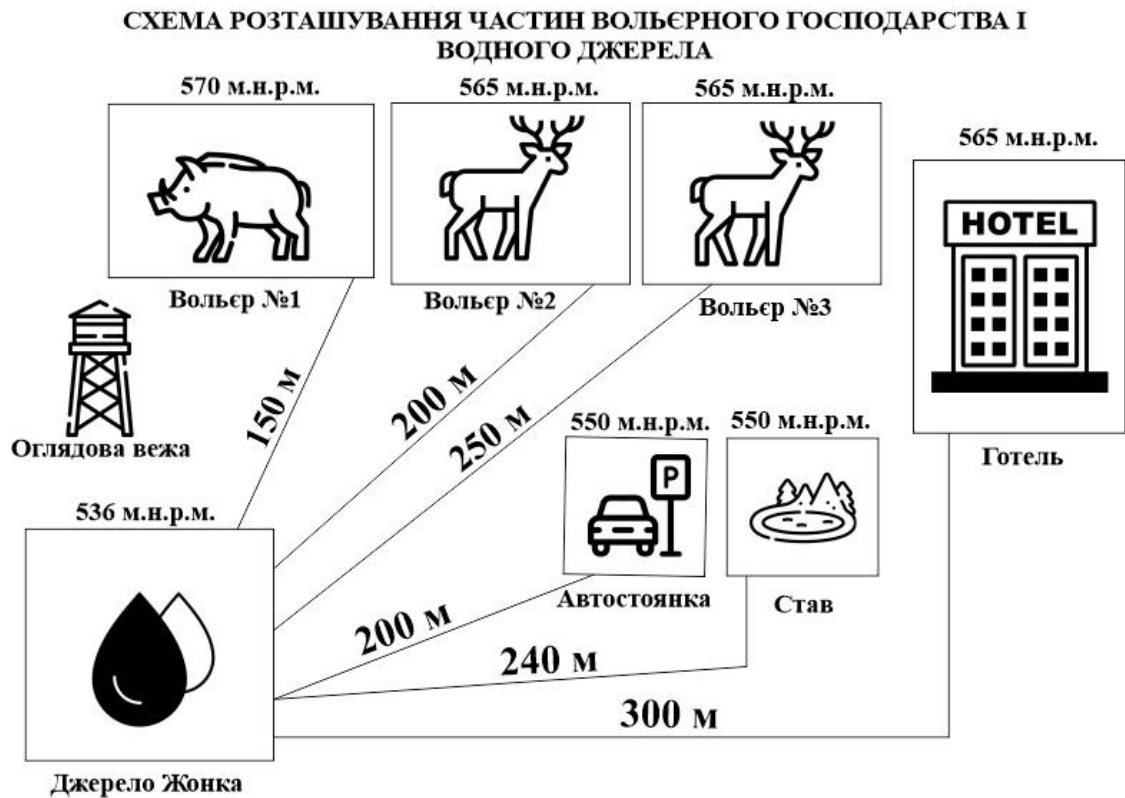


Рисунок 5.13 – Схема розташування туристичного комплексу (джерела потенційного забруднення)

Щоб порахувати кут нахилу рельєфу з різницею висот 34 метри та відстанню 208 метрів, використаємо формулу:

$$\text{Кут нахилу} = \arctan(\text{різниця висот} / \text{горизонтальна відстань}) \quad (5.8)$$

Вираз "arctan" означає обернену тангенс функцію. Щоб отримати відповідь у градусах, можна також скористатися функцією конвертації радіан в градуси. Таким чином, отриманий кут нахилу рельєфу становить 6.588 градусів.

Знайдемо довжину (l) підземної ділянки під пагорбом, використовуючи теорему Піфагора, оскільки пагорб можна розглядати як гіпотенузу правильного трикутника, а висота - одну з його катетів:  $l = \sqrt{(208^2 - 24^2)} \approx \sqrt{(43264 - 576)} \approx \sqrt{42688} \approx 206.63$  метри (округлено до двох знаків після коми). Знаходимо площу перерізу (A) трикутника:

$$A = (1/2) * h * l \quad (5.9)$$

Отримали,  $A = (1/2) * 24 * 206.63 \approx 2483.56 \text{ м}^2$  (округлено до двох знаків після коми). Знаходимо градієнт висоти ( $dh/dl$ ) нахилу пагорба [105]:

$$dh/dl = h / l \quad (5.10)$$

Де,  $dh/dl = 24 / 206.63 \approx 0.116 \text{ м/м}$  (округлено до трьох знаків після коми).

Тепер розрахуємо перетік води ( $Q$ ) через пагорб, використовуючи рівняння Дарсі-Вейсбаха [105]:

$$Q = K * A * (dh / dl) \quad (5.11)$$

Отже,  $Q = (4.6 \times 10^{-4}) * 2483.56 * 0.116 \approx 0.133 \text{ м}^3/\text{с}$  (округлено до трьох знаків після коми). Отже, оцінений перетік води через пагорб становить приблизно  $0.133 \text{ м}^3/\text{с}$ . Гідравлічна провідність річки визначили за формулою [105]:

$$CRIV = \frac{K * L * W}{M} \quad (5.12)$$

Гідравлічна провідність річки =  $(1.17e-3 * 20 * 10) / 1\text{м} = 0.234 \text{ м/с}$ . Підживлення джерелом  $150 \text{ мл/с}$  (дебіт) \*  $(0.001 \text{ м}^3/1 \text{ л}) = 0.15 \text{ м}^3/\text{с}$ . Використовуємо  $-0.15 \text{ м/с}$  оскільки моделюємо підживлення. Отримані дані занесли в програмний пакет MODFLOW та MT3DMS табл.5.6

Таблиця 5.6 – Параметри для моделювання

№	Параметри моделі		MODFLOW параметри		MT3DMS параметри	
1	Розмір комірки	20 м 25x25	Підживлення території	1.2e-8 м/с	Тип реакції	Без кінетичної реакції
2	Перепад висот	34 м	Підживлення (симуляція пагорба)	0.133 м/с	Початкова концентрація	0
3	Налаштування шару	необмежений	Гідравлічна провідність річки	0.234 м/с	Адвекція	0.75
4	Статус комірки	MODFLOW/ Transport models	Свердловина	-0.15 м/с	Дисперсія	10
5	Час	6.3115e <sup>9</sup> з кроком 3.15e <sup>8</sup>	Потенціал ґрунтових вод	Fair	Розподіл концентрації поглинач/джерела	30 мг/м <sup>3</sup>



6	Початкові та задані гідравлічні напори	10			Зона забруднення	180x140м 160x120м 140x100м
7	Горизонтальна гідравлічна провідність	$4.6 \times 10^{-4}$ м/с				
8	Ефективна пористість	0.05				

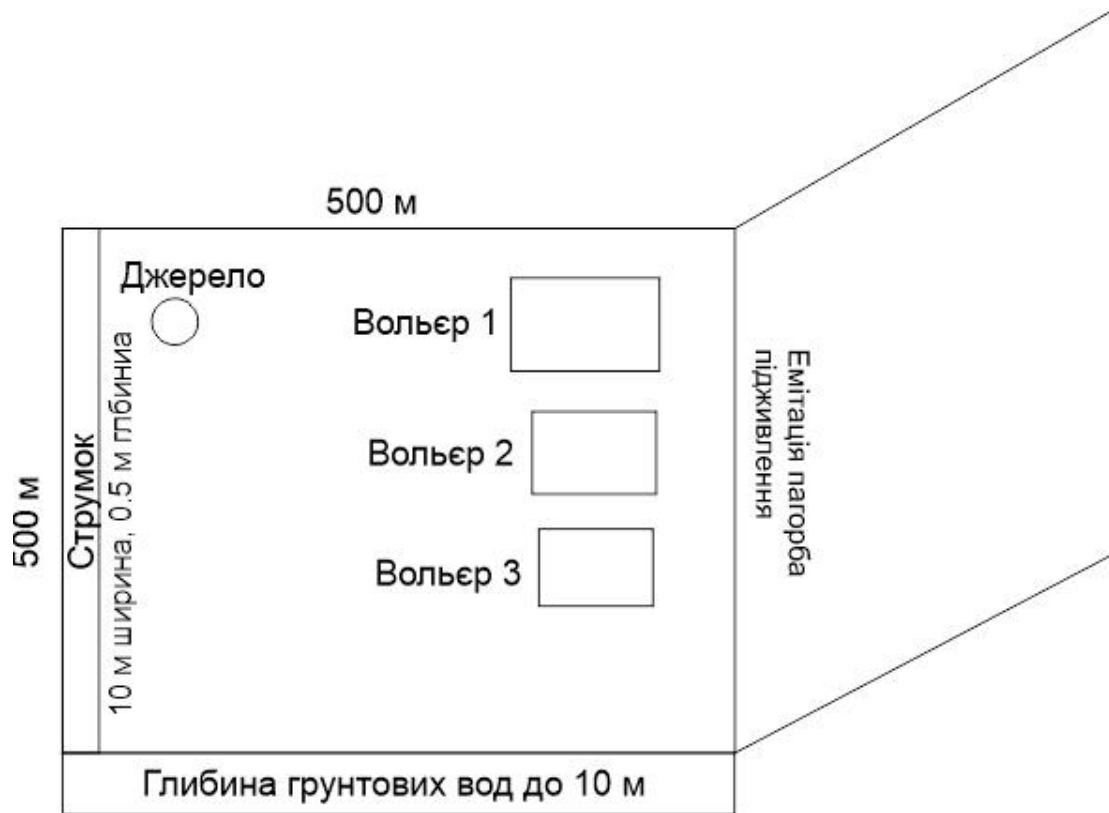


Рисунок 5.12 – Схема моделі

Візуалізували основні параметри моделі на рис. 5.12 для орієнтації в моделюючих процесах та для кращого розуміння рисунків 5.13 та напрямів поширення забруднення.

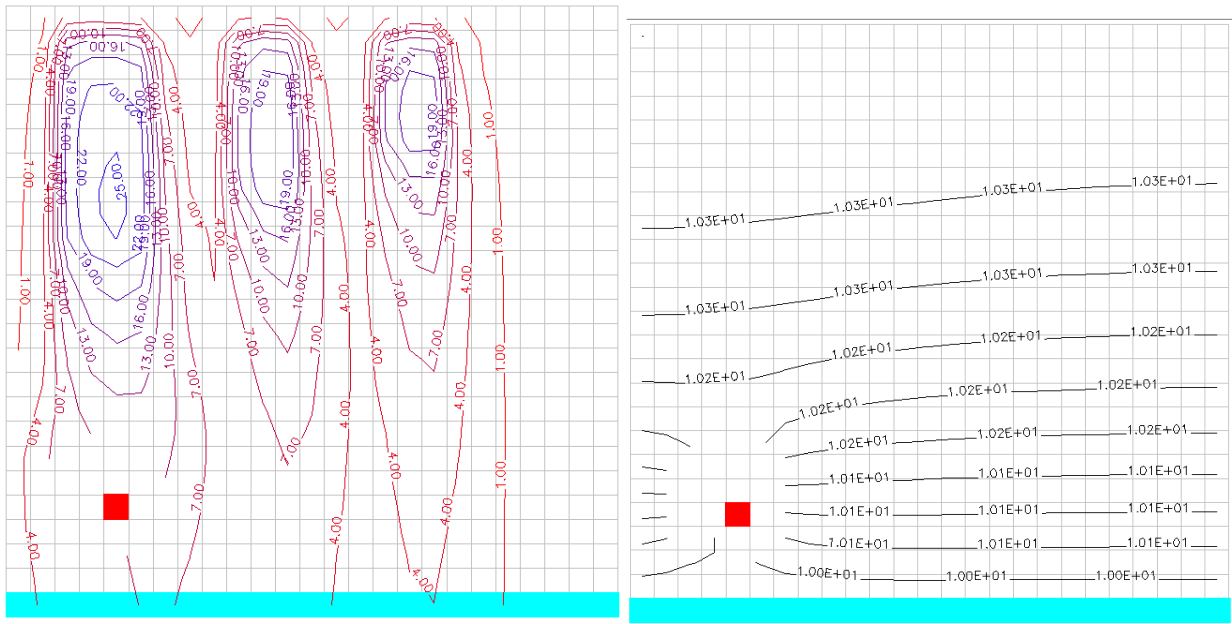


Рисунок 5.13 – Результат моделювання забруднення джерела і руху ґрунтових вод

В результаті моделювання при якому застосували більше 20 параметрів отриманих в результаті попередньої обробки даних. Отримали модель руху ґрунтових вод довкола джерела Жонка та модель можливого забруднення органічними відходами тваринництва.

Згідно отриманої моделі можливий вміст  $\text{NO}_3^-$  в воді джерела Жонка становить 4-10 мг/л рис.5.13.

Спостерігається також потрапляння забруднювача в струмок Чепелів поблизу джерела Жонка в обсязі 1-4 мг/л рис.5.13.

### Висновки до розділу

За результатами дослідження, проведеного в селі Микуличин, було встановлено, що основним джерелом живлення підземних вод у цьому регіоні є атмосферні опади. Це підтверджується результатами аналізу даних про опади та рівень води в колодязі.

Середньорічна кількість опадів на території становить 1055,7 міліметрів. Результати лінійного регресійного аналізу показали зв'язок між рівнем води та

сумарною кількістю опадів. В результаті аналізу коливань рівня води в колодязі було виявлено, що щорічне поповнення рівня води варіюється від 782 міліметрів в 2017 році до -254 міліметрів в 2022 році. Це свідчить про можливе пересихання деяких менших за об'ємом водоносних пластів в 2022 році. Середньорічне поповнення за період з 2017 по 2022 роки становить 347 міліметрів, що складає близько 32,88% від середньорічної кількості опадів.

Таким чином, результати дослідження показали, що атмосферні опади є основним джерелом живлення підземних вод у селі Микуличин.

За результатами дослідження, проведеного в Надвірнянському регіоні, було встановлено, що:

- Гідрологічні умови в цьому регіоні є сприятливими для формування ґрунтових вод.
- Основними факторами, що впливають на потенціал ґрунтових вод, є: розподіл опадів, геологія, рельєф, щільність дренажу, землекористування та земельний покрив, лінійна щільність та ґрунти.

На території Надвірнянського регіону виділено чотири зони потенціалу ґрунтових вод:

- Бідний потенціал (0,166 км<sup>2</sup>)
- Середній потенціал (71,915 км<sup>2</sup>)
- Добрий потенціал (140,629 км<sup>2</sup>)
- Відмінний потенціал (0,554 км<sup>2</sup>)

Ці результати мають важливе значення для природоохоронного та господарського розвитку Надвірнянського регіону. Вони дозволяють:

- Оцінити запаси та якість ґрунтових вод у регіоні.
- Розробити стратегії управління водними ресурсами та охорони природи.

- Вживати заходів щодо збереження та раціонального використання водних ресурсів.

За результатами моделювання було встановлено, що:

- Джерело Жонка знаходиться в зоні з добрим потенціалом ґрунтових вод.

- Органічні відходи тваринництва, що просочуються в зону забруднення, можуть потрапити в джерело Жонка та струмок Чепелів.

- Вміст  $\text{NO}_3^-$  в воді джерела Жонка може становити 4-10 мг/л.

Ці результати мають важливе значення для охорони джерела Жонка та струмка Чепелів. Вони дозволяють:

- Оцінити ризик забруднення джерела Жонка та струмка Чепелів органічними відходами тваринництва.

- Розробити заходи щодо запобігання забрудненню цих джерел.

За результатами проведених досліджень було встановлено, що в селі Микуличин та Надвірнянському регіоні атмосферні опади є основним джерелом живлення підземних вод.

Крім того, було встановлено, що джерело Жонка та струмок Чепелів знаходяться під загрозою забруднення органічними відходами Вольєрного господарства КНПП. Це означає, що необхідно розробити та впровадити заходи щодо запобігання забрудненню цих важливих джерел прісної води.

Загальні висновки досліджень можна сформулювати таким чином:

- Атмосферні опади є основним джерелом живлення підземних вод у селі Микуличин та Надвірнянському регіоні.

- Збереження та раціональне використання водних ресурсів у цих регіонах залежить від екологічного стану навколишнього середовища.

- Присутність забруднення водних ресурсів туристичним сектором.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальне науково-практичне завдання екологічної оцінки джерел питних підземних вод в межах Яремчанської туристичної дестинації.

1. Встановлено залежність водоспоживання досліджуваного регіону від джерел питних підземних вод. За результатами опитування доведено, що в Надвірнянському районі джерела питної води та колодязі є основним джерелом водопостачання для населення та туристів. Частка водоспоживання з цих джерел становить близько 70%.

2. Проведено моніторинг фізико-хімічних показників води з джерел і колодязів, та визначено індекси забруднення води з джерел і свердловин в різні періоди і придатність води для пиття. У результаті моніторингу встановлено, що якість води з джерел і колодязів в Надвірнянському районі в цілому відповідає нормам питної води. Однак, у окремих випадках були виявлені перевищення допустимих концентрацій окремих показників. Встановлено регресійну залежність зміни вмісту сполук азоту в питних підземних водах з висотою місцевості в Яремчанській туристичній дестинації.

3. Досліджено зміни клімату регіону враховуючи його географічні особливості, спрогнозовано подальші зміни клімату та їх вплив на джерела питних підземних вод в регіоні. Доведено, що в Надвірнянському районі спостерігається тенденція до потепління, середньорічна температура повітря збільшується на 1,29% щорічно та середньорічна кількість опадів зменшується на 0,22%. Це призводить до зміни режиму підземних вод, зокрема до пониження рівнів води та зменшення дебіту джерел.

4. Запропоновано спосіб покращення методу GIS досліджень в області дослідження природних підземних водних джерел, особливо для

важкодоступних регіонів або складного чи дороговартісного моніторингу, використовуючи супутникові кліматичні дані та їх подальше опрацювання.

Запропонований спосіб полягає у використанні супутникових кліматичних даних для оцінки потенціалу зон ґрунтових вод. Це дозволяє покращити точність моніторингу підземних водних джерел, особливо в важкодоступних регіонах. Встановлена висока регресійна залежність між дебітом джерела та опадами, особливо при використанні супутникових даних. Коефіцієнт регресії  $r^2 = 0,73$  для дебіту джерела від кількості опадів та  $r^2 = 0,6$  залежності рівня води в колодязі від опадів в досліджуваному Надвірнянському районі.

5. За допомогою удосконалених методів GIS досліджень знайдено індекс потенціалу зон ґрунтових вод регіону для покращення моніторингу підземних водних джерел. Виділено наступні зони: перша зона з найнижчим потенціалом займає мінімальну площу - 0,166 кв. км в Надвірнянському районі; друга зона, характеризується як середня за потенціалом, розповсюджується на більшу площу - 71,915 кв. км і визначає середній рівень доступності підземних водних ресурсів; третя зона з високим потенціалом охоплює площу близько 140,629 кв. км та відображає наявність сприятливих умов для використання водних ресурсів; четверта зона охарактеризована відмінним потенціалом, займає дуже малу територію - 0,554 кв. км і відзначається найкращими гідрологічними умовами.

На основі запропонованого способу було визначено індекс потенціалу зон ґрунтових вод Надвірнянського району. Цей індекс дозволяє оцінити доступність підземних водних джерел в регіоні і має практичне впровадження в КНПП, що підтверджено актом впровадження (додаток А).

6. Цифровізовано метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод та застосовано його для досліджуваного регіону, з метою отримання точних вхідних даних для екологічних моделювань. На основі проведеного дослідження

було встановлено зміни в динаміці рівнів води та обсягів опадів за останні роки. Аналіз показав, що річне поповнення водних ресурсів варіювалося між 782 мм у 2017 році та -254 мм у 2022 році. Від'ємне значення вказує на потенційне зниження рівнів води в поверхневих водоносних горизонтах, що може свідчити про загрозу їх пересихання із подальшими змінами клімату. В середньому, за період з 2017 по 2022 рік, річне поповнення склало 347 мм, що становить близько 32,88% від річного обсягу опадів.

Цифровий метод оцінки джерел живлення ґрунтових вод дозволяє отримати точні вхідні дані для екологічних моделювань, що сприятиме підвищенню ефективності управління водними ресурсами. Удосконалений метод Коркмаза впроваджено в навчальний процес, що підтверджується актом впровадження (додаток Б).

7. Шляхом моделювання використовуючи вдосконалені методи GIS визначено потенційний вплив туристичної галузі на природні водні джерела та колодязі з врахуванням кліматичних, фізико-хімічних, географічних та антропогенних чинників. Розроблено картографічну модель руху ґрунтових вод території Надвірнянського району, яка може бути використана для планування водогосподарських заходів, управління водними ресурсами та оцінки ризику забруднення питних підземних вод.

Шляхом моделювання забруднення ґрунтових вод на прикладі впливу Вольєрного господарства КНПП було встановлено, що забруднення джерела Жонка нітратами в маловодний період прогнозно складає 4 - 10 мг/л, а потрапляння нітратів в струмок Чепелів поблизу джерела Жонка в обсязі 1-4 мг/л, що підтверджено експериментальними польовими дослідженнями.

Моделювання довело, що туристична галузь впливає на зниження якості питної води з джерел і колодязів.

У результаті проведених досліджень було отримано важливі результати, які сприяють покращенню екологічної оцінки підземних джерел питної води та прогнозуванню їх доступності в туристичних дестинаціях.

Отримані результати мають наукову новизну та будуть використані для розробки заходів з підвищення рівня екологічної безпеки питних підземних вод в туристичних дестинаціях Надвірнянського району.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Griebler C. et al. Ecological assessment of groundwater ecosystems – Vision or illusion? // *Ecological Engineering*. – 2010. – Vol. 36, No. 9. – P. 1174–1190. – Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.01.010>.
2. Steube C., Richter S., Griebler C. First attempts towards an integrative concept for the ecological assessment of groundwater ecosystems // *Hydrogeol J.* – 2009. – Vol. 17. – P. 23–35. – Available at: <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0346-6>.
3. Adamenko Y. S., Arkhypova L. M., Mandryk O. M. Territorial Normative of Quality of Hydroecosystems of Protected Territories // *Hydrobiological Journal*. – 2017. – Vol. 53, No. 2. – P. 50–58. – Available at: <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v53.i2.50>.
4. Корчемлюк М.В., Приходько М., Архипова Л.М. Вплив змін клімату на водний режим гірської частини басейну р. Прут // Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2016. – С. 118–128.
5. Корчемлюк М.В., Кравчинський Р.Л., Тимчук О.В. Геоботанічний аспект у вивченні водних джерел (на прикладі Карпатського національного природного парку) // *Матеріали 2-ї міжнародної наукової конференції: Сьогодення біологічної науки*. – Суми: ФОП Цьома, 2018. – С. 135–137.
6. Прохорова Л., Зав'ялова Т., Непша О. Геолого-екологічна оцінка підземних вод у четвертинних відкладах басейну річки Молочної // *Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції*. – Херсон, 5-6 жовтня 2017.
7. Архіпова Г., Мудрак Т., Завертана Д., Остапець О. Importance of drinking-water for human health in large cities // *Proceedings of National Aviation*

University. – 2010. – Vol. 43, No. 2. – P. 133–136. – Available at: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.43.1868>.

8. Мисник О. Ф., Литвиненко А. О. Pollution of drinking water with salts of heavy metals and removing them from solutions by means of nanocomposites based on zirconium (IV) oxide // *ScienceRise: Biological Science*. – 2016. – No. 1 (1). – P. 31–39. – Available at: <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2016.72686>.

9. Національний план управління басейном р.Тиса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://buvrtyisa.gov.ua/newsite/download/National%20plan%20final\\_ost.pdf](https://buvrtyisa.gov.ua/newsite/download/National%20plan%20final_ost.pdf).

10. Водний кодекс України: Постанова Верховної Ради України від 06.06.1995 № 213/95 ВР.

11. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення" від 24.02.1994 № 4004-ХІІ.

12. Постанова Кабінету Міністрів України "Порядок здійснення державного моніторингу вод" від 20.07.1996 р. № 815-90.

13. Закон України "Про затвердження загальнодержавної програми 'Питна вода України' на 2006–2020 рр." від 3 березня 2005 р. № 2455-IV.

14. Кравчинський Р.Л., Хільчевський В.К., Корчемлюк В.М., Стефурак О.М. Моніторинг природних водних джерел Карпатського національного природного парку: монографія. – Івано-Франківськ: Фоліант, 2019. – 123 с.

15. Корчемлюк М.В., Савчук Б.Б., Стефурак О.І., Клименко А.О. Мікроелементи в природних джерелах Карпатського національного природного парку // *Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю: Бабенківські читання (24-25 жовтня 2013 р., м. Івано-Франківськ)*. – Івано-Франківськ, 2013. – С. 49.

16. Шестопапов В.М., Самчук А.І., Моїсеєв А.Ю., Попенко Е.С. Розподіл селену в природних водах Прикарпатського регіону // *Геохімія та рудоутворення*. – 2011. – Вип. 30. – С. 76–83.

17. Державна установа "Івано-Франківський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ses.if.ua/ua/monitoring/post470>.

18. Корчемлюк М.В., Кравчинський Р.Л. Основи моніторингу водних джерел на території Карпатського національного природного парку // Матеріали 3-го міжнародного наукового семінару: Природні ресурси регіону - проблеми використання, ревіталізації та охорони. – Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2018. – С. 194–199.

19. Хільчевський М.І. Гідрогеохімія підземних вод України. – Київ: Наукова думка, 1977. – 272 с.

20. Купріянов А.В. Геохімія підземних вод України. – Київ: Наукова думка, 1985. – 280 с.

21. Лялько В.І. Підземні води України: еколого-геохімічні аспекти. – Київ: Академперіодика, 2003. – 320 с.

22. Ткачук В.І. Екологічні проблеми водних екосистем України. – Київ: Фітосоціоцентр, 2002. – 240 с.

23. Korchemlyuk M., Arkhyrova L., Kravchynskyi R., Mykhailiuk J. Anthropogenic influence from point and diffuse sources of pollution in the Upper Prut River basin // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2019. – No. 1(169). – Pp. 125-131.

24. Stevens L.E., Springer A.E., Ledbetter J.D. Inventory and Monitoring Protocols for Springs Ecosystems [Electronic resource]. – Available at: [http://docs.springstewardship.org/PDF/Springs\\_Inventory\\_Protocols\\_110602.pdf](http://docs.springstewardship.org/PDF/Springs_Inventory_Protocols_110602.pdf).

25. Odnorih Z., Manko R., Malovanyy M., Soloviy K. Results of Surface Water Quality Monitoring of the Western Bug River Basin in Lviv Region // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – Vol. 21, No. 3. – Pp. 18-26. – Available at: <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>.

26. Malovanyy M., Moroz O.I., Hnatush S.O., Maslovska O.D., Zhuk V., Petrushka I.M., Sereda A. Perspective Technologies of the Treatment of the Wastewaters with High Content of Organic Pollutants and Ammoniacal Nitrogen // *Journal of Ecological Engineering*. – 2019. – Vol. 20, No. 2. – Pp. 8-15. – Available at: <https://doi.org/10.12911/22998993/94917>.

27. Прохорова Л.А., Непша О.В., Зав'ялова Т.В. Якість поверхневих та підземних вод Запорізької області та її вплив на здоров'я населення // *Збірник статей, тез і доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Філософія здоров'я – здоровий спосіб життя – здорова нація»*. – 2018. – Pp. 202-209.

28. Hryniuk V.I., Arkhypova L.M. Regularity of effects of climatic changes on quality indicators of surface water of the Dniester basin // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2018. – No. 3(165). – Pp. 125–133. – DOI: 10.29202 /nvngu /2018-3 /17.

29. Hovsepyan R., Avagyan A., Aghababyan A. Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in the Armenian Highlands // *Water*. – 2021. – Vol. 13, No. 1. – Article 43. – Available at: <https://doi.org/10.3390/w13010043>.

30. Kravchynskyi R.L., Korchemlyuk M.V., Khilchevskyi V.K., Arkhypova L.M., Mykhailiuk J.D. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1781. – Article 012011. – Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1781/1/012011>.

31. Yamanaka S., Watanabe K., Kitamura N., Iguchi M., Mitsuhashi S., Nishi Y., Uryu M. The Structure and Mechanical Properties of Sheets Prepared from Bacterial Cellulose // *J. Mater. Sci*. – 1989. – Vol. 24. – Pp. 3141–3145.

32. Prykhodko M., Arkhypova L., Horal L., Kozhushko S. Concept of ecosystem services and its implementation in Ukraine // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. – 2020. – Vol. 29, No. 2. – Pp. 68-80.

33. Комітет з імплементації Карпатської конвенції. Туризм в Карпатському регіоні: сталий розвиток та перспективи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.carpathianconvention.org/tl\\_files/carpathiancon/Downloads/02%20Activities/Climate%20Change/MP\\_Carpathians\\_lores.pdf](http://www.carpathianconvention.org/tl_files/carpathiancon/Downloads/02%20Activities/Climate%20Change/MP_Carpathians_lores.pdf). – Дата звернення: 14.06.2022.

34. Всесвітня туристична організація (UNWTO). *Tourism Highlights 2020 Edition* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284422456>. – Дата звернення: 04.11.2022.

35. Chelmicki W., Jokiel P., Michalczyk Z., Moniewski P. Distribution, discharge and regional characteristics of springs in Poland // *Episodes*. – 2011. – Vol. 34, No. 4. – Pp. 244-256.

36. Примушко С.І., Білошапська Т.Д., Величко В.Ф. Стан підземних вод України, щорічник. – Київ: Державна служба геології та надр України, ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. – 120 с.

37. Кирилюк О.В. Оцінка гідрохімічного статусу вод малих річок басейну верхнього Пруту (на прикладі річок Гуків, Дерелуй та Виженка) // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: науковий збірник*. – 2013. – Т. 4(31). – С. 62-67.

38. Krešić N., Stevanović Z. *Groundwater Hydrology of Springs: Engineering, Theory, Management, and Sustainability*. – Burlington, MA: Butterworth-Heinemann, 2010.

39. Коваленко О.А., Грищенко І.М., Бойко С.П. Вплив матеріалу контейнера на якість проб води // *Вісник екології*. – 2022. – № 2(54). – С. 54-60.

40. ModFlow and ModelMuse [Software]. – U.S. Geological Survey. – Available at: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/modflow-and-related-programs>.

41. Відпочинок в Карпатах – КАРПАТИ.INFO. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.karpaty.info/ua/>. – Дата звернення: 10.02.2022.

42. Hotels24.ua - 4124 Готелів України. Безкоштовне бронювання та Відгуки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hotels24.ua/uk/>. – Дата звернення: 09.02.2022.

43. WMO (World Meteorological Organization). The Global Climate in 2020. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2021.

44. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, In Press.

45. Hovsepyan, R., Avagyan, A., & Aghababyan, A. Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in the Armenian Highlands. *Water*, 2021, Vol. 13, No. 1, Article 43.

46. Takaaki, K., Matsuyama, H., & Sasaki, H. Impacts of Climate Change on Mountain Tourism: Case Study of Japanese Ski Resorts. *Sustainability*, 2020, Vol. 12, No. 5, Article 1835.

47. Meteoblue [Electronic resource]. 2023. Available at: <https://www.meteoblue.com>.

48. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I.

Gomis, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, In Press.

49. Klymchuk I., Matiyiv K., Arkhypova L., Korchemlyuk M. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2022, Vol. 23, No. 3, pp. 208-214. DOI: 10.12912/27197050/147764.

50. Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M. Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise. – Report for WWF. – Athens, Greece: MEDACC project, 2005.

51. Hannah L., Midgley G., Millar D. Climate change-integrated conservation strategies // *Global Ecology and Biogeography*. – 2002. – Vol. 11. – Pp. 485-495.

52. Körner C. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. – New York, NY: Springer, 2003.

53. Геологічна служба США (USGS). [Електронний ресурс]. – 2023, 14 листопада. – Режим доступу: <https://www.usgs.gov/>.

54. Мельник А., Шубер П.М., Шушняк В., Костів Л., Березяк В. Фізикогеографічні передумови, динаміка та наслідки катастрофічного липневого паводка 2008 року у верхів'ї річки Прут // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. Географія*. – 2009. – Вип. 37. – С. 136-150.

55. Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. – John Wiley & Sons, 2015.

56. Корчемлюк М.В., Приходько М., Архипова Л.М. Вплив змін клімату на водний режим гірської частини басейну р. Прут. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – 2016. – С. 118–128.

57. Корчемлюк М.В., Кравчинський Р.Л., Тимчук О.В. Геоботанічний аспект у вивченні водних джерел (на прикладі Карпатського національного

природного парку) // Мат-ли 2-ї міжнарод. наук. конференції: Сьогоднішня біологічної науки. – Суми: ФОП Цьома, 2018. – С.135-137.

58. Корчемлюк М.В., Кравчинський Р.Л. Основи моніторингу водних джерел на території Карпатського національного природного парку // Мат-ли 3-го міжнарод. наук. семінару: Природні ресурси регіону - проблеми використання, ревіталізації та охорони. – Львів: ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2018. – С. 194-199.

59. EOS Data Analytics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/products/crop-monitoring/>. – Дата звернення: 09.07.2022.

60. Turney S. Pearson Correlation Coefficient (r) | Guide & Examples. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.scribbr.com/statistics/pearson-correlation-coefficient/>.

61. Miller S.V. Reading a Regression Table: A Guide for Students. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://svmiller.com/blog/2018/02/reading-a-regression-table-a-guide-for-students/>. – Дата звернення: 15.07.2022.

62. Mandryk O., Moskalchuk N., Arkhypova L., Prykhodko M., Pobihun O. Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine // E3S Web Conference. – Ukraine, April 22, 2020. – P. 7.

63. Kravchynskyi R., Korchemlyuk M., Khilchevskyi V., Arkhypova L., Mykhailyuk I., Mykhailyuk J. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1781(1), 012011.

64. Pobihun N., Korobeinykova Y., Pobihun O., Iuras I. Ecological and monitoring studies of oil production territories and possibility of their use in recreation // Proceedings of the XIII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”. – 2019. – Pp. 1-5.



65. Korchemlyuk M., Arkhypova L., Kravchynskiy R., Mykhailiuk J. Anthropogenic influence from point and diffuse sources of pollution in the Upper Prut River basin // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2019. – No. 1(169), pp. 125-131.

66. Архипова Л., Пернеровська С. Прогнозування гідрологічних параметрів водних тіл за допомогою сингулярного спектрального аналізу // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2015. – Вип. 2 (146), с. 45-50.

67. Корчемлюк М., Архипова Л. Екологічний аудит басейнової екосистеми України річки Прут // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2016. – Вип. 5 (155), с. 98-106.

68. Stevens L.E., Springer A.E., Ledbetter J.D. Inventory and Monitoring Protocols for Springs Ecosystems. – [Online]. – Available at: [http://docs.springstewardship.org/PDF/Springs\\_Inventory\\_Protocols\\_110602.pdf](http://docs.springstewardship.org/PDF/Springs_Inventory_Protocols_110602.pdf).

69. Кравчинський Р., Хільчевський В., Корчемлюк М., Стефурак О. Моніторинг джерел Карпатського національного природного парку // Ред. В.К. Хільчевський. – Івано-Франківськ: 2019, с. 124.

70. Чернеха А.М., Іщенко В.А. Дослідження складу питної води з джерел децентралізованого водопостачання // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – Вінниця, №4, 2016, с. 30.

71. Odnorih Z., Manko R., Malovanyu M., Soloviy K. Results of Surface Water Quality Monitoring of the Western Bug River Basin in Lviv Region // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – Vol. 21, No. 3, pp. 18-26.

72. Malovanyu M., Moroz O.I., Hnatush S.O., Maslovska O.D., Zhuk V., Petrushka I.M., Sereda A. Perspective Technologies of the Treatment of the Wastewaters with High Content of Organic Pollutants and Ammoniacal Nitrogen // *Journal of Ecological Engineering*. – 2019. – Vol. 20, No. 2, pp. 8-15.

73. Корчемлюк М.В., Савчук Б.Б., Стефурак О.І., Клименко А.О. Мікроелементи в природних джерелах Карпатського національного природного парку // Матеріали конференції: Бабенківські читання. – 2013, с. 49.

74. Гомеля Н., Трохименко Г., Глушко О., Шаблій Т. Електровидобуток важких металів зі стічних вод для захисту природних водойм від забруднення // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018.

75. DSanPiN 2.2.4-171-10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>.

76. Karpaty.info. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.karpaty.info/ua/>.

77. Kneysler O., Andrusiv U., Spasiv N., Marynychak L., Kryvytska O. Construction of economic models of ensuring Ukraine's energy resources economy // Paper presented at the 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 - Proceedings. – Pp. 651-656.

78. Mandryk O., Arkhypova L., Pukish A., Zelmanovych A., Yakovlyuk Kh. Theoretical and methodological foundations of sustainable development of Geosystems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 200. – Article 012018.

79. Kinash I., Shtogryn H., Sakal O., Zapukhliak I. The ecologization of housing and communal services of Ukraine in the context of sustainable development // Journal of Eastern European and Central Asian Research. – 2019. – Vol. 6, No. 1. – Pp. 113-130.

80. Komlev O., Bortnik S., Kovtonyuk O., Lavruk T., Pogorilchuk N., Filonenko Yu. The importance of an integrated approach in solving scientific and practical issues of geology, geomorphology, paleogeography of the Left Bank of the Middle Dnieper // Geoinformatics, European Association of Geoscientists & Engineers. – 2021. – Vol. 2021, No. 1. – Pp. 1-6.

81. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною": наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. № 400 // Офіційний вісник України. – 2010. – № 51. – Ст. 99.

82. Yatsyshyn T., Glibovytska N., Skitsa L., Liakh M., Kachala S. Biotechnogenic System Formed by Long-Term Impact of Oil Extraction Objects // In Studies in Systems, Decision and Control. – 2020. – Vol. 298. – Edited by V. Babak, V. Isaienko, and A. Zaporozhets. – Springer, Cham. – Pp. 165-177.

83. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Куріло С.М. Основи гідрохімії: підручник. – Київ: Ніка-Центр, 2012. – 312 с.

84. Приходько М., Архипова Л., Гораль Л., Кожушко С. Концепція екосистемних послуг та її впровадження в Україні // Журнал геології, географії та геоєкології. – 2020. – Том 36, № 2. – С. 68-80.

85. Гринюк В.І., Архипова Л.М. Регулярність впливу кліматичних змін на показники якості поверхневих вод басейну Дністра // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2018. – № 3(165). – С. 125–133.

86. Колесник В., Борисовська О., Павличенко А., Ширін А. Визначення тенденцій і закономірностей виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру в Україні // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2017. – № 6 (162). – С. 124–131.

87. Kopei V., Onysko O., Panchuk V. Principles of development of product lifecycle management system for threaded connections based on the Python programming language // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – 1426 012033.

88. Ivashkiv I., Kupalova H., Goncharenko N., Andrusiv U., Streimikis J., Lyashenko O., Yakubiv V., Lyzun M., Lishchynskiy I., Saukh I. Environmental responsibility as a prerequisite for sustainable development of agricultural enterprises // Management Science Letters. – 2020. – 10(13). – Pp. 2973-2984.

89. Nikitchina A.O., Lyapina O.V. Твердість води та її вплив на організм людини // Вода у харчовій промисловості: збірник тез доповідей ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. – Одеса, 3–4 квітня 2018 р. / Одеська національна академія харчових технологій; під заг. ред. Б.В. Єгорова. – Одеса, 2018. – С. 10–11.

90. KORKMAZ N. The estimation of groundwater recharge from spring hydrographs // Hydrological Sciences Journal - Journal Des Sciences Hydrologiques. – 1990. – 35. – Pp. 209-217. <https://doi.org/10.1080/02626669009492419>.

91. Mahmud M., Roy D., Paul P.L., Hossain M.B., Yesmin M.S., Kundu P., Islam M. Natural Groundwater Recharge: A Review on the Estimation Methods // Bangladesh Rice Journal. – 2023. – 25. – Pp. 45-56. <https://doi.org/10.3329/brj.v25i2.62706>.

92. Varnakovidia P., Ko H., Natisri T., Rinrat N., Nakto P. Groundwater Recharge, Monitoring and Finding Suitable Areas for Groundwater Recharge in Northeast Thailand. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8765-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8765-6_3).

93. Hossain M., Adhikary S. Identifying groundwater recharge potential zones in Barind Tract of Bangladesh using geospatial technique. <https://doi.org/10.1063/5.0129774>.

94. Khilchevskyi V., Kravchynskyi R.L. Methodological aspects of monitoring springs in the conditions of the Ukrainian Carpathians // Гідрологія, Гідрохімія і Гідроекологія. – 2020. – № 3 (58). – С. 6–19. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.3.1>.

95. Mahmud M., Roy D., Paul P.L., Hossain M.B., Yesmin M.S., Kundu P., Islam M. Natural Groundwater Recharge: A Review on the Estimation Methods // Bangladesh Rice Journal. – 2023. – 25. – Pp. 45-56. <https://doi.org/10.3329/brj.v25i2.62706>.

96. Arulbalaji P., Padmalal D., Sreelash K. GIS and AHP Techniques Based Delineation of Groundwater Potential Zones: a case study from Southern Western Ghats, India // *Sci Rep.* – 2019. – 9, 2082.

97. Matiyiv K., Klymchuk I., Arkhypova L., Korchemlyuk M. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources // *Ecological Engineering & Environmental Technology.* – 2022. – 23(3). – Pp. 208-214.

98. Avdullahi S., Hajra A. Identification of Groundwater Potential Zones Using Remote Sensing, Geographical Information System, and Analytic Hierarchy Process Techniques – A Case Study in the Nerodime Watershed, Kosovo // *Ecological Engineering & Environmental Technology.* – 2023. – 24(4). – Pp. 147-161.

99. Kravchynskyi R., Khilchevskyi V., Korchemlyuk M., Arkhypova L., Plichko L. Criteria for identification of landslides in the upper Prut river basin on satellite images // *Geoinformatics 2021. European Association of Geoscientists & Engineers.* – 2021. – Pp. 1–6. DOI: 10.3997/2214-4609.20215521003.

100. Kravchynskyi R., Korchemlyuk M., Khilchevskyi V., Arkhypova L., Mykhailyuk I., Mykhailyuk J. Spatial-factorial analysis of background status of the Danube River basin state on the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2021. – 1781(1). – 11–12.

101. Baeza C., Corominas J. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques // *Earth Surface Processes and Landforms.* – 2001. – Vol. 26. – Pp. 1251–1263.

102. Chowdhury A., Jha M.K., Chowdary V.M. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques // *Environmental Earth Sciences.* – 2010. – Vol. 59. – Pp. 1209–1222.



103. Arkhypova L., Vinnychenko I., Kinash I., Horoshkova L., Khlobystov Ie. Theoretical Substantiation of Modeling of Recreational Systems // *Ecological*

Engineering & Environmental Technology. – 2022. – Vol. 23, No. 5. – Pp. 99–108.  
<https://doi.org/10.12912/27197050/151758>.

104. Jenson S.K., Domingue J.O. "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis." – The process outlined in this work has become foundational in digital elevation model (DEM) data processing for geographic information systems (GIS).

105. Дарсі Г. "Експерименти, спрямовані на покращення протоки води через пісочні фільтри міста Діжон, Франція" – 1856. Henry Darcy's pioneering work which laid the foundation for the field of hydrogeology.

## ДОДАТОК А АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАНДИДАТСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

<p><b>Погоджено</b></p> <p>Проректор з наукової роботи д.т.н., проф.Олександр КОНДРАТ</p>	<p><b>Затверджую</b></p> <p>Заступник директора Карпатського національного природного парку к.б.н. Олександр КИСЕЛЮК</p>
	
« _____ » _____ р.	«25» січня 2024 р.

**А К Т**  
про впровадження результатів  
кандидатської дисертаційної роботи

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему  
«Екологічна оцінка джерел питних підземних вод в межах Яремчанської  
туристичної дестинації»

---

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за  
спеціальністю 101- Екологія

виконаної Климчуком Ігорем Яремовичем  
(ПІБ здобувача)

впроваджені у Карпатському національному природному парку

1. Вид впроваджуваних результатів:  
удосконалені методи застосування геоінформаційних систем і даних супутникових спостережень для дослідження природних підземних водних джерел, особливо в умовах гірських регіонів, що дозволяє покращити ефективність моніторингу водних ресурсів в межах Карпатського національного природного парку
2. Новизна отриманих результатів:  
екологічна оцінка підземних джерел питної води на основі поєднання фізико-хімічного моніторингу та аналізу кліматичних змін у межах Надвірнянського району, в тому числі КНПП
3. Практичне впровадження/використання результатів: застосування в моніторингу екологічного стану підземних водних джерел КНПП
4. Значущість отриманих результатів:  
встановлено функціональні залежності між кількістю опадів, дебітом джерел і рівнем води в свердловинах, розташованих у межах в т.ч. КНПП, що дозволяє прогнозувати зміни обсягів ресурсів питних підземних вод для території
5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами \_\_\_\_\_

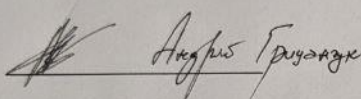
Рисунок А.1 - Акт впровадження результатів дисертаційної роботи ст. 1



Дисертаційні дослідження пов'язані з науковими програмами, планами, темами стосовно дослідження екологічного стану підземних вод в рамках діяльності Вимірювальної лабораторії аналітичного контролю та моніторингу Карпатського національного природного парку.

Від Івано-Франківського  
національного технічного  
університету нафти і газу

Директор НДІ



(підпис)

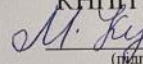
(ПІБ)

«24» січня 2024 р.

Від організації

Завідувач Вимірювальної  
лабораторії аналітичного  
контролю та моніторингу

КНПІ к.т.н., ст.дослідник

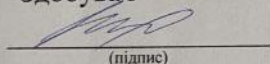
 Марта КОРЧЕМЛЮК

(підпис)

(ПІБ)

«25» січня 2024 р.

Здобувач



(підпис)

(ПІБ)

«24» січня 2024 р.

Рисунок А.2 - Акт впровадження результатів дисертаційної роботи ст. 2



## ДОДАТОК Б АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

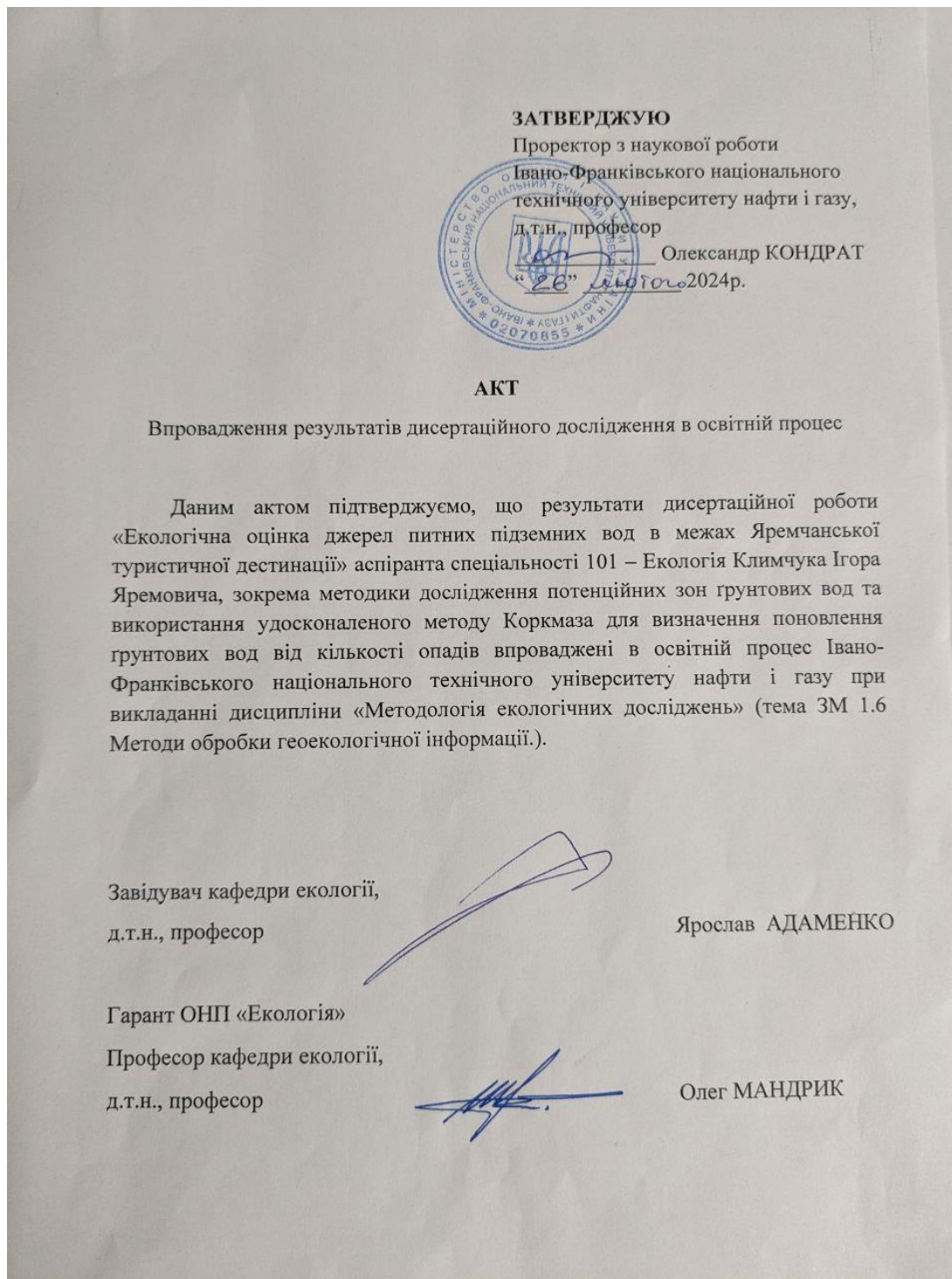


Рисунок Б.1 - Акт впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи в освітній процес

## ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Klymchuk, I. Ya., Matiyiv, K. M., Arkhyrova, L. M., Korchemlyuk, M. V. Mountain Tourist Destination – The Quality of Groundwater Sources. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, No. 3. Pp. 208-214. (індексується в Scopus).
2. Климчук І.Я. Ефективність еколого-кліматичного та інших моделювань шляхом розподільних обчислень. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2021. № 1 (23). С. 54-59.
3. Климчук І.Я., Корчемлюк М.В., Архипова Л.М. Сезонні коливання фізико-хімічного складу води з джерел та колодязів в межах Яремчанської туристичної дестинації. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2022. №2(24). С. 27-34.
4. Климчук І.Я., Архипова Л.М. Дослідження змін клімату в карпатському регіоні: наслідки та виклики для гірськолижних курортів. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2023. №1(27). С. 66-74.
5. Климчук І.Я., Архипова Л.М. Аналіз живлення підземних вод в Надвірнянському районі методом Коркмаза. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2024. №2 (28). С. 19-27.
6. Klymchuk I. Ya., Arkhyrova L. M. Modeling the groundwater potential of Nadvirna district using analytical hierarchy and GIS methods. XVII International Conference Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment. Kyiv, November 7-10, 2023.
7. Klymchuk I. Ya. Correlation between the flow of sources and the impact of climate change in the Carpathian region. International scientific conference Natural resource potential, ecology, and sustainable development of administrative units of

the Republic of Latvia and Ukraine amidst EU legislative requirements. Riga, Latvia, August 30–31, 2022. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2022. Pp. 35-39.

8. Климчук І. Я., Архипова Л. М. Удосконалення методики відбору даних та встановлення кореляційного зв'язку між опадами та дебітом природного водного джерела. Наукова весна 2023: Тези доповідей, XII Міжнародна науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 1-3 березня 2023 р. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». С. 96-98.

9. Климчук І. Я. Гідроенергетичний потенціал річок карпатського регіону України. Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля: Матеріали міжнародної конференції, ІФНТУНГ, 24-25 листопада 2022 року. С. 76-79.

10. Климчук І. Я. Перспективи використання живих фільтраційних мембран на основі комбуча SCOBY. Екологічна безпека – сучасні напрямки та перспективи вищої освіти: Тези доповідей II Міжнародної інтернет-конференції, Харків, 25 лютого 2022 р. Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. С. 54-56.

11. Климчук І. Я., Архипова Л. М. Огляд екологічних досліджень природних водних джерел карпатського туристичного регіону. Тези доповідей міжнародного наукового симпозіуму Тиждень еколога – 2021, 18-20 жовтня 2021 р. Кам'янське: ДДТУ. С. 78-82.

12. Климчук І. Я., Дідоха Х. М., Архипова Л. М. Необхідність оцінки якості джерел питних підземних вод в межах Яремчанської туристичної дестинації. 6-й Міжнародний молодіжний конгрес Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: Матеріали 6-го Міжнародного молодіжного конгресу, Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 228-229.

13. Matiyiv K., Klymchuk I., Arkhypova L., Korchemlyuk M. Surface Water Quality of the Prut River Basin in a Tourist Destination. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23. No. 4. Pp. 107-114.