

ВАРІАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ГЕОДИНАМІЧНИМ ТА СЕЙСМІЧНИМ СТАНАМИ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Ігнатишин В.В.^{1,2}, Малицький Д.В.³, Іжак Т.Й.², Молнар Д.С.С.², Рац А.Й.²,
Ігнатишин А.В.¹, Ігнатишин М.Б.¹, Прокопишин В.І.¹

¹Інститут геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України
вул. Ярославенка, 27, 79011, м. Львів

²Закарпатський угорський університет імені Ференца Ракоці II
пл. Кошута, 6, 90202, м. Берегове

³Карпатське відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна Національної академії наук України
вул. Наукова, 36, 79060, м. Львів

rgstrs1962@i.ua, Adalbert_Ihnatisin@i.ua, sitkomonika@i.ua, izsak.tibor@kmf.org.ua

На території закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих територіях відбуваються землетруси різного енергетичного класу, які можуть ускладнити екологічний стан регіону. Важливо вивчення передумов як підготовки так прояву місцевої сейсмічності. *Метою роботи* є вивчення зв'язків параметрів метеорологічного стану сейсмогенеруючого регіону та геодинаміки, впливу факторів завад на сейсмічність регіону та його екологічний стан. *Об'єктом дослідження в роботі* є екологія регіону, сучасні рухи кори, місцева сейсмічність та метеорологічні поля. *Предметом дослідження статті* є зв'язки між температурою атмосферного повітря та сучасних рухів кори, між температурою повітря та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, зв'язки між геодинамічним та сейсмічним станом регіону. На території Закарпатського внутрішнього прогину проводяться роботи по моніторингу геофізичних полів на режимних геофізичних станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Проводяться вимірювання варіацій параметрів метеорологічного, гідрологічного станів. Виконуються роботи по вивченню геофізичних полів в періоди сеймотектонічної активізації, використовуються та удосконалюються різні методи наукових досліджень. Результати геофізичних спостережень, ряди параметрів метеорологічних, геодинамічних полів аналізуються із використанням статистичного аналізу, порівняльного аналізу, картографічних методів. Також застосовуються аналітичні методи, геоінформаційні технології, елементи інформатики. Загальнонаукове значення полягає в тому, що отримані результати та методика дослідження можуть бути застосовані в інших наукових напрямках. Встановлено зв'язок сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та місцевої сейсмічності в досліджуваній період. Інтервали інтенсивних рухів кори, сейсмічної активності та варіацій температури повітря знаходяться в одних часових інтервалах. Отримані результати є підтвердженням ефективності використання геофізичного моніторингу сейсмонебезпечного регіону. Алгоритми дослідження та їх результати можуть бути використані в навчально-виховному процесі як в базовій середній школі, позашкільній освіті так і при викладанні природничих дисциплін на природничих спеціальностях вищої освіти, зокрема при вивченні географії, екології та геофізики. Важливо розширення спектру метеорологічних та геофізичних досліджень в краї. *Ключові слова*: температура атмосферного повітря, геодинамічний стан, сейсмічний стан, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому, сучасні горизонтальні рухи кори, екологічний стан.

Variations in atmospheric air temperature and their relationship to geodynamic and seismic conditions in the Carpathian region. Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Izsák T., Molnar D., Rats A., Ihnatyshyn A., Ihnatyshyn M., Prokopyshyn V.

Earthquakes of varying energy classes occur in the Transcarpathian internal trough and adjacent territories, which can complicate the ecological situation in the region. It is important to study the prerequisites for both the preparation and manifestation of local seismicity. The aim of this work is to study the relationships between the meteorological parameters of the seismogenic region and geodynamics, the influence of interference factors on the seismicity of the region and its ecological condition. The object of study in this work is the ecology of the region, modern crustal movements, local seismicity, and meteorological fields. The subject of the article is the relationship between atmospheric air temperature and modern crustal movements, between air temperature and the spatial-temporal distribution of local seismicity, and the relationship between the geodynamic and seismic state of the region. In the territory of the Transcarpathian internal trough, work is being carried out to monitor geophysical fields at the regime geophysical stations of the Seismicity Department of the Carpathian Region and the Carpathian Branch of the S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Measurements of variations in meteorological and hydrological parameters are being taken. Work is being carried out to study geophysical fields during periods of seismotectonic activation, using and improving various scientific research methods. The results of geophysical observations and series of meteorological and geodynamic field parameters are analyzed using statistical analysis, comparative analysis, and cartographic methods. Analytical methods, geoinformation technologies, and elements of computer science are also used. The general scientific significance lies in the fact that the results obtained and the research methodology can be applied in other scientific fields. A connection has been established between modern crustal movements in the Oash deep fault zone and local seismicity during the study period. The intervals of intense crustal movements, seismic activity, and air temperature variations are within the same time intervals. The results obtained confirm the effectiveness of geophysical monitoring of seismically hazardous regions. The research algorithms and their results can be used in the educational process in secondary schools,

extracurricular education, and in teaching natural sciences in higher education, particularly in the study of geography, ecology, and geophysics. It is important to expand the range of meteorological and geophysical research in the region. *Key words:* atmospheric temperature, geodynamic state, seismic state, earthquakes, Transcarpathian internal depression, Oash deep fault zone, modern horizontal crustal movements, ecological state.

Постановка проблеми. Закарпаття є сейсмогенеруючим регіоном і є частиною Карпатського регіону. На території закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих територіях відбуваються землетруси різного енергетичного класу. Ці підземні поштовхи можуть ускладнити екологічний стан регіону. Важливо вивчення передумов як підготовки так прояву місцевої сейсмічності. Для цього необхідно вивчення факторів що впливають на поточний стан справ, реакцію геологічного середовища на сеймотектонічні процеси, що виявляються в змінах фізичних характеристик середовища. **Метою роботи** є вивчення зв'язків параметрів метеорологічного стану сейсмогенеруючого регіону та геодинаміки, впливу факторів завад на сейсмічність регіону та його екологічний стан. **Об'єктом дослідження в роботі** є екологія регіону, сучасні рухи кори, місцева сейсмічність та метеорологічні поля. **Предметом дослідження статті** є зв'язки між температурою атмосферного повітря та сучасних рухів кори, між температурою повітря та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, зв'язки між геодинамічним та сейсмічним станом регіону.

Актуальність дослідження. Важливість дослідження сеймотектонічних процесів в сейсмонезбезпечних регіонах викликана, зокрема в Закарпатті, тим, що на його території розташовані об'єкти критичної інфраструктури. Територія Закарпаття має важливе географічне положення, тому екологічна безпека краю має важливе значення як в науковому та методологічному значенні. На території Закарпатського внутрішнього прогину проводяться роботи по моніторингу геофізичних полів на режимних геофізичних станціях Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики імені С.І. Субботіна НАН України. Проводяться вимірювання варіацій параметрів метеорологічного, гідрологічного станів. Виконуються роботи по вивченню геофізичних полів в періоди сеймотектонічної активізації, використовуються та удосконалюються різні методи наукових досліджень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Метою дослідження, що проводяться в закарпатському внутрішньому прогині це виявлення особливостей варіацій параметрів геофізичних полів в просторово-часовому інтервалі та сучасних рухів кори, які впливають на сейсмічну розрядку. В роботі проведено вивчення змін температури атмосферного повітря в 2024 році, динаміки сучасних рухів кори та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності. Результати важливі для поповнення бази даних,

вивчення картини напружено-деформованого стану порід та умов їх розрядки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] представлено результати проведеного дослідження зв'язку динаміки горизонтальних рухів кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та місцевої сейсмічності в періоди інтенсивних атмосферних опадів. Вивчено зв'язки варіацій параметрів атмосферних опадів із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2019–2020 рр. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та варіації параметрів атмосферних опадів у 2020 р. вказує на високий ступінь кореляції рядів геофізичних даних. Активізація сейсмічності регіону спостерігається на фоні загального розширення порід, що відбувається за сталих вікових рухів кори. На сучасному етапі сучасні рухи кори перебувають у стані розширення порід, якщо така тенденція не зміниться, слід очікувати підвищення сейсмічності в регіоні [2]. В статті [3] досліджено зв'язок між сучасними рухами земної кори та просторово-часовим розподілом сейсмічності в Карпатському регіоні (зокрема, Закарпатському Внутрішньому прогині та зоні Вранча (Румунія)). Показано існування процесів зміни знака в горизонтальних рухах земної кори в Закарпатському Внутрішньому прогині в досліджуваному часовому інтервалі. Карпатський пояс насунутий на неогеновий Передкарпатський прогин, який заклав фундамент Східно-Західноєвропейської платформ [4]. В Україні більшість епіцентрів зареєстрованих землетрусів розташовані в Волино-Подільлі та Передкарпатській складці на краю Складчастих Карпат. У Кримсько-Чорноморському регіоні спостерігалася слабка сейсмічність з епіцентрами землетрусів, зосередженими в морі [5]. В результаті обробки даних супутникової радіолокаційної інтерферометрії було створено карти вертикальних зміщень зазначених територій, де відбувалося зміщення земної поверхні, спричинене впливом неприпливного атмосферного навантаження [6]. Також важливо врахувати, що сейсмічні дані можуть допомогти нам дослідити структуру внутрішнього шару Землі та фізичні механізми землетрусів, надаючи цінні знання щодо оцінки та запобігання землетрусам. Крім того, статистичний аналіз сейсмічних даних може бути пов'язаний з відповідною інформацією про деформацію земної кори та її глибинні рівні [7]. В статті [8] показано результати дослідження взаємозв'язків між зміною клімату, підвищенням рівня моря та підняттям суші, які можна запропонувати для застосування для прогнозування майбутніх змін підняття суші. В статті [9] наведено висновки, що землетруси передбачувані, якщо нако-

пичення напружень, перенесення напружень (НДС) можна контролювати. Це числове моделювання з урахуванням складної геометрії системи розломів та неоднорідності середовища може відкрити низку можливостей для майбутніх досліджень динаміки землетрусів та їх прогнозування на основі постійного удосконалення методів моніторингу напружень або деформацій. Неотектонічні структури загалом демонструють добру відповідність з полем швидкостей деформації, наприклад, у Динаридах, Східних Альпах або в західному Паннонському басейні. Однак наявність паралельного розломам скорочення або двовісного скорочення вздовж лівосторонніх неотектонічних структур у центральному та східному Паннонському басейні показує деяку розбіжність між поточною геодезичною та спостережуваною неотектонічною деформацією [10]. В роботі [11] вивчалися геофізичні аспекти екологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2020 рік, відмічено зв'язок геофізичних полів та геологічних процесів. Встановлено зв'язок швидкості сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2020 рік [12]. В [13, 14] представлено результати дослідження астрофізичних аспектів геодинамічного та екологічного стану Закарпаття, показано на взаємозв'язок астрофізичних та геофізичних параметрів. В [15] вказано на зв'язок варіацій параметрів метеорологічного стану центральної частини Закарпаття з сучасними горизонтальними рухами кори та проявом місцевої сейсмічності за 2021 рік: зміна температури повітря впливає на фізичні характеристики верхніх шарів земної кори, викликаючи розширення порід.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Дослідження екологічного стану, можливих причин його погіршення в Закарпатському внутрішньому прогині проводяться тривалий період. Отримано важливі результати, які можна використати в майбутньому прогнозі землетрусів, моделі сейсмо-тектоніки регіону. Але важливо проводити безпервні геофізичні дослідження з метою удосконалення методик дослідження, поповнення баз даних. Також важливо розширення спектру методик дослідження. Актуально вивчення варіацій температури повітря та їх впливу на геологічні процеси, землетруси та ін. Метеорологічні сейсмічні параметри вимірюються на режимній геофізичній станції «Тросник», сучасні горизонтальні рухи кори вимірюються в штольні пункту деформометричних спостереженнях «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону (Берегівський район, Закарпатська область).

Новизна. Наукова новизна проведених досліджень полягає в тому, що вперше на теренах закарпатського внутрішнього прогину за результатами моніторингу геофізичних полів проведено вивчення зв'язків варіацій температури повітря із динамікою

рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, їх впливу на екологічний стан регіону через виникнення місцевих землетрусів в тому числі і відчутних підземних поштовхів за період в 2024 році.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Для вирішення поставлених в роботі завдань було вирішено декілька завдань методологічного та наукового значення. Результати геофізичних спостережень, ряди параметрів метеорологічних, геодинамічних полів аналізуються із використанням статистичного аналізу, порівняльного аналізу, картографічних методів. Також застосовуються аналітичні методи, геоінформаційні технології, елементи інформатики. Загальнонаукове значення полягає в тому, що отримані результати та методика дослідження можуть бути застосовані в інших наукових напрямках, з метою покращення ефективності наукових досліджень.

Викладення основного матеріалу. Зміни температури повітря на РГС «Тросник» в 2024 році. На території режимної геофізичної станції «Тросник» проведено вимірювання температури повітря протягом 2024 року за допомогою приладів для вимірювання температури атмосферного повітря, ртутного термометра та метеорологічної станції «Конрад». Вимірювання температури атмосферного повітря проводяться щогодинно в автоматичному режимі, для обробки даних використовують таблиці Excel. На рисунку 1 представлено варіацію температури атмосферного повітря за січень 2024 року.

Розраховано середню величину температури атмосферного повітря на режимній геофізичній станції імені Т.З. Вербицького в селі Тросник за січень 2024 року, яка дорівнює: $+0.28^{\circ}\text{C}$.

Для вивчення варіацій температури повітря в досліджуваному регіоні важливо провести інтерпретацію рядів спостережень в різних часових діапазонах, зокрема щогодинних та добових. На рисунку 2 представлено варіації температури повітря на РГС «Тросник» в січні 2024 року в режимі щогодинних спостережень.

Розраховано коефіцієнт кореляції в режимі щогодинних спостережень температури атмосферного повітря за січень 2024 року на РГС «Тросник» (між середньодобовими величинами та щогодинними величинами), який становить $:0.9$. Отримані результати показують, що для вивчення змін температури повітря в даному регіоні можна використати розраховані середньодобові значення температури атмосферного повітря поряд із щогодинними даними режимних спостережень метеорологічних параметрів (рисунк 3).

Середньодобові величини температури повітря співпадають із температурами щогодинних спостережень в першій половині доби, якщо діапазон температури повітря додатніх температур та в другій половині доби, якщо цей діапазон припадає на від'ємні показники температури повітря.



Рис. 1. Зміни середньодобової температури повітря на режимній геофізичній станції «Тросник» в січні 2024 року. Режим щогодинних спостережень

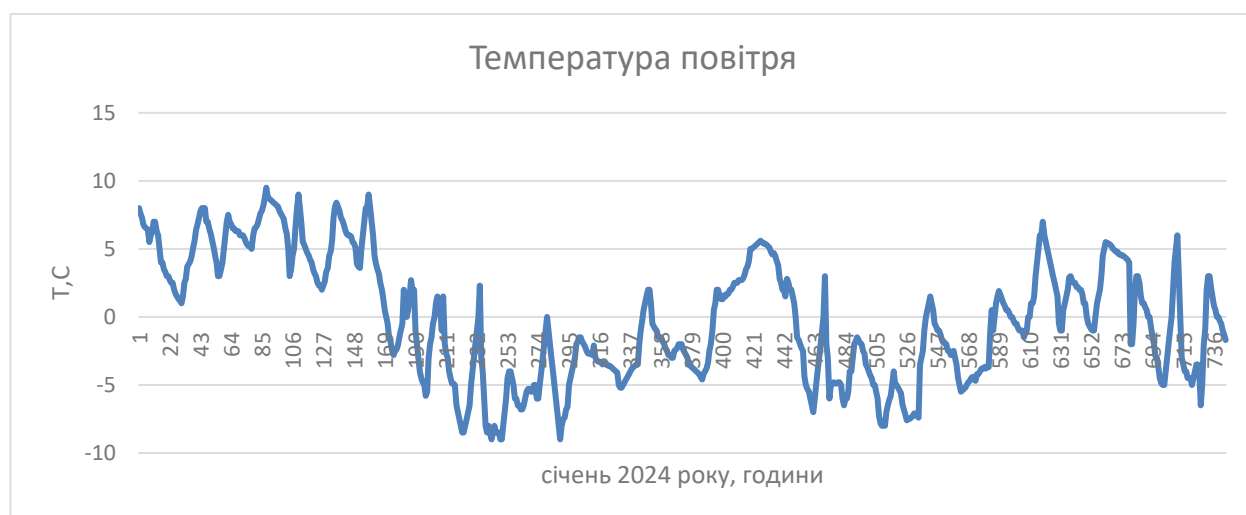


Рис. 2. Варіації температури атмосферного повітря виміряного на режимній геофізичній станції «Тросник» в січні 2024 року. Щогодинні спостереження

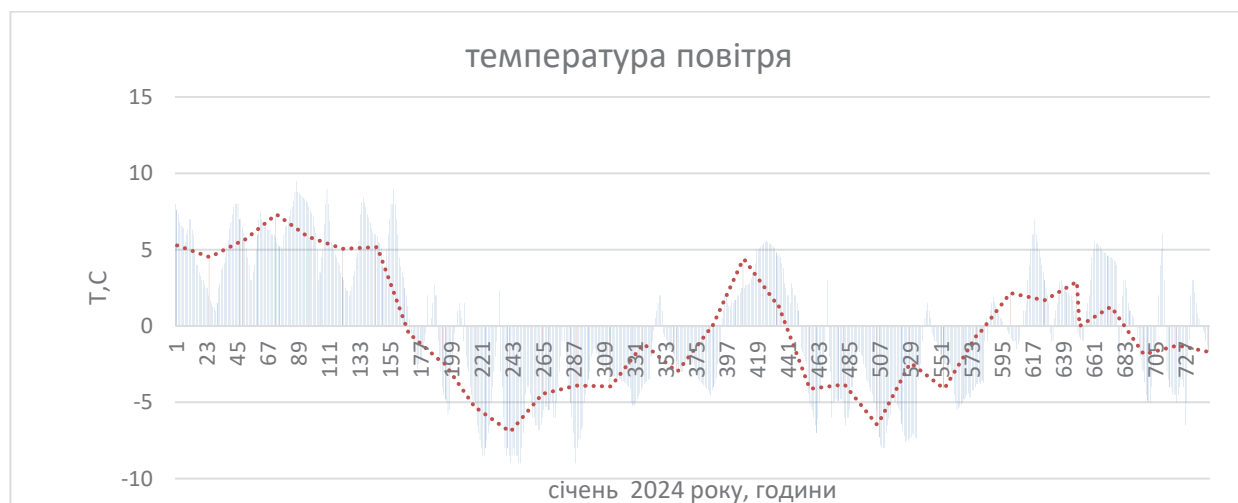


Рис. 3. Температура повітря на РГС «Тросник», щогодинні спостереження (крива синього кольору), середньодобові значення температури повітря (діаграма червоного кольору)

Досліджено зв'язки метеорологічних параметрів між собою, зокрема атмосферного тиску та температури атмосферного тиску за січень 2024 року. Побудовано комплексний графік атмосферного тиску та температури повітря за січень 2024 року (рисунок 4).

Розраховано коефіцієнт кореляції атмосферного тиску та температури атмосфери за січень 2024 року, який становить: -0.5. Підвищення температури повітря супроводжується зниженням величини атмосферного тиску, що відповідає фізичним аспектам географічних процесів.

Деформографічні спостереження в Закарпатському внутрішньому прогині. Картину сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в січні 2024 року та розташування пунктів спостережень в регіоні представлено на рисунку 5.

Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та метеорологічний стан регіону. Досліджено варіації температури повітря та зміщень порід в зоні Оашського глибинного розлому за досліджуваний період часу (січень 2024 року) на предмет виявлення особливостей їх зв'язку (рисунок 6).

Розраховано ступінь кореляції варіації температури повітря виміряній в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в січні 2024 року, який становить: -0.3. Підвищення температури атмосферного повітря супроводжується процесом стиснення порід в зоні Оашського глибинного розлому в першій половині місяця, пониження температури повітря в цей інтервал часу співпадає в часі з інтенсивним розширенням порід. В третій декаді січня 2024 року

пониження температури повітря супроводжується стисненням порід (знакозмінний процес в рухах кори). Підвищення температури атмосферного повітря та інтенсивне розширення порід в зоні Оашського глибинного розлому спостерігається наприкінці місяця. Якщо враховувати фізичні аспекти геологічних процесів та їх зв'язків із факторами впливу на геодинамічний стан регіону, то важливо відмітити їх неоднозначність.

Важливо врахувати вплив на геомеханічні процеси також і температури атмосферного повітря, що вносить свій вклад в зміни фізичних характеристик порід земної кори. Дослідження важливі для визначення ступеня впливу факторів завад на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенеруючих регіонах, зокрема Закарпаття, Прикарпаття та прилеглих територій.

Варіації температури повітря та сейсмічність карпатського регіону. Розглянуто можливий зв'язок між варіаціями температури повітря та місцевою сейсмічністю в досліджений інтервал часу та регіону. Представлено часові розподіли варіацій температури атмосферного повітря в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину та регіональної сейсмічності (рисунок 7).

Землетруси в регіоні реєструються в періоди зменшення температури повітря, підвищення температури, тобто біля критичних точок варіацій метеорологічного параметру. Закарпатські землетруси також підлягають подібному розподілу (землетруси відбуваються в кінці місяця). Таким чином, землетруси рівномірно розподіляються в місячному часовому діапазоні: вони відбуваються при зміні температури повітря та в їх критичних точках (максимумах та мінімумах). Розрахований коефіцієнт



Рис. 4. Варіації температури атмосферного повітря (крива коричневого кольору) та атмосферного тиску (крива синього кольору) за січень 2024 року, щогодинні спостереження

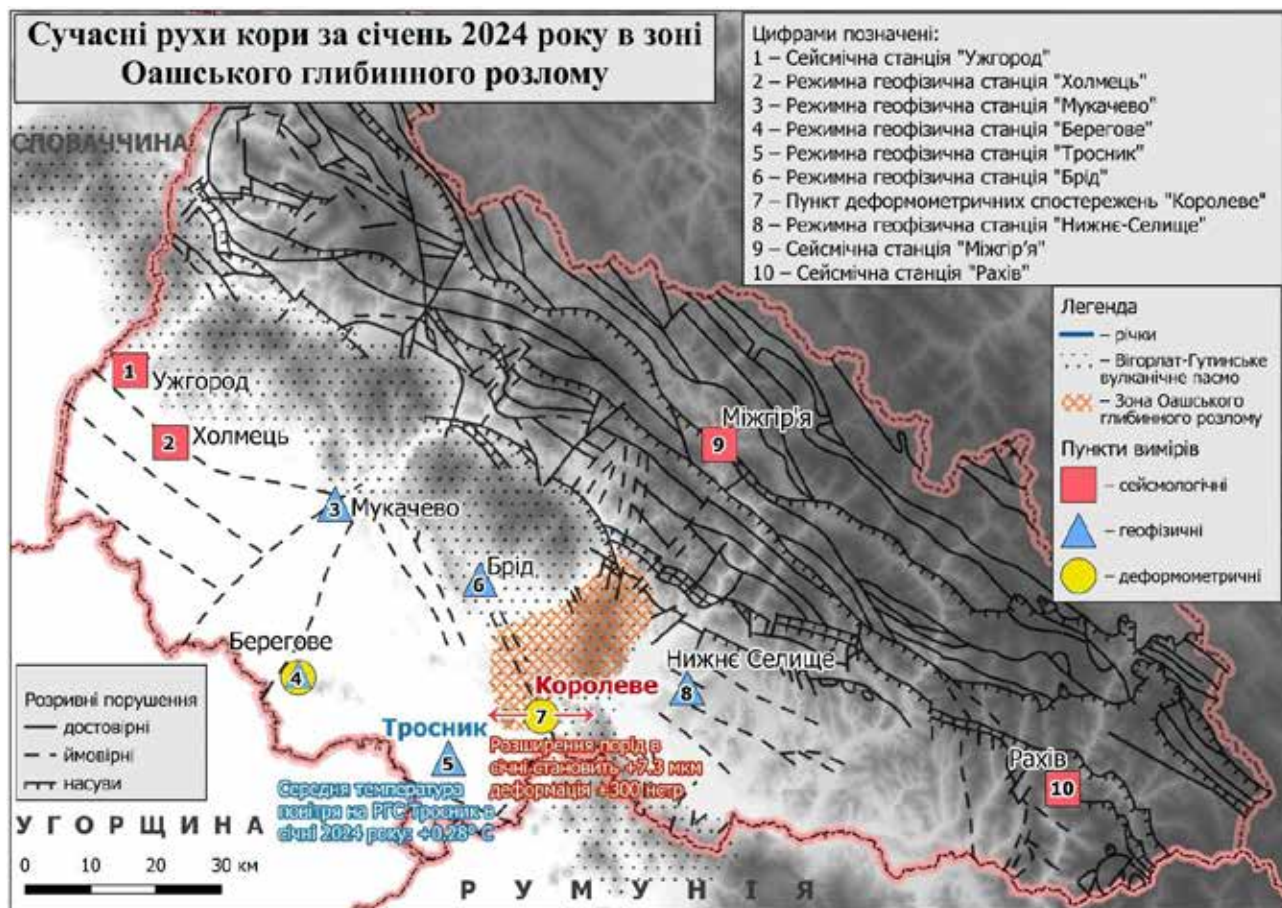


Рис. 5. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в січні 2024 року

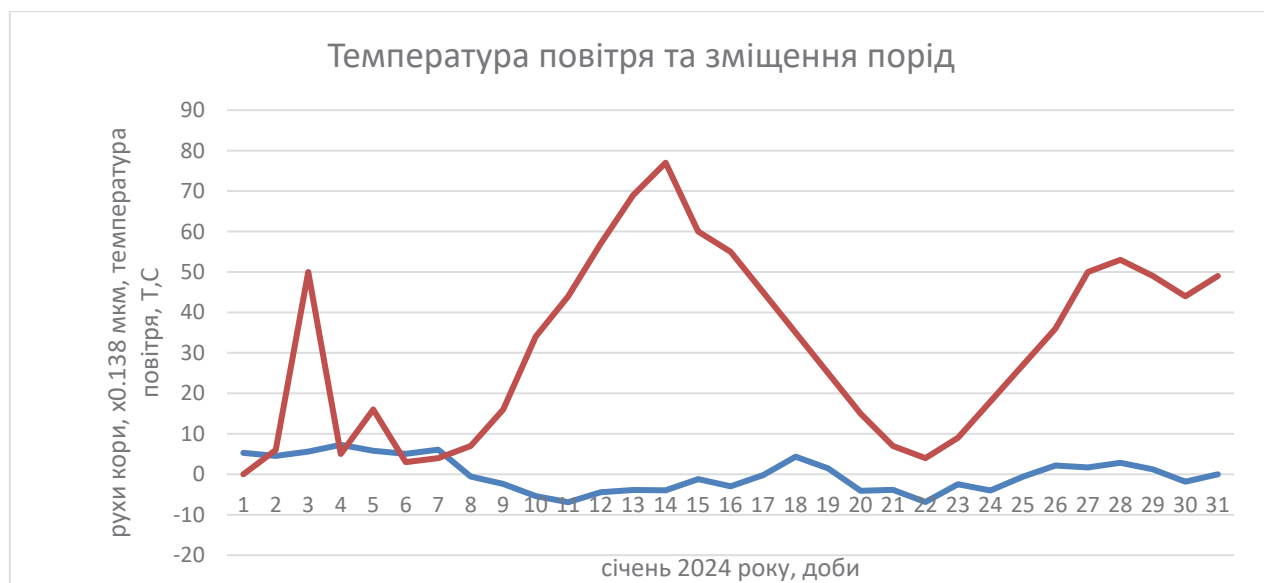


Рис. 6. Варіації температури повітря (крива синього кольору), зміщення порід в зоні Оашського глибинного розлому (крива коричневого кольору). Закарпатський внутрішній прогин, січень 2024 року

кореляції варіацій температури повітря та часового розподілу місцевої сейсмічності в січні 2024 року становить: -0.81 . Отриманий результат показує на

високий ступінь зв'язку або впливу температури повітря на сеймотектонічні процеси в карпатському регіоні.

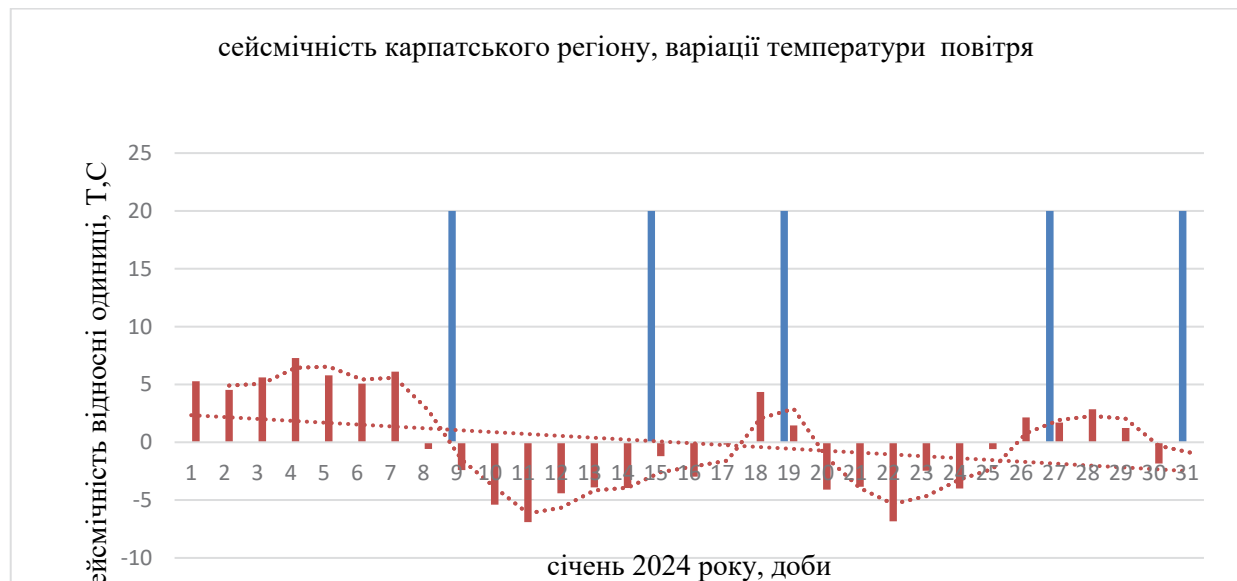


Рис. 7. Сейсмічність карпатського регіону (діаграма синього кольору), варіації температури повітря (діаграма коричневого кольору). Січень 2024 року

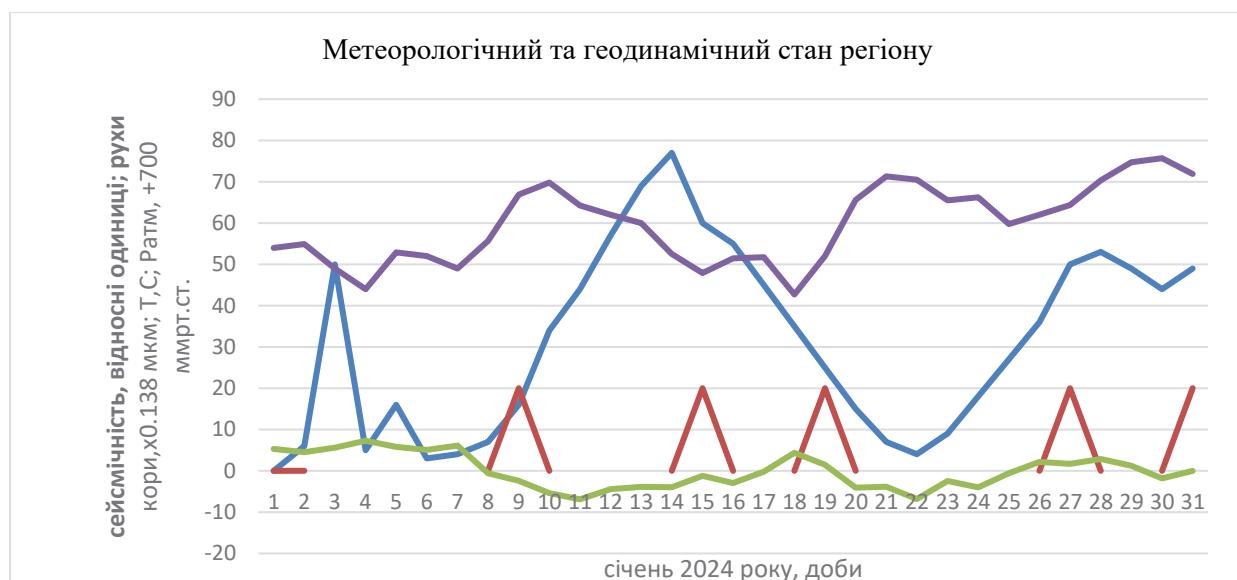


Рис. 8. Варіації атмосферного тиску (крива жовтого кольору), температури повітря (крива сірого кольору), сучасні рухи кори (крива синього кольору), сейсмічність карпатського регіону (діаграма коричневого кольору). Січень 2024 року

Представлено комплексний графік варіацій метеорологічних параметрів та параметрів сейсмотектонічного стану порід: варіацій атмосферного тиску та температури повітря, рухів кори та прояву сейсмічності регіону (рисунки 7, 8).

Землетруси в карпатському регіоні відбуваються в інтервалах часу, коли реєструють інтенсивні зміни сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, які в певній мірі викликані впливом метеорологічних факторів (температури повітря, атмосферного тиску). Таким чином, сейсмотектонічні

процеси в Карпатському регіоні зв'язані з факторами впливу на підготовку та прояв місцевої сейсмічності.

Головні висновки. В статті представлено результати дослідження сейсмотектонічних процесів в карпатському регіоні та їх зв'язок із варіаціями параметрів метеорологічного стану регіону за досліджуваний період 2024 року. Проведено вивчення варіацій температури повітря за січень 2024 року, розраховано середньомісячну її величину, яка становить: $+0.28^{\circ}\text{C}$. Виміряні зміщення земної кори при сучасних горизонтальних рухах кори в зоні

Оашського глибинного розлому представлені розширеннями порід величиною: $+7.3$ мкм, деформація порід при цьому становить: $+3 \times 10^{-7}$. Вказано на можливість використання середньодобових величин параметрів метеорологічного стану при вивченні взаємозв'язків геофізичних полів між собою. Встановлено зв'язок сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та місцевої сейсмічності в досліджуваній період. Показано, що варіації температури атмосферного повітря, а саме в інтервалах їх динамічних змін перебувають у зв'язку із сейсмотектонічними процесами в регіоні. Інтервали інтенсивних рухів кори, сейсмічної активності та варіацій температури повітря знаходяться в одних часових інтервалах. Отримані результати є підтвердженням ефективності використання геофізичного моніторингу сейсмонезбезпечного регіону. Алгоритми дослідження та їх результати можуть бути використані в навчально-виховному процесі як в базовій середній школі, позашкільній освіті так і при викладанні природничих дисциплін на природничих спеціальностях вищої освіти, зокрема при вивченні географії, екології та геофізики. Матеріали моніторингу екологічного стану регіону важливі при вивченні сучасних методів підготовки учнями наукових досліджень, геоінформатики, фізичних основ географічних процесів, геоінформаційних техноло-

гій, та застосуванні інформатики при вирішенні екологічних проблем сейсмонезбезпечних територій.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати отримані в статті важливі для наукових та практичних потреб. Використана методика та алгоритм дослідження екологічного, геодинамічного та сейсмічного станів в сейсмонезбезпечних регіонах таких як карпатський регіон можуть бути використані при вивченні природничих дисциплін. Їх можна застосувати на уроках географії, фізики, інформатики, на заняттях природних гуртків позашкільної освіти як в системі МАН та і в шкільних гуртках. Оскільки при дослідженні геофізичних явищ та географічних процесів використовувалися як математичні та і геоінформаційні методи, результати та і самий процес дослідження пропонується при викладанні природничих дисциплін на природничих факультетах вищих навчальних закладів (сучасні методиках та технології організації дослідницької діяльності учнів з географії, фізичних основи географічних процесів, географії, геоінформаційних технологій та інформатики). Пропонується також проведення дослідження впливу метеорологічних параметрів на геофізичні процеси в регіоні із розширення спектру метеорологічних полів та точок дослідження в Карпатському регіоні.

Література

1. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Моніторинг сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині за результатами комплексних геофізичних спостережень. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. 3(98). С. 42-48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>
2. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами деформометричних спостережень у регіоні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. 1(104). С. 13-21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>
3. Ігнатишин В., Малицький Д., Купльовський Б., Іжак Т., Молнар С., Рац А., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геофізичні аспекти сучасних горизонтальних рухів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину. *Геофізичний журнал*. 2025. 47 (2). С. 221-225 <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.320370>
4. Єгорова Т., Верпаховська О., Муровська Г. Тришарова структура Карпатської осадової призми за результатами сейсмічної міграції на профілях PANCAKE та RomUkrSeis WARR. *Геофізичний журнал*. 2022. 44 (2). С. 152-169. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.256270>
5. Андрущенко Ю., Ляшук О., Фарфуляк Л., Амашукелі Т., Ханієв О., Осадчий В., Петренко К., Вербицький С. Національний сейсмологічний бюлетень України за 2021 рік. *Геофізичний журнал*. 2023. 44 (6). С. 162-180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649>
6. Третяк К., Кухтар Д. Застосування інтерферометричних зображень радіолокаційного комплексу «Сентинел-1» для моніторингу вертикальних зміщень земної поверхні, що піддаються впливу неприпливного атмосферного навантаження. *Геофізичний журнал*. 2023. 45 (1). С. 87-101. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275180>
7. ByLin Shiyang, Ji Jianqing, Su Jun. Statistical analysis of global earthquake focal depth and distribution of seismic layer. *Chinese Journal of Geology*. 2019. 54(4). P. 1167-1184. In Chinese (Translated into English by LD).
8. Girgibo Nebiyu, Lü Xiaoshu, Hiltunen Erkki, Peura Pekka, Yang Tong, Dai Zhenxue. A conceptual framework for the future of sea-level rise and land uplift changes in the Vaasa region of Finland. *SCIREA Journal of Geosciences*. Volume 6, Issue 1. February 2022. P. 23-57. [10.54647/geosciences17154](https://doi.org/10.54647/geosciences17154)
9. Chunan Tang, Tianhui Ma, Xiaoli Ding. On stress-forecasting strategy of earthquakes from stress buildup, stress shadow and stress transfer (SSS) based on numerical approach. *Earthq Sci*. 2009. 22(1). P. 53-62. DOI: 10.1007/s11589-009-0053-y
10. Porkoláb K., Broerse T., Kenyeres A. Active tectonics of the Circum-Pannonian region in the light of updated GNSS network data. *Acta Geod Geophys*. 2023. 58. P. 149-173. <https://doi.org/10.1007/s40328-023-00409-8>
11. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2021. № 4(37). С. 114-120. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.17>
12. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т., Іжак Т.Й. Швидкості сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та їх зв'язок з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за

2020 рік. Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI), 28-30 вересня 2021 року. С. 244-248. УДК: 55+548/549.

13. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Вербицький С.Т., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2022. № 3(42). С. 98-106. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.16>
14. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Варіації астрофізичних параметрів та сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2022 рік. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. № 1(52). С. 42-51. <http://ecoj.dea.kiev.ua/52-1-2024>
15. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й. Метеорологічний аспект геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2021 рік. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*. 2024. № 1. С. 32-47.

Дата першого надходження рукопису до видання: 24.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025