

УДК 550.34

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ЕМІСІЯ СЕРЕДОВИЩА ЯК РЕАКЦІЯ НА СЕЙСМОТЕКТОНІЧНІ ПРОЦЕСИ В СЕЙСМОГЕНЕРУВАЛЬНИХ РЕГІОНАХ

### Ігнатишин Василь Васильович

кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник,  
відділ сейсмічності Карпатського регіону  
Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України;  
доцент кафедри географії та туризму,  
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна  
ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

### Іжак Тібор Йосипович

кандидат географічних наук, PhD, доцент,  
доцент кафедри географії та туризму,  
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-0940-8497

### Молнар Д Стефан Стефанович

PhD, доцент, доцент кафедри географії та туризму,  
Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна  
ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

**Актуальність дослідження:** Закарпаття – сейсмонезбезпечний регіон України. На вияв місцевої сейсмічності впливає геодинамічний стан регіону, який відбивається на зміні геофізичних полів. Важливо вивчити зміни електромагнітної емісії в періоди інтенсифікації сейсмотектонічних процесів, диференціюючи дослідження згідно з режимами опитування приладів, їх частоти. Актуально оптимізувати пошук ефективної частоти вимірювання електромагнітної емісії серед доступних для вимірювання. **Предметом дослідження** є варіації електромагнітної емісії в центральній частині Закарпаття, сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оаиського глибинного розлому, їх динамічних характеристик, вияву місцевої сейсмічності вивчення їх взаємозв'язків та перспектив подальших наукових досліджень; розрахунок ступеня кореляції низки параметрів досліджуваних геофізичних полів. **Мета дослідження:** вивчення взаємозв'язків геофізичних полів, зокрема електромагнітної емісії, поля деформацій у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, місцевої сейсмічної активності. **Методологія дослідження:** розрахунки кінематичних характеристик сучасних рухів кори, порівняння, кореляційний аналіз низки спостережень. **Результати дослідження:** показано, що інтенсивні горизонтальні зміщення земної кори в зоні Оаиського глибинного розлому супроводжуються аномальними варіаціями електромагнітної емісії, сейсмічною активізацією. **Практичне значення:** отримані результати важливі для пошуку ефективних методів вивчення процесів підготовки та виявів екологічно небезпечних процесів, їх екологічних аспектів, поповнення банку геофізичних даних. **Висновки:** досліджено зв'язок електромагнітної емісії центральної частини Закарпаття із сучасними горизонтальними рухами кори, сейсмічною активністю регіону у 2022 році. Показано, що ефективним методом вивчення сейсмотектонічних процесів у регіоні є використання прискорення сучасних горизонтальних рухів кори. **Перспектива подальших досліджень.** Результати досліджень можна використати при вивченні фізичних характеристик геологічних структур сейсмонезбезпечних регіонів, важливо дослідити зв'язки електромагнітної емісії із сейсмотектонікою регіону в інших діапазонах частот. Це важливо при пошуку оптимальних методик дослідження напружено-деформованого стану порід, їх майбутнього прогнозування.

**Ключові слова:** геодинамічний стан, електромагнітна емісія, сучасні горизонтальні рухи кори, Закарпатський внутрішній прогин, сейсмотектонічні процеси, землетруси.

## ELECTROMAGNETIC EMISSION OF THE MEDIUM AS A REACTION TO SEISMOTECTONIC PROCESSES IN SEISMOGENERATING REGIONS

### Ignatyshyn Vasyl Vasylovych

candidate of physical and mathematical sciences,  
Senior Research Fellow, Department of seismicity of the Carpathian region  
S. Subbotin Institute of Geophysics National Academy of Sciences of Ukraine;  
Associate Professor at the Department of Geography and Tourism,  
Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

### Izhak Tibor Yosypovych

Candidate of Geographical Sciences, PhD, associate professor,  
associate Professor of the Department of Geography and Tourism,  
Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0002-0940-8497

### Molnar D Stefan Stefanovych

PhD, docent, Associate Professor at the Department of Geography and Tourism,  
Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

**The relevance of the study:** Transcarpathia is a seismically hazardous region of Ukraine. The local seismicity is influenced by the geodynamic state of the region, which responds to changes in geophysical fields. It is important to study the changes in electromagnetic emission during periods of intensification of seismotectonic processes, differentiating the research according to the modes of instrumentation and their frequency. It is relevant to optimize the search for an effective frequency of electromagnetic emission measurement among those available for measurement. **The subject of the research** are the variations of electromagnetic emission in the central part of Transcarpathia, modern horizontal crustal movements in the Oash deep fault zone, their dynamic characteristics, manifestations of local seismicity, study of their interrelations and prospects for further research; calculation of the degree of correlation of a number of parameters of the studied geophysical fields. **The purpose of the research:** studying the interrelationships of geophysical fields, in particular electromagnetic emission, deformation field in the central part of the Transcarpathian internal trough, and local seismic activity. **Research methodology:** calculations of kinematic characteristics of modern crustal movements, comparison, correlation analysis of observation series. **Research results:** it has been shown that intense horizontal displacements of the earth's crust in the Oash deep fault zone are accompanied by anomalous variations in electromagnetic emission and seismic activation. **Practical significance:** the results obtained are important for finding effective methods for studying the processes of preparation and manifestations of environmentally hazardous processes, their environmental aspects, and replenishing the geophysical data bank. **Conclusions:** the relationship between the electromagnetic emission of the central part of Transcarpathia and modern horizontal crustal movements and seismic activity in the region in 2022 is investigated. It is shown that an effective method for studying seismotectonic processes in the region is to use the acceleration of modern horizontal crustal movements. **Prospects for further research:** the results of the research can be used to study the physical characteristics of geological structures in earthquake-prone regions, and it is important to investigate the relationship between electromagnetic emission and seismotectonics in other frequency ranges. This is important when searching for optimal methods for studying the stress-strain state of rocks and their future forecasting.

**Key words:** geodynamic state, electromagnetic emission, modern horizontal crustal movements, Transcarpathian internal trough, seismotectonic processes, earthquakes.

**Постановка проблеми.** Закарпаття – регіон України, що характеризується як сейсмогенерувальний. Тут сейсмічними станціями реєструються місцеві як слабкі, так і сильніші, відчутні. Також з метою вивчення варіацій геофізичних полів на території Закарпатського внутріш-

нього прогину споруджені та функціонують декілька режимних геофізичних станцій Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Проводиться моніторинг геофізичних полів: магнітного поля Землі, радіоактивного фону

середовища, варіацій електромагнітної емісії середовища, досліджуються взаємозв'язки їх із небезпечними геологічними процесами в регіоні. Важливо вивчити зміни електромагнітної емісії в періоди інтенсифікації сейсмотектонічних процесів, диференціюючи дослідження згідно з режимами опитування приладів, їх частоти. Актуально оптимізувати пошук ефективної частоти вимірювання електромагнітної емісії серед доступних для вимірювання.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

З огляду на підвищення сейсмічної активності Карпатського регіону та необхідність отримати реальну картину сейсмотектонічних процесів на території Закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих територіях проводять різнопланові дослідження геологічних процесів, що можуть вплинути на екологічний стан регіону. У статті [1] автори відмічають, що землетрус, який стався біля м. Суми, відбувся під впливом декількох напружених режимів, пов'язаних на регіональному рівні з перенесенням напруг із зони Вранча вздовж мантієного лінеамента Соллогуба та через зміну локального поля напруги, яка створює нестабільність літостатичного тиску і є передумовою появи додаткових напружень. У [2] проведено аналіз причин виникнення й розвитку природно-техногенних надзвичайних ситуацій, визначено найбільш характерні з них, які відбуваються на певній території, що має конкретні координати. Для оцінки ризику виникнення надзвичайних ситуацій найбільш доцільно використовувати геоінформаційні системи та геоінформаційні технології. У [3] представлено методіку та застосування малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників місцевих Закарпатських землетрусів, для вивчення метеотемпературних впливів на дані режимних геофізичних спостережень і розробки способів урахування таких впливів, що є одним із важливих завдань при проведенні геодинамічного моніторингу, зокрема, для деформографічних досліджень. Запропонована в [4] модель дасть змогу зменшити ентропію (невизначеність) системи майже вдвічі, що свідчить про необхідність використання геоінформаційних систем при ландшафтно-екологічному моніторингу. Для

достовірної оцінки напружено-деформованого стану гірських порід і, відповідно, для прогнозування карстових процесів та деформацій, пов'язаних із наявністю видобувних камер і розвитком карсту, можна успішно застосовувати метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі [5]. Проведено інтерпретацію експериментальних даних (деформаційних, геоакустичних і параметрів вогнища землетрусу) та встановлено їх зв'язок із сейсмічністю Закарпатського регіону з використанням статистичного (регресійного) аналізу [6]. У [7] проведено теоретичне визначення та моделювання критичних значень напружено-деформованого стану ґрунтового масиву під впливом навантажень, яке дає змогу передбачити характер впливу механічних процесів на еколого-геофізичний стан навколишнього середовища та дослідити стійкість інженерних споруд. У [8] показано результати моніторингу деформацій земної поверхні території Закарпаття, виконаного за допомогою методу радарної інтерферометрії, які мають практичну цінність та дають обґрунтовані результати, які в поєднанні з даними літолого-стратиграфічних, геоморфологічних і структурно-тектонічних досліджень можуть бути використані для прогнозування небезпечних геологічних процесів і мінімізації негативного впливу на природно-техногенні системи. Зсуви, карст, підтоплення, абразія, селі, поширення та інтенсивність вияву цих процесів визначаються особливостями геологічної та геоморфологічної будови території, її тектонічним, неотектонічним та сейсмічним режимом, а також гідрологічними, кліматичними, гідрогеологічними палео- й сучасними умовами [9]. У [10] проведено вдосконалення системи інтерпретації отриманих результатів, зареєстрованих сейсмічними станціями АЕС, що дало змогу визначати локальні, регіональні та телесеїсмічні події різної природи та енергетичного рівня, необхідні для розв'язання низки практичних завдань обробки та інтерпретації сейсмологічних даних. Проведено сучасні синхронні магніотелуричні дослідження геофізичних полів за профілями та отримано просторово-часову картину розподілу геомагнітних варіацій та електричного поля на поверхні

Землі, за якою можна оцінити електропровідність і геоелектричну структуру регіону [11]. У роботі [12] проаналізовано сучасні тенденції горизонтальних та вертикальних зміщень території заходу України за ГНСС-даними, включно з побудовою відповідних карт рухів та з виділенням зон деформацій верхнього шару земної кори, установлено, що деформації території Заходу України є складними й лише частково співвідносяться з відомою тектонічною будовою в регіоні. Координати вогнищ серії слабких землетрусів, що відбувалися протягом 2013–2015 рр. поблизу с. Тросник на півдні Закарпаття, визначено за їхніми різницевиими вступами на українських, словацьких, угорських і румунських станціях [13]. Показано, що епіцентр найсильнішого землетрусу опинився на розломі донеогенового фундаменту паралельного до дуги Карпат простягання. У [14] розроблено засади кількісної оцінки напружено-деформованого стану порушеного масиву гірських порід як основи теоретичної оцінки розподілу природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Урахування викладених у [15] особливостей сейсмотектоніки зони зчленування Оашського і Закарпатського розломів сприятиме уточненню оцінок характеристик та особливостей просторового розподілу природних геоелектричних, зокрема сейсмотектонічних ризиків і небезпек у центральній частині Українського Закарпаття. У [16] представлено алгоритм визначення координат землетрусів, який найдоцільніше використовувати в разі дуже слабких землетрусів або малої кількості станцій, коли істотна частина даних відсутня. Геомеханічні процеси можуть змінити фізичні характеристики порід у верхніх шарах земної кори. Ці зміни безпосередньо впливають на варіації параметрів геофізичних полів, що, зі свого боку, важливо при вивченні сейсмотектонічних явищ у регіоні. У [17] представлено результати вивчення метеорологічного та сейсмотектонічного стану Закарпатського внутрішнього прогину, зокрема за 2021 рік, вказано на вплив температури повітря на сучасні рухи кори та прояв місцевої сейсмічності. Дослідженню змін параметрів радіоактивного фону середовища на тлі сучасних горизонтальних рухів кори в зоні

Оашського глибинного розлому та вияву сейсмічної активності в Закарпатському внутрішньому прогині присвячено роботу, результати якої представлено в [18]. Указано на аномальні варіації гамма-випромінювання в інтервалах інтенсивних рухів кори в сейсмогенерувальних регіонах. Вивчення магнітного поля Землі, його зв'язку з геодинамікою Закарпаття вказали на кореляцію параметрів геофізичних полів, їх динаміки в періоди аномальних виявів. Вектор магнітної індукції реагує на інтенсивні рухи кори та швидкі геологічні процеси в регіоні [19]. Для розуміння відгуку геофізичних полів на сейсмотектоніку регіону важливо мати арсенал параметрів сучасних горизонтальних рухів кори, що безпосередньо впливають на екологічну ситуацію в Закарпатті. У [20] представлено результати вимірювання сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, розрахунку кінематичних характеристик георухів, вивчення зв'язків з місцевою сейсмічністю, ступеня кореляції, вказано, що прискорення рухів кори змінюється в період реєстрації місцевих землетрусів.

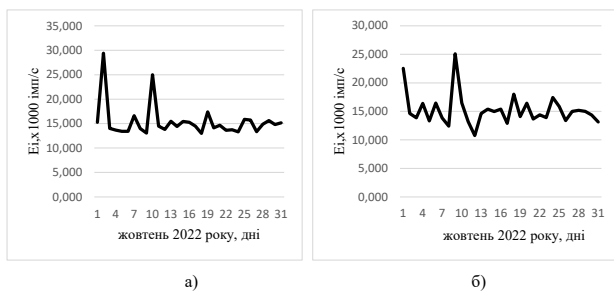
**Постановка завдання.** Завдання роботи полягає в аналізі варіацій параметрів електромагнітної емісії в центральній частині Закарпаття, вивченні стану сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, часового розподілу місцевої сейсмічності, розрахунку та порівнянні їх кінематичних характеристик: швидкості та прискорення, розрахунків ступеня кореляції та їх взаємозв'язків за 2022 рік; дослідження зв'язку сейсмотектоніки з варіаціями електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц.

**Метадослідження**—вивчити взаємозв'язки геофізичних полів, зокрема електромагнітної емісії, поля деформацій у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, місцевої сейсмічної активності. **Предметом дослідження** є варіації електромагнітної емісії в центральній частині Закарпаття, сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, їх динамічних характеристик, вияву місцевої сейсмічності вивчення їх взаємозв'язків та перспектив подальших наукових досліджень; розрахунок

ступеня кореляції низки параметрів досліджуваних геофізичних полів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для виконання поставлених завдань проаналізовано варіації електромагнітної емісії, виміряні на режимній геофізичній станції «Тросник», розташований у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину. Для аналізу зміни електромагнітної емісії в досліджуваному регіоні використано низку даних, виміряних у діапазоні 12,5 кГц. Методика спостереження параметрів геофізичного поля полягає у вимірюванні електромагнітної емісії протягом доби: 00.00, 06.00, 12.00, 18.00 (за Гринвіцьким часом). Спостереження варіацій електромагнітної емісії проводиться в діапазоні частот: 2 кГц, 5 кГц, 12,5 кГц, 17 кГц, 2–50 кГц, режим опитування – 1 с, 1 хв, 10 хв. З метою вивчення зв'язків геофізичного поля з геодинамічним станом та сейсмічністю регіону досліджено часовий розподіл варіацій електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц в різні періоди доби. Також показано зміни середньодобових величин електромагнітної емісії від часу, комплекс часових залежностей електромагнітної емісії протягом добових спостережень. На рисунку 1, а представлено зміни величин електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц, виміряну в 00.00 годин за Гринвічем у жовтні 2022 року. Одиницею вимірювання електромагнітної емісії є імпульси за секунду.

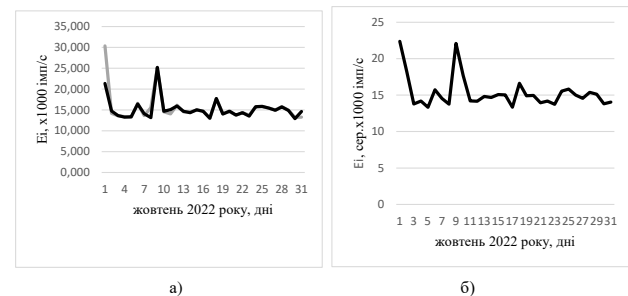
емісії є імпульси за секунду.



**Рис. 1. а) варіації електромагнітної емісії, виміряної на режимній геофізичній станції «Тросник» у жовтні 2022 року о 00.00 (за Гринвіцьким часом) у діапазоні частот 12,5 кГц; б) варіації електромагнітної емісії, виміряної на режимній геофізичній станції «Тросник» у жовтні 2022 року о 06.00 (за Гринвіцьким часом) у діапазоні частот 12,5 кГц**

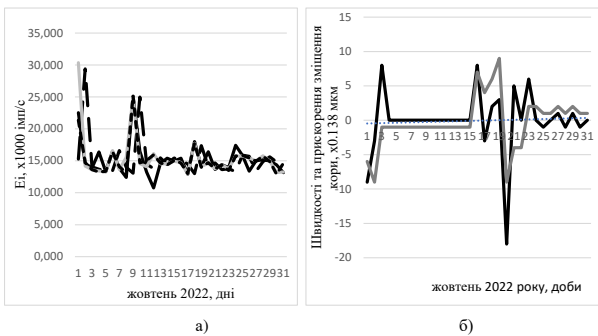
Якісний аналіз представленого графіка дає змогу визначити періодичність електромагнітної емісії та їх екстремальні значення. Мінімальне значення спостережуваної величини о 00.00 годин (за Гринвічем) становить 13 000 імпульсів за секунду, максимальне значення дорівнює 29 390 імпульсів за секунду. Виокремлюють періоди коливання спостережуваної величини в діапазоні 2, 3, 4, 5 діб, спостерігається тенденція до зменшення електромагнітної емісії протягом місяця, на тлі двох добових коливань електромагнітної емісії виокремлюють аномальні величини на початку місяця. На рисунку 1, б представлено коливання параметрів електромагнітної емісії в спостережуваному діапазоні, виміряні о 06.00 (за Гринвічем). Коливання електромагнітної емісії, виміряної о 06.00, характерне періодами 2, 4, 6 та 8 діб, мінімальне значення спостережуваної величини становить 10 760 імпульсів за секунду. Максимальна величина електромагнітної емісії дорівнює 25 090 імпульсів за секунду. Порівняння періодів коливань спостережуваних величин указує на їх подібність. Побудовано часовий розподіл електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц, виміряні о 12.00 та 18.00 годині за Гринвічем (рисунок 2, а).

Аналіз представлених вище часових залежностей показує на ідентичність графі-



**Рис. 2. а) варіації електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц, виміряні на геофізичній станції «Тросник» у жовтні 2022 року о 12.00 (крива сірого кольору) та 18.00 (крива чорного кольору) (за Гринвіцьким часом) у жовтні 2022 року; б) середньодобові величини електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц, виміряні на режимній геофізичній станції «Тросник» у жовтні 2022 року**

ків, що свідчить про подібність варіацій електромагнітної емісії в другій половині доби: періоди коливань – 2, 3, 4 та 5 діб, важливо відмітити, що переважає період тривалістю в 3 доби. Величини електромагнітної емісії спадають протягом усього періоду спостережень. На основі вищевикладених результатів спостережень побудовано часову залежність розрахованих середньодобових величин електромагнітної емісії (рисунок 2, б). Варіації електромагнітної емісії, представлені на рисунку 5, узагальнюють результати спостереження та підтверджують періодичність реєстрації аномальних величин спостережуваного геофізичного поля. Розраховано середньомісячну величину електромагнітної емісії за жовтень 2022 рік, який становить 15 310 імпульсів за секунду. Отримані висновки підтверджують графіки, зображені на рисунку 3, а.



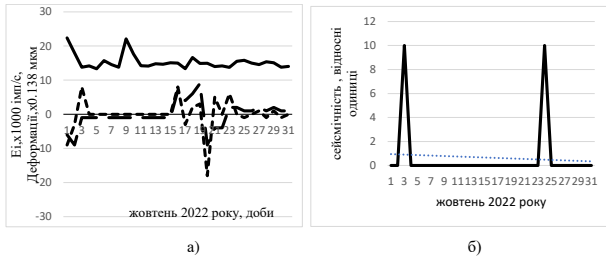
**Рис. 3. а) електромагнітна емісія в діапазоні 12,5 кГц у жовтні 2022 року в Закарпатському внутрішньому прогині, виміряна о 00.00 (за Гринвіцьким часом) – крива чорного кольору; виміряна о 06.00 (за Гринвіцьким часом) – штрихлінія; виміряна о 12.00 (за Гринвіцьким часом) – крива сірого кольору; виміряна о 18.00 (за Гринвіцьким часом) – пунктирна лінія; б) кінематичні характеристики сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в жовтні 2022 року: прискорення зміщення земної кори (крива чорного кольору); швидкість геомеханічних рухів земної кори (крива сірого кольору)**

Важливо відмітити, що за результатами спостережень, представлених вище, встановлено чітко виражені часові інтервали, що характеризуються аномальними величинами електромагнітної емісії та змінюються з періодами в 6, 7 та 11 діб. Амплітуди коливань параметра геофізичного поля зменшуються нелінійно.

Наступним елементом дослідження, згідно з поставленою метою, є вивчення сучасних рухів кори за досліджуваний період. Сучасні рухи кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину вимірюють на пункті деформометричних спостережень «Королеве» (Берегівський район, селище Королеве). Для вивчення зв'язків геофізичних полів необхідно використати кінематичні характеристики сучасних горизонтальних рухів кори, а саме швидкості та прискорення зміщення верхніх шарів земної кори. Розраховано величини прискорення та швидкостей за жовтень 2022 року та побудовано його часовий розподіл, який представлено на рисунку 3, б. Величина зміщення гірських порід виміряна в жовтні 2022 року в зоні Оашського глибинного розлому становить розширення величиною 1,14 мкм, а деформації земної дорівнюють 50,7 нстр (нанострейн,  $\times 10^{-9}$ ). Коливання кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори вказують на існування часових інтервалів, які характеризуються інтенсивними рухами кори: на початку місяця та в другій половині, тривалість аномальних рухів становить від трьох діб на початку місяця до восьми діб у другій половині жовтня 2022 року. Амплітуда коливання прискорення рухів дорівнює 1,52 мкм, швидкості рухів – 1.24 мкм.

Протягом місяця спостерігають знакозмінний процес у геомеханічних рухах у зоні Оашського глибинного розлому: стиснення порід поступово переходить у розширення порід. Такі знакозмінні процеси супроводжуються підвищенням сейсмічності регіону. Вивчено часові розподіли варіацій електромагнітної

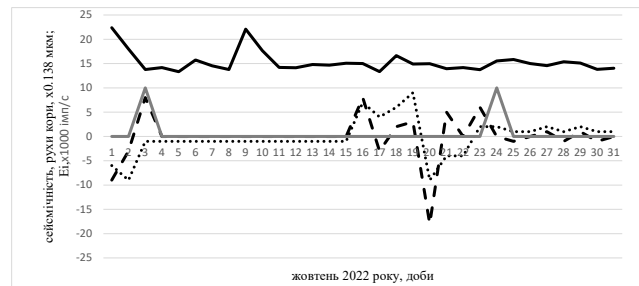
емісії та сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за жовтень 2022 року, побудовано графіки залежностей вимірних величин (рисунок 4, а).



**Рис. 4. а) варіації електромагнітної емісії (крива чорного кольору), сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива сірого кольору); швидкість рухів кори (штрихлінія), прискорення рухів кори (пунктирна лінія). Жовтень 2022 року. Закарпатський внутрішній прогин; б) сейсмічна активність Карпатського регіону, жовтень 2022 року**

Знакозмінний процес горизонтальних рухів кори в жовтні 2022 року відображається на варіації кінематичних характеристик – швидкості та прискоренні рухів кори, що тривають близько 10 діб. Електромагнітна емісія реагує на процеси стиснення порід у першій половині місяця, тут виявлено декілька збурень на графіку часового розподілу досліджуваної величини. Знакозмінний процес у сучасних рухах кори також супроводжується збуреннями електромагнітної емісії, розширення порід відгукується на кривій варіації спостережуваного геофізичного поля. Розраховано кореляційний коефіцієнт між варіаціями електромагнітної емісії та рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому, який дорівнює  $-0,1$ . Розраховано ступінь кореляції електромагнітної емісії та кінематичних параметрів сучасних горизонтальних рухів кори, зокрема швидкості рухів кори:  $-0,26$ . Кореляція електромагнітної емісії та прискорення сучасних горизонтальних рухів кори становить  $-0,3$ . Отже, найбільший коефіцієнт кореляції між варіаціями електромагнітної емісії в досліджуваній період належить до прискорення сучасних горизонтальних рухів кори. Отриманий результат указує на ефективність використання прискорення рухів кори

при вивченні процесів геологічного характеру, зміщень кори та землетрусів. Вивчення геодинаміки регіону й відгуків геофізичних полів необхідні для дослідження періодів вияву місцевих землетрусів, що важливо в майбутніх прогностичних роботах. Побудовано часовий розподіл місцевої сейсмічності за жовтень 2022 року, при цьому використано сейсмічний бюлетень Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України (рисунок 4, б). У жовтні 2022 року на території Карпатського регіону зареєстровано 2 землетруси: 03.10.2022 року (Карпати, час у вогнищі: 15.44.10.4 (за Гринвічем), магнітуда рівна: 3, 6); Угорщина, магнітуда рівна: 1.6). Розглянуто часовий розподіл місцевої сейсмічності, варіації електромагнітної емісії та кінематику геодинамічного стану регіону (рисунок 5).



**Рис. 5. Варіації електромагнітної емісії (крива чорного кольору), сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору), швидкість рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (пунктирна лінія), прискорення сучасних горизонтальних рухів (штрихлінія). Жовтень 2022 року**

Землетруси відбуваються в періоди інтенсивних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, що характеризуються аномальними величинами кінематики сучасних горизонтальних рухів кори. Розгляд варіацій електромагнітної емісії за жовтень 2022 року вказує, що підвищені величини електромагнітної емісії реєструються як в інтервалах інтенсивних рухів, так і після сейсмічної активізації регіону.

**Висновки й перспективи подальших досліджень.** Закарпаття – територія зі складною геологічною будовою, вивчення та дослі-

дження її актуальне, оскільки вона також характеризується підвищеною сейсмічністю, як порівняти з іншими регіонами України. На території Закарпатського внутрішнього прогину створено Карпатський геодинамічний полігон, де розташовані режимні пункти спостережень параметрів різних геофізичних полів. На цих пунктах проводять вимірювання величин магнітного поля Землі, радіоактивного фону середовища, електромагнітної емісії. Виконано розрахунки кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, побудовано часовий розподіл місцевої сейсмічності, вивчено варіації електромагнітної емісії в діапазоні 12,5 кГц, який важливо дослідити. Досліджено на предмет взаємозв'язків спостережувані низки геофізичних полів та розуміння картини сеймотектоніки регіону та її впливу на електромагнітну емісію в діапазоні низьких частот. Модель геофізичного стану сейсмонебезпечного регіону: інтенсивні рухи кори в горизонтальному напрямку супроводжуються виявом

місцевої сейсмічності, ці процеси знаходять відгуки у варіаціях параметрів геофізичних полів, які спостерігаються до й після аномальних сеймотектонічних процесів. Розрахований ступінь кореляції сейсмічності та електромагнітної емісії становить 0.1. Кореляція сейсмічності регіону та прискорення рухів кори становить 0.24, а кореляція швидкості рухів та місцевої сейсмічності – 0.05.

Отже, найбільше корелюють між собою прискорення рухів кори та вияви місцевої сейсмічності, що підтверджує висновок про ефективність від використання кінематики сучасних горизонтальних рухів кори, зокрема в зоні Оашського глибинного розлому. Результати досліджень можна використати при вивченні фізичних характеристик геологічних структур сейсмонебезпечних регіонів, важливо дослідити зв'язку електромагнітної емісії із сеймотектонікою регіону в інших діапазонах частот. Це важливо при пошуку оптимальних засобів дослідження напружено-деформованого стану порід, їх майбутнього прогнозування.

### Література

1. Чалий О., Дяконеску М., Гурова І., Лісовий Ю., Пігулевський П., Щербина С., Шевцов А., Шумлянська Л. Причина активної сейсмічності в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(83), 2018. Сс. 38–45. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.83.05>.
2. Зацерковний В., Богословський М. Розробка моделі функціонального стану об'єкта моніторингу для завдань оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(83), 2018. С. 91–97. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.83.13>.
3. Назаревич А., Назаревич Л., Баштевич М. Виділення малоамплітудних деформаційних аномалій–провісників місцевих закарпатських землетрусів з урахуванням метеопружних деформацій. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(84), 2019. С. 21–26. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.84.03>.
4. Зацерковний В., Плічко Л., Приліпко О., Ніколаєнко О., Мужанова Т. Обґрунтування доцільності застосування геоінформаційних систем у ландшафтно-екологічному моніторингу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(88), 2020. С. 98–105. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.14>.
5. Багрій С., Кузьменко Е., Дзьоба У. Зв'язок природного імпульсного електромагнітного поля Землі з напруженнями та деформаціями гірських порід на відпрацьованих родовищах солі в Передкарпатті в задачах прогнозування розвитку карсту. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(89), 2020. С. 79–88. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>.
6. Хом'як М., Малицький Д., Асташкіна О., Махніцький М., Кравець С., Микита А., Грицай О. Регресійний аналіз сейсмічних і геофізичних параметрів та його застосування для дослідження сейсмічності Закарпатського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(90), 2020. С. 49–53. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.07>.
7. Стародуб Ю., Гаврись А., Козіонова О. Моделювання впливу еколого-геофізичного стану ґрунтів на інженерні мостобудівні об'єкти. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(90), 2020. С.97–103. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.14>.
8. Углицьких Є., Вишва С., Іванік О. Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні території Закарпаття за даними радарної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 4(91), 2020. С. 94–99. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.13>.



9. Пакшин М., Ляска І. Каблак Н., Яремко Г. Дослідження впливу гірничих виробок рудників ДП «Солотвинський солерудник» на земну поверхню, будівлі та споруди із використанням супутникового радарного моніторингу. *Геодинаміка*, 2(31)/2021. С. 41–52.
10. Андрущенко Ю., Лящук О. Локальні сейсмологічні мережі атомних електростанцій України, як складові частини національної системи сейсмологічного моніторингу. *Геодинаміка*, 2(31)/2021. С. 84–91. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.084>.
11. Кушнір А., Бурахович Т., Ільєнко В., Ширков Б. Сучасні магнітотелуричні дослідження Українських Карпат. *Геодинаміка*, 2(31)/2021. С. 92–101. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.092>.
12. Третяк К., Брусак І. Сучасні деформації земної кори території Заходу України за даними ГНСС мережі «GEOTERRACE». *Геодинаміка*, 1(32)/2022. С. 16–25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.
13. Гнип А. Визначення різницевої координат і механізму вогнища землетрусів поблизу с. Тросник у Закарпатті протягом 2013–2015 рр.: Методичні аспекти та аналіз результатів. *Геодинаміка*, 2(33)/2022. С. 50–63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.
14. Кузьменко Е., Багрій С., Артим І., Артим В. Відображення розподілу механічних напруг в гірничих масивах у динаміці інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі. *Геодинаміка*, 2(33)/2022. С. 64–97. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.065>.
15. Назаревич А., Назаревич Л., Байрак Г., Пиріжок Н. Сеймотектоніка зони перетину Оашського і Закарпатського глибинних розломів (Українське Закарпаття). *Геодинаміка*, 2(33)/2022. С. 99–114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.
16. Гнип А., Малицький Д. Визначення координат землетрусів у кластерах на основі варіацій інтервалів між вступами Р– та S-хвиль. *Геодинаміка*, 2(35)/2023. С. 19–32. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.019>.
17. 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*, № 1, 2024. С. 32–47.
18. Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й., Молнар Д. С. С. Радіоактивний фон середовища та сучасні рухи кори в Закарпатському внутрішньому прогині: сейсмічний аспект. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 2, 2024. С. 58–68.
19. Ігнатишин В. В., Малицький Д. В., Іжак Т. Й., Молнар Д. С. С., Рац А. Й., Ігнатишин А. В. Дослідження змін параметрів магнітного поля та поля деформацій у сейсмонезбезпечних регіонах. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 3, 2024. С. 48–59. ISSN 2786–5843 (Print) ISSN 2786–6440 (Online).
20. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар Д. С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами деформометричних спостережень в регіоні. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Геологія*. Том 1, № 104, 2024. С. 13–21.

## References

1. Chalyi, O., Diakonesku, M., Hurova, I., Lisovyi, Yu., Pihulevskyi, P., Shcherbyna, S., Shevtsov, A., & Shumlianska, L. (2018). Prychyna aktyvnoi seismichnosti v Ukraini [The cause of active seismicity in Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 4(83), 2018, 38–45. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.83.05>.
2. Zatserkovnyi V., & Bohoslovskyi M. (2018). Rozrobka modeli funktsionalnoho stanu obiekta monitorynha dlia zavdan otsinky ryzykiv vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii [Development of a model of the functional state of the monitored object for disaster risk assessment]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 4(83), 91–97. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.83.13>.
3. Nazarevych, A., Nazarevych, L., & Bashtevych, M. (2019). Vydilennia maloamplitudnykh deformatsiinykh anomalii–provisnykh mistsevykh zakarpatskykh zemletrusiv z urakhuvanniam meteoropuzhnykh deformatsii [Identification of low-amplitude deformation anomalies-precursors of local Transcarpathian earthquakes with regard to meteorological deformations]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 1(84), 21–26. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.84.03>.
4. Zatserkovnyi, V., Plichko, L., Prylipko, O., Nikolaienko O., & Muzhanova T. (2020). Obgruntuvannia dotsilnosti zastosuvannia heoinformatsiinykh system u landshaftno-ekolohichnomu monitorynhu [Substantiation of the feasibility of using geographic information systems in landscape and environmental monitoring]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 1(88), 98–105. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.14>.
5. Bahrii, S., Kuzmenko, E., & Dzoba, U. (2020). Zviazok pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli z napruzhenniamy ta deformatsiiamy hirskykh porid na vidpratsovanykh rodovyshchakh soli v Peredkarpatti v zadachakh prohnozuvannia rozvytku karstu [Connection of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations of rocks in the spent salt deposits in the Carpathian region

in the problems of predicting the development of karst]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 2(89), 79–88. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>.

6. Khomiak, M., Malyskyi, D., Astashkina, O., Makhnitskyi, M., Kravets, S., Mykyta, A., & Hrytsai O. (2020). Rehresiyni analiz seismichnykh i heofizychnykh parametriv ta yoho zastosuvannia dlia doslidzhennia seismichnosti Zakarpatskoho rehionu [Regression analysis of seismic and geophysical parameters and its application to study the seismicity of the Transcarpathian region]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 3(90), 49–53. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.07>.

7. Starodub, Yu., Havrys, A., & Kozionova, O. (2020). Modeliuvannia vplyvu ekoloho-heofizychnoho stanu gruntiv na inzhenerni mostobudivni obiekty [Modeling the impact of the ecological and geophysical state of soils on engineering bridge structures]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 3(90), 97–103. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.14>.

8. Uhlytskykh, Ye., Vyzhva, S., & Ivanik, O. (2020). Monitorynh vertykalnykh zmishchen zemnoi poverkhni terytorii Zakarpattia za danymy radarnoi interferometrii [Monitoring of vertical displacements of the earth's surface in Transcarpathia using radar interferometry data]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 4(91), 94–99. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.13>.

9. Pakshyn, M., Liaska, I. Kablak, N., & Yaremko, H. (2021). Doslidzhennia vplyvu hirnychykh vyrobok rudnykiv DP “Solotvynskyi solerudnyk” na zemnu poverkhniu, budivli ta sporudy iz vykorystanniam suputnykovoho radarnoho monitorynhu [Study of the impact of mine workings of the Solotvyno salt mine on the earth's surface, buildings and structures using satellite radar monitoring.]. *Heodynamika*, 2(31)/2021. Ss. 41–52.

10. Andrushchenko, Yu., & Liashchuk, O. (2021). Lokalni seismolohichni merezhi atomnykh elektrostantsii Ukrainy, yak skladovi chastyny natsionalnoi systemy seismolohichnoho monitorynhu [Local seismological networks of nuclear power plants in Ukraine as components of the national seismological monitoring system.]. *Heodynamika*, 2(31), 84–91. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.084>.

11. Kushnir, A., Burakhovych, T., Iliencko, V., & Shyrkov, B. (2021). Suchasni mahnitotelurichni doslidzhennia Ukrainskykh Karpat [Modern magnetotelluric studies of the Ukrainian Carpathians]. *Heodynamika*, 2(31), 92–101. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.092>.

12. Tretiak, K., & Brusak, I. (2022). Suchasni deformatsii zemnoi kory terytorii Zakhodu Ukrainy za danymy HNSS merezhi «GEOTERRACE» [Modern deformations of the Earth's crust in the territory of Western Ukraine according to GNSS data of the GEOTERRACE network]. *Heodynamika*, 1(32), 16–25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.

13. Hnyp, A. (2022). Vyznachennia riznytsevykh koordynat i mekhanizmu vohnyshcha zemletrusiv poblyzu s. Trosnyk u Zakarpatti protiahom 2013–2015 rr.: Metodychni aspekty ta analiz rezultativ [Determination of difference coordinates and focal mechanism of earthquakes near the village of Trosnyk in Transcarpathia during 2013–2015: Methodological aspects and analysis of results]. *Heodynamika*, 2(33), 50–63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.

14. Kuzmenko, E., Bahrii, S., Artym, I., & Artym, V. (2022). Vidobrazhennia rozpodilu mekhanichnykh napruh v hirnychykh masyvakh u dynamitsi intensyvnosti pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli [Reflection of the distribution of mechanical stresses in rock masses in the dynamics of the intensity of the Earth's natural pulsed electromagnetic field]. *Heodynamika*, 2(33), 64–97. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.065>.

15. Nazarevych, A., Nazarevych, L., Bairak, H., & Pyrizhok, N. (2022). Seismotektonika zony peretynu Oashskoho i Zakarpatskoho hlybynnykh rozlomiv (Ukrainske Zakarpattia) [Seismotectonics of the zone of intersection of the Oash and Transcarpathian deep faults (Ukrainian Transcarpathia)]. *Heodynamika*, 2(33), 99–114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.

16. Hnyp, A., & Malyskyi, D. (2022). Vyznachennia koordynat zemletrusiv u klasterakh na osnovi variatsii intervaliv mizh vstupamy R– ta S-khvyly [Determination of earthquake coordinates in clusters based on variations in the intervals between P– and S-wave arrivals.]. *Heodynamika*, 2(35), 19–32. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.019>.

17. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.I., Molnar, D S. S., & Rats, A.I. (2024). Meteorolohichni aspekt heodynamichnoho stanu Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za 2021 rik [Meteorological aspect of the geodynamic state of the Transcarpathian Internal Trough in 2021]. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 1, 32–47.

18. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.I., & Molnar, D S.S. (2024). Radioaktyvnyi fon seredovyscha ta suchasni rukhy kory v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni: seismichni aspekt [Radioactive background of the environment and modern crustal movements in the Transcarpathian internal trough: seismic aspect.]. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 2, 58–68.

19. Ihnatyshyn, V.V., Malyskyi, D.V., Izhak, T.I., Molnar, D S.S., Rats, A.I., & Ihnatyshyn, A.V. (2024). Doslidzhennia zmin parametriv mahnitnoho polia ta polia deformatsii u seismonebezpechnykh rehionakh [Study of changes in magnetic field and strain field parameters in earthquake-prone regions]. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 3, 48–59. ISSN 2786-5843 (Print) ISSN 2786-6440 (Online).

20. Ihnatyshyn, V., Malyskyi, D., Izhak, T., Molnar, D S., Ihnatyshyn, M., & Ihnatyshyn, A. (2024). Heodynamichni stan Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za rezultatamy deformometrychnykh sposterezhen v rehioni [The geodynamic state of the Transcarpathian Internal Trough based on the results of deformometric observations in the region.]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu im. Tarasa Shevchenko, Heolohiia*. Tom 1, № 104, 13–21.