

CHAPTER «GEOLOGICAL SCIENCES»

GEOPHYSICAL FIELDS AND THEIR INTERRELATIONSHIPS IN EARTHQUAKE-PRONE REGIONS

ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ ТА ЇХ ВЗАМОЗВ'ЯЗКИ В СЕЙСМОНЕБЕЗПЕЧНИХ РЕГІОНАХ

Vasyl Ignatyshyn¹

Tibor Izhak²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-531-0-10>

Abstract. The Zakarpattia internal trough is characterized by periodic seismicity, with local earthquakes of various energy classes recorded here: from weak tremors detected only by instruments to strong ones that cause certain destruction and are already felt by the population of the region. The seismicity of the region is accompanied by the response of the parameters of various geophysical fields: the Earth's magnetic field, electromagnetic emission, and radioactive background of the environment. The stress-strain state of the Earth's crust is influenced by factors of the meteorological and hydrogeological state of the region, which can accelerate or slow down seismotectonic processes in an earthquake-prone region. It is important to investigate the interrelationships of various geophysical fields in the time intervals of increasing seismicity in the region. We studied the relationships between the parameters of the Earth's magnetic field and the parameters and geodynamic states of the region, and noted the consistency of the anomalies

¹ 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, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0727-2132>

² 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, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0940-8947>

of the Earth's magnetic field, the seismicity of the region, and the current horizontal crustal movements in the Oash Deep Rift zone. The responses of the radioactive background of the environment to the seismotectonics of the region were also studied, and an increase in the studied parameter was noted before intense crustal movements and the manifestation of local seismicity. The influence of geomechanical processes on the variations of electromagnetic emission was also studied, which indicated their connection, electromagnetic emission in different ranges of observation responded to crustal movements and local seismicity. It is important to understand the geodynamic and seismic processes to understand the response of the fields to their dynamics of change. *The purpose* of the article is to study the temporal variations of geophysical field parameters, their dynamics, and their mutual influence. The object of the study is variations of electromagnetic emission in different frequency ranges, variations of the Earth's magnetic field, dynamics of changes in the Earth's magnetic field. The subject of the study is the relationship between the parameters of the Earth's magnetic field and the parameters of electromagnetic emission, and the identification of their features. *Methodology.* To achieve this goal, we used the results of comprehensive geophysical observations in the Transcarpathian Inner Trough, which is being conducted by the Seismicity Department of the Carpathian Region of the Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2023. Measurements of electromagnetic emission and the magnetic induction vector of the Earth's magnetic field are carried out at the Trosnyk geophysical station. The dynamic characteristics of the Earth's magnetic field were calculated, and a correlation analysis of electromagnetic emission and the Earth's magnetic field was performed. The obtained results are important for studying geological processes in the region, investigating the response of geophysical fields to environmentally hazardous processes, selecting optimal and effective methods and geophysical fields for future forecasting of underground shocks. Based on the results of geophysical observations, important conclusions were drawn regarding the relationship between electromagnetic emission and the Earth's magnetic field and the frequencies of electromagnetic emission that are most correlated with each other. It was found that the highest degree of connection between the Earth's magnetic field and electromagnetic emission

in the range of 2 kHz is equal to: 0.4. The results obtained indicate the low-frequency component of the electromagnetic emission of the environment in connection with the Earth's magnetic field.

1. Вступ

На території Карпатського геодинамічного полігону тривалий період проводяться комплексні геофізичні спостереження, вимірюються параметри, які характеризують різні геофізичні поля. На території Закарпатського внутрішнього прогину працюють режимні геофізичні станції, сітка сейсмічних станцій та унікальні пункти деформометричних спостережень. Таким чином, вся територія Закарпаття охоплена пунктами спостереження за сейсмотектонічними процесами в регіоні. Закарпатський внутрішній прогин характеризується періодичною сейсмічністю, тут реєструють місцеві землетруси різного енергетичного класу: від слабких поштовхів, що реєструються тільки приладами до сильних, що викликають певні руйнування та вже відчуються населенням краю. Сейсмічність регіону супроводжується відгуком параметрів різних геофізичних полів: магнітним полем Землі, електромагнітної емісією, радіоактивним фоном середовища. На напружено-деформований стан земної кори впливають фактори метеорологічного та гідрогеологічного стану регіону, що можуть прискорити чи пригальмувати сейсмотектонічні процеси в сейсмонезбезпечному регіоні. Важливо дослідити взаємозв'язки різних геофізичних полів в часових інтервалах підвищення сейсмічності регіону. Проводилися дослідження зв'язків параметрів магнітного поля Землі та параметрів та геодинамічного станів регіону, відмічено узгодженість аномалій магнітного поля Землі, сейсмічності регіону та сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розому. Також вивчалися відгуки радіоактивного фону середовища на сейсмотектоніку регіону, перед інтенсивними рухами кори та проявом місцевої сейсмічності відмічено зростання досліджуваного параметру. Також проводилися дослідження впливу геомеханічних процесів на варіації електромагнітної емісії, які вказали на їх зв'язок, електромагнітна емісія в різних діапазонах спостереження реагувала на рухи кори та місцеву сейсмічність. Актуально для геодинамічних та сейсмічних

процесів для розуміння реакції полів на їх динаміку їх змін. **Метою статті** є вивчення часових варіацій параметрів геофізичних полів, їх динаміки та їх взаємовпливів. Об'єктом дослідження є варіації електромагнітної емісії в різних частотних діапазонах, варіації магнітного поля Землі, динаміки зміни магнітного поля Землі. **Предметом дослідження** є взаємозв'язки параметрів магнітного поля Землі та параметрів електромагнітної емісії, виявлення їх особливостей. **Методологія.** Для вирішення поставленої мети було використано результати комплексних геофізичних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині, яке проводиться Відділом сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України в 2023 році. На режимній геофізичній станції «Тросник» проводяться вимірювання електромагнітної емісії, вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Розраховано динамічні характеристики магнітного поля Землі, проведено кореляційний аналіз електромагнітної емісії та магнітного поля Землі. Отримані результати важливі для вивчення геологічних процесів в регіоні, при дослідженні реакції геофізичних полів на екологічнонебезпечні процеси, вибору оптимальних та ефективних методик та геофізичних полів для майбутнього прогнозу підземних поштовхів. На основі отриманих результатів геофізичних спостережень отримано важливі висновки, щодо взаємозв'язків електромагнітної емісії та магнітного поля Землі та відмічено частоти електромагнітної емісії, які найбільше корелюють між собою. Проаналізовано сейсмічність Карпатського регіону за досліджуваний період.

2. Геодинамічні та геофізичні дослідження за результатами аналізу наукових публікацій

Вивчення геологічних процесів, що відбуваються в сейсмонезбезпечних регіонах актуально для сучасних реалій, їм присвячено чимало наукових досліджень, де були відображені їх результати. В [1] проведено спостереження за вертикальним розподілом магнітних параметрів ґрунту в генетичних горизонтах та виявлено перерозподіл магнітного матеріалу, що свідчить про ерозійні процеси. Магнітні властивості ґрунтів важливі для спільної інтерпретації з електротомографією, георадарними вимірюваннями та ГІС-аналізом національної бази даних про зсуви України. Отримані результати корисні

для розробки алгоритму екологічного моніторингу критичної інфраструктури міської території. В [2] проведено площинні синхронні спостереження низькочастотного природного електромагнітного поля Землі іоносферно-магнітосферного походження в широкому діапазоні періодів, показано особливо низькі магнітоваріаційні характеристики, які можуть свідчити про те, що глибокі Структуру регіону необхідно віднести до категорії неоднорідних. Для прийняття ефективних кваліфікованих управлінських рішень щодо поліпшення екологічної ситуації міст потрібна повна і достовірна інформація про основні природні умови. Ці дослідження, спрямовані на системний збір інформації про територію, найчастіше належать до сфери ландшафтно-екологічного картографування. В [3] обґрунтовано необхідність застосування в ЛЕМ геоінформаційних систем (ГІС) і представлено модель оцінки приросту інформації. В [4] доведено, що метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (НПЕМПЗ) може бути обраний як надійний метод оцінки напружено-деформованого стану гірських порід і прогнозування карстових процесів і деформацій, що пов'язано з наявністю витяжних камер. У роботі описано фізичні передумови застосування методу, викладено основні постулати класифікації аномалій інтенсивності поля та запропоновано методику оцінки глибини. В [5] описано співвідношення геофізичних параметрів, а саме: деформації, геоакустичної емісії та сейсмічних характеристик магнітуди та енергетичного класу. Результати показали, що чим більша глибина, тим більше співвідношення між величиною магнітуди і зсувом зміщення. Дослідження необхідні для виявлення впливу сейсмічності на зміну інших параметрів середовища, зокрема температури, характеристик осередків землетрусів, що дозволить побудувати існуючу модель сейсмічності Закарпатської області.

У статті [6] розглянуто методику моделювання реакції ґрунтової товщі під інженерними об'єктами на еколого-геофізичний стан у задачах дослідження негативного впливу навантажень на напружено-деформований стан ґрунту під інженерними об'єктами. Моделювання дозволяє прогнозувати характер впливу механічних процесів на еколого-геофізичний стан навколишнього середовища та досліджувати стійкість інженерних споруд, досліджено напружено-деформаційні процеси гірського масиву, внаслідок яких можуть виникати аварійні

ситуації природного та техногенного характеру. Підтверджено ефективність використання даних інтерферометрії для детального аналізу режиму та динаміки небезпечних геологічних процесів. Дослідження мають велике значення і при високій роздільній здатності та відповідному алгоритмі обробки дають обґрунтовані результати та висновки, які в поєднанні з літолого-стратиграфічними, геоморфологічними та структурно-тектонічними дослідженнями можуть бути використані для прогнозування небезпечних геологічних процесів та мінімізації їх негативного впливу на природу та людину [7].

Отримані в [8] результати можуть бути використані за розробки сучасних ефективних методик прогнозу стану гірського масиву в складних гірничо-геологічних умовах вугільних басейнів, що мають складну геологічну будову. Розроблено і застосовано метод шахтної сейсморозвідки, оснований на реєстрації каналових і граничних хвиль, що дозволяє отримати детальну геолого-геофізичну модель ділянки родовища. В [9] представлено метод інверсії тензора моменту лише прямих Р-хвиль, зареєстрованих лише на одній станції та обмежених кількості станцій. Метод заснований на інверсійному підході, описаному в тому, де була розроблена версія матричного методу для розрахунку прямих Р-хвиль у горизонтально-шаруватому півпросторі від точкового джерела, представленого його тензором моменту. В [10] показано, що відхилення від 8-річних циклів та різниця у їх тривалості на різних ділянках одного водозбірного басейну пов'язані передусім з різницею у РГВ. Як основний метод виділення циклічності застосовано вейвлет-аналіз. За допомогою множинного кореляційного аналізу встановлено, що за останні десятиріччя температура вийшла на домінуючу позицію за впливом на режим ґрунтових вод (за їх рівнів від 1,5 до 4,0 м). Відмічено, що виявлені 7–8-річні цикли добре простежуються під час відносно багатоводного періоду. В [11] показано, що врахування включень в одному з прошарків призводить до появи додаткової резонансної частоти, зсуву резонансів у низькочастотну область, виникнення зон із суттєвим послабленням резонансних піків. Отримані результати дозволяють удосконалити розрахункові методи визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки при проведенні робіт із сейсмічного мікрорайонування будівельних і експлуатаційних майданчиків у сейсмічних районах України. В [12] показано,

що завдяки зв'язку між відстанями до епіцентру та глибиною землетрусів та їх магнітудою, спроби виявити передвісники були зроблені таким чином, щоб епіцентр землетрусів становив ± 100 км. У роботі також міститься інформація про УНЧ-мережі та про дослідників, які мали критичні думки щодо електромагнітних явищ, пов'язаних із землетрусами. Автори в [13] досліджували зв'язки між варіаціями параметрів опадів і просторово-часовим розподілом локальної сейсмічності у 2019–2020 рр. Аналіз просторово-часового розподілу варіацій параметрів локальної сейсмічності та опадів у 2020 р. свідчить про високу кореляцію рядів геофізичних даних: збільшення кількості опадів супроводжується збільшенням кількості зареєстрованих локальних землетрусів у регіоні; обґрунтовано гідрологічний аспект сейсмотектонічних процесів Закарпатського внутрішнього прогину. У 2020 році можна було спостерігати стиснення порід у зоні Оашського глибинного розлому. Аномалії провідності земної кори і верхньої мантії вказують на можливі зони геодинамічної активації, а глибинні розломи визначаються зонами підвищеної проникності, через які мантійні флюїди вивантажуються через літосферу. Зокрема, показано зв'язок аномалій електропровідності на території України з процесами утворення нафтових і рудних покладів [14].

Посилення сейсмічності в регіоні спостерігається на тлі загального розтягування гірських порід, яке відбувається за рахунок стійких вікових рухів земної кори. На сучасному етапі поточні рухи земної кори знаходяться в стані розширення гірських порід, і якщо ця тенденція не зміниться, слід очікувати підвищення сейсмічності в регіоні [15]. На основі виконаних досліджень в [16] можна припустити, що кореляційний взаємозв'язок між горизонтальними деформаціями визначеними за даними ГНСС і узагальненою сейсмічністю проявляється тільки у зонах субдукції, де є інтенсивна сейсмоактивність і мають прояви постійні деформації земної кори, що підтверджується проявом зон кореляцій, які розташовані вздовж однієї зі сторін активних розломів. На підставі аналізу інформації про геодинамічну і сейсмотектонічну ситуацію в районі майданчика розташування проєктованих споруд (Ужгород) встановлено положення потенційних сейсмоактивних зон, в яких можуть виникати місцеві землетруси [17]. Визначено сейсмотектонічний потенціал найближчих до майданчика сегментів

розломів в термінах максимальних магнітуд, які з імовірністю 99 % не будуть перевищені за найближчі 50 років. За даними перманентних станцій ГНСС за 2010–2019 рр. проаналізовано горизонтальні швидкості та деформації Карпато-Балканського регіону, створено карти полів річного розподілу дилатації [18]. Річні узагальнені параметри сейсмічності для окремих блоків розраховуються за даними сейсмологічних станцій. На основі просторового аналізу горизонтальних деформацій та узагальненої сейсмічності встановлено кореляції між абсолютними значеннями дилатації та великою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів. В [19] отримана інформація про те, що мантия до глибин перехідної зони може містити магнітні мінерали та мати залишкову намагніченість, допоможе в інтерпретації як сучасних магнітних аномалій, так і палеомагнітних даних. Різними дослідниками виявлено кілька десятків електромагнітних провісників землетрусів з різними амплітудними, спектральними та часовими параметрами.

В результаті проведеного в [20] аналізу пропонується новий підхід до пошуків електромагнітних провісників землетрусів, який полягає у вивченні змін геоелектричних полів (потенційних інфранизкочастотних провісників землетрусів) як більш чутливих. Обробка та інтерпретація цих змін дасть змогу привести до виділення саме провісників землетрусів. Це дозволить визначити геодинамічні активні зони, в яких можуть статися землетруси. Теоретичне обґрунтування особливостей поведінки гравімагнітних полів у зонах поширення зсувних процесів дозволяє оцінити природні умови формування та розвитку зсувів у даному регіоні. Виявлені зв'язки між впливом розломних зон на зсувні процеси за їхнім відображенням у гравімагнітних полях, що можуть у майбутньому застосовуватись підчас просторового прогнозування розвитку зсувів на територіях зі спорідненими структурно-тектонічними умовами [21].

Застосування анізотропних трансформаций потенціальних полів сприятиме підвищенню достовірності і детальності простеження глибинних розломів, а також інших лінійних дислокацій як у фундаменті, так і в осадовому чохлах. Вивчення розломної тектоніки є важливим чинником успішного вирішення завдань з пошуку та розвідки площ, перспективних на поклади нафти і газу [22]. Висока електропровідність верхньої мантиї зафіксована в Українських Карпатах від Закар-

патського прогину до Скибових покривів. В [23] показано, що вона не є однорідним шаром, спостерігається загальне поглиблення верхньої кромки на північний схід від 40-60 км (Закарпатський прогин) до 90-100 км (Кросненського покриву). Різке поглиблення вздовж Поркулецького та Дуклянського покривів. Інформація про існування глибинного провідника та його параметри повинні стати основою для кількісної інтерпретації та побудови 3D глибинної геоелектричної моделі. Отримані в [24] результати спрямовані на з'ясування глибинної будови та співвіднесення геоелектричних особливостей земної кори та верхньої мантії з системами розломів та родовищ різних корисних копалин і самі по собі можуть служити додатковим свідченням можливих тектонічних активізаційних процесів на досліджуваній території.

Згідно з сучасними дослідженнями [25], сейсмічні ризики руйнування будівель і споруд залежать не тільки від близькості їх розташування до епіцентрів землетрусів, а й від реакції ґрунтових масивів, що залягають під ними. Особливо важливою є пропорційність набору резонансних частот ґрунтового масиву і власних частот розташованих на ньому об'єктів.

В [26] досліджено вплив різкого спаду сонячної активності в двадцятому циклі на вікові варіації геомагнітного поля Землі, показано, що згасання сонячної активності призводить до зменшення кількості магнітних бур на Землі. У роки великомасштабної сонячної активності зростають негативні варіації від зовнішніх джерел поля: кругового магнітосферного струму, а також амплітуди змін авроральних та екваторіальних іоносферних електроджетів. Круговий струм зменшує горизонтальну складову магнітного поля Землі в низьких і середніх широтах і збільшує вертикальну складову у високих широтах. Питання впливу факторів завад на сейсмотектонічні процеси в сейсмонебезпечних регіонах розглянуто в [27], реакцію геофізичних полів на сучасні горизонтальні рухи кори та прояв місцевої сейсмічності досліджено в [28; 29; 30], зокрема, радіоактивного фону середовища, параметрів магнітного поля Землі, електромагнітної емісії. За результатами спостережень відмічено кореляцію геофізичних полів та геодинамічного і сейсмічного станів регіону Карпатського регіону.

3. Електромагнітна емісія в діапазоні частот 2-50 кГц.

Червень 2023 року. РГС «Тросник»

3.1. Електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц. На території Закарпатського внутрішнього прогину через систему режимних геофізичних станцій Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України проводяться вимірювання параметрів різних геофізичних полів, зокрема електромагнітної емісії та вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Спостереження електромагнітної емісії проводяться в різних частотних діапазонах: 2кГц, 5 кГц, 12.5 кГц, 17 кГц, 2-50 кГц. За допомогою приладу РХІНДСП-03, магнітне поле спостерігають за допомогою магнітометра МВ-01 в режимі 10 хв. Розглянуто варіації електромагнітної емісії (діапазон 2 кГц) в регіоні в червні 2023 року, виміряні на РГС Тросник (рис. 3.1).



**Рис. 1.1. Електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц.
в червні 2023 року. РГС «Тросник»**

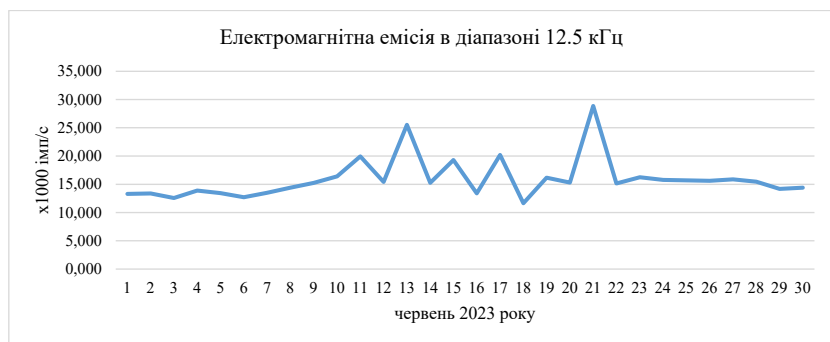
Протягом місяця відмічають з аномальні періоди на початку місяця, 12.06.2023 року, 20-22.06.2023 року. Розглянуто варіації електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц на РГС «Тросник» в червні 2023 року (рис. 1.2).

Протягом місяця електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц спадає. Періоди коливання електромагнітної емісії змінюються в діапазоні 2-6, 7 діб. Амплітуда коливання знаходиться в діапазоні від 21 імпульсу за секунду до 150 імпульсів за секунду.



**Рис. 1.2. Електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц.
РГС «Тросник». Червень 2023 року**

Розглянуто варіації електромагнітної емісії в діапазоні 12.5 кГц на РГС «Тросник» в червні 2023 року (рис. 1.3).

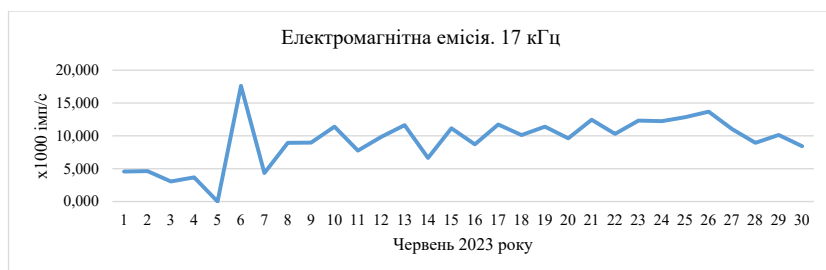


**Рис. 1.3. Електромагнітна емісія в діапазоні 12.5 кГц.
Червень 2023 року. РГС «Тросник»**

Аналіз рисунка 1.3 показує, що електромагнітна емісія в діапазоні 12.5 кГц підвищується починаючи з другої декади місяця, інші інтервали часу місяця мають незмінний характер. Електромагнітна

емісія варіює в діапазоні 12000-13000 імпульсів/с. Аномальні величини варіюють з періодами 2 доби. Максимальна величина електромагнітної емісії становить 28870 імп/с.

Електромагнітна емісія в діапазоні 17 кГц. Проведено вивчення часового розподілу електромагнітної емісії на РГС «Тросник» в червні 2023 року, яке представлено на рис. 1.4.

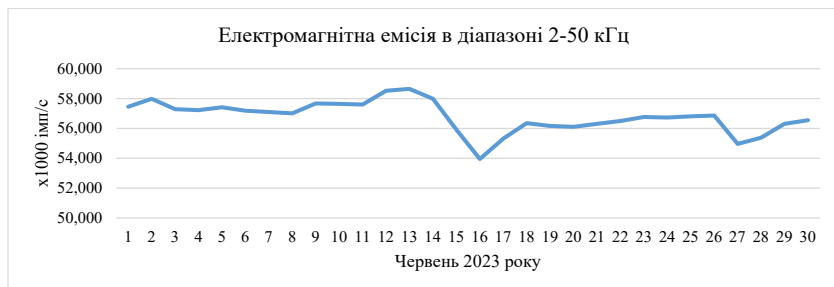


**Рис. 1.4. Електромагнітна емісія в діапазоні частот 17 кГц.
Червень 2023 року, РГС «Тросник»**

Представлений період варіацій електромагнітної емісії характерний аномальними збуреннями вимірюваної фізичної величини в першій декаді місяця. Переважаючими періодами коливання електромагнітної емісії в цьому діапазоні частот є 2-добові коливання, максимальна амплітуда коливання становить: 9000 імпульсів за секунду. Місячний хід спостережуваної величини-підвищення електромагнітної емісії на 3800 імпульсів/с.

Електромагнітна емісія в діапазоні 2-50 кГц. Розглянуто часовий розподіл електромагнітної емісії в діапазоні 2-50 кГц (рис. 1.5).

Електромагнітна емісія в діапазоні частот 2-50 кГц характерна аномальними величинами в середині місяця. Період коливання виміряної величини становить 5 діб, амплітуда коливання дорівнює: 2300 імп/с. В загальному електромагнітна емісія в регіоні зменшилася на 850 імп/с.



**Рис. 1.5. Електромагнітна емісія в діапазоні 2-50 кГц.
Червень 2023 року. РГС «Тросник»**

4. Магнітне поле Землі. Вектор магнітної індукції, червень 2023 року. РГС «Тросник»

4.1. Варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі

Вектор магнітної індукції B вимірюють з періодом в 10 хвилин за допомогою магнітоваріаційної станції МВ-01. На режимній геофізичній станції «Тросник» проведено вимірювання вектора магнітної індукції в червні 2023 року (рис. 4.1.1).

Варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, виміряні в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину в червні 2023 року характеризуються змінами спостережуваної величини з періодами від 2 діб та 5 діб на фоні 5-ти добових варіацій вектора магнітної індукції. Також вирізняються коливання півмісячного діапазону (15 діб), амплітуда коливання становить 63 нТл.

Сейсмічність регіону в досліджуваний період. В Карпатському регіоні в червні 2023 року зареєстровано 11 місцевих землетрусів, які відбувалися на території Словаччини, Румунії (зона Вранча), Закарпатті (с. Довге, Ужгородський район), Прикарпатті. Землетруси тут відбуваються на глибинах 0.1-140 км, максимальні магнітуди досягають величини $M=3.9$. Просторово-часовий аналіз місцевої сейсмічності в червні 2023 року (рис. 4.1.2).

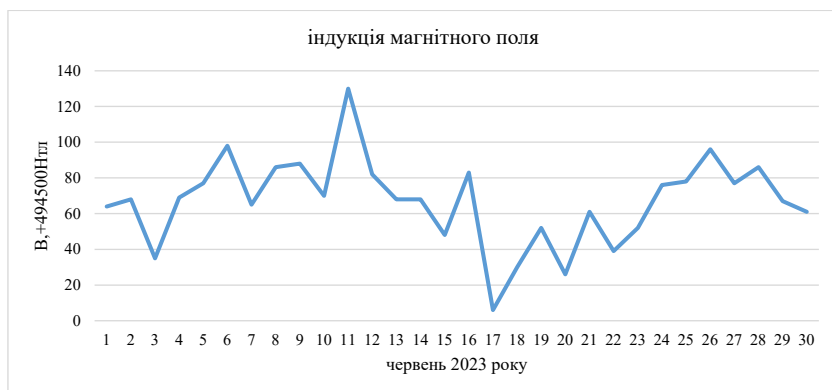


Рис. 4.1.1. Магнітне поле Землі. РГС «Тросник».
Червень 2023 року

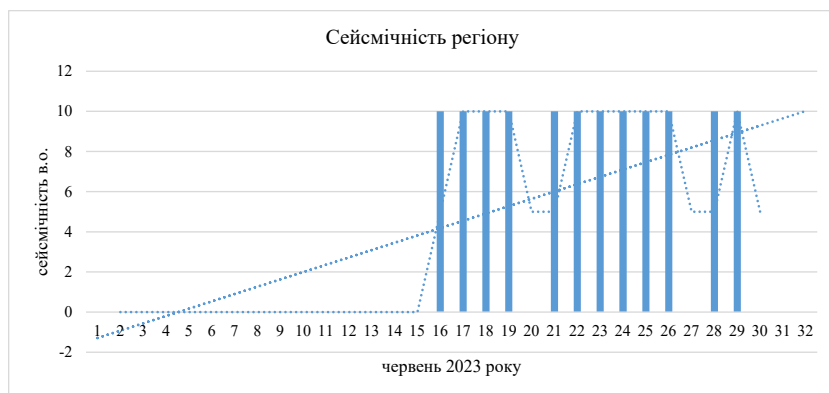


Рис. 4.1.2. Сейсмічність регіону в червні 2023 року.
Карпатський регіон

Аналіз графіка 4.1.2 приводить до висновку: сейсмічність сконцентрована в другій половині червня 2023 року, потужні землетруси відбуваються на території Румунії в зоні Вранча з магнітудою 3.8-3.9. Відмічено періодичність прояву серій підземних поштовхів – 6 діб.

5. Електромагнітна емісія та індукція магнітного поля.

Закарпатський внутрішній прогин

5.1. Електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц та вектор магнітної індукції магнітного поля Землі

Розраховано коефіцієнт кореляції електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц та вектора магнітної індукції за червень 2023 року на режимній геофізичній станції «Тросник» (с. Тросник, Берегівський район, Закарпатська область). Ступінь кореляції цих рядів спостережень становить: -0.2 (рис. 5.1).

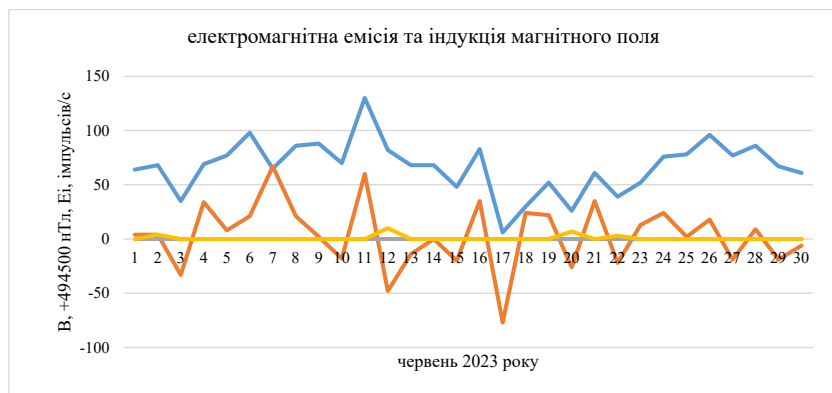


Рис. 5.1. Електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц (крива жовтого кольору), варіації вектора магнітної індукції магнітного поля Землі (крива синього кольору) в червні 2023 року. Закарпатський внутрішній прогин

Візуально відмічено, що електромагнітна емісія підвищується на етапі зменшення вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Ймовірно, магнітне поле індукє зміни електромагнітної емісії, яка відповідає на деформації порід. Проведено вивчення зміни магнітного поля Землі в регіоні та його зв'язок із проявом електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц (рис. 5.2).



**Рис. 5.2. Швидкість зміни вектора магнітної індукції
на РГС «Тросник» в червні 2023 року**

Періодичність зміни вектора магнітної індукції варіює в межах від 2-х діб до 5 діб, переважають 2-х добові коливання. Амплітуда коливання становить :56 нТл (максимальні значення), 15 нТл (мінімальні величини).

Досліджено зміни електромагнітної емісії та кінематики вектора магнітної індукції за представлений період (рис. 5.3). Проведено розрахунок ступеня кореляції кінематики вектора магнітної індукції та електромагнітної емісії, який дорівнює: 0.4.

Проаналізовано зв'язок спостережуваних геофізичних полів в червні 2023 року. Підвищення величини електромагнітної емісії протягом місяця спостерігаються в інтервалі часу, коли спостерігаються зменшення величини магнітного поля Землі. Можна припустити, що електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц є складовою електромагнітного поля Землі, тому мінімуми силової характеристики магнітного поля Землі співпадають із максимумами електромагнітної емісії. Також можна припустити, що підвищення магнітного поля Землі викликає підвищення електромагнітної емісії через одну добу, що приводить до іншого припущення, а саме – магнітне поле супроводжується деформаціями порід земної кори. Електромагнітна емісія це реакція природного імпульсного електромагнітного поля Землі на деформації порід Земної кори або на інші геомеханічні процеси.



Рис. 5.3. Електромагнітна емісія в діапазоні 2 кГц (крива сірого кольору), зміни вектора магнітної індукції магнітного поля Землі (крива синього кольору). Закарпатський внутрішній прогин. Червень 2023 року

Таким чином, порівнюючи кореляційні коефіцієнти між магнітним полем Землі та електромагнітною емісією в діапазоні 2 кГц, важливо запропонувати саме кінематичні характеристики магнітного поля Землі при вивченні зв'язку між параметрами геофізичних полів в сейсмонезбезпечних регіонах.

5.2. Електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц та магнітна індукція магнітного поля Землі. Червень 2023 року

Проведено дослідження варіацій електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц та магнітного поля Землі (рис. 5.4).

Розраховано коефіцієнт кореляції представлених рядів геофізичних полів, який становить: 0.15. Візуально ряди геофізичних параметрів перебувають у зв'язку. Пониження величини вектора магнітної індукції супроводжуються підвищення електромагнітної емісії і навпаки: підвищення величини вектора магнітної індукції супроводжується пониженням електромагнітної емісії. Проведено аналіз варіацій електромагнітної емісії в діапазоні 5 кГц та кінематики вектора магнітної індукції (рис. 5.5).

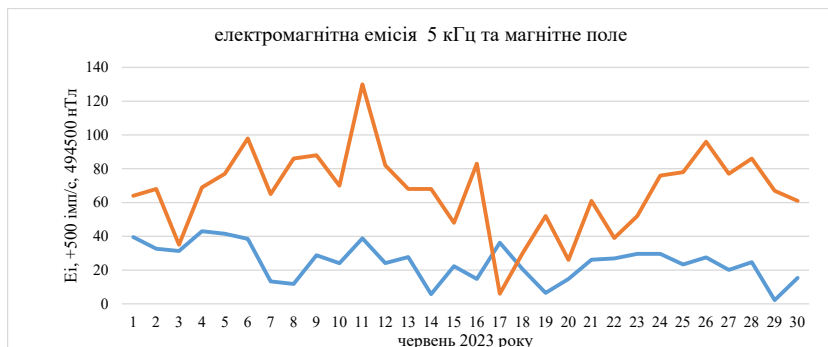


Рис. 5.4. Електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц (крива синього кольору), вектор магнітної індукції (крива коричневого кольору). Червень 2023 року. Закарпатський внутрішній прогин. РГС «Тросник»



Рис. 5.5. Зміна магнітної індукції магнітного поля Землі (крива синього кольору), електромагнітна емісія в діапазоні 5 кГц (крива коричневого кольору). Червень 2023 року. РГС «Тросник»

В першій та другій декаді червня 2023 року відмічають підвищення електромагнітної емісії в періоди зниження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Розрахований коефіцієнт кореляції між елек-

тромагнітною емісією та динамікою зміни вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, який становить: 0.01.

Таким чином, при вивченні зв'язків електромагнітної емісії в діапазоні частот 5 кГц та магнітного поля в точці спостереження, важливо використати варіації магнітного поля Землі.

5.3. Електромагнітна емісія в діапазоні 12.5 кГц та зміни вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Червень 2023 року

Досліджено варіації електромагнітної емісії в діапазоні 12.5 кГц та магнітного поля (рис. 5.6).

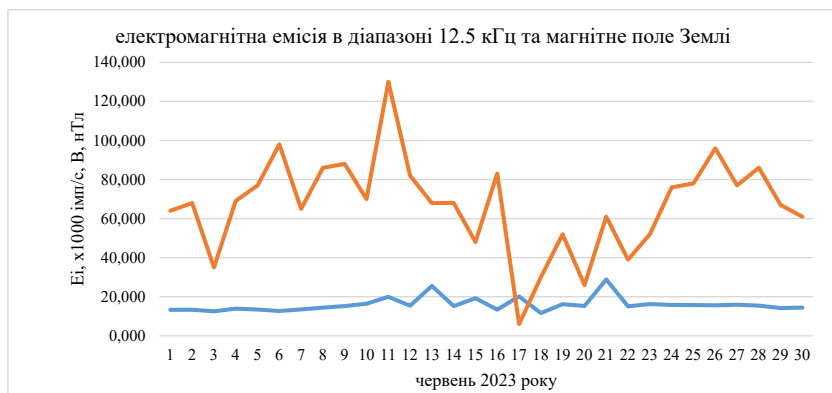


Рис. 5.6. Електромагнітна емісія в діапазоні 12.5 кГц (крива синього кольору, вектор магнітної індукції магнітного поля Землі (крива коричневого кольору). Червень 2023 року. РГС «Тросник»

Аномалії електромагнітної емісії в діапазоні частот -12.5 кГц, відмічено в часовому інтервалі, що характерний зменшенням величини вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, а саме при мінімальних його значення за даний інтервал часу. Розрахований коефіцієнт кореляції становить: 0.1.

Досліджено зв'язки між динамікою магнітного поля та електромагнітною емісією в діапазоні 12.5 кГц (рис. 5.7).

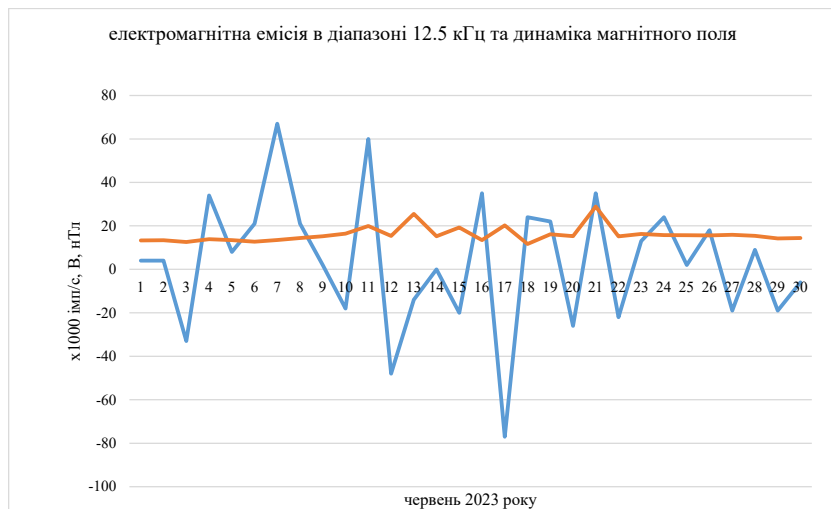


Рис. 5.7. Електромагнітна емісія в діапазоні 12.5 кГц (крива коричневого кольору), динаміка зміни магнітного поля Землі (крива синього кольору). Червень 2023 року. РГС «Тросник»

Аналіз варіацій електромагнітної емісії та динаміки магнітного поля Землі показав, що електромагнітна емісія в основному підвищується в періоди пониження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Розраховано коефіцієнт кореляції досліджуваних параметрів, що становить: 0.1.

Таким чином, коефіцієнт кореляції однаковий для обох випадків.

5.4. Електромагнітна емісія в діапазоні 17 кГц та магнітне поле Землі. Червень 2023 року

Досліджено на предмет звязків варіації електромагнітної емісії в діапазоні частот 17 кГц та магнітного поля Землі в точці спостереження геофізичних параметрів (рис. 5.8).

Електромагнітна емісія на початку місяця супроводжується підвищенням вектора магнітної індукції магнітного поля Землі. Оскільки електромагнітна емісія реагує на рухи кори, які в свою чергу супро-

воджуються підвищеннями вектора магнітної індукції. Розраховано коефіцієнт кореляції між електромагнітної емісії та магнітним полем Землі за досліджуваний період, який становить: 0.1.

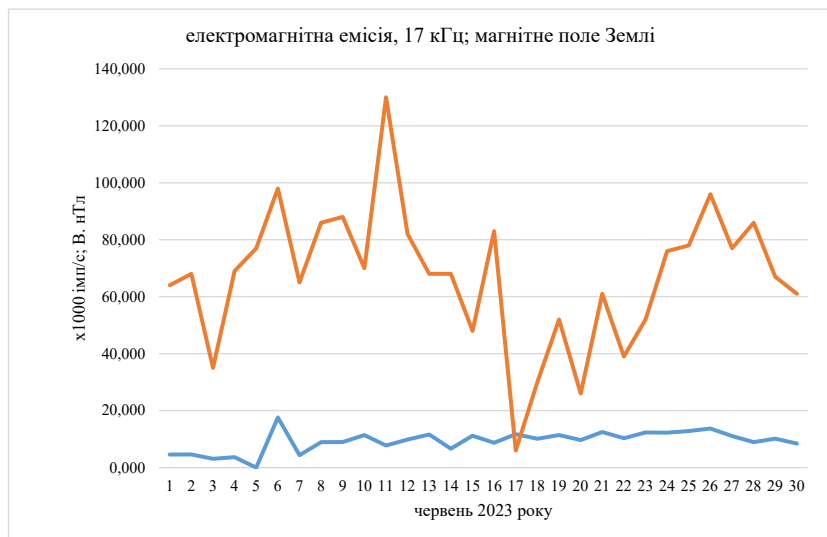


Рис. 5.8. Електромагнітна емісія в діапазоні 17 кГц (крива синього кольору), магнітне поле Землі (крива коричневого кольору). Червень 2023 року. РГС «Тросник»

Досліджено динаміку магнітного поля Землі на РГС «Тросник» та варіацій електромагнітної емісії в даному діапазоні частот (рис. 5.9).

Підвищення електромагнітної емісії супроводжується зростанням величини динаміки магнітного поля Землі через одну добу, коефіцієнт кореляції становить: 0.2.

5.5. Електромагнітна емісія в діапазоні 2-50 кГц та магнітне поле регіону

Розглянуто зміни електромагнітної емісії в діапазоні 2-50 кГц та магнітного поля Землі (рис. 5.10).

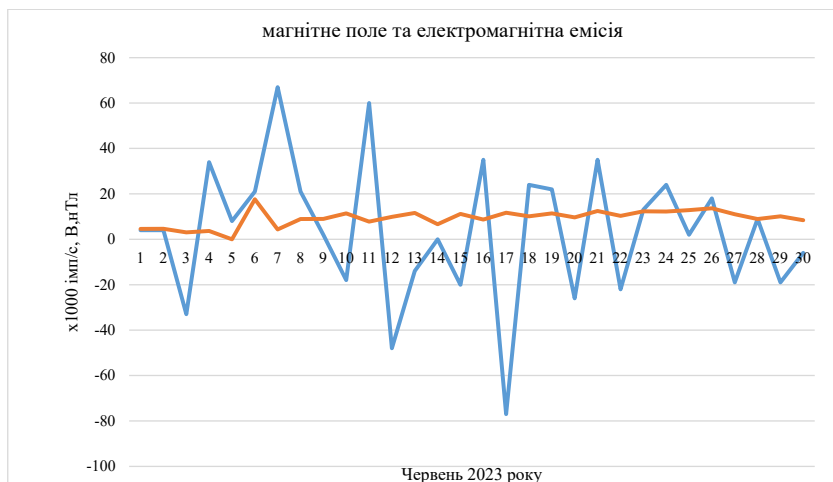


Рис. 5.9. Електромагнітна емісія (17 кГц) (крива коричневого кольору) та динаміка магнітного поля Землі (крива синього кольору) в червні 2023 року на РГС «Тросник»

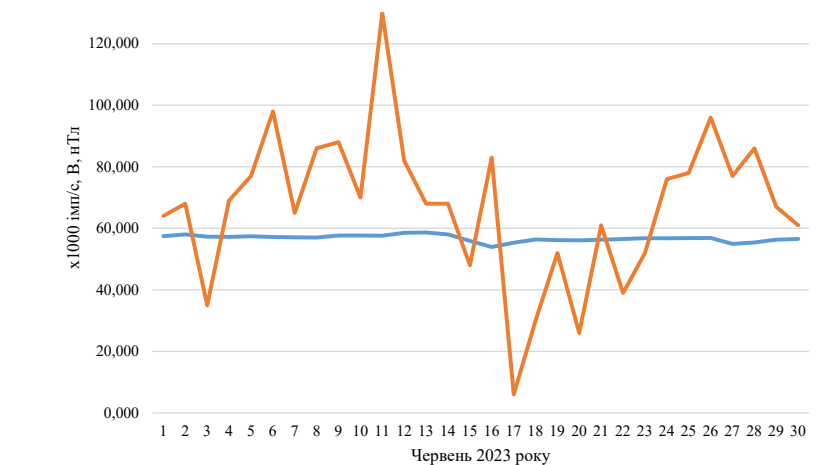


Рис. 5.10. Електромагнітна емісія в діапазоні 2-50 кГц (крива синього кольору), магнітне поле Землі (крива коричневого кольору). Червень 2023 року. РГС «Тросник»

Суттєві зміни електромагнітної емісії в діапазоні 2-50 кГц супроводжуються інтервалами часу, коли спостерігають аномальні величини магнітного поля Землі, на фоні загального зменшення магнітного поля Землі (в другій та третій декаді місяця. Коефіцієнт кореляції рядів становить: 0.1.

Проаналізовано варіації електромагнітної емісії в даному діапазоні частот та динамічними параметрами магнітного поля Землі (рис. 5.11).

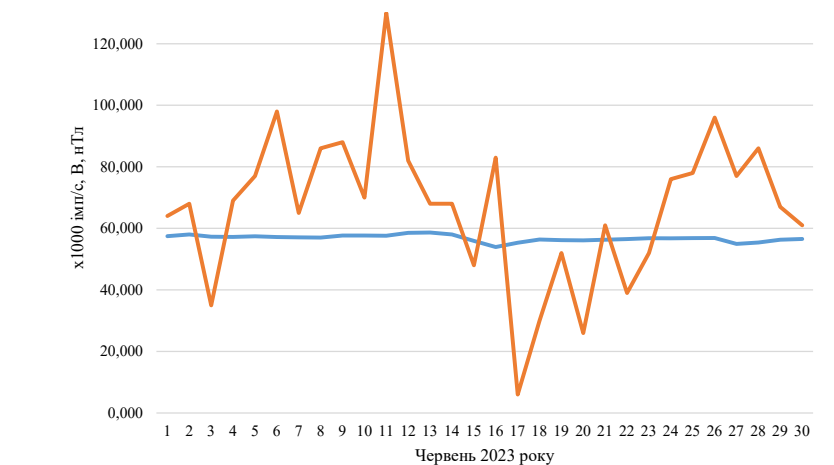


Рис. 5.11. Електромагнітна емісія в діапазоні 2-50 кГц (крива коричневого кольору), динаміка магнітного поля Землі (крива синього кольору). Червень 2023 року. РГС «Тросник»

Аналіз графіків на рис. 5.11 показує на те, що пониження електромагнітної емісії відбувається на фоні зменшення величини магнітної індукції при локальному її збільшенні. Очевидно електромагнітна емісія є відгуком на деформаційні процеси в регіоні так як і магнітне поле реагує на рухи кори. Розраховано коефіцієнт кореляції цих рядів, який становить: 0.1.

Таким чином, на основі проведених досліджень та їх результатів можна зробити висновок: найбільший коефіцієнт кореляції між електромагнітною емісією та магнітним полем Землі спостерігається в діа-

пазоні частот: 2 кГц, коли розраховувалися кінематичні параметри магнітного поля Землі.

Висновки

Територія Закарпатського внутрішнього прогину характеризується періодичною сейсмічністю, коли протягом року сейсмічні станції розташовані в регіоні реєструють декілька сильних та відчутних землетрусів на фоні сотень слабких підземних поштовхів. Протягом тривалого періоду було проведено дослідження варіацій магнітного поля Землі в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину. Моніторинг сейсмічності регіону проводиться в безперервному режимі. За досліджуваний період в спостережуваному регіоні відбулося 11 підземних поштовхів, гнографія яких охоплює Закарпаття, Прикарпаття, прилеглі території сусідніх країн: Словаччини, Румунії, зони Вранча. Вивчено вплив магнітного поля Землі на місцеву сейсмічність. В зоні Оашського глибинного розлому проводяться чутливі вимірювання сучасних горизонтальних рухів кори в широтному напрямку (азимут вимірювання становить 80°). Відмічено, що сучасні горизонтальні рухи кори перебувають у зв'язку із проявом місцевої сейсмічності. Інтенсивні рухи кори передують розрядці напружено-деформованого стану порід. Сейсмотектонічні процеси впливають на подібні геофізичні поля, тому актуально визначити їх ступінь зв'язку. В роботі проведено дослідження варіацій параметрів електромагнітної емісії в діапазоні частот: 2, 5, 12.5, 17 кГц та 2-50 кГц. Електромагнітна емісія є відгук фізичного середовища земної кори на деформації в твердих тілах, зокрема в верхніх шарах земної кори. Також проведено вивчення варіацій вектора магнітної індукції магнітного поля Землі в 2023 року, розраховано динаміку спостережуваного геофізичного параметру. Представлено результати огляду публікацій, в яких показано аналіз проведених в сейсмонезбезпечних регіонах наукових досліджень. Згідно поставлених в роботі завдань, проведено дослідження електромагнітної емісії в діапазоні 2 кГц, 5 кГц, 12.5 кГц, 17 кГц, 2-50 кГц та магнітного поля Землі, його динамічною характеристикою. Проведено розрахунок ступеня кореляції кінематики вектора магнітної індукції та електромагнітної емісії, представлених частотних діапазонів. Встановлено, що найвищий ступінь зв'язку між магнітним полем Землі існує

з електромагнітною емісією в діапазоні 2 кГц, який дорівнює: 0.4. Отримані результати відмічають низькочастотну складову електромагнітної емісії середовища в зв'язках із магнітним полем Землі.

Список літератури:

1. Меньшов О. Магнітні дослідження природних і техногенних процесів об'єктів критичної інфраструктури на прикладі ділянки «ГЛИНКА». *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 1(88). С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.05>
2. Ільєнко В., Бурахович Т., Кушнір А., Попов С., Омельчук О. МТ/МВ Дослідження в зоні ендоконтакту Корніського гранітного масиву. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 1(88). С. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.07>
3. Зацерковний В., Плічко Л., Прилипко О., Ніколаєнко О., Мужанова Т. Обґрунтування доцільності застосування геоінформаційних систем в ландшафтно-екологічному моніторингу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 1 (88). С. 98–105. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.14>
4. Багрій С., Кузьменко Е., Дзюба У. Співзв'язок природного імпульсного електромагнітного поля Землі з напруженнями та деформаціями, що виникли у виснажених соляних полях у Передкарпатті для прогнозування карстоутворення. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 2 (89). С. 79–88. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>
5. 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 Закарпатської області. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 3 (90). С. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.07>
6. Стародуб Ю., Гаврис А., Козьонова О. Моделювання впливу еколого-геофізичного стану ґрунтів на об'єкти інженерного будівництва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 3 (90). С. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.14>
7. Углицьких, Е., Визва, С., Іванік, І. Моніторинг вертикальних зміщень території Закарпатської області за даними радіолокаційної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 4 (91). С. 94–99. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.13>
8. Садчіков, А., Желасєва, Н., Токушева, Ж., Пономарьова, М. Застосування методів сейсмотомографії для вирішення різних задач у гірничо-геологічному напрямку. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. № 1(92). С. 50–54. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.92.07>
9. Малицький Д. та Майкеселл Д. Визначення механізмів джерел малих землетрусів за інверсією тензору моменту. *Вісник Київського національного*

університету імені Тараса Шевченка. *Геологія*. 2021. № 1 (92). С. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.92.15>

10. Шевченко О., Скорбун А., Осадчий В., Чарний Д. Змінні ритми в режимі ґрунтових вод та їх зв'язок з кліматичними факторами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. № 2 (93). С. 71–82. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.93.08>

11. Кендзера О., Микуляк С., Семенова Ю., Скуратівська І., Скуратівський С. Резонансні властивості шаруватого ґрунтового масиву, що містить про-шарок з коливними включеннями. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 1(96). С. 20–26. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.96.03>

12. Пірієв Р. Огляд досліджень електромагнітного моніторингу у прогнозування землетрусів: останні результати та нові перспективи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 1 (96). С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.96.06>

13. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Моніторинг сейсмотектонічних процесів Закарпатського внутрішнього прогину за результатами комплексних геофізичних спостережень. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 3 (98). С. 42–48. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>

14. Бурахович Т., Кушнір А. Історія, сучасний стан і перспективи геоелектромагнітних досліджень в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2023. № 1 (100). С. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.07>

15. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар Д. С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами моніторингових деформаційних спостережень в регіоні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. № 1 (104). С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>

16. Третяк К., Брусак І. Дослідження взаємозв'язку сейсмічності та сучасних горизонтальних зміщень за даними перманентних ГНСС-станцій у Карпато-Балканському регіоні. *Геодинаміка*. 2020. № 1(28). С. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.005>

17. Купльовський Б., Бубняк І., Волошин П.К., Павлюк О.М., Крук О., Тревого І. Вплив локальних тектонічних та інженерно-геологічних умов на сейсмічну безпеку територій (на прикладі майданчика забудови в м. Ужгород. *Геодинаміка*. 2020. № 1(28). С. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.029>

18. Козловський Е.М., Валентин Максимчук В.Ю., Малицький Д.В., Тимошук В.Р., Гришай О.Д., Піріжок Н. Взаємозв'язок структурно-тектонічних та сейсмічних характеристик Центральної частини Закарпатського прогину. *Геодинаміка*. 2020. № 1(28). С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.062>

19. Орлюк М., Друкаренко В., Шестопалова О.Є. Магнітомінералогічне обґрунтування намагніченості верхньої мантії Землі. Огляд. *Геодинаміка*. 2020. № 2(29). С. 89–96. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.089>

20. Пірієв Р. Електромагнітні провідники землетрусів в діапазоні УНЧ І НЧ: перспективи досліджень. *Геодинаміка*. 2021. № 1(30). С. 48–57. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.048>
21. Штогрин Л., Анікеєв С., Кузьменко Е., Багрій С. Відображення активності зсувних процесів у регіональних гравітаційному та магнітному полях (на прикладі Закарпатської області). *Геодинаміка*. 2021. № 1(30). С. 65–77. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>
22. Анікеєв С., Розловська С. Анізотропні трансформації регіональних гравімагнітних полів південного сходу Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2021. № 2(31). С. 66–83. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.066>
23. Кушнір А., Бурахович Т., Ільєнко В., Ширков Б. Сучасні магнітотелуричні дослідження Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2021. № 2(31). С. 92–101. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.092>
24. Ковачікова С., Логвінов І., Тарасов В. 2D та квазі-3D геоелектричні моделі Земної кори та верхньої мантії як можливе свідчення недавньої тектонічної активності в західній частині Українського щита. *Геодинаміка*. 2022. № 1(32). С. 99–118. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.099>
25. Кендзера О.В., Микуляк С.В., Семенова Ю.В., Скуратівський С.І. Моделювання сейсмічного відгуку ґрунтового шару в рамках нелокальної моделі суцільного середовища. *Геофізичний журнал*. 2020. № 42 (3). С. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204700>
26. Сумарук Т., Сумарук П. Відображення циклів Хейла сонячної активності на вікових варіаціях геомагнітного поля. *Геофізичний журнал*. 2020. № 42 (5). С. 183–192. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215081>
27. 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.
28. 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*. 2024. № 2. С. 58–68.
29. 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*. 2024. № 3. С. 48–58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>
30. Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й., Молнар Д С. С. Електромагнітна емісія середовища як реакція на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенерувальних регіонах. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024. № 4. С. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>

References:

1. Menshov O. (2020). Mahnitni doslidzhennia pryrodnykh i tekhnohennykh protsesiv ob'ektiv krytychnoi infrastruktury na prykladi dilianky

"HLYNKA" [Magnetic studies of natural and man-made processes of critical infrastructure objects at the area "Glinka"]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1(88). pp. 34-39. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.05>

2. Ilienkov V., Burakhovych T., Kushnir A., Popov S., Omelchuk O. (2020). MT/MV Doslidzhennia v zoni endokontaktu Kornyskoho hranitnoho masyvu [MT/MV Research in the endocontact zone of the Cornish granite massif]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1(88). pp. 46-52. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.07>

3. Zatserkovnyi V., Plichko L., Prylypko O., Nikolaienko O., Muzhanova T. (2020). Obruntuuvannia dotsilnosti zastosuvannia heoinformatsiinykh system v landshaftno-ekolohichnomu monitorynhu [Substantiation of the appropriateness of applying geoinformation systems in landscape and ecological monitoring]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1 (88). pp. 98-105. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.88.14>

4. Bahrii S., Kuzmenko E., Dziuba U. (2020). Cpivzviazok pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli z napruzhenniamy ta deformatsihamy, shcho vynykli u vysnazhenykh solianykh poliakh u Peredkarpatti dlia prohnozuvannia karstoutvorennia [Correlation of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations that occurred in depleted salt fields in Precarpathia for the prediction of karst formation]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 2 (89). P. 79-88. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.89.11>

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

6. Starodub Yu., Havrys A., Kozonova O. (2020). Modeliuvannia vplyvu ekoloho-heofizychnoho stanu gruntiv na obiekty inzhenerneho budivnytstva [Modeling the impact of the ecological and geophysical state of soils on engineering construction objects]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 3 (90). P. 97-103. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.14>

7. Uhlytskykh E., Vyzva S., Ivanik I. (2020). Monitorynh vertykalnykh zmishchen terytorii Zakarpatskoi oblasti za danymy radiolokatsiinoi interferometrii [Monitoring of vertical displacements of the territory of the Transcarpathian region according to radar interferometry data]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 4 (91). p. 94-99. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.13>

8. Sadchikov A., Zhelaieva N., Tokusheva Zh., Ponomarova M. (2021). Zastosuvannia metodiv seismotomohrafi dlia vyrishennia riznykh zadach u hirnycho-heolohichnomu napriamu [Application of seismotomography methods to

solve various problems in the mining and geological direction]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1(92). P. 50-54. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.92.07>

9. Malyskyi D. ta Maikesell D.(2021). Vyznachennia mekhanizmiv dzherel malykh zemletrusiv za inversiieiu tenzoru momentu[Determining the source mechanisms of small earthquakes by moment tensor inversion]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1 (92). P. 108-116. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.92.15> (

10. Shevchenko O., Skorbun A., Osadchyi V., Charnyi D.(2021). Zminni rytmy v rezhymy gruntovykh vod ta yikh zv'iazok z klimatychnymy faktoramy [Variable rhythms in the groundwater regime and their relationship with climatic factors]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 2 (93). P. 71-82. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.93.08>

11. Kendzera O., Mykuliak S., Semenova Yu., Skurativska I., Skurativskyi S. (2022). Rezonansni vlastyvoli sharuvatoho gruntovoho masyvu, shcho misstyt prosharok z kolyvnymy vkluchenniamy[Resonant properties of a layered soil mass containing a layer with oscillatory inclusions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1(96). P. 20-26. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.96.03>

12. Piriiev R. (2022). Ohliad doslidzhen elektromahnitnoho monitorynhu u prohnozuvannia zemletrusiv: ostanni rezultaty ta novi perspektyvy [A review of electromagnetic monitoring research in earthquake prediction: recent results and new perspectives]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1 (96). P. 40-45. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.96.06>

13. Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Yizhak T., Ihnatyshyn M., Ihnatyshyn A. (2022). Monitorynh seismotektonichnykh protsesiv Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za rezultatamy kompleksnykh heofizychnykh sposterezhen [Monitoring of seismotectonic processes of the Transcarpathian internal depression based on the results of complex geophysical observations]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 3 (98). P. 42-48. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>

14. Burakhovych T., Kushnir A.(2023). Istoriia, suchasnyi stan i perspektyvy heoelektromahnitnykh doslidzhen v Ukraini [History, current status and prospects of geoelectromagnetic research in Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1 (100). P. 58-66. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.07>

15. Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Izhak T., Molnar D S., Ihnatyshyn M., Ihnatyshyn A. (2024). Heodynamichni stan Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za rezultatamy monitorynhovykh deformatsiinykh sposterezhen v rehioni [Geodynamic state of the Zakarpatsk internal depression based on the results of deformation monitoring observations in the region]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 1 (104). P. 13-21. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>

16. Tretiak K., Brusak I. (2020). Doslidzhennia vzaiemozviazku seismichnosti ta suchasnykh horizontalnykh zmishchen za danymy permanentnykh HNSS-stantsii u Karpato-Balkanskomu rehioni [The research of interrelation between seismic activity and modern horizontal movements of the Carpathian-Balkan region based on the data from permanent GNSS stations]. *Heodynamika*. 1(28). P.5-18. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.005>

17. Kuplovskiy B., Bubniak I., Voloshyn P.K., Pavliuk O.M., Kruk O., Trevoho I.(2020). Vplyv lokalnykh tektonichnykh ta inzhenerno-heolohichnykh umov na seismichnu nebezpeku terytorii (na prykladi maidanchyka zabudovy v m. Uzhhorod [Influence of local seismotectonic and engineering-geological conditions on seismic danger of territories (exemplified by a construction site in Uzhgorod city)]. *Heodynamika*. 1(28). P. 29-37. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.029>

18. Kozlovskiy E.M., Valentyn Maksymchuk V.Iu., Malyskiy D.V., Tymoshchuk V.R., Hrytsai O.D., Pyrizhok N. (2020). Vzaiemozviazok strukturno-tektonichnykh ta seismichnykh kharakterystyk Tsentralnoi chastyny Zakarpatskoho prohynu [The relationship between structural-tectonic and seismic characteristics of the Central part of the Transcarpathian trough]. *Heodynamika*. 1(28). P. 62-70. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.062>

19. Orliuk M., Drukarenko V., Shestopalova O.Ie. (2020). Mahnitomineralohichne obhruntuvannia namahnichenosti verkhnoi mantii Zemli. Ohliad [Magnetomineralogical justification of the magnetization of the Earth's upper mantle. Review]. *Heodynamika*. 2(29). P. 89-96. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.089>

20. Piriiev R.(2021). Elektromahnitni provisnyky zemletrusiv v diapazoni UNCh I NCh: perspektyvy doslidzhen[Electromagnetic predictors of earthquakes in the ULF and LF ranges: research prospects]. *Heodynamika*. 1(30). P. 48-57. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.048>

21. Shtohryn L., Anikeiev S., Kuzmenko E., Bahrii S.(2021). Vidobrazhennia aktyvnosti zsvynykh protsesiv u rehionalnykh hravitatsiinomu ta mahnitnomu poliakh (na prykladi Zakarpatskoi oblasti)[Reflection of the activity of landslide processes in regional gravitational and magnetic fields (using the example of the Transcarpathian region)]. *Heodynamika*. 1(30). P. 65-77. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>

22. Anikeiev S., Rozlovska S. (2021). Anizotropni transformatsii rehionalnykh hravimahnitnykh poliv pivdennoho skhodu Ukrainskykh Karpat [Anisotropic transformations of regional gravimagnetic fields of the southeastern Ukrainian Carpathians]. *Heodynamika*. 2(31). P. 66-83. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.066>

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

24. Kovachikova S., Lohvinov I., Tarasov V. (2022). 2D ta kvazi-3D heoelektrychni modeli Zemnoi kory ta verkhnoi mantii yak mozhlyve svidchennia nedavnoi tektonichnoi aktyvnosti v zachidnii chastyni Ukrainskoho shchyta[2D

and quasi-3D geoelectric models of the Earth's crust and upper mantle as possible evidence of recent tectonic activity in the western part of the Ukrainian Shield]. *Heodynamika*. 1(32). P. 99-118. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.09924>

25. Kendzera O.V., Mykuliak S.V., Semenova Yu.V., Skurativskyi S.I. (2020). Modeliuvannia seismichnoho vidhuku gruntovoho шарu v ramkakh nelokalnoi modeli sutsilnoho seredovyscha [Modeling of seismic response of soil layer within the framework of nonlocal model of continuous medium]. *Heofizychnyi zhurnal*, 42 (3), P. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204700>

26. Sumaruk T., Sumaruk P. (2020). Vidobrazhennia tsykliv Kheila soniachnoi aktyvnosti na vikovykh variatsiiakh heomahnitnoho polia [Reflection of the solar activity Hale cycles on the geomagnetic field secular variations]. *Heofizychnyi zhurnal*, 42 (5), P. 183–192. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i5.2020.215081>

27. Ihnatyshyn V.V., Izhak T.I., Molnar D.S.S., Rats A.I. (2024). Meteorolohichniy 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. P. 32-47 (in Ukrainian)

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

29. Ihnatyshyn V. V., Malyskyi D. V., Izhak T. Y., Molnar D. S. S., Rats A. Y., Ihnatyshyn A. V. (2024). Doslidzhennia zmin parametriv mahnitnoho polia ta polia deformatsii u seismonebezpechnykh rehionakh [Research of changes in magnetic field parameters and deformation field in seismo-hazardous regions]. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. № 3. P. 48–58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>

30. Ihnatyshyn V. V., Izhak T. Y., Molnar D. S. S. (2024). Elektromahnina emisiia seredovyscha yak reaktsiia na seismotektonichni protsesy v seismohenerualnykh rehionakh [Electromission of the environment as a reaction to seismotectonic processes in seismo-generating regions]. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*. № 4. P. 17–26. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>