

## ГЕОФІЗИЧНІ ТА АСТРОФІЗИЧНІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЗАКАРПАТТЯ

Ігнатишин В.В.<sup>1,2</sup>, Малицький Д.В.<sup>3</sup>, Іжак Т.Й.<sup>2</sup>, Вербицький С.Т.<sup>1</sup>,  
Ігнатишин А.В.<sup>1</sup>, Ігнатишин М.Б.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II  
пл. Кошута, 6, 90202, м. Берегове

<sup>3</sup>Карпатське відділення Інституту геофізики  
імені С.І. Субботіна Національної академії наук України  
вул. Наукова, 3Б, 79060, м. Львів

rgstrs1962@i.ua; sergever@gmail.com; Adalbert\_Ihnatisin@i.ua; sitkomonika@i.ua;  
izsak.tibor@kmf.org.ua; dmalytsky@gmail.com

Дослідження варіацій геофізичних полів та астрофізичних параметрів важливе, оскільки його результати допоможуть у вирішенні екологічних проблем регіону. На території Закарпатського внутрішнього прогину реєструються місцеві землетруси, а відсутні землетруси на фоні десятків та сотень слабких підземних поштовхів є індикаторами сейсмічного стану регіону. На протязі тривалого періоду з 2015 до 2020 року відбулося багато слабких землетрусів і тільки один відчутний землетрус в січні 2020 року в Берегівському районі, зареєстровано декілька відчутних землетрусів в 2021 році. Дослідження відмітили зв'язок сучасних горизонтальних рухів та прояв місцевої сейсмічності, відмічено астрофізичний аспект місцевих сейсмотектонічних процесів, підтверджується гідрогеологічний аспект виникнення змін геологічного стану регіону. Вивчення перспектив вирішення екологічних проблем регіону вкрай необхідний, оскільки територія Закарпаття покрита сіткою структур підвищеної небезпеки, необхідний захист від природних стихій. Сучасні горизонтальні рухи земної кори виміряні на пункті деформометричних спостережень «Королеве» представлені розширенням порід з величиною:  $+12,61 \times 10^{-7}$ . За період 1–8 місяця 2021 року на території Закарпаття та прилеглих територій зареєстровано 117 місцевих землетрусів, що підтверджує минулорічні результати сейсмологічних та геодинамічних спостережень: більшість підземних поштовхів відбулося при стисненні порід в зоні Оашського глибинного розлому. Проаналізовано варіації астрофізичних параметрів, сонячної активності та зміни геомагнітного індексу за 2021 рік. Проведено порівняння просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності за 2021 рік із зміною геомагнітного індексу, сонячною активністю за цей період, відмічено зв'язок сонячної активності та варіацій геомагнітного індексу. Показано кореляцію, рухів кори та геомагнітного індексу, виявлено кореляцію часового розподілу місцевої сейсмічності та параметрів сонячної активності за досліджуваний період. Проведені дослідження важливі для вивчення екологічного стану регіону та вирішенні проблем пов'язаних із аномальними сейсмотектонічними процесами. *Ключові слова:* геодинамічний стан, сейсмічний стан, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому, рухи кори, сонячна активність, геомагнітний індекс.

**Geophysical and astrophysical aspects of the ecological condition of Transcarpathia. Ihnatyshyn V., Malysky D., Izhak T., Verbytskyi S., Ihnatyshyn A., Ihnatyshyn M.**

The study of variations in geophysical fields and astrophysical parameters is important because its results will help solve environmental problems in the region. Local earthquakes are registered on the territory of the Transcarpathian internal depression, and tangible earthquakes against the background of tens and hundreds of weak earthquakes are indicators of the seismic state of the region. During the long period from 2015 to 2020, there were many weak earthquakes and only one significant earthquake in January 2020 in the Beregovo district, several significant earthquakes were registered in 2021. The research noted the connection between modern horizontal movements and the manifestation of local seismicity, noted the astrophysical aspect of local seismotectonic processes, confirmed the hydrogeological aspect of changes in the geological state of the region. The study of prospects for solving the environmental problems of the region is extremely necessary, as the territory of Transcarpathia is covered with a network of high-risk structures, protection from natural disasters is needed. Modern horizontal movements of the earth's crust measured at the point of deformometric observations «Koroleve» are represented by the expansion of rocks with a value of:  $+12.61 \times 10^{-7}$ . During the period 1–8 months of 2021, 117 local earthquakes were registered in Transcarpathia and adjacent territories, which confirms last year's results of seismological and geodynamic observations: most earthquakes occurred during the compression of rocks in the area of the Oash deep fault. Variations of astrophysical parameters, solar activity and changes in the geomagnetic index for 2021 are analyzed. A comparison of the spatio-temporal distribution of local seismicity in 2021 with the change in the geomagnetic index, solar activity during this period, the relationship between solar activity and variations in the geomagnetic index. The correlation of crustal movements and geomagnetic index is shown, the correlation of time distribution of local seismicity and parameters of solar activity for the studied period is revealed. The research is important for studying the ecological state of the region and solving problems related to abnormal seismotectonic processes. *Key words:* geodynamic state, seismic state, earthquakes, Transcarpathian internal deflection, zone of Oash deep fault, crustal movements, solar activity, geomagnetic index.

**Постановка проблеми.** Екологічний стан Закарпаття, яке охоплює Закарпатський внутрішній прогин на теперішній стан визначається декількома причинами, що впливають на динаміку його зміни. Одна із головних причин що викликають негативний вплив на екологію регіону є аномальні ефекти метеорологічного характеру. Катастрофічні паводки 1998 та 2000 рр. цю тезу підтверджують, оскільки вони були спровоковані аномальними атмосферними опадами, але були спричинені також іншими важливими причинами. Поряд із екологічними негараздами гідрологічного характеру на Закарпатті можливі проблеми, які можуть бути викликані сейсмотектонічними процесами, тобто проявом місцевої сейсмічності. Ступінь небезпеки, що може бути спричинений активізацією місцевої сейсмічності залежить від багатьох показників. Важко порівняти наслідки прояву аномалій гідрологічного стану та сейсмічності регіону. Сильних підземних поштовхів на території Закарпаття не реєстрували з початку 20 ст., коли відбувся землетрус біля м. Сваляви. Тому важливо проводити комплексні геофізичні спостереження на території, що характерна як сейсмогенеруюча, вивчати зв'язки процесів геологічного стану із змінами геофізичних полів для розуміння динаміки цих екологічно-небезпечних процесів.

**Актуальність дослідження.** Дослідження варіацій геофізичних полів та їх вплив на розрядку напружено-деформованого стану регіону важливе, оскільки його результати допоможуть вирішувати проблеми екологічного характеру. На території Закарпатського внутрішнього прогину реєструються місцеві землетруси, які формують сейсмічний стан регіону. Енергетичний клас та магнітуда землетрусів змінюється від часу та географічного положення, тобто територія Закарпаття має як свої сейсмічно-активні зони так періоди сейсмічного затишшя. Ці періоди можуть змінюватися, наприклад в липні – серпні 2015 року в Тячівському районі зареєстрували близько сотні місцевих землетрусів, важливо вказати, що серед них були поштовхи, що відчувалися населенням краю. Відчутні землетруси на фоні десятків та сотень слабких підземних поштовхів є індикаторами сейсмічного стану регіону. На протязі тривалого періоду з 2015 до 2020 року відбулося багато незначних землетрусів і тільки один відчутний в січні місяці в Берегівському районі. Після цього було зареєстровано декілька відчутних землетрусів в Берегівському районі в 2021 році. Дослідження відмітили зв'язок сучасних горизонтальних рухів та прояв місцевої сейсмічності. Також відмічено астрофізичний аспект місцевих сейсмотектонічних процесів, підтверджується гідрогеологічний аспект виникнення змін геологічного стану регіону. Процес вивчення можливостей вирішення екологічних проблем регіону вкрай необхідний, оскільки територія Закарпаття покрита сіткою структур підвищеної небезпеки, необхідний захист

від природних стихій, а для цього треба вивчити їх причини.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Геофізичні дослідження в сейсмонезбезпечних регіонах мають багато цілей, одна з яких зменшення їх ризиків. Тобто, дослідження необхідні для передбачення можливих негараздів, оцінки їх ризику та вироблення стратегії захисту. На території Закарпаття тривалий період проводяться комплексні геофізичні спостереження на спеціалізованих пунктах Карпатського відділення та Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Зокрема на режимних геофізичних станціях, сейсмічних станціях та пунктах деформометричних спостережень Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності ведуться безперервні спостереження параметрів метеорологічного, гідрологічного, геодинамічного та сейсмічного станів. Створення сітки сейсмічних станцій важливо для оцінки сейсмічної активності регіону, робота унікальних деформометричних станцій дає картину сучасних горизонтальних рухів кори. Проводиться аналіз зв'язків цих станів, пошук нових методів вивчення сейсмотектонічних процесів, зокрема астрофізичних аспектів геофізичних явищ. Для цього вивчаються взаємозв'язки геомеханіки регіону, варіацій геофізичних полів, сонячної активності, геомагнітного індексу та прояву місцевої сейсмічності. Відомо, що супутник Землі впливає на геодинаміку, важливо вивчити роль сонячної активності в процесах на Землі та її надрах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Землетрус, що стався біля міста Суми 3 лютого 2015 р. відбувся під впливом декількох напружених режимів, пов'язаних на регіональному рівні з перенесенням напруг із зони Вранча вздовж мантийного лінеамента Соллогуба та через зміну локального поля напруги, яке створюється різними за товщиною земної кори блоками. Спостерігається розвиток коро-мантийної суміші, земна кора тут має яскраво виражену фізико-геологічну неоднорідність, яка створює нестабільність літостатичного тиску та появи додаткових напружень [1]. Розглядається питання врахування впливу підземних вод на стійкість укосів і схилів, обґрунтовано необхідність урахування величини інтенсивності інфільтраційного живлення підземних вод при прогностичній оцінці рівня підземних, особливо ґрунтових вод, досліджено роль техногенної складової інфільтраційного живлення внаслідок утрат з водних комунікацій що в подальшому впливає на обґрунтування запобіжних інженерних заходів [2].

Розроблено підхід, який відкриває широкі можливості для дослідження більш складних сейсмічних моделей, в яких негіперболоїдність обумовлюється нахилом і кривизною відбиваючих границь, а також неоднорідністю геологічного середовища [3].

В [4] представлено результати аналізу чинників, що визначають величину та варіації термального поля, отримано результати про аномальну поведінку температурного поля, спричинену переносом термальних вод під впливом механічних процесів та зміною пластових тисків у області вогнища землетрусу району Вранча. Відмічено, що можливі відносно короткочасні й значні за величиною зміни теплового поля гірських порід, викликані перерозподілом тепла з рухом по каналах джерел підземних вод у період посилення тектонічної активності. Проведений аналіз методик та алгоритмів для вирішення задач локалізації аномальних об'єктів на основі ймовірно-статистичних методів. Проаналізовано основні ймовірно-статистичні методи виявлення та оцінки сигналів (аномалій), обґрунтовано доцільність розрахунку статистичних та фізичних характеристик з метою вирішення задач тектонічного районування та оцінки структурно-тектонічних елементів [5]. Розроблено теорію та методи статистичного моделювання випадкових процесів та полів на основі їх спектральних розкладів а також застосування таких методів у задачах геофізичного моніторингу навколишнього середовища, для визначення частотних характеристик геологічного середовища [6]. Проведені розрахунки, що вказують на доцільність продовження роботи з удосконалення методик обчислення збитків від забруднення як компонентів геологічного середовища і інших природних середовищ, оскільки запропоновані для використання залежності із новим ключовим компонентом можуть допомогти збереженню екологічної безпеки територій використання надр та суттєво вплинути на усю систему планування проведення тих чи інших геологічних робіт [7]. В [8] встановлено зв'язок між ділянками з підвищеною сейсмічною активністю та областями додатного приросту «мантіїно-літосферної» компоненти геомагнітного поля, які в тектонічному відношенні відповідають зонам зчленування літосферних плит. Запропоновано два механізми такого зв'язку «температурно-магнітний» та «флюїдогазово-магнітний», зроблено припущення про структуроформуючу роль трансмантіїних газів та флюїдів стосовно сучасних геологічних структур та їх динаміки в зонах зчленування літосферних плит. Розглянуто особливості утворення та поширення низькочастотних сейсмічних сигналів літосферного походження (мікросейсм) та проаналізовано діапазони поширення мікросейсмічних хвиль у земній корі. Визначено умови поширення мікросейсмічних сигналів у земній корі, їх розповсюдження від неоднорідностей геологічного середовища та представлено характер взаємодії мікросейсм з геологічною будовою на денній поверхні та форму її відображення. Проаналізовано характеристики мікросейсмічних хвиль та визначено діапазон, який є найбільш інформативним для подальшого геологічного дослідження [9]. Здійснений

розрахунок напружено-деформованого стану осадового шару під великими інженерними конструкціями, змодельовано хвильове поле у середовищі, проведено розрахунок напружено-деформованого стану осадового шару та моделювання хвильового поля для цього середовища для трьох моделей, яке показало, що передаточна характеристика середовища суттєво змінюється залежно від навантаження, яке викликане спорудами [10]. Побудовано макромодель, яка включає параметри сейсмічних процесів, Сонця, Місяця та координати GNSS-станції та отримано макромодель, що дає змогу обчислювати вплив показника сейсмічної активності, інфразвуку та сонячної активності на малі зміни координат GNSS-станцій, отримано результати, які важливі для підвищення точності координат, отриманих за допомогою GNSS-спостережень [11]. Побудована модель тензора швидкості обертання, яка приводить до висновку, що область дослідження слід інтерпретувати як деформовану територію. На основі обчислень з GNSS-моделі даних компонентів горизонтальних деформацій встановлено норми основних значень та швидкості основних осей деформації земної кори, основні тектонічні утворення показані як фонові інтенсивності різних компонентів швидкостей, швидкість обертання та тензори швидкості деформації в районах, розташованих навколо Українських Карпат [12]. На основі виконаних досліджень відмічено, 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 [13]. Визначено взаємозв'язки між структурно-тектонічними особливостями будови центральної частини Закарпатського прогину, сучасним геодинамічним розвитком фундаменту регіону та особливостями поширення сейсмічних хвиль і формування вогнищ локальних землетрусів [14]. Визначено територію на Європейському континенті, на яких проявляється кореляційний зв'язок між вертикальними зміщеннями земної кори та фоновією сейсмічністю, знайдено кореляційний взаємозв'язок між вертикальними рухами земної кори та сейсмічною активністю [15]. За результатами досліджень встановлені локальні зони на території полігону, де спостерігаються значні сейсмамагнітні ефекти. Моніторингові спостереження в цих зонах варіацій геомагнітного поля, вимірювання концентрацій  $R_n$  в ґрунтовому повітрі і підземних водах, разом із сейсмометричною інформацією дозволить накопичити широкий експериментальний матеріал для створення надійних моделей електромагнітного провідника землетрусів [16]. Проведено вивчення 11-тирічної динаміки Сонця, що виявляє вплив на динаміку тектонічних плит планети Земля, періодичність реалізації руйну-

вань тектонічних плит може мати й інші часові параметри. У даній роботі представлений кореляційний аналіз допустимо мінімального короткоперіодного тимчасового інтервалу процесів реалізації землетрусів і динаміки сонячної плазми [17]. В роботі [18] аналізується динаміка сонячної активності та пов'язаних з нею варіацій геомагнітного поля і його екологічної збуреності на території України, відмічено сонячна активність стосовно циклів з періодами у 100–200 років сьогодні знаходиться у стані переходу до спаду. Вивчено взаємозв'язок квазидворічних варіацій сонячної та геомагнітної активностей та прийшли до висновку: величина екологічної збуреності геомагнітного поля на території України не перевищує норму [18]. Результати комплексних геофізичних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині та дослідження зв'язків астрофізичних параметрів із варіаціями параметрів геофізичних полів в регіоні відмітили зв'язок геомагнітних параметрів із сонячною активністю, зв'язок геомагнітного поля із геодинамічними процесами [19–21].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Попередні режимні спостереження та їх аналіз приводили до висновків про зв'язок варіацій параметрів певних геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі, електромагнітної емісії, радіоактивного фону середовища. Вивчення проблем екологічного стану регіону з точки зору геофізики проводяться тривалий період. Отримано суттєві результати вивчення просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та характеру сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому. Важливо вивчити статистичний характер зв'язків параметрів астрофізичного та геофізичного станів регіону. Необхідно дослідити ступінь взаємозв'язків окремих геофізичних та астрофізичних параметрів та пріоритетність їх взаємовпливу.

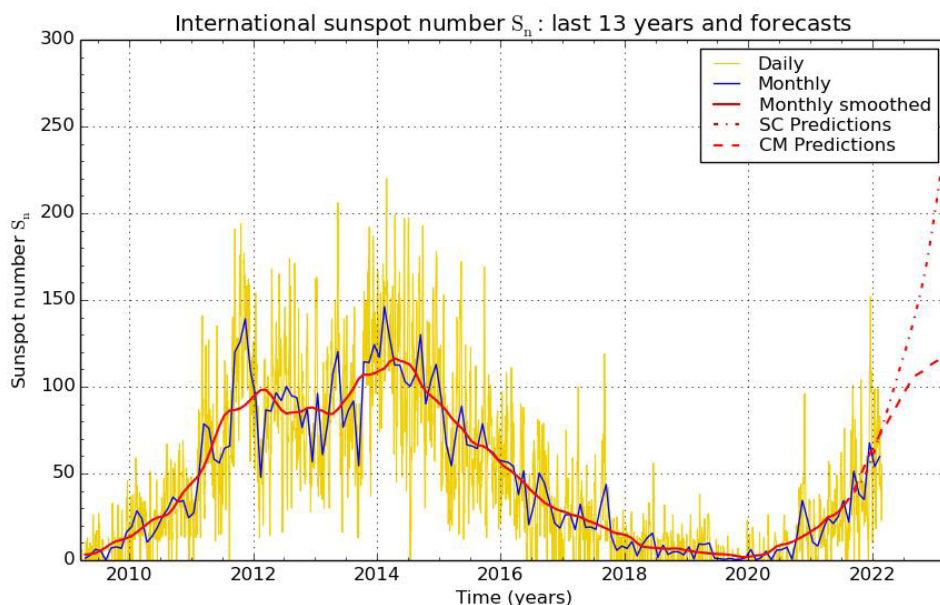
**Новизна.** Питанню вивченню зв'язків параметрів геофізичних полів та варіацій параметрів астрофізики на предмет їх зв'язку із сейсмотектонічними процесами в сейсмонезбезпечних регіонах приділено не так багато наукових доробок. Особливо в плані локалізації сейсмотектонічних процесів та їх зв'язків із сонячною активністю, геомагнітним індексом. Розглянуто динаміку рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності, варіації геомагнітного індексу та сонячної активності за 2021 рік. Виявлено зв'язок сонячної активності та геомагнітного індексу, зв'язок сейсмічності та геомагнітного індексу, рухів кори та сейсмічності, сонячної активності та рухів кори.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Представлене дослідження має важливе методологічне значення, воно відкриває нові можливості для розширення спектру наукових досліджень в сейсмонезбезпечних регіонах. Загальнонаукове значення проведених досліджень та їх результатів полягає

в тому, що отримані результати відкривають нові факти та особливості як геологічного так і геофізичного характеру. Розширення кола спостережуваних фізичних полів як астрофізики так і геофізики, аналіз отриманих результатів поповнює банк даних, що використовується при вирішенні як локальних проблем так і проблем загального характеру, стимулює пошук нових методів та можливостей вивчення та вирішення проблем навколишнього середовища.

**Викладення основного матеріалу.** Дослідження сучасних горизонтальних рухів кори в Закарпатті проводиться із 80-х років минулого століття. В залежності від стану розвитку вимірювальної апаратури спостереження проводилися і значно раніше, зокрема геодезичним методом. Потім для вимірювання деформацій земної кори було застосовано нахиломіри та кварцові деформографи. На сучасному етапі рухи кори вимірюються за новітніми технологіями. Слід відмітити що деформометричні спостереження є унікальними і точними приладами, які дають змогу вимірювати дуже малі деформації в діапазоні  $10^{-7}$ . В зоні Оашського розлому функціонує горизонтальний кварцовий деформометр з базою 24,5 м, та азимутом-80°(E-W). За попередніми дослідженнями, коли вивчалися впливи параметрів Місяця на процеси в поверхневих шарах земної кори. Тривалі вивчення зв'язків варіацій величин, що характеризують Місяць відмітили на зв'язок фаз Місяця та сейсмічної активності регіону в цих періодах, зокрема виявлено, що найбільше місцевих землетрусів реєструються в період знаходження Місяця над територією, що може генерувати землетруси, тобто при Повному та Новому Місяці. З метою розширення діапазону використовуваних фізичних параметрів при вивченні екологічного стану регіону, почалося дослідження зв'язку варіацій параметрів Сонячної активності із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності, геодинамікою регіону. На основі дослідження виявлено зв'язки астрофізичних параметрів із геофізичними параметрами. Для отримання підтвердження досягнутих висновків важливо проводити і надалі спостереження геодинамічного та сейсмічного станів Закарпаття та досліджувати їх зміни та взаємозв'язки. В даному дослідженні використано результати деформометричних спостережень в зоні Оашського глибинного розлому (горизонтальний кварцовий деформограф), сейсмічний бюлетень підготовлений на тоснові сейсмологічних спостережень на режимній геофізичній станції «Тросник»! (Закарпатська область, Берегівський район, с. Тросник). Інформацію про астрофізичні параметри, зокрема сонячну активність та геомагнітний індекс взято з Інтернет-ресурсів. Якщо порівняти сейсмічну активність регіону із кривою сонячної активності за тривалий період 2010–2021 рр, слід відмітити, що активізація місцевої сейсмічності припадає на період 2011–2015 рр. Цей період узгоджується із періодом максимуму на кривій (рис. 1).





SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2022 March 1

Рис. 1. Сонячна активність за період 2009–2023 pp.  
[22.<http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>)]

Чергове підвищення сейсмічності починається в 2021 році, що корелюється із мінімумом кривої на рис. 1. Проведено дослідження взаємозв'язків параметрів сучасних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, місцевої сейсмічності, геомагнітного індексу та сонячної активності в порядку фундаментальних впливів.

Дослідження взаємозв'язків астрофізичних та геофізичних параметрів проведено в місячному діапазоні. Січень 2021 року. В січні на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 20 місцевих землетрусів різної магнітуди та енергетичного класів. Найбільша сейсмічна активність регіону припадає на першу та третю декади місяця. Сучасні горизонтальні рухи кори в січні представлені стисненнями в першій та третій декаді місяця, розширеннями порід в другій декаді місяця. Необхідно

відмітити: сейсмічність регіону корелюється із періодами стисненнями, що також було відмічено в попередні етапи дослідження в регіоні (рис. 2).

Аналіз варіацій параметрів сонячної активності в січні 2021 року та сучасних рухів кори, важливо відмітити – сонячна активність корелюється із характером рухів кори: в першій декаді місяця обидва параметри зменшуються, в другій половині місяця сонячна активність змінюється подібно до характеру рухів кори. Аналіз зв'язку сейсмічності регіону та сонячної активності показує на залежність сейсмічності від сонячної активності: сейсмічність підвищується в періоди максимальної величини сонячної активності. Геомагнітний індекс змінювався тільки на початку місяця, коли відмічали сейсмічну активність. Таким чином, слід відмітити наступні аспекти: сейсмічність зв'язана із характе-



Рис. 2. Комплексний геофізичний та астрофізичний аналіз в січні 2021 року: сучасні рухи кори (крива синього кольору), сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину (крива червоного кольору), сонячна активність (крива зеленого кольору), геомагнітний індекс (крива фіолетового кольору)

ром рухів кори, із максимумами сонячної активності та частково із збільшенням геомагнітного індексу. Важливим аспектом є кореляція рухів кори із сонячною активністю, що необхідно дослідити на предмет впливу астрофізичного стану на геодинаміку регіону. *Лютий 2021 року.* В лютому на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 17 місцевих землетрусів. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому представлені розширенням порід величиною: +11 мкм (деформаціями: +445 нстр) (рис. 3).

Проведений аналіз взаємозв'язку рухів кори та сейсмічності відмітив: сейсмічність регіону в першій половині місяця відбувається при стисненні порід. Також слід відмітити активізацію сейсмічності регіону в інтервалі розширення порід в другій половині місяця. Сейсмічність та сонячна активність: сонячна активність корелюється із сейсмічністю. Сейсмічність регіону та геомагнітний індекс: параметри корелюються між собою, сейсмічна активність регіону реєструється в періоди підвищення сонячної активності. Розглянуто рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та сонячну активність регіону, відмічено зростання величини соняч-

ної активності та розширення порід. Розширення порід в регіоні корелюються із варіаціями геомагнітного індексу-розширення порід супроводжується підвищеннями величини геомагнітного індексу. Сонячна активність викликає зміну геомагнітного індексу, його збільшення. Таким чином, сейсмічність регіону залежить від характеру рухів кори, їх динаміки, корелюється із геомагнітним індексом та залежить від сонячної активності в досліджуваній період часу.

*Березень 2022 року.* В березні 2021 року на території Закарпаття зареєстровано 14 місцевих землетрусів (рис. 4). сучасні рухи кори в напрямку схід-захід становлять собою розширення порід величиною: +5,5 мкм.

Сейсмічна активність регіону в березні 2021 року та сонячна активність в цей період представлена варіаціями з періодом 4 доби. Підвищена сейсмічність регіону корелюється із сонячною активністю: сейсмічність регіону реєструється при мінімальних значеннях сонячної активності. Відносно геомагнітного індексу, то важливо відмітити факт кореляції із сейсмічним станом регіону: сейсмічність регіону активізується в період мінімальних значень величини

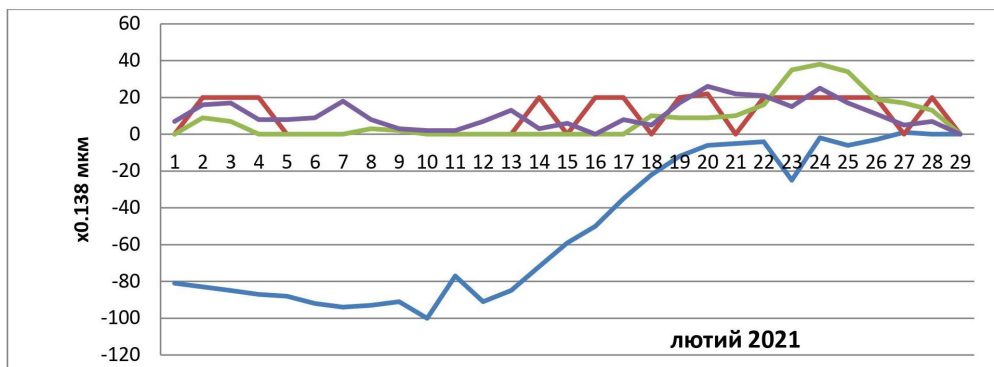


Рис. 3. Сучасні горизонтальні рухи кори (крива синього кольору), сейсмічний стан регіону (крива червоного кольору), сонячна активність (діаграма зеленого кольору, геомагнітний індекс (крива фіолетового кольору). Закарпатський внутрішній прогин. Лютий 2021 року

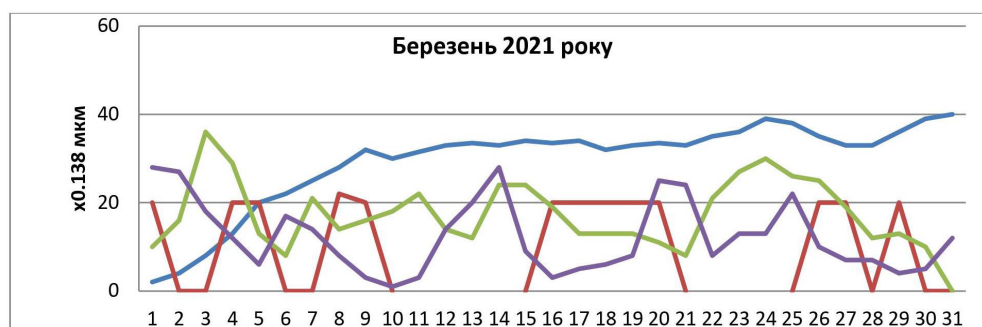


Рис. 4. Сейсмічна активність (крива червоного кольору), сучасні горизонтальні рухи кори (крива синього кольору), сонячна активність (крива зеленого кольору), геомагнітний індекс (крива фіолетового кольору). Березень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин

геомагнітного індексу. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та сонячна активність регіону представлені розширеннями порід та кореляцією форми кривих спостережуваних величин: подібність знакозмінних кривих. Геомагнітний індекс в березні 2021 року представлений варіаціями параметру із періодами 4–8 діб. Варіації геомагнітного індексу, його екстремальні точки зв'язані із динамікою сонячної активності, яка супроводжується періодичністю магнітного поля. **Квітень 2021 року.** В квітні на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 27 місцевих землетрусів невеликої магнітуди, відчутних землетрусів не відбулося. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому представлені стисненнями кори величиною:  $-1,1$  мкм (рис. 5, а). Кількість землетрусів в квітні 2021 року відносно висока, тому порівняння часу їх реєстрації та характеру рухів кори вказує на те, що землетруси відбувалися при різних знаках зміщень земної кори. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за досліджуваний місяць та сонячна активність: загальна тенденція рухів кори стиснення (незначне) та значне зростання сонячної активності починаючи з другої та третьої декади. Детальніший аналіз варіацій параметрів геофізичного та геодинамічного стані показав: істотна кореляція форми кривих спостережуваних параметрів-стиснення порід знаходяться в одних часових інтервалах із періодами підвищених величин сонячної активності.

Проведено аналіз варіацій сучасних рухів кори та геомагнітного індексу в квітні 2021 року. Геомагнітний індекс змінюється відносно рухів кори діаметрально протилежним чином: стиснення кори супроводжується підвищеними величинами

параметру магнітного поля. Розглядаючи сейсмічний стан регіону та сонячну активність відмічено: сейсмічність зростає в періоди мінімумів сонячної активності. Геомагнітний індекс та його зміни у відношенні до сейсмічності регіону- сейсмічність в Закарпатті підвищена в періоди низьких величин геомагнітного індексу. Виявлення зв'язку між сонячною активністю та геомагнітним індексом привело до висновків: зв'язок існує, відмічено кореляцію, де геомагнітний індекс супроводжує зміни сонячної активності. Це приводить до висновку впливу сонячної активності на зміни геофізичних полів.

Таким чином, аналіз результатів геофізичних спостережень відмітив факт зв'язку сонячної активності та сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині. **Травень 2021 року.** Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому представлені стисненнями порід величиною:  $-7,4$  мкм. Сейсмічність регіону відмічені 6 місцевими землетрусами (рисунок 5, б).

Сейсмічність регіону проявлена в періоди розширення порід в другій та третій декаді місяця, що дещо відмінне від результатів минулих спостережень, коли відмічено сейсмічну активізацію в періоди стиснення порід. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та сонячна активність регіону корелюються між собою – графіки подібні: загальне стиснення порід супроводжується зростаннями сонячної активності в досліджуваний період. Сучасні рухи кори та геомагнітний індекс: геофізичне поле реагує на динаміку сучасних горизонтальних рухів кори.

Аналізуючи сейсмічність регіону та сонячну активність за травень 2021 рік відмічено сейсмічну активізацію в періоди мінімумів сонячної активності.

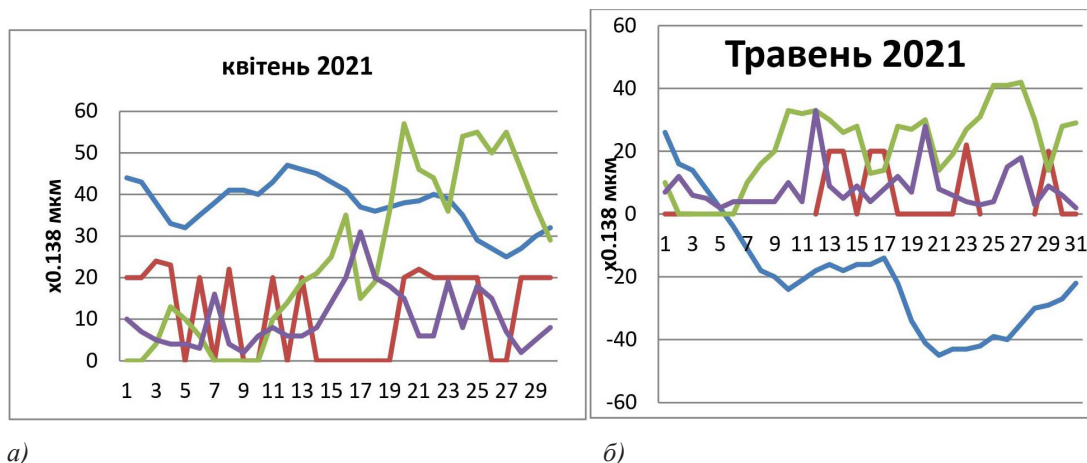


Рис. 5: а – варіації геофізичних та астрофізичних параметрів за квітень 2021 рік: сучасні горизонтальні рухи кори (крива синього кольору), сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору), сонячна активність (крива зеленого кольору), геомагнітний індекс (крива фіолетового кольору); б – зміни геофізичних полів та параметри астрофізичного стану: сейсмічність регіону (діаграма червоного кольору), сучасні рухи кори (крива синього кольору), сонячна активність (крива зеленого кольору), геомагнітний індекс (крива фіолетового кольору). Травень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин

Геомагнітний індекс та сейсмічність регіону: землетруси зареєстровані в періоди низьких величин геомагнітного індексу. Сонячна активність та геомагнітний індекс: суттєва кореляція спостережуваних полів (підвищення сонячної активності супроводжується підвищеннями величини геомагнітного індексу). Таким чином, відмічають зв'язок геофізичних полів та варіацій параметрів астрофізичного стану.

**Головні висновки.** Сучасні горизонтальні рухи земної кори виміряні на пункті деформометричних спостережень «Королеве» становлять розширення кори з величиною:  $+12,61 \times 10^{-7}$ . Цей результат підтверджує успадкованість рухів кори в Закарпатському внутрішньому прогині. Сейсмічний стан регіону характерний реєстрацією декількох відчутних місцевих землетрусів в рік, на фоні численних підземних поштовхів меншого енергетичного класу, магнітуди. На території Закарпаття зареєстровано зареєстровано відчутний місцевий землетрус восени 2021 року, якому протягом року передували слабенькі форшоки (за результатами сейсмологічних спостережень на режимній геофізичній станції «Тросник». За період 1–8 місяця 2021 року на території Закарпаття та прилеглих територій зареєстровано 117 місцевих землетрусів, що підтверджує минулорічні дані сейсмологічних спостережень. Більшість підземних поштовхів відбулося при стисненні порід в зоні Оашського глибинного розлому. Проаналізовано варіації астрофізичних параметрів, сонячної активності та зміни геомагнітного індексу за 2021 рік. Проведено порівняння просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності за 2021 рік із зміною геомагнітного індексу, сонячною активністю за цей період. Виявлено зв'язок сонячної активності та варіацій геомагнітного індексу. Відмічено кореляцію, рухів кори та геомагнітного

індексу, виявлено кореляцію часового розподілу місцевої сейсмічності та параметрів сонячної активності за досліджуваний період.

Отримані результати дослідження важливі для вивчення екологічного стану регіону та вирішенні можливих проблем пов'язаних із аномальними сейсмотектонічними процесами. Важливо розширення спектру як геофізичних так і астрофізичних параметрів при вивченні сейсмічного та геодинамічного стану сейсмонезбезпечних територій.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження варіацій параметрів геофізичних полів, що характеризують геодинамічний стан сейсмонезбезпечного регіону важливі при побудові моделі геодинаміки територій складних в плані екологічної безпеки. Перспективи використання результатів досліджень зв'язків геофізичних полів із варіаціями параметрів астрофізичного характеру широкі, оскільки в результаті отримуються важливі висновки про вплив сонячної активності на параметри геофізичних полів, які безпосередньо пов'язані із сейсмотектонічними процесами в Закарпатському внутрішньому прогині. Взагалі дослідження геологічних процесів в регіоні необхідні для деталізації зв'язків параметрів геофізичних полів: магнітного поля Землі, електромагнітної емісії, радіоактивного фону середовища. Також отримані результати можуть бути застосовані при вивченні екологічних проблем регіону на природничих відділеннях вищих навчальних закладів, на заняттях гуртків природного напрямку в загальноосвітніх закладах, позашкільній освіті, гуртках МАН України. Представлені методики обробки та аналізу спостережуваних величин можуть бути використані при дослідженні геофізичних полів

### Література

1. О. Чалий, М. Дяконеску, І. Гурова, Ю. Лісовий, П. Пігулевський, С. Щербина, А. Шевцов Л. Шумлянська. Причина активної сейсмічності в Україні. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4(83). 2018. С. 38–46.
2. О. Кошляков, О. Диняк, І. Кошлякова, Т. Кошлякова. Гідрогеологічні особливості розрахунків стійкості укосів і схилів у межах урбанізованих територій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4(83). 2018. С. 79–83.
3. Г. Продайвода, П. Кузьменко, А. Вижва. Моделювання годографу відбитих хвиль для сильно анізотропного геологічного середовища з горизонтальною границею. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 1(72). 2016. С. 35–42.
4. С. Кравець, Д. Малицький, О. Асташкіна, М. Махніцький. Динамічні геотемпературні ефекти та локальна сейсмічність Закарпаття. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 1(72). 2016. С. 52–55.
5. О. Дзюба, К. Нікітченко, Ю. Зеленко. Виявлення слабких аномалій геофізичних полів на основі методів статистичної фільтрації. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2(73). 2016. С. 65–70.
6. Z. Vyzhva, K. Fedorenko, A. Vyzhva. ABOUT ADVANCED ALGORITHM OF STATISTICAL SIMULATION OF SEISMIC NOISE IN THE FLAT OBSERVATION AREA FOR DETERMINATION THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2(73). 2016. С. 58–64.
7. С. Кошарна. Оцінка екологічних ризиків з врахуванням асиміляційного потенціалу територій. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 3(74). 2016. С. 77–80.
8. М. Орлюк, А. Марченко, А. Роменець. Зв'язок сейсмічності Землі та вікових змін її магнітного поля. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4(75). 2016. С. 50–54.
9. В. Зацерковний, І. Тішаєв, Р. Шульга. Джерела походження та взаємодія мікросейсми з геологічним середовищем. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 4(75). 2016. С. 82–87.



10. Ю. П. Стародуб, Б. Є. Купльовський, Т. Б. Брич, В. І. Прокопишин, О. П. Олещук, Є. І. Олещук. Моделювання напружено-деформованого стану основ інженерних конструкцій для оцінки сейсмічного впливу. *Геодинаміка*. 1(20). 2016. С. 162–169.
11. С. Г. Савчук, Л. М. Янків-Вітковська, Б. Б. Джуман. Вплив сейсмічних процесів, Сонця і Місяця на малі зміни координат GNSS-Станцій. *Геодинаміка* 2(25). 2018. С. 15–26.
12. О. М. Марченко, С. С. Перій, О. В. Ломпас, Ю. І. Голубінка, Д. О. Марченко, С. Крамаренко, ABDULWASIU SALAWU. Визначення тензора швидкостей горизонтальних деформацій в Західній Україні. *Геодинаміка*. 2(27). 2019. С. 15–26.
13. К. Р. Третяк, І. В. Брусак. Дослідження взаємозв'язку сейсмічності та сучасних горизонтальних зміщень за даними перманентних ГНСС-станцій у Карпато-Балканському регіоні. *Геодинаміка* 1(28). 2020. С. 1–18.
14. E. KOZLOVSKYI, V. MAKSYMCHUK, D. MALYTSKYI, V. TYMOSCHUK, O. HRYTSAI, N. PYRIZHOK. STRUCTURAL-TECTONIC AND SEISMIC CHARACTERISTICS RELATIONSHIPS IN THE CENTRAL PART OF THE TRANSCARPATHIAN INTERNAL DEPRESSION. *Геодинаміка*. 1(28). 2020. С. 62–70.
15. К.Р. Третяк, В.В. Романюк. Дослідження взаємозв'язку між сучасними вертикальними зміщеннями земної кори і сейсмічною активністю Європи. *Геодинаміка* 1(16). 2014. С. 7–20.
16. М.І. Толстой, О.В. Шабатура. Вивчення провісників локальних землетрусів засобами їх прямої оцінки. *Геодинаміка* 1(16). 2014. С. 103–113.
17. С.В. Щербина. Кореляционный анализ связи динамики солнечной плазмы и процесса генерации землетрясений. *Геодинаміка* 2(15). 2013. С. 370–372.
18. Т.П. Сумарук. Динаміка сонячної активності та варіацій геомагнітного поля і його екологічної обуреності. *Геодинаміка* 1(10). 2011. С. 116–120.
19. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й. Астрофізичні аспекти сейсмотектонічного стану Закарпатського внутрішнього прогину. Актуальні проблеми регіональних досліджень. Матеріали II Міжнародної науково-практичної науково-практичної інтернет-конференції. 17–18 травня 2018 року. Луцьк. С. 215–219.
20. Ignatyshin V., Izhak T., Ignatyshyn M., Ignatyshyn A. ASTROPHYSICAL ASPEKT SEISMOTECTONIC PROCESSES IN TRANSCARPATHIAN INNER BEND / Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Астрофізичний аспект сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині / *International independent scientific journal* № 9. 2019, Kraków, Rzeczpospolita Polska. P. 3–15.
21. Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Іжак Т. Й., Ігнатишин М. Б., Ігнатишин В. В. (мол.) Астрофізичний аспект геодинамічного та сейсмічного станів Закарпаття за 2019 рік. *International scientific innovations in human life. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International scientific and practical conference*. Cognum Publishing House. Manchester, United Kingdom. 2021. Pp. 199–210.
22. <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>
23. <http://space.vn.ua/inshe/inshe-moon.html>