

УДК 550.34(477.87)

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2025-2-2>

СЕЙСМІЧНІ ТА ГЕОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ В ЗАКАРПАТТІ: АСТРОФІЗИЧНИЙ АСПЕКТ

Ігнатишин Василь Васильович

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

Малицький Дмитро Васильович

доктор фізико-математичних наук, професор,
Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України
ORCID ID: 0000-0002-9156-739X

Іжак Тібор Йосипович

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

Молнар Д Стефан Стефанович

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

Актуальність дослідження: сейсмічність регіону є складником формування сучасного екологічного стану середовища поряд з іншими природними чинниками. З огляду на масштабність і силу підземних поштовхів, необхідно дослідження цих процесів у сейсмонезбезпечних регіонах, яким, зокрема, є Закарпаття, ставити в пріоритет. На території Закарпаття з певними періодами відбуваються підземні поштовхи широкого спектру енергетичного класу та магнітуд. Найбільш небезпечними є землетруси, що належать до категорії відчутних, оскільки їх енергія дає їм змогу викликати руйнування й жертви. **Предметом дослідження** є сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оаиського глибинного розлому, просторово-часовий розподіл сейсмічності Карпатського регіону, зміни магнітного поля Землі, варіації сонячної активності й геомагнітного індексу; взаємозв'язки геофізичних та астрофізичних полів і їх роль у формуванні та прояву небезпечних геологічних і сейсмічних процесів. **Мета дослідження:** вивчення взаємозв'язків спостережуваних геофізичних полів і параметрів астрофізичного стану, їх ролі у формуванні небезпечних геологічних і сейсмічних процесів у регіоні, зокрема на деформації земної кори та місцевої сейсмічності. Об'єктом дослідження є геодинамічний і сейсмічний стани, варіації астрофізичних параметрів в інтервалі геофізичних спостережень у Закарпатському внутрішньому прогині. **Методологія дослідження:** розрахунки зміщень точки спостереження при сучасних рухах кори, порівняльний аналіз, кореляційний аналіз рядів геофізичних, астрофізичних і сейсмотектонічних спостережень. **Результати дослідження:** сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оаиського глибинного розлому являють собою розширення порід величиною: +8.97 мкм, деформації земної кори становить: +365,95 нстр; указано на поступове зростання інтенсивності рухів кори, що досягають свого максимуму в кінці 2023 року. Сонячна активність інтенсивно варіює на початку й у кінці року, через амплітуди коливання та періодів коливання середина року виглядає менш збуреною. Геомагнітний індекс

змінюється періодично із періодами 1–2 місяці. **Практичне значення:** отримані результати важливі для побудови картини геодинамічного та сейсмічного станів сейсмонебезпечних регіонів і розуміння астрофізичних аспектів геофізичних явищ. **Висновки:** розрахунок кореляції сонячної активності й сучасних рухів кори показав, що інтенсивні рухи кори на початку року та в кінці року, а саме знакозмінні процеси, супроводжують значні коливання сонячної активності; сучасні рухи кори в зоні Оаиського глибинного розлому у 2023 році й геомагнітний індекс корелюють між собою: на початку року при розширенні порід відмічено підвищені величини геомагнітного індексу; виявлено, що геомагнітний індекс змінюється в час інтенсивних рухів кори. **Перспектива подальших досліджень:** актуально проведення аналогічного дослідження всього Закарпатського прогину, вивчення астрофізичного аспекту геодинамічного й екологічного стану сейсмонебезпечного регіону із залученням додаткових параметрів.

Ключові слова: сейсмічний стан, сучасні горизонтальні рухи кори, Закарпатський внутрішній прогин, сеймотектонічні процеси, землетруси, сонячна активність, геомагнітний індекс, екологічний стан.

SEISMIC AND GEODYNAMIC PROCESSES IN THE TRANSCARPATHIAN REGION: ASTROPHYSICAL ASPECT

Ignatyshyn Vasyl Vasylovych

candidate of physical and mathematical sciences,

Senior Research Fellow, at the Department of seismicity of the Carpathian region

S. Subbotin Institute of Geophysics

National Academy of Sciences of Ukraine;

Associate Professor at the Department of Geography and Tourism,

Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

Malytskyy Dmytro Vasylovych

DSc (Phys. & Math.), Prof.,

Carpathian Branch of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-9156-739X

Izhak Tibor Yosypovych

Candidate of Geographical Sciences, PhD, associate professor,

associate Professor at the Department of Geography and Tourism,

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-0940-8497

Molnar D Stefan Stefanovych

PhD, associate professor,

Associate Professor at the Department of Geography and Tourism,

Ferenc Rákóczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

The relevance of the study: The seismicity of the region is a component of the formation of the current ecological state of the environment, along with other natural factors. Given the magnitude and strength of earthquakes, it is necessary to prioritize the study of these processes in seismically hazardous regions, such as Transcarpathia. On the territory of Transcarpathia, underground tremors of a wide range of energy classes and magnitudes occur at certain periods. The most dangerous are earthquakes that are classified as tangible, as their energy allows them to cause destruction and casualties. **The subject of the research** focuses on modern horizontal crustal movements in the Oash deep fault zone, the spatial and temporal distribution of seismicity in the Carpathian region, changes in the Earth's magnetic field, variations in solar activity and the geomagnetic index, interconnections between geophysical and astrophysical fields and their role in the formation and manifestation of hazardous geological and seismic processes. **The purpose of the research:** to study the relationships between the observed geophysical

fields and astrophysical parameters, their role in the formation of hazardous geological and seismic processes in the region, in particular, on crustal deformation and local seismicity. The object of the study is the geodynamic and seismic states, variations of astrophysical parameters in the interval of geophysical observations in the Transcarpathian internal trough. **Research methodology:** calculations of displacements of the observation point during modern crustal movements, comparative analysis, correlation analysis of geophysical, astrophysical and seismotectonic observations. **Research results:** modern horizontal crustal movements in the Oash deep fault zone represent rock expansion of $+8.97 \mu\text{m}$, crustal deformation is: $+365.95 \text{ nstr}$; it indicates a gradual increase in the intensity of crustal movements, reaching their maximum at the end of the year. The solar activity varies intensively at the beginning and end of the year, both in terms of amplitude and periods of oscillation, with the middle of the year looking less disturbed. The geomagnetic index changes periodically with periods of 1-2 months. **Practical significance:** The results obtained are important for building a picture of the geodynamic and seismic states of earthquake-prone regions and understanding the astrophysical aspects of geophysical phenomena. **Conclusions:** The results obtained are important for building a picture of the geodynamic and seismic states of earthquake-prone regions and understanding the astrophysical aspects of geophysical phenomena. **Prospects for further research:** It is important to conduct a similar study of the entire Transcarpathian trough and to study the astrophysical aspect of the geodynamic and ecological state of the earthquake-prone region using additional parameters.

Key words: seismic state, modern horizontal crustal movements, Transcarpathian internal trough, seismotectonic processes, earthquakes, solar activity, geomagnetic index, ecological state.

Постановка проблеми. Сейсмічність регіону є складником формування сучасного екологічного стану середовища разом з іншими природними чинниками. Але, з огляду на масштабність і силу підземних поштовхів, необхідно дослідження цих процесів у сейсмонебезпечних регіонах, яким, зокрема, є Закарпаття, ставити в пріоритет. Важливо нагадати, що на території Закарпаття з певними періодами відбуваються підземні поштовхи широкого спектру енергетичного класу та магнітуд. Найбільш небезпечними є землетруси, що належать до категорії відчутних, оскільки їх енергія дає їм змогу викликати руйнування та жертви. Учені проводять дослідження, метою яких є встановлення зв'язків між геофізичними полями та проявом швидких геологічних процесів. Разом із вивченням впливу геофізичних полів на сейсмотектоніку регіону важливо приділити увагу астрофізичному стану, варіації астрофізичних параметрів і їх зв'язку з геофізичними параметрами в одних і тих інтервалах часу. Ця тематика дослідження потребує подальшого вивчення представленої проблематики, зокрема у зв'язку з активними геодинамічними та сейсмічними процесами в регіоні. Отримані результати важливі для створення моделі сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У праці [1] розглянуто аномалії електропровідності земної кори та верхньої мантії, що

свідчать про можливі зони проявів геодинамічної активізації, а глибинні розломи визначаються зонами підвищеної проникності, якими крізь літосферу відбувається розвантаження мантіїних флюїдів. Також висвітлено зв'язок аномалій електропровідності на території України з процесами формування нафтогазових і рудних родовищ корисних копалин. У статті [2] представлено методики локального прогнозування зсувної небезпеки на основі застосування раціонального комплексу геологічних, геофізичних, дистанційних, термографічних досліджень, а також детермінованого моделювання, які дають змогу виявити головні ознаки й ділянки потенційного розвитку зсувних процесів у межах окремих зсувонебезпечних ділянок, запропонувати комплекс превентивних заходів щодо мінімізації їх негативної дії. У роботі [3] зазначено, що зсувні деформації антиклінальних геоструктур під дією сили тяжіння залежать від форми, розмірів структури та механічних властивостей гірських порід, які утворюють ці геоструктури. Установлено, що найменшим деформуванням піддаються більш компактні геоструктури, а у твердих геоструктурах, що зберігають пружні властивості, амплітуди деформацій є обернено пропорційними ступеню жорсткості порід. Сьогодні для вирішення науково важливих завдань оцінювання сейсмічного ризику не існує інших високочутливих приладів для вимірювання рухів ґрунту, оскільки проблеми

зумовлені труднощами ефективного виробництва пристроїв для вимірювання зміщень ґрунту. Але існує багато переваг для необхідності вимірювання зміщень ґрунту замість прискорення або швидкості для будь-яких місць, де наявні сейсмоактивні зони [4]. У праці [5] підтверджено ефективність застосування методу скінченних елементів для моделювання процесів вивчення та зміни напружень і деформацій порід під складно побудованими конструкціями, для виявлення типових проявів зміни напружено-деформованого стану, які важливі для швидкого оцінювання стану ґрунтів. Поширення й інтенсивність проявів зсувів зумовлені особливостями геологічної та геоморфологічної будови території, її тектонічних, неотектонічних і сейсмічних режимів, а також гідрологічними й кліматичними умовами [6]. Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності й сучасних горизонтальних рухів кори за весь період деформометричних спостережень у зоні Оашського глибинного розлому вказав на підвищення сейсмічності регіону в інтервалах інтенсивних рухів кори та наявність періодів коливання рухів кори тривалістю у 12 років, серед яких 2–3 роки виявлено знакозмінні процеси (розширення та стиснення порід, загальна величина зміщення коливається в ділянці нульових рухів) [7]. За даними інтерферограм можна дослідити, що землетруси спричинили значні зміни в структурі розлому, що може вплинути на подальшу сейсмічну активність у регіоні [8]. Дослідження демонструє можливості використання технології InSAR для моніторингу деформацій земної поверхні, спричинених нещодавніми землетрусами. Отримані дані можуть бути використані для оцінювання руйнувань, визначення зон ризику, розроблення заходів щодо зниження сейсмічної небезпеки. Територія дослідження, що проводилося в регіоні [9], належить до Українських Карпат, які складаються із Зовнішніх Карпат – крейдяно-неогенової акреційної призми, і Внутрішніх Карпат – уламків мікроплит Алкапа й Тися-Дакія. Відмічено, що Карпатський пояс насунутий на неогеновий

Карпатський прогин, який закладався на фундаменті Східно-Західноєвропейської платформ. За результатами сучасних синхронних геоелектромагнітних досліджень [10], отримано просторово-часову картину розподілу геомагнітних варіацій та електричного поля на поверхні Землі, а також уявлення про розподіл електропровідності й геоелектричну структуру ділянки надр південно-західних Українських Карпат. У праці [11] показано, що найбільш інтенсивна деформація, яка виражається в максимальних розмірах горизонтальної загальної стиснення (до 4 разів), приурочена до ділянки Внутрішнього покрову (в основному Дуклянської зони) і до закінчення Кросненської зони; є вказівки на зростання деформації передньої Скибової зони. Результати, отримані в роботі [12], будуть корисними для прикладних досліджень у геофізиці та екології, сприятимуть покращенню екологічної ситуації у вибраних регіонах. Отримані результати також сприяють розробленню геоінформаційних технологій комплексних геофізико-геологічних і хімічних досліджень екологічної безпеки територій в разі виникнення надзвичайних ситуацій. У статті [13] наголошено, що основними глибинними розломами Карпатського регіону й окраїнної частини платформи в першому наближенні можна вважати Велико-мостівсько-Чернівецький, що характеризує зміну характеру магнітних і гравітаційних полів і щільності теплового потоку, Рава-Руський, що відображає зону зчленування Східно- та Західноєвропейської платформ, Передкарпатський – межу Передкарпатського прогину та Прикарпаття, складчасті Карпати на поверхні Землі, а також Закарпатський розлом. Паннонський басейн проявляється у вигляді загального максимуму з низкою локальних позитивних аномалій (понад 50 мГал), які спостерігаються над невеликими западинами: Дунайською, Солнокською, Макоською, Бекеською западинами, Закарпатським прогином, який пояснюється інтрузією осадового чохла вулканічних порід або наявністю в консолідованій частині земної кори тіл високої щільності з особливим

петрофізичним складом [14]. Установлено, що більшість епіцентрів зареєстрованих землетрусів у 2021 році припадає на Волино-Поділля й Передкарпатську складчастість на краю Складчастих Карпат. Кримсько-Чорноморський регіон характерний слабкою сейсмічністю із зосередженням епіцентрів землетрусів у морі. «Сейсмологічний бюлетень України» містить детальну інформацію про всі сейсмічні події, що сталися в Україні, Румунії, Польщі, Молдові, Словаччині, Угорщині [15]. У праці [16] представлено результати дослідження SHIELD'2, які присвячені структурі земної кори та верхньої мантії південно-західної окраїни Східноєвропейського кратону з перекриваючими неогеновим Карпатським прогином і венд-палеозойським Волино-Подільським монокліналом, архейським і палеопротерозойським сегментами Українського щита й пізньопалеозойським Дніпровсько-Донецьким басейном. Представлено карти вертикальних зсувів зазначених територій, на яких відбулися зміщення земної поверхні внаслідок впливу неприливого атмосферного навантаження. Значення, отримані на основі карт вертикальних переміщень, корелюються з результатами часових рядів зміни висотного положення перманентних GNSS-станцій [17]. Закарпатська западина розташована в зоні стику східної окраїни рельєфу ALCAPA й північної частини Тисо-Дакійського, похованого під потужними неогеновими моласами; будова земної кори паннонського сегмента показана як нагромадження товсто- й тонкошкірних покривів фундаменту Тисівського рельєфу та покривних покривів із накладеними молодшими структурами простягання [18]. У публікації [19] показано реальну можливість використання методу земних припливів для моніторингу та прогнозування зсувної небезпеки й пов'язаних з нею явищ ґрунту. У статті [20] для території Закарпатської западини вперше виділено регіональну та локальну складові геомагнітного поля, надано геолого-геофізичні характеристики й запропоновано їх тектонічну інтерпретацію. У результаті проведеного [21] аналізу пропонується новий підхід

до пошуків електромагнітних провідників землетрусів, який полягає у вивченні змін геоелектричних полів (потенційних інфранизькочастотних провідників землетрусів) як більш чутливих. Обробка й інтерпретація цих змін може привести до виділення провідників землетрусів, що дасть можливість визначити геодинамічні активні зони, до яких можуть статися землетруси. У праці [22] доведено, що гравітаційні аномалії добре корелюють із геологічною будовою регіону: підвищені значення інтенсивності в районах гірських масивів зумовлені породами високої густини, такими як неогенові вулканічні породи та метаморфічні породи; від'ємні аномалії відображають неогенові й четвертинні відклади, високі градієнтні зони контролюють тектонічні порушення. У морфології анізотропних гравітаційних і магнітних аномальних полях на території південного сходу Українських Карпат простежуються протяжні локальні аномалії, що зумовлені розломною тектонікою, глибинними поздовжніми та поперечними розломами, лінійними ускладненнями осадового покриву. Виявлено низку характерних ознак відображення великих тектонічних зон, регіональної поведінки поверхні фундаменту, глибинних розломів, на основі яких може бути побудовано схеми розломної тектоніки південно-східного регіону Українських Карпат [23]. У роботі [24] проаналізовано сучасні тенденції горизонтальних і вертикальних зміщень території заходу України за ГНСС-даними, побудовано відповідні карти рухів і з виділенням зон деформацій верхнього шару земної кори. Указано, що зони стиску виділяються на Закарпатті, що відповідає території Закарпатського глибинного розлому, а інша – на північному заході регіону. Методами гравітаційного моделювання досягнута якісна відповідність густинної моделі тектонічній інтерпретації сейсмічного розрізу уздовж профілю PANCAKE. Результати моделювання [25] підтвердили чотиришарову будову земної кори: осадовий покрив, верхню, середню та нижню частини кори, які відрізняються густиною, відмінністю у будові земної кори та верхньої

мантиї літосферної плити ALCAPA, Флішових Карпат і докембрійського кратону. Епіцентр найсильнішого землетрусу поблизу села Тросник (Берегівський район, Закарпатська область) опинився майже точно на розломі донегенового фундаменту паралельного до дуги Карпат простягання, яке майже збігається з простяганням ототожненої площини розриву. Показано, що вісь стиску в механізмі вогнища спрямована на схід, що цілком узгоджується з північно-східним напрямком загально-регіонального поля [26]. Розроблено основи для кількісного оцінювання напружено-деформованого стану порушеного масиву гірських порід як основи теоретичного оцінювання розподілу природного імпульсного електромагнітного поля Землі; продемонстровано ідентичність результатів практичних геофізичних спостережень і розрахункових моделей напружено-деформованого стану [27]. У праці [28] встановлено наявність відносно глибокої (30–55 км) сейсмічної активності в земній корі Українського Закарпаття – у зоні занурення границі Мохо під Карпати в районі зчленування Закарпатського й Оашського глибинних розломів. Подано геодинамічне й тектонофізичне обґрунтування її наявності з позицій поєднання «альпійської», терейнової та астенолітної геодинаміки регіону. Сильні землетруси часто відбуваються вздовж складних систем розломів. Дослідження сейсмічного розриву й довготривалої еволюції розломів вимагає обмеження геометричних і матеріальних властивостей структур зони розломів. Представлено огляд останніх досягнень у сейсмологічних методах, які використовуються для вивчення структур зони розломів, включаючи сейсмічну томографію, аналіз сейсмічних хвиль у зоні розлому й сейсмічності [29]. Дані геомагнітної обсерваторії мають вирішальне значення для всіх галузей геофізики, оскільки вони можуть сприяти дослідженню землетрусів шляхом виявлення аномалій у магнітному полі Землі [30].

Мета дослідження. Важливо також вивчити вплив астрофізичних параметрів на геологічні та сейсмічні процеси, що суттєво

впливають на екологічний стан сейсмонезбезпечних регіонів, яким є Закарпаття. Для цього необхідно використати результати геодинамічних спостережень рухів кори, сейсмічності регіону, варіації геофізичних полів та астрофізичних параметрів.

Завдання роботи полягає в обробленні й аналізі отриманих у результаті комплексного геофізичного моніторингу Закарпатського внутрішнього прогину рядів геофізичних параметрів і вивченні їх зв'язків із варіаціями астрофізичних параметрів за період спостереження у 2023 році.

Метою дослідження є вивчення взаємозв'язків спостережуваних геофізичних полів і параметрів астрофізичного стану, їх ролі у формуванні небезпечних геологічних і сейсмічних процесів у регіоні, зокрема деформації земної кори та місцевої сейсмічності.

Об'єктом дослідження є геодинамічний і сейсмічний стани, варіації астрофізичних параметрів в інтервалі геофізичних спостережень у Закарпатському внутрішньому прогині.

Предметом дослідження є сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому, просторово-часовий розподіл сейсмічності Карпатського регіону, зміни магнітного поля Землі, варіації сонячної активності й геомагнітного індексу; взаємозв'язки геофізичних та астрофізичних полів і їх роль у формуванні та прояву небезпечних геологічних і сейсмічних процесів.

Основний матеріал. На території Карпатського геодинамічного полігону, у тому числі Закарпаття, на режимних геофізичних станціях, сейсмічних станціях і пунктах деформометричних спостережень, організованих Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, а саме його підрозділами: Карпатським відділенням і відділом сейсмічності Карпатського регіону – у безперервному режимі проводиться моніторинг геодинамічного, сейсмічного стану та варіацій геофізичних полів. Зокрема, на режимних геофізичних станціях виконуються виміри магнітного поля Землі, параметрів радіоак-

тивного фону середовища, електромагнітної емісії, ведуться щогодинні спостереження параметрів метеорологічного, гідрогеологічного станів середовища. На основі отриманих результатів спостережень проведені дослідження зв'язків геофізичних полів із сейсмотектонічними процесами в регіоні, вплив метеорологічних і гідрогеологічних факторів на екологічний стан Закарпаття з метою отримання реальної картини геофізичних явищ у сейсмонебезпечному регіоні. У статті [31] для визначення впливу факторів метеорологічного стану регіону на сейсмотектонічні процеси в Закарпатті застосовано розрахунок динамічних характеристик спостережуваних величин і порівняно з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. Визначено ступінь кореляції варіацій рядів спостережуваних величин – температури повітря й сучасних рухів кори. Виявлено інтервали зниження температури повітря, яке призводить до стиснення порід і розрядки напружено-деформованого стану порід. Аналіз геофізичних полів показав на реакцію, відгук параметрів цих полів на геологічні процеси в регіоні: сучасні горизонтальні рухи кори та місцеві землетруси, які корелюються між собою. Радіоактивний фон середовища в період динамічних геомеханічних процесів проявляється через реєстрацію аномальних величин, що може бути застосовано під час побудови моделі геодинамічних і сейсмічних процесів в екологічно небезпечних регіонах [32]. У праці [33] показано, що стиснення порід із лінійними швидкостями супроводжуються незначними коливаннями магнітного поля Землі, спостерігається нелінійне підвищення коливань магнітного поля Землі до періоду зміни знаку геомеханічних процесів, допущено, що стиснення порід є нелінійним фізичним процесом, що відгукується нелінійними варіаціями геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі. У роботі [34] представлено результати розрахунків кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому, побудовано часовий розподіл місцевої

сейсмічності, вивчено варіації електромагнітної емісії в діапазоні 12.5 кГц, досліджено їх взаємозв'язки, відмічено їх кореляцію. Таким чином, спостерігаються відгуки геофізичних полів на геологічні процеси в регіоні. На основі отриманих результатів гідрогеологічних спостережень і їх дослідження представлено теоретичну модель геофізичних процесів у регіоні: інтенсивні атмосферні опади викликають підняття рівня води у свердловинах і річках регіону. Це, у свою чергу, створює додатковий тиск на поверхню земної кори, що впливає на сучасні рухи кори, які викликають динамічні коливання спостережуваної величини, що може бути однією з причин прояву регіональної сейсмічності [35; 36].

Проведено дослідження зв'язків геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2023 рік із варіаціями спостережуваних астрофізичних параметрів, зокрема сонячної активності й геомагнітного індексу. Проводяться спостереження горизонтальних рухів кори на пункті деформометричних спостережень «Королеве» відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. На пункті працює деформометрична станція, яка складається з одного горизонтального кварцового деформометра базою 24,5 м, азимут реєстрованих рухів $A=80^\circ$ (схід-захід). За результатами тривалих деформометричних спостережень, гірські породи перебувають у розширенні з віковим ходом рівним: $+10 \times 10^{-7}$. Варто зауважити про періодичність рухів кори: відбувається розширення порід, яке може змінитися на стиснення. Методика дослідження полягає в побудові просторово-часових залежностей окремих геофізичних параметрів: сучасних рухів кори, вектора магнітної індукції магнітного поля Землі, місцевої та регіональної сейсмічності (рис. 1). Також вивчаються розподіли астрофізичних характеристик: сонячної активності й геомагнітного індексу в досліджувані інтервали часу, отримані з праць [37; 38; 39].

Лютий 2023 року. Сонячна активність у лютому 2023 року представлена на



Рис. 1. Нормальне магнітне поле на території України. Режимні геофізичні спостереження на Закарпатті [40]

рис. 2, розглянуто варіації геомагнітного індексу. Коефіцієнт кореляції розглянутих рядів становить $+0,11$. Підвищення величини сонячної активності супроводжується зменшенням величини геомагнітного індексу.

Досліджено сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому та їх кінематичні характеристики за лютий 2023 рік (рис. 3). Коефіцієнт кореляції досліджуваних рядів спостереження становить $-0,34$.

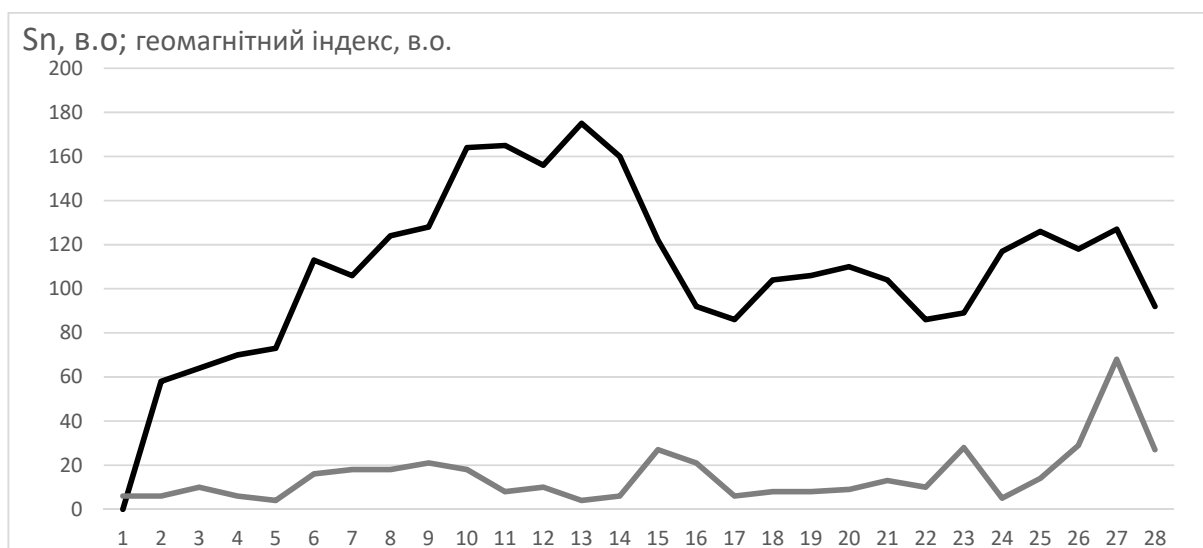


Рис. 2. Сонячна активність у лютому 2023 року (крива чорного кольору), геомагнітний індекс (крива сірого кольору)

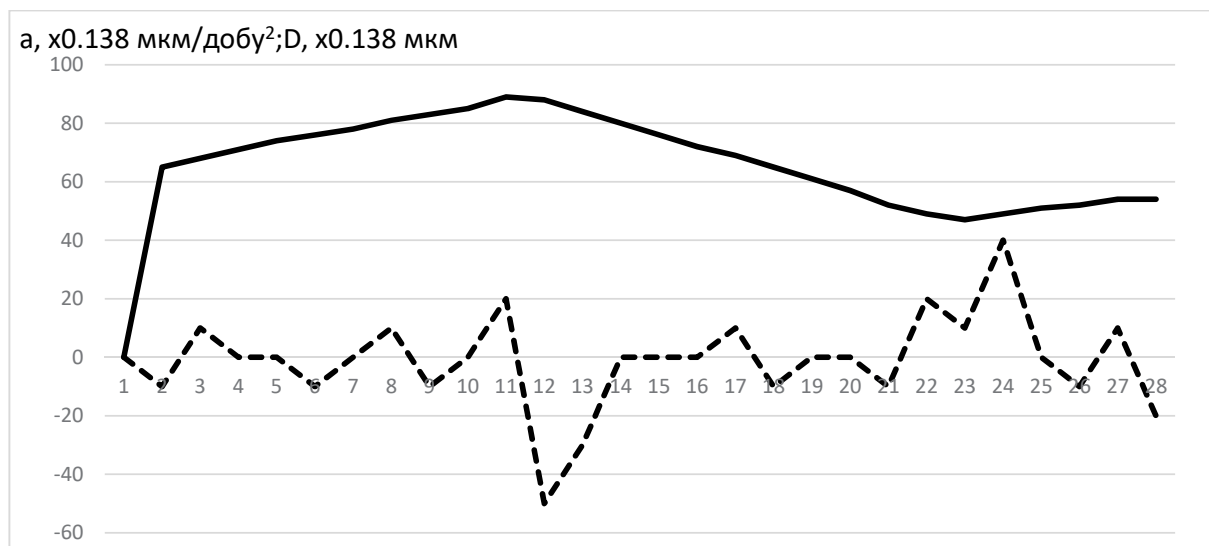


Рис. 3. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива чорного кольору), прискорення рухів кори (пунктирна лінія), 2023 рік

Порівняльний аналіз геодинамічного й астрофізичного станів за лютий 2023 року показано на рис. 4.

Коефіцієнт кореляції рядів геофізичного й астрофізичного станів становить 0,023. Аналіз форми кривих на предмет зв'язків призвів до висновків: форми кривих подібні й за часом збігаються, зміщення кривих за часом становить одну добу, підвищення величини геомагнітного індексу в часі збігається зі стисненнями порід. Дослідження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі та сучасні

горизонтальні рухи кори вказували на кореляцію геофізичних параметрів: стиснення порід супроводжувалися підвищеннями величини параметрів магнітного поля Землі.

Березень 2023 року. Сучасні рухи кори в березні 2023 року становили розширення порід величини – +5,38 мкм (рис. 5).

Розраховано прискорення рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в березні 2023 року (рис. 6).

Розраховано кореляцію прискорення рухів кори та сонячної активності в березні

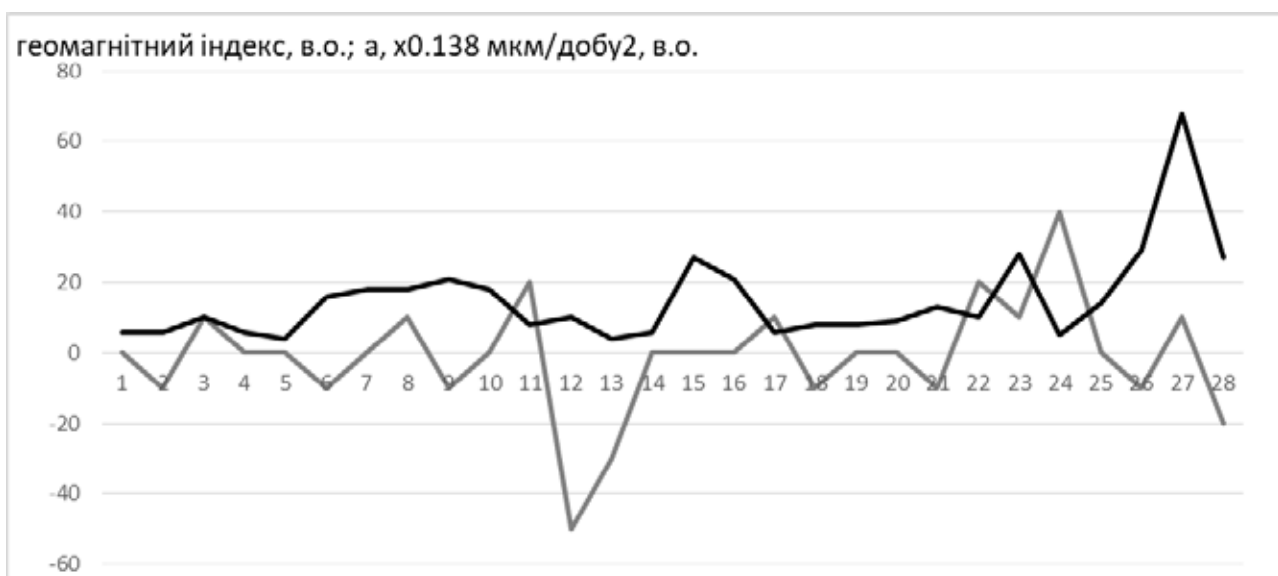


Рис. 4. Геомагнітний індекс у лютому 2023 року (крива чорного кольору), прискорення рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива сірого кольору)

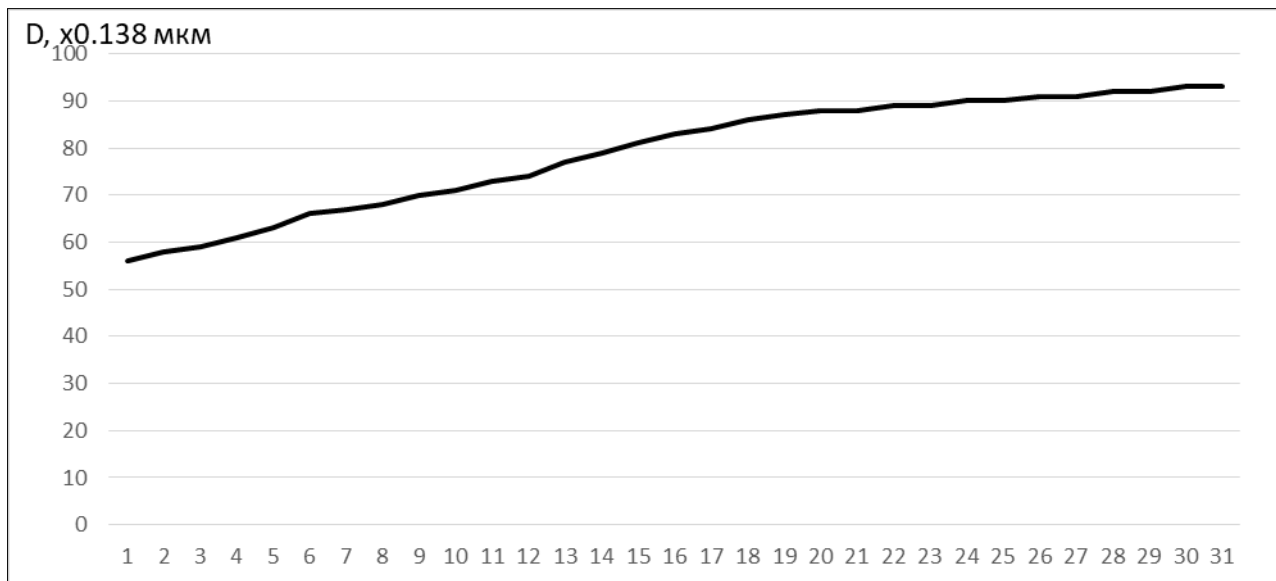


Рис. 5. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в березні 2023 року

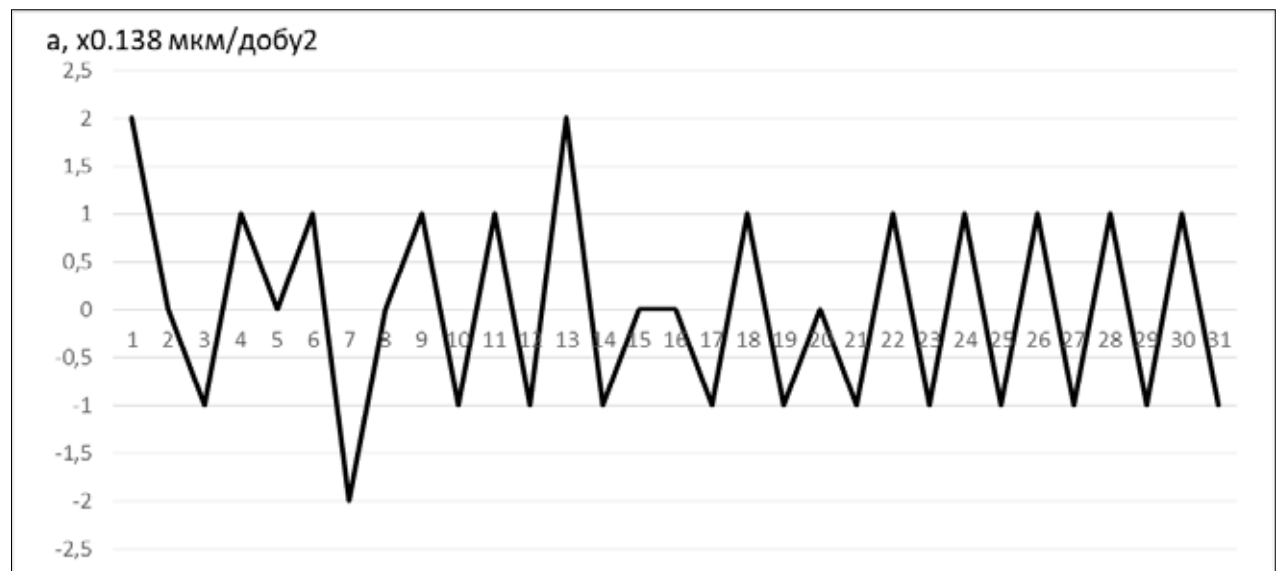


Рис. 6. Прискорення сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за березень 2023 року

2023 року, яка становить $-0,1$. Сонячна активність у березні 2023 року представлена на рис. 7.

Сонячна активність представлена активністю в першій і другій частині місяця 2023 року. Розглянуто варіації геомагнітного індексу за березень 2023 року (рис. 8).

Розглянуто кореляційний зв'язок між геомагнітним індексом і параметрами сонячної активності за березень 2023 року, розраховано ступінь кореляції, який становить $0,023$ (рис. 9).

Геомагнітний індекс супроводжує сонячну активність у березні 2023 року. Досліджено кінематику рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому й геомагнітного індексу, зв'язок представлено кореляцією геофізичних та астрофізичних параметрів – $-0,1$ (рис. 10).

Аналіз кривих відмітив факт зв'язку рухів кори й геомагнітного індексу: стиснення порід супроводжується підвищенням геомагнітного індексу.

Таким чином, аналізуючи варіації геофізичних та астрофізичних параметрів за

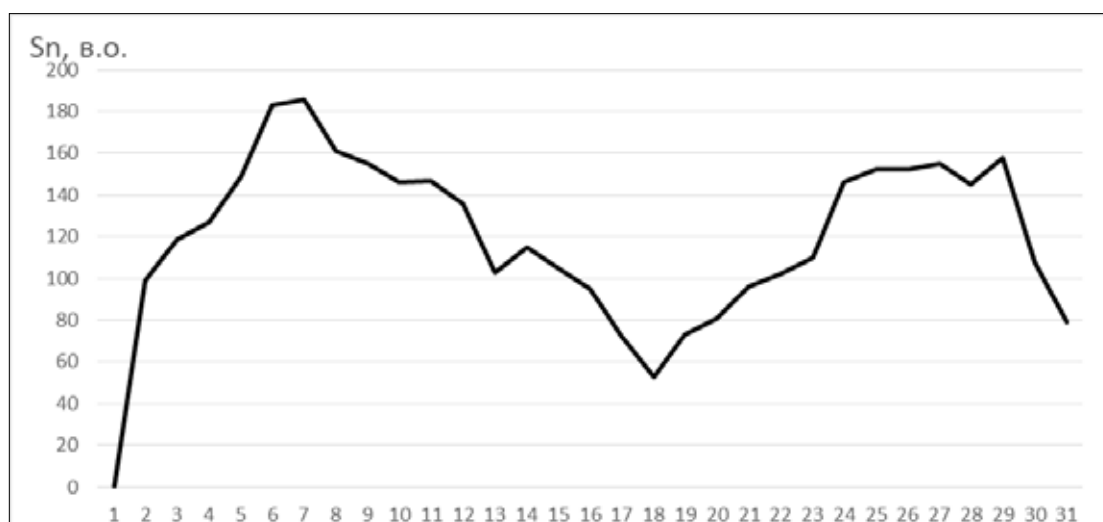


Рис. 7. Сонячна активність у березні 2023 року

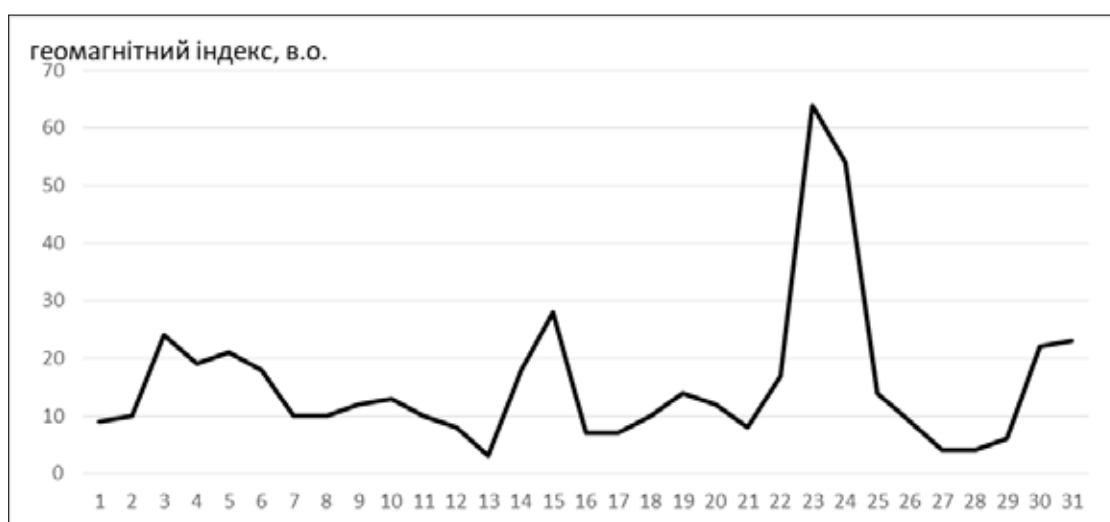


Рис. 8. Геомагнітний індекс за березень 2023 року

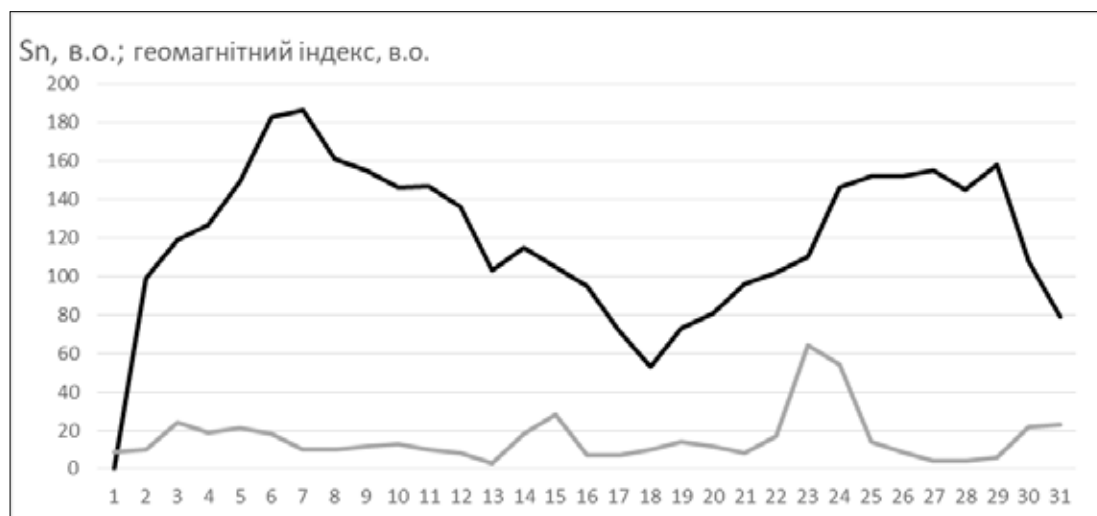


Рис. 9. Сонячна активність за березень 2023 року (крива чорного кольору), геомагнітний індекс (крива сірого кольору)



Рис. 10. Геомагнітний індекс (крива сірого кольору), прискорення рухів кори (крива чорного кольору), березень 2023 року

2023 рік і їх взаємозв'язки, важливо відмітити їх особливості й вплив на екологічний стан регіону. Показано, що сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому являють собою розширення порід величиною $+8,97$ мкм, деформації земної кори становить $+365,95$ нстр.

Проведено розрахунок прискорення рухів кори, які описують динаміку сучасних рухів кори, указують на поступове зростання інтенсивності рухів кори, що досягають свого максимуму в кінці досліджуваного 2023 року. Цей факт може бути викликаний інтенсивними опадами, що підтверджує гідрологічний аспект геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину.

Аналіз варіації параметрів сонячної активності за 2023 рік виявив, що досліджуваний параметр інтенсивно варіює на початку й у кінці року, через амплітуди коливання та періодів коливання середина року виглядає менш збуреною.

Геомагнітний індекс, який пов'язаний із вектором магнітної індукції магнітного поля Землі, і його варіації показують, що цей параметр змінюється періодично з періодами 1–2 місяці. Амплітуди збільшені на початку року й наприкінці року, причому в кінці року амплітуди менші вдвічі.

Висновки. Розраховано кореляції сонячної активності й сучасних рухів кори,

що вказують на певні зв'язки рухів кори та сонячної активності: інтенсивні рухи кори на початку року й у кінці року, а саме знакозмінні процеси супроводжують значні коливання сонячної активності. Результати вивчення зв'язків геомагнітного індексу, що є характеристикою магнітного поля Землі, і сучасних горизонтальних рухів кори вказують на такі особливості: сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому у 2023 році та геомагнітний індекс корелюють між собою, а саме на початку року при розширенні порід відмічено підвищені величини геомагнітного індексу. Виявлено, що геомагнітний індекс змінюється в час інтенсивних рухів кори. Отже, проведені дослідження й отримані результати важливі під час вивчення геофізичних полів у регіоні, указують на зв'язок геофізичних та астрофізичних параметрів, тобто аномальні варіації геофізичних та астрофізичних параметрів знаходяться в одних часових інтервалах, які є важливими щодо майбутнього прогнозу землетрусів, небезпечних геологічних процесів.

Актуальним є проведення аналогічного дослідження всього Закарпатського прогину та вивчення астрофізичного аспекту геодинамічного й екологічного стану сейсмонезбезпечного регіону із залученням додаткових параметрів.

Література

1. Бурахович Т., Кушнір А. Історія, сучасний стан та напрями розвитку геоелектромагнітних досліджень в Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2023. № 1 (100). С. 58–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.07>.
2. Іванік О., Шевчук В., Кравченко Д., Гадяцька К. Прогнозування зсувної небезпеки та оцінка впливу на суспільство: головні підходи, принципи, методи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2023. № 1 (100). С. 5–14. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.01>.
3. Лубков М. Моделювання зсувних деформацій під дією сили тяжіння. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2023. № 2 (101). С. 25–30. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.03>.
4. Брицький О., Щербіна С., Пігулевський П., Лісовий Ю., Черевко І. Новий лазерний підхід для оцінки сейсмічного ризику. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2023. № 3 (102). С. 10–18. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.02>.
5. Стародуб Ю., Гаврись А., Козіонова О. Вивчення напружено-деформованого стану ґрунтів навантажених мостоінженерних споруд. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2023. № 3 (102). С. 88–93. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.12>.
6. Орленко Т. Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні правобережжя канівського водосховища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2023. № 4 (103). С. 5–13. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.103.01>.
7. Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами деформометричних спостережень у регіоні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2024. № 1 (104). С. 13–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>.
8. Зацерковний В., Цюпа І., Остапенко Г., Де Донатіс М., Ільїн Л. Аналіз наслідків землетрусів у Туреччині 06.02.2023 за даними радіолокаційної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2024. № 2 (105). С. 111–118. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.15>.
9. Єгорова Т., Верпаховська О., Муровська Г. Тришарова структура карпатської осадової призми за результатами сейсмічної міграції на профілях PANCAKE та RomUkrSeis WARR. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (2). С. 152–169. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.256270>.
10. Бурахович Т., Кушнір А., Ільєнко В. Сучасні геоелектромагнітні дослідження Українських Карпат. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (3). С. 21–43. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261966>.
11. Гончар В. Значення зональності поперечних деформацій та палінспастичні реконструкції Карпат на основі структурного аналізу складчастості. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (3). С. 96–102. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261975>.
12. Стародуб Ю., Карабин В., Гаврись А., Ковальчук В., Рогуля А., Ємельяненко С. Геофізичні дослідження гідросферної обстановки Передкарпаття з метою цивільного захисту довкілля. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (4). С. 171–182. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264847>.
13. Орлюк М., Бакарджієва М., Марченко А. Магнітні характеристики та тектонічна будова земної кори Карпатського нафтогазоносного регіону як складова комплексного вуглеводневого критерію. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (5). С. 77–105. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272328>.
14. Макаренко І., Белік М., Старостенко В., Дерєрова Ю., Савченко О., Легостаєва О. Тривимірна густинна модель осадового заповнення Карпато-Панонського регіону. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (6). С. 24–62. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273639>.
15. Андрущенко Ю., Лящук О., Фарфуляк Л., Амашукелі Т., Ханієв О., Осадчий В., Петренко К., Вербицький С. Національний сейсмологічний бюлетень України за 2021 рік. *Геофізичний журнал*. 2022. № 44 (6). С. 162–180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649>.
16. Старостенко В., Янік Т., Чуба В., Шрода П., Муровська А., Єгорова Т., Верпаховська А., Коломієць К., Лисинчук Д., Войцик Д., Омельченко В., Амашукелі Т., Легостаєва О., Гринь Д., Чулков С. Глибинний сейсмічний експеримент SHIELD'21. *Геофізичний журнал*. 2023. № 45 (1). С. 3–10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>.
17. Третяк К., Кухтар Д. Застосування радіолокаційних інтерферометричних зображень Sntinel-1 для моніторингу вертикальних переміщень земної поверхні під впливом неприливних атмосферних навантажень. *Геофізичний журнал*. 2023. № 45 (1). С. 87–101. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275180>.
18. Муровська А., Верпаховська О., Гнилко О., Чорна О., Єгорова Т. Закарпатська западина: дослідження зон низьких швидкостей у земній корі за даними сейсмічних регіональних профілів. *Геофізичний журнал*. 2023. № 45 (2). С. 30–43. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278310>.

19. Кутний А., Павлик В., Бабич Т. Пліс В. Динаміка приливних параметрів залежно від зсув-небезпечного стану покрівлі соляної шахти. *Геофізичний журнал*. 2023. № 45 (3). С. 74–87. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i3.282416>.
20. Орлюк М., Бакаржієва М., Марченко А., Шестопалова О., Друкаренко В. Геоманітне поле Українських Карпат і 3D магнітна модель Закарпатської западини. *Геофізичний журнал*. 2023. № 45 (4). С. 20–42. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286284>.
21. Рахман Пірієв. Електромагнітні провідники землетрусів в діапазоні УНЧ і НЧ: перспективи досліджень. *Геодинаміка*. 2021. № 1 (30). С. 48–57. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.048>.
22. Штогрин Л., Анікеев 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.
23. Анікеев С., Розловська С. Анізотропні трансформації регіональних гравімагнітних полів південного сходу Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2021. № 2 (31). С. 66–83. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.066>.
24. Третьак К., Брусак І. Сучасні деформації земної кори території Заходу України за даними ГНСС мережі «GEOTERRACE». *Геодинаміка*. 2022. № 1 (32). С. 16–25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.
25. Анікеев С., Максимчук В., Пиріжок Н. Густинна модель земної кори Українських Карпат по профілю PANCAKE. *Геодинаміка*. 2022. № 2 (33). С. 28–49. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.028>.
26. Гнип А. Визначення різницевих координат і механізму вогнища землетрусів поблизу с. Тросник у Закарпатті протягом 2013–2015 рр.: Методичні аспекти та аналіз результатів. *Геодинаміка*. 2022. № 2 (33). С. 50–63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.
27. Кузьменко Е., Багрій С., Артим І., Артим В. Відображення розподілу механічних напруг в гірничих масивах у динаміці інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі. *Геодинаміка*. 2022. № 2 (33). С. 64–74. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.065>.
28. Назаревич А., Назаревич Л., Байрак Г., Пиріжок Н. Сейсмотектоніка зони перетину Оашського і Закарпатського глибинних розломів (Українське Закарпаття). *Геодинаміка*. 2022. № 2 (33). С. 99–114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.
29. Cai Y., Wu J.P., Liu Y.N., Gao S.J. Advances in seismological methods for characterizing fault zone structure. *Earthq Sci*. 2024. № 37 (2). P. 122–138. doi: 10.1016/j.eqs.2024.01.019.
30. Samy A., Arafa-Named T., Abdelkader A., Khashaba A., Takla E. A correlation study of selected geomagnetic events recorded by the Egyptian observatories and INTERMAGNET stations. *Earthq Sci*. 2025. № 38 (2). P. 79–90. 10.1016/j.eqs.2024.09.001.
31. 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 Beregsiensis Geographica et Recreatio*. 2024. № 1. С. 32–47.
32. 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 Beregsiensis Geographica et Recreatio*. 2024. № 2. С. 58–68.
33. 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 сейсмонезпечних регіонах. *Acta Academiae Beregsiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024. № 3. С. 48–58. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>.
34. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С. Електромагнітна емісія середовища як реакція на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенерувальних регіонах. *Acta Academiae Beregsiensis: Geographica Et Recreatio*. 2024. № 4. С. 17–26. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>.
35. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й. Гідрогеологічні фактори впливу на геодинамічні та сейсмічні явища в Закарпатті. *Acta Academiae Beregsiensis: Geographica et Recreatio*. 2025. № 1. С. 24–36.
36. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Ігнатишин А.В. Гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія «Геологія»*. 2022. № 98 (3). С. 42–48.
37. Solar Cycle 25 maximum. URL: <https://www.sidc.be/article/solar-cycle-25-maximum>.
38. Sunspot Number graphics. URL: <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>.
39. Lunar calendar. URL: <http://space.vn.ua/inshe/inshe-moon.html>.
40. Національний атлас України / НАН України, Інститут географії, Державна служба геодезії, картографії та кадастру ; голов. ред. Л.Г. Руденко; голова ред. кол. Б.Є. Патон. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 435 с.

References

1. Burakhovych, T., & Kushnir, A. (2023). Istoriia, suchasnyi stan ta napriamy rozvytku heoelektromahnitnykh doslidzen v Ukraini [History, current state and directions of development of geoelectromagnetic research in Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 1(100), 58–66. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.07>.
2. Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., & Hadiatska, K. (2023). Prohnozuvannia zsumovoi nebezpeky ta otsinka vplyvu na suspilstvo: holovni pidkhody, pryntsyipy, metody [Prohnozuvannia zsumovoi nebezpečky ta otsinka vplyv na suspilstvo: holovni pidkhody, pryntsyipy, metody]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 1(100), 5–14. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.100.01>.
3. Lubkov, M. (2023). Modeliuvannia zsumnykh deformatsii pid diiei syly tiazhinna [Modeling of shear deformations under the influence of gravity]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 2(101), 25–30. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.101.03>.
4. Brytskyi, O., Shcherbina, S., Pihulevskyi, P., Lisovyi, Yu., & Cherevko, I. (2023). Novyi lazernyi pidkhid dlia otsinky seismichnoho ryzyku [A new laser approach to seismic risk assessment]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 3(102), 10–18. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.02>.
5. Starodub, Yu., Havrys, A., & Kozionova, O. (2023). Vyvchennia napruzhenno-deformovanoho stanu gruntiv navantazhenykh mostoinzhenerykh sporud [Study of the stress-strain state of soils of loaded bridge structures]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 3(102), 88–93. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.12>.
6. Orlenko, T. (2023). Monitorynh vertykalnykh zmishchen zemnoi poverkhni pravoberezhzhia kanivskoho vodoskhovyshcha [Monitoring of vertical displacements of the earth's surface on the right bank of the Kaniv reservoir]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 4(103), 5–13. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.103.01>.
7. Ihnatyshyn, V., Malyskyi, D., Izhak, T., Molnar, S., Ihnatyshyn, M., Ihnatyshyn A. (2024). Heodynamichni stan Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za rezultatamy deformometrychnykh sposterezhen u rehioni [The geodynamic state of the Transcarpathian Internal Trough based on the results of deformometric observations in the region]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 1(104), 13–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>.
8. Zatserkovnyi, V., Tsiupa, I., Ostapenko, H., De Donatis M., Ilin L. (2024). Analiz naslidkiv zemletrusiv u Turechchyni 06.02.2023 za danymy radiolokatsiinoi interferometrii [Analysis of the consequences of the earthquakes in Turkey on 06.02.2023 according to radar interferometry data]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiia*, 2(105), 111–118. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.15>.
9. Iehorova, T., Verpakhovska, O., & Murovska, H. (2022). Trysharova struktura karpatskoi osadovoi pryzmy za rezultatamy seismichnoi mihratsii na profiliakh PANCAKE ta RomUkrSeis WARR [Three-layer structure of the Carpathian sedimentary prism based on the results of seismic migration on PANCAKE and RomUkrSeis WARR profiles]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (2), 152–169. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.256270>.
10. Burakhovych, T., Kushnir, A. & Iliencko, V. (2022). Suchasni heoelektromahnitni doslidzhennia Ukrainskykh Karpat [Modern geoelectromagnetic studies of the Ukrainian Carpathians]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (3), 21–43. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261966>.
11. Honchar, V. (2022). Znachennia zonalnosti poperechnykh deformatsii ta palinspastychni rekonstruktsii Karpat na osnovi strukturnoho analizu skladchastosti [Significance of transverse deformation zonation and palynospastic reconstructions of the Carpathians based on structural analysis of folding]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (3), 96–102. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i3.261975>.
12. Starodub, Yu., Karabyn, V., Havrys, A., Kovalchuk, V., Rohulia, A., & Yemelianenko, S. (2022). Heofizychni doslidzhennia hidrosfernoi obstanovky Peredkarpattia z metoiu tsyvilnoho zakhystu dovkilla [Geophysical studies of the hydrosphere situation in the Carpathian region for the purpose of civil protection of the environment]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (4), 171–182. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264847>.
13. Orliuk, M., Bakardzhiieva, M., & Marchenko, A. (2022). Mahnitni kharakterystyky ta tektonichna budova zemnoi kory Karpatskoho naftohazonosnoho rehionu yak skladova kompleksnoho vuhlevodnevoho kryteriiu [Magnetic Characteristics and Tectonic Structure of the Earth's Crust of the Carpathian Oil and Gas Region as a Component of a Comprehensive Hydrocarbon Criterion]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (5), 77–105. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272328>.
14. Makarenko, I., Bielik, M., Starostenko, V., Dererova, Yu., Savchenko, O., & Lehostaieva, O. (2022). Tryvymirna plotnostnaia model osadovoho zapovnennia Karpato-Panonskoho rehionu [A three-dimensional density model of sedimentary filling of the Carpathian-Pannonian region]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (6), 24–62. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273639>.

15. Andrushchenko, Yu., Liashchuk, O., Farfuliak, L., Amashukeli, T., Khaniiev, O., Osadchyi, V., Petrenko, K., & Verbytskyi, S. (2022). Natsionalnyi seismolohichnyi biuletyn Ukrainy za 2021 rik [National Seismological Bulletin of Ukraine for 2021]. *Heofizychnyi zhurnal*, 44 (6), 162–180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649>.
16. Starostenko, V., Yanik, T., Chuba, V., Shroda, P., Murovska, A., Yehorova, T., Verpakhovska, A., Kolomiets, K., Lysynchuk, D., Voitsyk D., Omelchenko V., Amashukeli T., Lehostaieva O., Hryn D. ta Chulkov, S. (2022). Hlybynnyi seismichnyi eksperyment SHIELD21 [Deep seismic experiment SHIELD'21]. *Heofizychnyi zhurnal*, 45 (1). Pp. 3–10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>.
17. Tretiak, K., & Kukhtar, D. (2023). Zastosuvannia radiolokatsiinykh interferometrychnykh zobrazhen Sntinel-1 dlia monitorynhu vertykalnykh peremishchen zemnoi poverkhni pid vplyvom neprylyvnykh atmosferynykh navantazhen [Application of Sntinel-1 radar interferometric images for monitoring of vertical movements of the earth's surface under the influence of non-tidal atmospheric loads]. *Heofizychnyi zhurnal*, 45 (1). Pp. 87–101. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275180>.
18. Murovska, A., Verpakhovska, O., Hnylko, O., Chorna, O., & Yehorova, T. (2023). Zakarpatska zapadyna: doslidzhennia zon nyzkykh shvydkostei u zemnii kori za danymy seismichnykh rehionalnykh profiliv [Transcarpathian Depression: study of low velocity zones in the Earth's crust based on seismic regional profiles]. *Heofizychnyi zhurnal*, 45 (2). Pp. 30–43. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278310>.
19. Kutnyi, A., Pavlyk, V., Babych, T. & Plis, V. (2023). Dynamika prylyvnykh parametriv zalezno vid zsvnebezpechnoho stanu pokrivli solianoï Shakhty [Dynamics of tidal parameters depending on the landslide state of the salt mine roof]. *Heofizychnyi zhurnal*, 45 (3). Pp. 74–87. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i3.282416>.
20. Orliuk, M., Bakarzhiiieva, M., Marchenko, A., Shestopalova, O., & Drukarenko, V. (2023). Heomahnitne pole Ukrainskykh Karpat i 3D mahnitna model Zakarpatskoi zapadyny [Geomagnetic field of the Ukrainian Carpathians and 3D magnetic model of the Transcarpathian Basin]. *Heofizychnyi zhurnal*, 45 (4). Pp. 20–42. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286284>.
21. Rakhman Piriiev (2021). Elektromahnitni provisyky zemletrusiv v diapazoni UNCh I NCh: perspektyvy doslidzhen [Electromagnetic precursors of earthquakes in the VLF and LF range: research prospects]. *Heodynamika*. № 1(30), pp. 48–57. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.048>.
22. Shtohryn, L., Anikeiev, S., Kuzmenko, E., & Bahrii, S. (2021). Vidobrazhennia aktyvnosti zsvnykh protsesiv u rehionalnykh hravitatsiinomu ta mahnitnomu poliakh (na prykladi Zakarpatskoi oblasti) [Reflection of the activity of landslide processes in the regional gravitational and magnetic fields (on the example of the Transcarpathian region)]. *Heodynamika*. № 1(30). Pp. 65–77.
23. Anikeiev, S., & Rozlovska, S. (2021). Anizotropni transformatsii rehionalnykh hravimahnitnykh poliv pivdennoho skhodu Ukrainskykh Karpat [Anisotropic transformations of regional gravimagnetic fields in the southeast of the Ukrainian Carpathians]. *Heodynamika*. № 2(31). Pp. 66–83. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.066>.
24. Tretiak, K., & Brusak, I. (2022). Suchasni deformatsii zemnoi kory terytorii Zakhodu Ukrainy za danymy HNSS merezhi «GEOTERRACE» [Modern deformations of the Earth's crust in the territory of Western Ukraine according to GNSS data of the GEOTERRACE network]. *Heodynamika*. № 1(32). Pp. 16–25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.
25. Anikeiev, S., Maksymchuk, V., & Pyrzhok, N. (2022). Hustynna model zemnoi kory Ukrainskykh Karpat po profilii PANCAKE [Density model of the crust of the Ukrainian Carpathians based on the PANCAKE profile]. *Heodynamika*. № 2(33). Pp. 28–49. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.028>.
26. Hnyp, A. (2022). Vyznachennia riznytsevykh koordynat i mekhanizmu vohnyshcha zemletrusiv poblyzu s. Trosnyk u Zakarpatti protiahom 2013–2015 rr.: Metodychni aspekty ta analiz rezul'tativ [Determination of difference coordinates and focal mechanism of earthquakes near the village of Trosnyk in Transcarpathia during 2013–2015: Methodological aspects and analysis of results]. *Heodynamika*. № 2(33). Pp. 50–63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.
27. Kuzmenko, E., Bahrii, S., Artym, I., & Artym, V. (2022). Vidobrazhennia rozpodilu mekhanichnykh napruh v hirnychykh masyvakh u dynamitsi intensyvnosti pryrodnoho impulsnoho elektromahnitnoho polia Zemli [Reflection of the distribution of mechanical stresses in rock masses in the dynamics of the intensity of the Earth's natural pulsed electromagnetic field]. *Heodynamika*. № 2(33). Pp. 64–74. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.065>.
28. Nazarevych, A., Nazarevych, L., Bairak, H., & Pyrzhok, N. (2022). Seismotektonika zony peretynu Oashskoho i Zakarpatskoho hlybynnykh rozlomiv (Ukrainske Zakarpattia) [Seismotectonics of the zone of intersection of the Oash and Transcarpathian deep faults (Ukrainian Transcarpathia)]. *Heodynamika*. № 2(33). Pp. 99–114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.
29. Cai, Y., Wu J.P., Liu, Y.N. & Gao S.J. (2024). Advances in seismological methods for characterizing fault zone structure. *Earthq Sci* 37(2): 122–138. DOI: 10.1016/j.eqs.2024.01.019.

30. Samy, A., Arafa-Hamed, T., Abdelkader, A., Khashaba, A., Takla E. (2025). A correlation study of selected geomagnetic events recorded by the Egyptian observatories and INTERMAGNET stations. *Earthq Sci*, 38 (2), pp. 79–90. 10.1016/j.eqs.2024.09.001.
31. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Molnar, D S.S., & Rats, A.Y. (2024). Meteorologichnyi 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. Pp. 32–47.
32. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., & Molnar, D S.S. (2024). Radioaktyvnyi fon seredovyscha ta suchasni rukhy kory v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni: seismichnyi aspekt [Radioactive background of the environment and modern crustal movements in the Transcarpathian inner trough: seismic aspect]. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 2. Pp. 58–68.
33. 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 [Study of changes in magnetic and strain field parameters in earthquake-prone regions]. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*, (3), 48–58. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>.
34. Ihnatyshyn, V.V., Izhak T.Y., & Molnar, D S.S. (2024). Elektromahnitna emisiia seredovyscha yak reaktsiia na seismotektonichni protsesy v seismoheneruvalnykh rehionakh [Electromagnetic emission of the medium as a reaction to seismotectonic processes in seismogenerating regions] *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*, (4), 17–26. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>.
35. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.Y., Molnar, D S.S., & Rats, A.Y. (2025). Hidroheolohichni faktory vplyvu na heodynamichni ta seismichni yavyscha v Zakarpatti. [Hydrogeological factors of influence on geodynamic and seismic phenomena in Transcarpathia]. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica et Recreatio*. №. 1. Pp. 24–36.
36. Ihnatyshyn, V.V., Malyskyi, D.V., Izhak, T.I., Ihnatyshyn, M.B., & Ihnatyshyn, A.V. (2022). Hidroheolohichni aspekt seismotektonichnykh protsesiv u Zakarpatskomu vnutrishnmu prohyni [Hydrogeologic aspect of seismotectonic processes in the Transcarpathian internal trough]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu im. Tarasa Shevchenka. Heolohiia*. 2022. 98(3). Ss. 42–48. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. (2022). v. 3(98). pp. 42–48.
37. Solar Cycle 25 maximum. Retrieved from: <https://www.sidc.be/article/solar-cycle-25-maximum>.
38. Sunspot Number graphics. Retrieved from: <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>.
39. Lunar calendar. Retrieved from: <http://space.vn.ua/inshe/inshe-moon.html>.
40. Natsionalnyi atlas Ukrainy / NAN Ukrainy, Instytut heohrafii, Derzhavna sluzhba heodezii, kartohrafii ta kadastru ; holov. red. L. H. Rudenko ; holova red. kol. B. Ye. Paton. K. : DNVP «Kartohrafiia», 2007. 435 p.