

МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ ТА ГЕОДИНАМІЧНИЙ СТАН ЗАКАРПАТСЬКОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОГИНУ: ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

Ігнатишин В.В.^{1,2}, Малицький Д.В.³, Іжак Т.Й.², Ігнатишин А.В.¹, Ігнатишин М.Б.¹

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

²Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II
лл. Кошута, 6, 90202, м. Берегове

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

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

У статті представлено результати вивчення зв'язків магнітного поля Землі та сейсмотектонічних процесів в Закарпатті на фоні інтенсивних рухів кори та реєстрації місцевих землетрусів в тому числі і відчутних. Показано алгоритм проведення вивчення сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому. Проаналізовано зв'язок гідрогеологічних параметрів, отриманих при спостереженні в центральній частині Закарпаття, просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, варіацій вектора магнітної індукції магнітного поля Землі та динаміки сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2021 рік. Для вирішення поставлених задач використано результати вивчення кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори та динамічних параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля. Відмічено, що переважна більшість місцевих землетрусів зареєстрована в періоди інтенсивних рухів, а саме при стисненні порід. Перша половина року характерна сейсмічністю, яка подібна до минулих років спостереження, проте відчутних місцевих поштовхів не зареєстровано. Відмічено активізацію місцевої сейсмічності в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, де розташована режимна геофізична станція «Тросник» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Частота прояву місцевої сейсмічності має успадкований характер. Проведені дослідження зв'язку варіацій параметрів магнітного поля Землі, виміряних на РГС «Тросник» та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності відмітили інтервали аномальних динамічних параметрів магнітного поля, які корелюються з інтервалами часу аномальних сучасних горизонтальних рухів кори. Магнітне поле Землі змінюється та корелюється із рухами кори в широкому динамічному діапазоні. Також показано перспективи вивчення геодинаміки інших частин регіону для вивчення геологічних процесів, які безпосередньо впливають на екологічний стан даної території. Результати важливі для розуміння процесів підготовки та розрядки геомеханічних явищ в сейсмонебезпечних регіонах, вирішенні проблем екологічного стану Закарпатського внутрішнього прогину. *Ключові слова:* магнітне поле Землі, геодинамічний стан, сейсмічний стан, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому, сучасні горизонтальні рухи кори, екологічний стан.

The Earth's magnetic field and geodynamic state of the Transcarpathian Inner Trough: ecological aspect. Ihnatyshyn V., Malyskyi D., Izsák T., Ihnatyshyn M., Ihnatyshyn A.

The article presents the results of studying the relationships between the Earth's magnetic field and seismotectonic processes in Transcarpathia against the background of intense movements of the Earth's crust and the registration of local earthquakes, including tangible ones. The algorithm for studying modern lateral movements of the Earth's crust measured in the Oaş deep-seated fault area is shown. The relationship between hydrogeological parameters obtained from observations in the central part of Transcarpathia, the spatial and temporal distribution of local seismicity, variations in the magnetic induction vector of the Earth's magnetic field, and the dynamics of modern horizontal crustal movements in the Oaş deep-seated fault area for 2021 are analysed. To solve these problems, we used the results of studying the kinematic characteristics of modern lateral movements of the Earth's crust and the dynamic parameters of geophysical fields, in particular the magnetic field. It was noted that the vast majority of local earthquakes were registered during periods of intense movements, namely during rock compression. The first half of the year is characterized by seismicity similar to the previous years of observation, but no significant local shocks were registered. The activation of local seismicity was noted in the central part of the Transcarpathian Inner Trough, where the "Trosnyk" monitoring geophysical station of the Seismicity Department of the Carpathian region of S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine is located. The frequency of local seismicity is inherited. The study of the relationship between variations of the Earth's magnetic field parameters measured at the "Trosnyk" monitoring geophysical station and the spatiotemporal distribution of local seismicity has revealed intervals of anomalous dynamic parameters of the magnetic field that correlate with time intervals of anomalous modern lateral movements of the Earth's crust. The Earth's magnetic field changes and correlates with crustal movements in a wide dynamic range. We also show the prospects for studying the geodynamics of other parts of the region to study geological processes that directly affect the ecological state of the area. The results are important to understand the processes of preparation and discharge of geomechanic phenomena in earthquake-prone regions, solving the problems of the ecological state of the Transcarpathian Inner Trough. *Key words:* the Earth's magnetic field, geodynamic state, seismic state, earthquakes, Transcarpathian Inner Trough, Oaş deep-seated fault, modern lateral movements of the Earth's crust, ecological state.

Постановка проблеми. На території Закарпаття починаючи з 80-х років ХХ ст. проводяться високо-точні та унікальні спостереження сучасних горизонтальних рухів кори за допомогою горизонтальних кварцових деформографів. Отримані результати вимірювання та обробки даних відмітили особливості геодинаміки регіону, вплив їх на прояв сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину. Сучасні рухи кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину представлені періодичними коливаннями вікових ходів, які знаходяться в інтервалі $-30 \times 10^{-7} : +20 \times 10^{-7}$. Проведені дослідження показали зв'язок геодинамічного стану регіону та сейсмічних процесів в періоди інтенсивних рухів та знакозмінних процесів в рухах верхніх шарів земної кори. Також відмічено зв'язок параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі, яке на даному етапі систематично вивчається. Проводиться дослідження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі та його зв'язок із рухами кори та розрядкою напружено-деформованого стану порід. Також досліджено варіації параметрів гідрогеологічного та метеорологічного станів регіону, зокрема відмічено гідрогеологічний аспект сучасних сейсмотектонічних процесів в сейсмогенеруючому регіоні. Інтенсивні атмосферні опади в регіоні викликають динамічні ефекти в сучасних горизонтальних рухах кори, що в більшості випадків супроводжуються підвищенням сейсмічної активності в Закарпатському внутрішньому прогині. Сейсмотектонічні процеси в регіоні можуть бути причиною негативної зміни екологічного стану регіону, зокрема враховуючи його географічне положення та наявність на території об'єктів критичної інфраструктури.

Актуальність дослідження. На території сучасного Закарпаття, його геологічних структурах: Берегівського горбогір'я та в зоні Оашського глибинного розлому тривалий період проводяться системі режимні геофізичні спостереження починаючи з другої половини 20-го ст. На території Берегівського горбогір'я геофізичні спостереження проводяться на режимній геофізичній станції «Берегове» а в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину моніторинг геофізичних полів проводиться на режимній геофізичній станції «Тросник» та пункті деформометричних спостережень «Королеве» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Комплекс геофізичних спостережень включає в себе спостереження магнітного поля Землі за допомогою магнітометричних станцій МВ-01 та Лемі-017, радіоактивного фону навколишнього середовища, електромагнітної емісії в різних частотних діапазонах, параметрів метеорологічного стану середовища: температури повітря, атмосферного тиску, вологості повітря, напрямку вітрів та швидкості вітру, атмосферних опадів, прово-

дяться реєстрації проявів мікросейсмічності регіону. Результати попередніх комплексних геофізичних спостережень в Закарпатті відмітили зв'язки варіацій параметрів геофізичних полів із сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому та Берегівського горбогір'я. Показано на активізацію сейсмічності регіону в період інтенсивних рухів кори, відгук параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі. Сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину представлена періодичною активізацією інтервалами 1–5 рр., коли на фоні численних мікроемлетрусів реєструються відчутні місцеві підземні поштовхи. Тому важливо досліджувати геофізичні процеси в регіоні на предмет виявлення як якісного так числового зв'язку варіацій параметрів геодинамічного, сейсмічного станів із відгуками досліджуваних геофізичних полів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Комплексні геофізичні спостереження на території Закарпаття проводяться тривалий період. Метою всіх досліджень – це вивчення будови Землі, земної кори, її фізичних характеристик, дослідження просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності. Для цієї мети в різний період було створені експедиції та партії профільних науково-дослідних закладів, які на території Закарпаття змонтували сітку комплексних режимних геофізичних станцій та пунктів. Ці пункти були розсереджені по всій території Закарпаття. Серед цих дослідницьких об'єктів слід наголосити на унікальні деформометричні станції, оскільки їх монтування вимагає спеціальних підземних приміщень. Сучасні горизонтальні рухи кори в регіоні вимірюються за допомогою деформометричних станцій змонтованих на режимній геофізичній станції «Берегове», де функціонують два взаємно перпендикулярні кварцові деформометри відповідно базами 24,5 м та 6 м, орієнтовані близько меридіональному та близькоширотному напрямках. Рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому вимірюють за допомогою горизонтального кварцового деформографа базою в 24.5 м та орієнтованого в напрямку схід-захід, змонтованого в штольні пункті деформометричних спостережень «Королеве». Обидві деформометричні станції були створені для отримання картини геодинамічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині. Результати отримані на цих пунктах підтвердили величини сучасних горизонтальних рухів кори в Карпат-Балканського регіону та їх орієнтування: стиснення в близькоширотному напрямку та розширення в близькомеридіональному. Змонтована в 1999 році деформометрична станція в зоні Оашського глибинного розлому підтвердила результати загальної картини сучасних рухів кори в Закарпатському внутрішньому прогині-розширення порід в напрямку схід-захід, отриманої за допомогою геодезичних та інших методів. Важливо продовження вивчення зв'язку місцевої сейсмічності

із геологічними процесами, що є джерелом сейсмотектонічних процесів в регіоні та однією із можливих причин погіршення його екологічного стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

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 [1]. Проведені дослідження дозволять більш предметно визначати повні характеристики вогнищ землетрусів, швидкості та напрямки поширення сейсмічних хвиль у відповідності з будовою фундаменту та осадовою товщі, що відкриває можливість доповнювати дані тривалого моніторингу екобезпечних природних та техногенних подій у даному регіоні. В [2] показано, що для Закарпаття зони низьких швидкостей (області термобаричного розушільнення мінеральної речовини) обов'язкові при певному тиску і температурах у земній корі будь-яких регіонів невід'ємною частиною і обов'язково формуються в процесі прогрівання земних надр під час їх «термогеоактивізації». В [3] представлено результати застосування розробленої методики забезпечує редукцію метеотемпературних впливів на порядок і більше і дає можливість пошуків малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників землетрусів на фоні термопружних деформацій, що збільшує реальну чутливість та зону геодинамічного та сейсмопрогностичного контролю конкретного пункту деформографічних спостережень. В [4] представлено результати науково-дослідних робіт із залученням геоінформаційних та геофізичних методів для розв'язання завдань із моніторингу небезпечних природних та техногенних процесів на території розташування об'єктів критичної інфраструктури, виокремлено ряд потенційно можливих напрямів використання магнітних методів з метою моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, а також пов'язаних із ними природних і техногенних процесів [5]. Дослідження магнітної мінералогії підтвердили відсутність техногенного забруднення ґрунтів на основі значень частотної залежності магнітної сприйнятливості, превалювання супер парамагнітних зерен розміром менше 20 нм підтверджується значеннями частотної залежності магнітної сприйнятливості, які формуються в режимі реального часу в процесі ґрунтоутворення [6]. У зв'язку з ростом кількості природно-техногенних катастроф актуальною є розробка систем моніторингу за станом геологічного середовища з використанням сучасного математичного апарата та інформаційних технологій; в загальній системі моніторингу докільля важливою складовою є локальний моніторинг територій розташування потенційно небезпечних об'єктів [7]. В [8] викладено головні підходи та принципи розробки і формування структури бази

даних зсувних процесів у межах території України. Показано, що Україна характеризується активним розвитком різногенетичних гравітаційних процесів у межах різних структурно-тектонічних і ландшафтно-кліматичних зон, що вимагає єдиного підходу до створення системи їхнього обліку, інвентаризації та моніторингу з наступним прогнозуванням та оцінкою впливу на техногенні об'єкти різного призначення. В [9] вперше сформульовано поняття «радіаційного кластера», що об'єднує координати на площині з потужністю амбієнтної дози; доведена можливість застосування кластерного аналізу для побудови карти радіаційного забруднення довкілля шляхом послідовного проектування від більш пов'язаних до менш пов'язаних радіаційних кластерів на площину контрольованої зони. Для подальших досліджень становить певний інтерес вивчення питань інтеграції кластерного аналізу з геоінформаційними системами. В [10; 11] представлено результати спостережень за горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому в 2020 році, відмічено загальне розширення порід в межах характерних для даного регіону та зв'язок із протікаючими сейсмічними процесами. Проводилися дослідження на предмет виявлення зв'язків сейсмічного стану Закарпатського внутрішнього прогину та варіацій метеорологічних параметрів, отриманих в результаті безперервних спостережень за температурою атмосферного повітря, атмосферного тиску, де вказано на вклад метеорологічних параметрів в загальну картину сейсмотектонічних процесів в регіоні [12; 13]. Досліджено варіації геофізичних полів в регіоні та зміни астрофізичних параметрів в цей період, відмічено зв'язок астрофізичних величин із геодинамічним та сейсмічним станами Закарпаття за 2019 рік – сейсмічна активність корелюється із періодами аномальних астрофізичних величин, зокрема сонячної активності [14; 15]. Моніторинг геофізичних полів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік та розрахунок на їх основі кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому показав на взаємозв'язок їх із сейсмічним станом регіону, зокрема із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. В періоди сейсмічної активізації відмічено інтенсивні рухи кори, та їх фізичних характеристик [16; 17]. В [18] представлено геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. В [19] підтверджено гідрогеологічний аспект екологічного стану Закарпаття за 2020 рік, який відмічав вплив інтенсивних атмосферних опадів на динаміку сучасних горизонтальних рухів кори, яка характерна для підготовки та прояву місцевої сейсмічності. Пошук факторів впливу на сейсмотектонічні процеси в регіоні відмітив геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття [20]. В [21] показано дослі-

дження просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, його зв'язку із сучасними рухами кори, їх динамікою та вплив на них параметрів метеорологічного гідрологічного станів регіону.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Завдання геофізичних досліджень на території Закарпатського внутрішнього прогину покликані вирішити зокрема, задачу виявлення зв'язків сучасних горизонтальних рухів кори в різних його точках із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. Також одним із напрямків наукових робіт є вивчення відгуку геофізичних полів, зокрема магнітного поля Землі. Попередні дослідження результатів геофізичних спостережень в регіоні відмітили цей зв'язок на рівні кореляції спостережуваних рядів геофізичних полів. Необхідно поповнювати бази даних результатів спостережень та досліджень з метою виявлення нових особливостей та закономірностей на рівні розрахункових методів. Оскільки магнітне поле Землі на території Закарпаття досліджується давно та систематично, на кожному пункті геофізичних спостережень функціонують по декілька магнітометричних станцій. Результати спостережень є досить точними та надійними, безперервними, вони використовуються при вивченні реакції земної кори на геологічні процеси в регіоні представлені рухами кори, зокрема сучасними горизонтальними рухами кори. Важливо вивчення статистичних закономірностей варіацій магнітного поля Землі та аномальних геологічних явищ, які в майбутньому комплексують загальні результати прогностичних робіт в регіоні. Отримання загальної картини сейсмотектонічних процесів, особливо в періоди підготовки та прояву місцевої сейсмічності є вкладом у вирішення екологічних проблем регіону з точки зору геофізики.

Новизна. В статті проведено вивчення зв'язків варіацій параметрів магнітного поля Землі та сейсмотектонічних процесів на фоні інтенсивних рухів кори та реєстрації місцевих землетрусів в тому числі і відчутних. Для вирішення поставлених задач використано результати дослідження кінематичних характеристик сучасних горизонтальних рухів кори та динамічних параметрів геофізичних полів, зокрема магнітного поля за 2021 рік. Також вивчено зв'язки геофізичних параметрів, геодинаміки із сейсмічністю Закарпаття, вказано на перспективи вивчення геодинаміки інших частин регіону для вивчення геологічних процесів, які безпосередньо впливають на екологічний стан даної території. Результати важливі для розуміння процесів підготовки та розрядки геомеханічних явищ в сейсмонезбезпечних регіонах.

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведені дослідження мають метеодологічне значення, оскільки при вирішенні поставлених завдань було застосовано розрахунок кінематичних характеристик параметрів геофізичних полів, швидкість та

прискорення їх змін. Отримані результати, графіки просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, часового розподілу сучасних горизонтальних рухів кори, параметрів магнітного поля Землі на пункті спостережень дозволяють виділяти інтервали часу, які характерні аномальними варіаціями досліджуваних геофізичних полів. Виявлені зв'язки геодинамічного та сейсмічного стану регіону із інтенсивними змінами магнітного поля Землі відкривають можливості для побудови моделі сучасних сейсмотектонічних процесів в сейсмонезбезпечних зонах та аналізу відгуків геофізичних полів на критичні ситуації в геологічних процесах. Загальнонаукове значення проведених спостережень та виконаних досліджень полягає в отриманні важливих даних про будову земної кори в регіоні та картини геомеханічних явищ в періоди підготовки та розрядки напружено-деформованого стану порід, перспективах вирішення екологічних проблем краю.

Викладення основного матеріалу.

1. Зміщення земної кори, виміряних на пункті деформометричних спостережень «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України за 2021 рік. На території Закарпатського внутрішнього прогину, в центральній його частині, а саме в зоні Оашського глибинного розлому, функціонує постійно діюча сейсмічна станція «Королеве» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України з 1999 року. В штольні змонтовано горизонтальний кварцовий деформограф EW(напрямок схід-захід). Технічні характеристики деформометра: база – 24.5 м, азимут: 80°, глибинна від денної поверхні: 0–15м, довжина штольні – 40 м; підсилення деформографа становить : 0.138 мкм на 1 мм запису на деформограммі, деформації – відповідно 5.63 нстр. За період часу роботи деформографа гірські породи зазнавали різнознакових деформацій, проте загальний характер рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому є розширення порід із середньою величиною вікового ходу: $+10 \times 10^{-7}$. Актуальність дослідження сучасних рухів викликана впливом їх на сейсмічний стан Закарпатського внутрішнього прогину. Аномальні рухи кори супроводжуються проявами місцевої сейсмічності. Представлено результати дослідження геодинаміки регіону за період 1–11 місяці 2021 року в місячному діапазоні (рис. 1).

В січні 2021 року на ПДС «Королеве» зареєстровано стиснення порід величиною: -4.83 мкм , деформації порід становили: -1.97×10^{-7} . В 2020 році в січні місяці рухи кори представлені такими параметрами: зміщення порід становило -2.76 мкм , деформації порід становили : -1.12×10^{-7} , що в два рази менше. Зміщення кори в лютому 2021 року на ПДС «Королеве» представлено на рисунку 2.

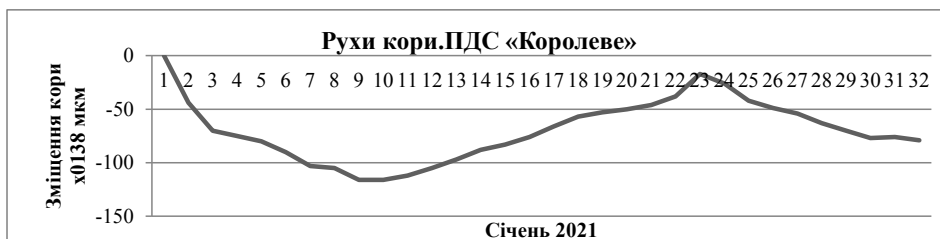


Рис. 1. Зміщення земної кори на ПДС «Королеве» в січні 2021 року.
Зона Оаиського глибинного розлому



Рис. 2. Зміщення кори на ПДС «Королеве» в лютому 2021 року.
Зона Оаиського глибинного розлому

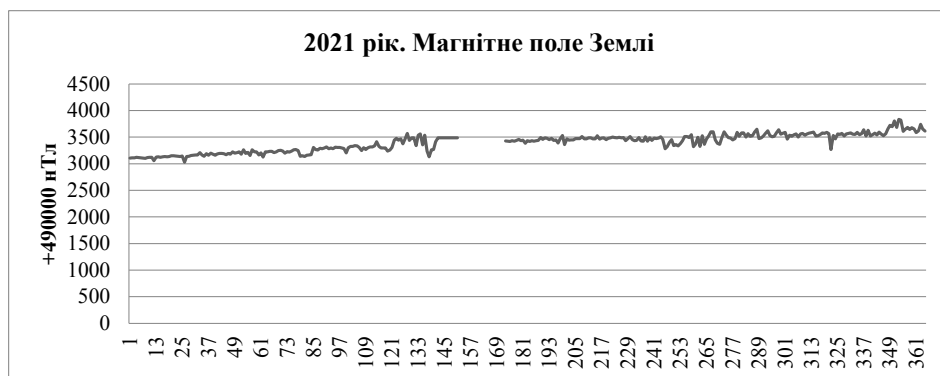


Рис. 3. Магнітне поле Землі (РГС Тросник). 2021 рік.
Закарпатський внутрішній прогин

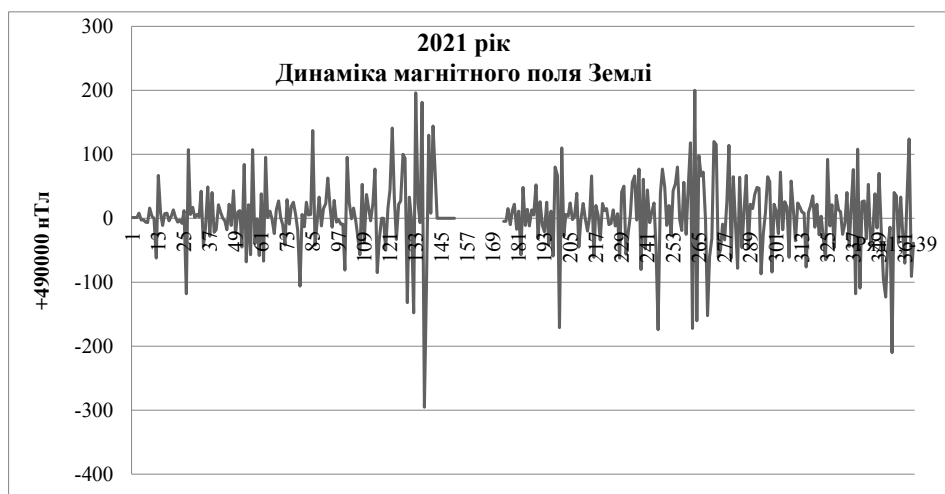


Рис. 4. Динаміка магнітного поля Землі за 2021 року. РГС «Тросник»

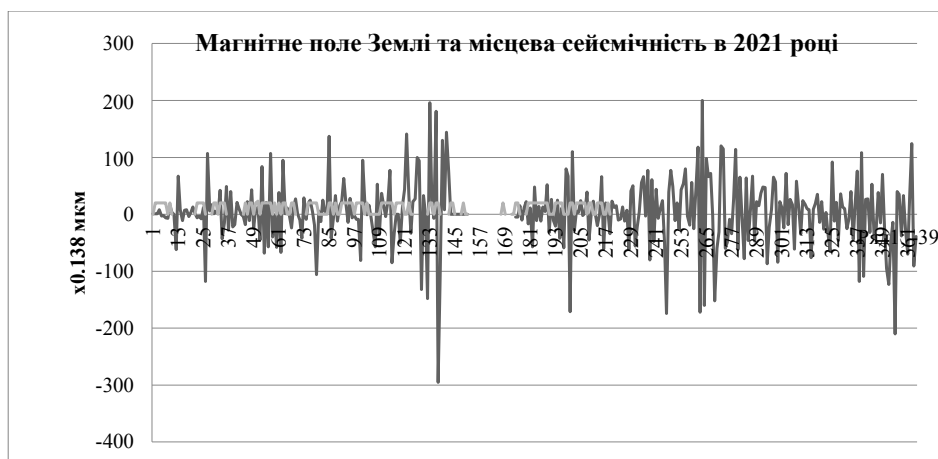


Рис. 5. Динаміка магнітного поля Землі (крива чорного кольору), сейсмічна активність регіону (крива сірого кольору) за 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин

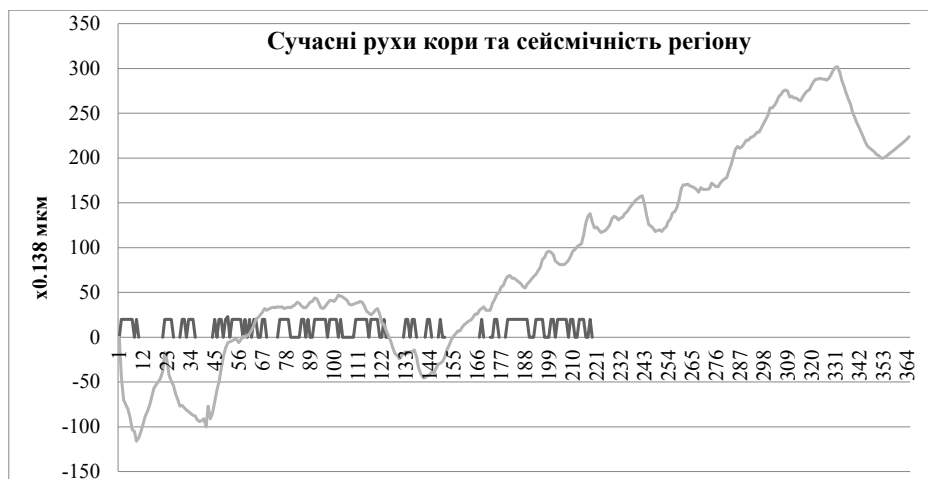


Рис. 6. Сучасні рухи кори в зоні Оаиського глибинного розлому (крива сірого кольору), місцева сейсмічність (крива чорного кольору). 2021 рік. Закарпатський внутрішній прогин



Рис. 7. Швидкість рухів кори в зоні Оаиського глибинного розлому за 2021 рік

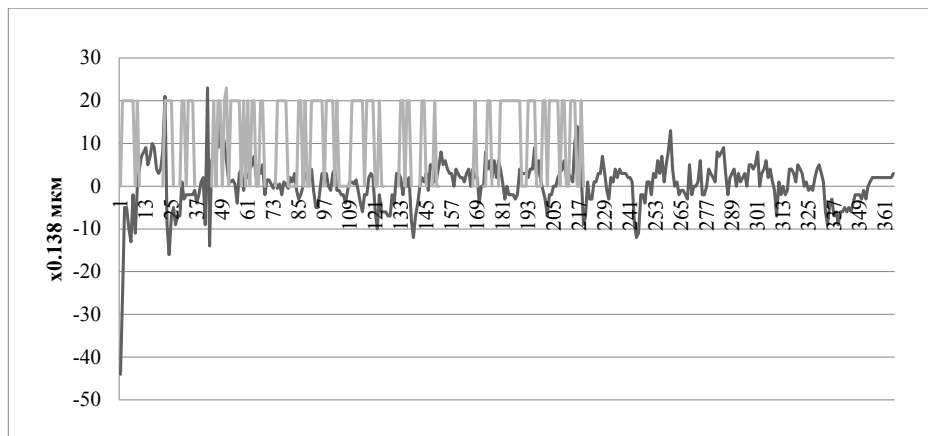


Рис. 8. Сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору), швидкість рухів кори (крива чорного кольору). 2021 рік. Закарпатський внутрішній прогин

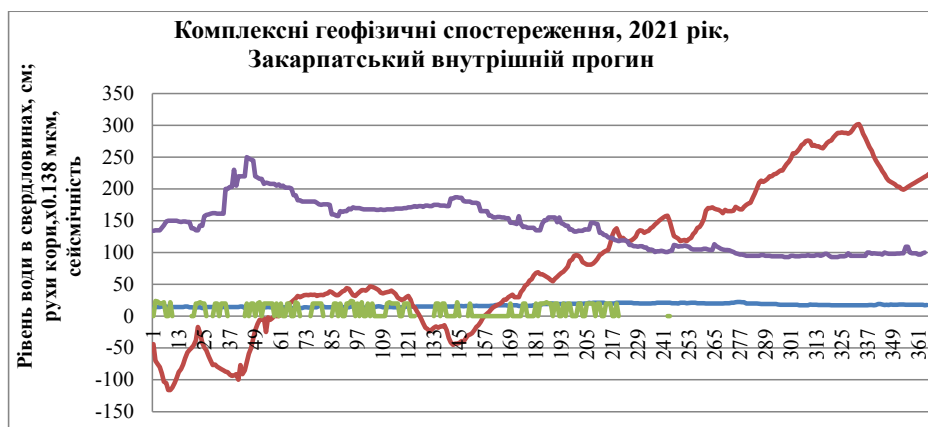


Рис. 9. Комплексні геофізичні спостереження в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік: рівень води в свердловині глибиною 8 м (крива фіолетового кольору), сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива червоного кольору), рівень води в свердловині глибиною 530 м (крива синього кольору), часовий розподіл місцевої сейсмічності (крива зеленого кольору)

В лютому 2021 року на ПДС «Королеве» відмічено розширення порід величиною: $+10.92 \text{ мкм}$, деформація порід становила: $+4.44 \times 10^{-7}$. В порівнянні із минулим роком, коли результати деформометричних спостережень дали такі величини сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому: зміщення кори: -23.4 мкм ; деформація порід становила: -9.4×10^{-7} , відмічають знакозмінний процес. За наведеною методикою проведено вивчення рухів кори протягом всього 2021 року в зоні Оашського глибинного розлому, розраховано загальну картину рухів кори за досліджуваний період, встановлено, що сучасні горизонтальні рухи кори представлені розширеннями порід величиною: $+12 \times 10^{-8}$. Отримані результати рухів кори в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік-відповідає горизонтальними рухам кори в регіоні, що знаходяться в інтервалі -30×10^{-7} : $+30 \times 10^{-7}$. Рухи кори відповідають інтервалу знакозмінних рухів кори в зоні

Оашського глибинного розлому, що супроводжуються підвищенням сейсмічності регіону, яке веде до погіршення екології Закарпатського внутрішнього прогину.

2. Геоманітне поле Землі та сучасні горизонтальні рухи кори в 2021 році. Для вивчення магнітного поля Землі в Закарпатському внутрішньому прогині використано результати спостережень параметрів геофізичного поля за допомогою магнітометричних та магнітоваріаційних станцій, зокрема MB-01 та Лемі-017. Такі прилади використовують на всіх режимних геофізичних станціях Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського Відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Спостереження вектора магнітної індукції магнітного поля Землі проводиться в режимі опитування 10 хв безперервно. Розглянуто результати спостереження за магнітним

полем Землі за 2021 рік в щогодинному діапазоні, відмічено, що зміна магнітного поля становить +505 нТл (рис. 3).

Аномалії магнітного поля Землі відмічені починаючи з травня 2021 року. Представлено динаміку зміни магнітного поля Землі в добовому діапазоні на рисунку 4.

Аналіз відмітив наявність періодів інтенсивних змін магнітного поля Землі протягом всього року. Представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та динаміку магнітного поля Землі (рис. 5).

Сейсмічна активність регіону корелюється із динамікою зміни магнітного поля Землі за 2021 року. Магнітне поле Землі могло змінюватися як за рахунок довгоперіодних варіацій сучасних рухів кори так і за рахунок швидких рухів кори-землетрусів. Розглянуто сучасні рухи кори та їх зв'язок із сейсмічністю регіону (рис. 6).

Рухи кори характерні інтенсивними рухами кори з періодом 15 діб, 30 діб, 100 діб. Розширення порід становить: +3 мкм, деформації: +1261 нстр (12.61×10^{-7}).

За 220 днів на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 117 місцевих землетрусів. Показано динаміку сучасних рухів кори за 2021 році в зоні Оашського глибинного розлому (рис. 7).

Найбільш інтенсивними рухами кори характеризується початок року та в другій половині року, періоди змінюються від 7 діб до 20 діб. Розглянуто динаміку рухів кори та місцеву сейсмічність (рис. 8).

Землетруси реєструються в періоди інтенсивних рухів земної кори, виміряних в зоні Оашського глибинного розлому. Представлено результати комплексних геофізичних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині (рис. 9).

Аналіз представлених залежностей відмітив факт суттєвої кореляції сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та варіацій рівня води в свердловині глибиною 8 м, що знаходиться на території режимної геофізичної станції «Тросник» (центральна частина Закарпаття): стиснення порід супроводжується підняттям рівня води в свердловині та відповідно, розширення порід супроводжується пониженням рівня води в неглибокій свердловині. Землетруси зареєстровані в період часу, який характеризується інтенсивними рухами кори-розширеннями або стисненнями. Відносно зв'язку сейсмічності регіону та варіацій рівня води в свердловині, то слід відмітити факт реєстрації місцевих землетрусів в періоди підняття рівня води в свердловині. Дослідження зв'язку прояву місцевого землетрусу в жовтні 2021 року, то важливо відмітити, що землетрус відбувся при локальному стисненні порід на фоні загального розширення порід в регіоні.

Таким чином, показано зв'язок інтервалів часу інтенсивних рухів кори та сейсмічної активності в регіоні в періоди гідрогеологічних аномалій виявлених на території режимної геофізичної станції «Тросник».

Головні висновки. На території Закарпаття зареєстровано відчутний місцевий землетрус в жовтні 2021 року на фоні численних місцевих підземних поштовхів. Протягом тривалого періоду на території Берегівського району Закарпатського внутрішнього прогину було зареєстровано серію мікроземлетрусів епіцентральної відстані яких становила від 200–300 м до 1.5 км від режимної геофізичної станції «Тросник» та малими магнітудами. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2021 рік представлені розширеннями порід величиною: $+12.61 \times 10^{-7}$. Проведено помісячне вивчення характеру та величини рухів кори та порівняно із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. Переважна більшість місцевих землетрусів зареєстрована в періоди інтенсивних рухів при стисненні порід. Перша половина року характерна подібністю до минулих років спостереження, проте відчутних місцевих поштовхів не зареєстровано. Відмічено активізацію місцевої сейсмічності в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину, де розташована режимна геофізична станція «Тросник» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Частота прояву місцевої сейсмічності має успадкований характер. Показано взаємозв'язок місцевої сейсмічності та геомеханічних процесів в регіоні. Проведені дослідження зв'язку варіацій параметрів магнітного поля Землі, виміряних на РГС «Тросник» та просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності, відмічено інтервали аномальних динамічних параметрів магнітного поля корелюються з інтервалами часу аномальних сучасних горизонтальних рухів кори. Також вказано на кореляцію активності місцевої сейсмічності із періодами інтенсивних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому. Магнітне поле Землі змінюється та корелюється із рухами кори в широкому динамічному діапазоні. Показано гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік. Землетруси реєструються в періоди стиснення порід, що зв'язані з інтенсивними сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому, які в свою чергу можуть бути викликані підняттями рівня води в річках басейну річки Тиси. Підняття рівня води в річках, викликані інтенсивними атмосферними опадами, таненням снігу в Карпатах, супроводжуються проявом місцевої сейсмічності, періодично відчутними місцевими землетрусами, що є індикаторами активізації геомеханічних процесів.

Таким чином, гідрогеологічний стан в регіоні впливає на екологічний стан Закарпаття із геологічної точки зору, відкриваючи можливості розрядки напружено-деформованого стану порід поряд з можливими паводками та повеннями. Отримані результати дослідження важливі для вивчення екологічного стану регіону та при вирішенні проблем пов'язаних із аномальними сейсмотектонічними процесами.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати комплексного моніторингу геофізичних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині важливі при вивченні геологічної будови регіону, побудови моделі сейсмотектонічних процесів в сейсмонезбезпечному регіоні яким є Закарпаття. Спостереження та аналіз

рядів параметрів геофізичних полів в регіоні дає можливість удосконалення методів обробки геофізичних параметрів та їх застосування при вивченні та пошуків шляхів вирішення проблем пов'язаних із екологічним станом Закарпаття. Також отримані результати поповнять бази даних, необхідних для вирішення майбутнього прогнозу екологічно небезпечних явищ в Закарпатському внутрішньому прогині. Ряди спостережуваних параметрів геодинамічного, сейсмічного та гідрогеологічного станів можуть бути використані при вивченні предметів природничого напрямку, на уроці в загальноосвітніх школах та гуртках МАН, позашкільної освіти; підготовці науково-дослідницьких робіт в системі вищої освіти.

Література

1. Козловський Е.М., Максимчук В.Ю., Малицький Д.В., В. Р.Тимошук В.Р., Грицай О.Д., Пиріжок Н.Б. Взаємозв'язок структурно-тектонічних та сейсмічних характеристик Центральної частини Закарпатського прогину. *Геодинаміка*. 2020. 1(28). С. 62–70.
2. Корчин, В.О. Русаков М., П. О. Буртний П.О., Карнаухова О.Є. Походження зон низької густини в кристалічній корі Закарпатського прогину (Україна) за даними петрофізичного термобаричного моделювання. *Геодинаміка*. 2020. 1(28). С. 81–93.
3. А. Назаревич, Л. Назаревич, М. Баштевич. Виділення малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників місцевих Закарпатських землетрусів з урахуванням метеопружних деформацій. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 1(84)/2019. С. 21–26.
4. Меньшов О. Інформативність магнітних методів при моніторингу природно-техногенних процесів, які пов'язані з об'єктами критичної інфраструктури. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 1(84)/2019. С. 27–33.
5. Малік Т., Брик Я., Зацерковний В., Беленок В. Побудова моделі точності автоматизованої системи моніторингу деформацій інженерних споруд. *Вісник Київського національного університету ім.Тараса Шевченка. Геологія*. 1(84). 2019. С. 77–81.
6. Круглов О., Меньшов О., Назарок П., Коляда Л., Коляда В., Ачасова А. Магнітна сприйнятливість ґрунтів у складі ерозієзнавчих досліджень. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 2(85). 2019. С. 59–64.
7. Вижва З., Демидов В., Вижва А. Статистичне моделювання випадкового поля на плоскій області з кореляційною функцією типу Уїтлі-Матерна в геофізичній задачі моніторингу довкілля. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 3(86). 2019. С. 55–61.
8. Іванік О., Шевчук В., Кравченко Д., Гадяцька К. Національна база даних зсувних процесів: принципи розробки, упровадження та застосування для оцінки зсувної небезпеки регіонального і локального рівня. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 3(86). 2019. С. 70–74.
9. Гетманець О., Некос А., Пеліхатий М. Кластерний аналіз і радіаційний моніторинг довкілля. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Геологія*. 3(86). 2019. С. 75–79.
10. Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Вербицький С. Т., Іжак Т. Й., Ігнатишин М. Б. Горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому в 2020 році. European scientific discussions. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore. Rome, Italy. 2021. P. 176–187. URL: <https://sciconf.com.ua/viii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-europeanscientific-discussions-20-22-iyunya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/>.
11. Ігнатишин В.В. Ігнатишин А.В., Вербицький С.Т. Іжак Т.Б., Ігнатишин М.Б. Горизонтальні рухи в зоні Оашського глибинного розлому та сейсмічність Закарпатського внутрішнього прогину в 2020 році. Results of modern scientific research and development. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Madrid, Spain. 2021. P. 169–170. URL: <https://sci-conf.com.ua/iv-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-results-of-modern-scientific-research-and-development-28-30-iyunya-2021-goda-madrid-ispaniya-arhiv>.
12. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й. Сейсмічний аспект метеорологічних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині. Матеріали Міжнародної наукової конференції «Виклики, загрози та розвиток у галузі біології, сільського господарства, екології, географії, геології та хімії» м. Люблін, Республіка Польща 2–3 липня 2021 р. International scientific and practical conference “Challenges, threats and developments in biology, agriculture? Ecology? Geography, geology and chemistry” : conference proceedings, July 2–3, 2021. Lublin : Baltija Publishing, 280 pages. С. 141–145.
13. Ігнатишин А.В., Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Барометричні аспекти сейсмічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2020 рік. *Наукові та освітні трансформації в сучасному світі* : збірник матеріалів Всеукраїнської міждисциплінарної науково-практичної конференції (м. Чернівці, 15 липня 2021 року) / Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій, м. Чернівці. Суми: ТОВ НВП «Росток А. В.Т.». 2021. С. 21–24.
14. 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 1st International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Manchester, United Kingdom. 2021. P. 199–210.

URL: <https://sci-conf.com.ua/i-mezhdunarodnaya-nauchnoprakticheskaya-konferentsiya-international-scientific-innovations-in-human-life-28-30-iyulya-2021-goda-manchester-velikobritaniya-arhiv/>.

15. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В. Комплексний аналіз геофізичних полів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2019 рік та їх зв'язок з астрофізичними параметрами. Sciences of Europe (Praha, Czech Republic). No 75 (2021) Vol. 1. ISSN 3162-2364. The journal is registered and published in Czech Republic. Articles in all spheres of sciences are published in the journal.pp.6-22.
16. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2021. № 4(37). 200 с., с. 114–120. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.17>
17. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т., Іжак Т.Й. Швидкості сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та їх зв'язок з просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності за 2020 рік. Збірник праць Всеукраїнської конференції «Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди ХХІ століття» (MinGeoIntegration ХХІ), 28–30 вересня 2021 року. С. 244–248. УДК: 55+548/549. Підготовка матеріалів: Омельченко А.М., Осипенко В.Ю.
18. Ігнатишин В.В., Ігнатишин А.В., Іжак Т.Й., Ігнатишин М.Б., Вербицький С.Т. Геофізичні аспекти екологічного стану в Закарпатському внутрішньому прогині за 2020 рік. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2021. № 4(37). 200 с., с. 114–120. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.17>.
19. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Вербицький С.Т., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Гідрогеологічний аспект екологічного стану Закарпаття за 2020 рік. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2021. № 4(37). 200 с., с. 114–120.
20. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Вербицький С.Т., Ігнатишин А.В., Ігнатишин М.Б. Геофізичні та астрофізичні аспекти екологічного стану Закарпаття. *Екологічні науки* : науково-практичний журнал. 2022. № 3(42). 236 с., с. 98–106. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.16>
21. 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. Геологія*. 2022. 98(3). С. 42–48. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology. (2022). v. 3(98). pp. 42–48. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>