

УДК 550.34

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2025-1-3>

ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ГЕОДИНАМІЧНІ ТА СЕЙСМІЧНІ ЯВИЩА В ЗАКАРПАТТІ

Ігнатишин Василь Васильович

кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
Відділ сейсмічності Карпатського регіону,
Інститут 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

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: 0000-0002-0940-8947

Молнар Д Стефан Стефанович

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

Рац Адальберт Йосипович

PhD, доцент, доцент кафедри історії та суспільних дисциплін,
Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна
ORCID ID: 0000-0003-3780-2843

Актуальність дослідження: на території Закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих до нього регіонів відбуваються підземні поштовхи та інші види геологічних процесів, які тут періодично активізуються. Ці явища можуть стати складником погіршення екологічного стану Закарпаття, вплинути на інші процеси в регіоні. Важливо паралельно до вивчення відгуків геофізичних полів на сейсмотектонічні процеси, вивчати фактори, що прискорюють або гальмують геомеханічні процеси у сейсмонезбезпечних регіонах, зокрема в Карпатському регіоні. **Предметом дослідження** є варіації атмосферних опадів, параметрів гідрогеологічних процесів, часових розподілів місцевої сейсмічності, сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оаїського глибинного розлому; вплив параметрів метеорологічного та гідрологічного станів на сейсмічність регіону та геологічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині. **Мета дослідження** – вивчення взаємозв'язків спостережуваних геофізичних полів, впливів їх на небезпечні сейсмотектонічні процеси в регіоні, зокрема на сучасні горизонтальні рухи кори та прояв місцевої сейсмічності. **Об'єктом дослідження** є елементи геодинамічного, гідрогеологічного та метеорологічного станів, пов'язаного із ними сейсмічного та екологічного стану регіону. **Методологія дослідження:** розрахунки зміщень точки спостереження у разі сучасних рухів кори, порівняльний аналіз, кореляційний аналіз рядів метеорологічних, гідрогеологічних та сейсмотектонічних спостережень. **Результати дослідження:** побудовано часові залежності атмосферних опадів у центральній частині Закарпаття, показано, що інтенсивні горизонтальні зміщення земної кори в зоні Оаїського глибинного розлому впливають на рівень води у свердловинах та супроводжуються місцевою сейсмічною активізацією. **Практичне значення:** отримані результати важливі для поповнення банку геофізичних даних, побудови моделі сейсмотектонічних та гідротектонічних процесів в екологічно небезпечних регіонах. **Висновки:** досліджено зв'язок атмосферних опадів, варіації рівня води у свердловинах різної глибини в центральній частині Закарпаття із рухами кори в зоні Оаїського глибинного розлому, досліджено часовий розподіл місцевої сейсмічності, вказано на вплив гідрогеологічного стану

на геодинамічний та сейсмічний стан регіону в 2022 році. **Перспектива подальших досліджень.** Важливе продовження вивчення гідрогеологічного аспекту екологічно небезпечних процесів у сейсмічногенеруючих областях та розширення спектра досліджуваних параметрів геофізичних полів, що є факторами-завадами небезпечних геологічних явищ.

Ключові слова: гідрогеологічний стан, атмосферні опади, рівень води у свердловинах, сучасні горизонтальні рухи кори, Закарпатський внутрішній прогин, сейсмотектонічні процеси, землетруси, геофізичне моделювання, екологічна безпека.

HYDROGEOLOGIC FACTORS OF INFLUENCE ON GEODYNAMIC AND SEISMIC PHENOMENA IN THE TRANSCARPATHIAN REGION

Ignatyshyn Vasyl Vasylovych

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

Izhak Tibor Yosypovych

Candidate of Geographical Sciences, PhD, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Geography and Tourism,
Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-0940-8947

Molnar D Stefan Stefanovych

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

Rats Adalbert Yosypovych

PhD, Associate Professor, Department of History and Social Sciences,
Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-3780-2843

The relevance of the study: in the Transcarpathian Internal Trough and adjacent regions, there are underground tremors and other types of geological processes that are periodically activated. These phenomena can contribute to the deterioration of the ecological state of Zakarpattia and affect other processes in the region. It is important, in parallel to studying the responses of geophysical fields to seismotectonic processes, to study the factors that accelerate or inhibit geomechanical processes in earthquake-prone regions, in particular in the Carpathian region. **The subject of the research** is variations of precipitation, parameters of hydrogeological processes, temporal distributions of local seismicity, modern horizontal crustal movements in the Oash deep fault zone; the influence of meteorological and hydrological parameters on the seismicity of the region and geological processes in the Transcarpathian internal trough. **The purpose of the research:** studying the interrelationships of the observed geophysical fields, their impact on hazardous seismotectonic processes in the region, in particular on modern horizontal crustal movements and local seismicity. The object of the study is the elements of geodynamic, hydrogeological, and meteorological conditions, as well as the related seismic and environmental conditions of the region. **Research methodology:** calculations of observation point displacements during modern crustal movements, comparative analysis, correlation analysis of meteorological, hydrogeological and seismotectonic observation series. **Research results:** time dependencies of precipitation in the central part of Transcarpathia were constructed, it was shown that intense horizontal displacements of the earth's crust in the Oash deep fault zone affect the water level in wells and are accompanied by local seismic activation. **Practical significance:** the results obtained are important for replenishing the geophysical data bank and building a model of seismotectonic and hydrotectonic processes in environmentally hazardous

regions. **Conclusions:** the relationship between precipitation and variations in water levels in wells of different depths in the central part of Transcarpathia, the crustal movements in the Oash deep fault zone, the temporal distribution of local seismicity, and the influence of the hydrogeological state on the geodynamic and seismic state of the region in 2022. **Prospects for further research:** it is important to continue studying the hydrogeological aspect of environmentally hazardous processes in seismically generating areas and to expand the range of studied parameters of geophysical fields that are factors that prevent hazardous geological phenomena.

Key words: hydrogeological state, precipitation, water level in wells, modern horizontal crustal movements, Transcarpathian internal trough, seismotectonic processes, earthquakes, geophysical modeling, environmental safety.

Постановка проблеми. На території Закарпатського внутрішнього прогину та прилеглих до нього регіонів відбуваються підземні поштовхи та інші види геологічних процесів. Ці явища є періодичними та можуть стати складником погіршення екологічного стану Закарпаття. У сучасних умовах така ситуація може вплинути на інші процеси в регіоні, зокрема техногенного характеру. Питанню вивчення геологічного та геофізичного складників екологічного стану Закарпаття присвячено низку досліджень, що проводяться науковими установами України. На території Закарпаття, Прикарпаття проводяться спостереження геофізичних полів та моніторинг гідрологічного та метеорологічного станів на режимних геофізичних, сейсмічних та деформетричних пунктах спостереження Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Необхідно паралельно до вивчення відгуків геофізичних полів на сейсмотектонічні процеси вивчати фактори, що прискорюють або гальмують геомеханічні процеси у сейсмонебезпечних регіонах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінювання реакції неоднорідного ґрунту на зсувне на основі розв'язку крайової задачі встановлено спектр резонансних частот, на яких спостерігається значне підсилення амплітуди коливань ґрунту на вільній поверхні про шарку [2]. Відомо, що ґрунти характеризуються значною неоднорідністю, яка впливає на спектральні характеристики сейсмічних хвиль. Це слід враховувати під час аналізу хвильових полів у шарах ґрунту. В [1] показано, що власна частота включень суттєво впливає на передатну функцію, яка характеризує посилення зміщень на вільній поверхні стосовно зміщень на нижній межі шару. У разі збільшення власної частоти включень поблизу на провідному

резонансному піку з'являється додаткова резонансна частота, тоді як для високих частот спостерігається виродження резонансних частот. Важливе вивчення сейсмічності досліджуваного регіону та прилеглих територій. За допомогою сейсмічних датчиків, встановлених у свердловинах та на денній поверхні, в [3] розраховано середні значення мікросейсмічного фону на контрольних точках. Інструментальні спостереження реєстрували локальні, регіональні та телесеїсмічні явища різної природи та енергетичного рівня. Зокрема, більшість зареєстрованих землетрусів припадає на Румунію у сейсмічній зоні Вранча, Польщу та прилеглі території. В [4] досліджено зв'язок радонових аномалій з розломами та природними магнітними полями, що полягає у кореляції радонових аномалій з негативними та малими позитивними значеннями аномального магнітного поля. Закарпаття характерне значними відмінностями в будові та геодинаміці літосфери порівняно з іншими сейсмічно активними регіонами України. Це зумовлює низку особливостей сейсмотектонічного процесу цього регіону, а просторовий розподіл сейсмічності регіону тісно пов'язаний з розломно-блоковою будовою фундаменту. При цьому важливими характеристиками сейсмічного процесу є енергетичні параметри локальних землетрусів – магнітуда, інтенсивність, енергетичний клас, що необхідні для мікросейсмічного районування території [3]. В останніх дослідженнях динаміка середовища, розташованого у сейсмічній області на межі тектонічних плит, розглядається як поведінка складної відкритої системи, що перебуває у стані самоорганізованої критичності, що є результатом законів виникнення землетрусів і складної структури цих областей. Мережа розломів і тріщин робить сейсмічні зони значно неодно-

рідними і фрагментованими, для моделювання динаміки цих середовищ використовуються дискретні моделі [6]. В [7] представлено дослідження, яке присвячене статистичному аналізу землетрусів, проблемам моніторингу сейсмічності на території України, оскільки щорічна кількість і сила землетрусів різна, відзначено її зростання. Ця тенденція потребує уважного ставлення до проявів сейсмічної активності та її результатів у межах платформних частин території України. Наведено приклади реєстрації українською спостережною мережею землетрусів різної інтенсивності та епіцентральної відстані. Розглянуто процес проведення режимних сейсмологічних спостережень за локальними та дистанційними сейсмічними подіями на території України та суміжних регіонів. Представлено деякі важливі аспекти необхідності комплексної обробки зареєстрованих подій для ідентифікації локальних землетрусів та оцінки сучасної активності тектонічних структур в Україні [8]. На основі виконаних досліджень у [9] припустили, що кореляційний взаємозв'язок між горизонтальними деформаціями, визначеними за даними ГНСС і узагальненою сейсмічністю, проявляється тільки у зонах субдукції, де є інтенсивна сейсмоактивність і мають прояви деформації земної кори, зокрема, в зоні Вранча. Це підтверджується проявом зон кореляцій, які розташовані вздовж однієї зі сторін активних розломів. 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. Вказано на вплив магматичних порід Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма, які значно зменшують час пробігу сейсмічних хвиль у осадовому шарі та частково у фундаменті [10]. Показано, що в Закарпатті горизонти термобаричного розуцілювання порід під впливом тектонічних напружень, різноспрямованих деформацій і вібрацій набувають властивостей сильно дислокованих середовищ, формують великі канали міграції флюїдів. Флюїди забезпечують рух

корисних мінеральних середовищ до поверхні, а також є зонами релаксації тектонічних напружень, зокрема, у вигляді землетрусів [11]. Розроблено концептуальну модель трансформаційних процесів у річково-басейнових системах (РБС), які відбуваються під впливом природних та антропогенних чинників. Визначено параметри структури річкових систем (кількість річок різних рангів, їх довжини, загальний ранг РБС), масштаби розвитку трансформаційних процесів, зокрема, у РБС Бистриці від одного зрізу стану до наступного і за увесь досліджуваний період. Виявлено та оцінено ступінь впливу природних й антропогенних чинників на ці трансформації та їхні геоекологічні наслідки [12]. У [13] встановлено, що епохи екстремальних горизонтальних зміщень настають пізніше стосовно епох екстремальних температур повітря у середньому на 37 днів. У середньому епохи екстремальних вертикальних зміщень настають порівняно з епохами екстремальних температур повітря із запізненням у 32 дні. Очевидно, температурні деформації (на прикладі греблі) пов'язані з температурою бетонних конструкцій, що змінюється з певним запізненням стосовно температури повітря. Виявлено зв'язки між впливом розломних зон на зсувні процеси за їхнім відображенням у гравімагнітних полях, які можуть у майбутньому застосовуватись під час просторового прогнозування розвитку зсувів на територіях зі спорідненими структурно-тектонічними умовами [14]. Якщо існує різниця потужностей та щільностей гірських порід під відповідними пунктами спостережень, то вони зазнають різних пружних деформацій під впливом однакового неприливної атмосферного навантаження, виявлена різна динаміка їх зміщень. Під час аномального впливу неприливної атмосферних навантажень висоти навіть близько розташованих пунктів можуть змінитися, якщо геологічна будова під ними є різною [15]. Отриманий у [16] розподіл електропровідності в земній корі та верхній мантії території Українських Карпат можна використовувати під час побудови глибинних геологічних і геотектонічних моделей, а також для пояснення геодинамічних процесів регіону. У [17] вста-

новлено, що деформації території Заходу України частково співвідносяться з відомою тектонічною будовою в регіоні, зони стиску виділяються на Закарпатті, що відповідає території Закарпатського глибинного розлому, а інша – на північному заході регіону. Отримані результати дозволяють у майбутньому створити відповідну регіональну геодинамічну модель. За допомогою гідрогеохімічних спостережень (мінералізація ґрунтових вод) та електророзвідувальних робіт (виміри електричного опору) встановлені кореляційні зв'язки між геофізичними характеристиками, властивими водоносному горизонту, та мінералізацією ґрунтових вод. А це дозволяє за даними площинних геофізичних досліджень конкретизувати джерела та визначити площу та ступінь засолення [18]. У [19] описано взаємозв'язки геофізичних параметрів, а саме деформації, геоакустичної емісії та сейсмічних характеристик – магнітуди та енергетичного класу для побудови статистичної (регресійної) моделі. Цю модель сейсмічності побудовано для того, щоб проаналізувати різні геофізичні параметри і за допомогою регресійного аналізу встановити їхній взаємозв'язок між собою. Це дасть можливість зрозуміти, як сейсмічність впливає на зміну тих чи інших параметрів середовища Закарпатського регіону. Представлено результати моніторингу деформацій земної поверхні території Закарпаття, виконаного за допомогою методу радарної інтерферометрії, які в поєднанні з даними літолого-стратиграфічних, геоморфологічних і структурно-тектонічних досліджень можуть бути використані для прогнозування небезпечних геологічних процесів і мінімізації їхнього негативного впливу на природно-техногенні системи [20].

Постановка завдання. Завдання роботи полягає в обробці та аналізі отриманих у результаті комплексного геофізичного, метеорологічного та гідрогеологічного моніторингу середовища низки параметрів геофізичних полів.

Метою дослідження є вивчення взаємозв'язків спостережуваних геофізичних полів, впливів їх на небезпечні сейсмотекто-

нічні процеси в регіоні, зокрема на сучасні горизонтальні рухи кори та прояв місцевої сейсмічності. **Об'єктом дослідження** є елементи геодинамічного, гідрогеологічного та метеорологічного станів, пов'язаного із ними сейсмічного та екологічного стану регіону.

Предметом дослідження є варіації атмосферних опадів, параметрів гідрогеологічних процесів, часових розподілів місцевої сейсмічності, сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому; вплив параметрів метеорологічного, гідрологічного станів на сейсмічність регіону та геологічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині.

Виклад основного матеріалу дослідження. На території Закарпаття систематично та багато років проводиться моніторинг геофізичних, метеорологічних, гідрологічних та гідрогеологічних параметрів навколишнього середовища (рисунок 1).

Метою таких досліджень є з'ясування взаємозв'язків між геофізичними полями для розуміння процесів, що лежать в основі підготовки та проявів геологічних екологічно небезпечних процесів. У статті [21] розглянуто варіації температури атмосферного повітря, виміряні на режимній геофізичній станції, розраховано середньомісячні величини температури повітря в точці спостережень, середньорічну величину температури атмосферного повітря. Проведено розрахунок ступеня кореляції варіацій рядів спостережуваних величин – температури повітря, сейсмічної активності та сучасних рухів кори. Вказано на інтервали зниження температури повітря, що приводить до стиснення порід та розрядки напружено-деформованого стану порід через прояв місцевої сейсмічності. Геомеханічні процеси викликають зміни фізичних характеристик верхніх шарів земної кори, які проявляються в змінах параметрів досліджуваних геофізичних полів, а саме параметрів радіоактивного фону середовища, зокрема гамма-випромінювання, що проявляється через реєстрацію аномальних величин, що може бути застосовано у разі побудови

моделі геодинамічних та сейсмічних процесів в екологічно небезпечних регіонах [22]. У [23] досліджено зв'язок магнітного поля Землі у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину із сучасними горизонтальними рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому. Відзначено взаємозв'язок між динамічними характеристиками геофізичних полів та вплив фізичних характеристик гірських порід на варіацію магнітної індукції магнітного поля Землі. Встановлено, що інтенсивні горизонтальні зміщення земної кори в зоні Оашського глибинного розлому супроводжуються аномальними варіаціями електромагнітної емісії, сейсмічною активізацією. Отримані результати важливі для пошуку ефективних методів вивчення процесів підготовки та виявів екологічно небезпечних процесів, їх екологічних аспектів, поповнення банку геофізичних даних [24]. В комплекс геофізичних досліджень, крім вивчення змін геофізичних полів, входять вивчення факторів-завад, що супроводжують головні геологічні процеси.

У центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину тривалий час проводяться вимірювання метеорологічних параметрів, у тому числі спостерігають за кількістю атмосферних опадів. В 2022 році на території РГС «Тросник» за допомогою метеорологічних станцій «Конрад» та опадоміра Третьякова виміряно 357.1 мм атмосферних опадів (рисунок 2). Порівняно з іншими роками випало менше атмосферних опадів, починаючи із 2011 року на досліджуваній території реєстрували різну кількість атмосферних опадів від 250 мм до 600 мм. Проте ця величина значно менша за середньорічну кількість опадів для цієї території, яка становила у середньому 850–1100 мм атмосферних опадів. Саме в 2010 році на території режимної геофізичної станції «Тросник» Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України випало 1100 мм атмосферних опадів.

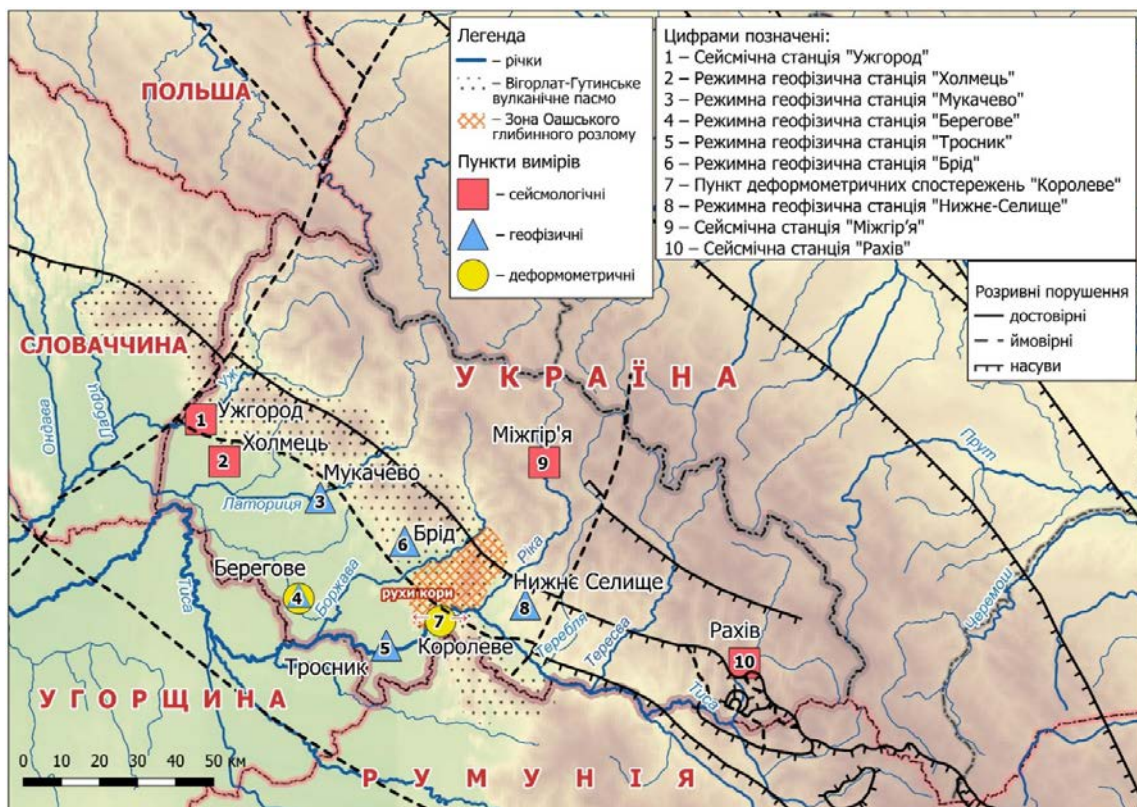


Рис. 1. Режимні геофізичні, сейсмологічні та деформометричні спостереження в Закарпатському внутрішньому прогині

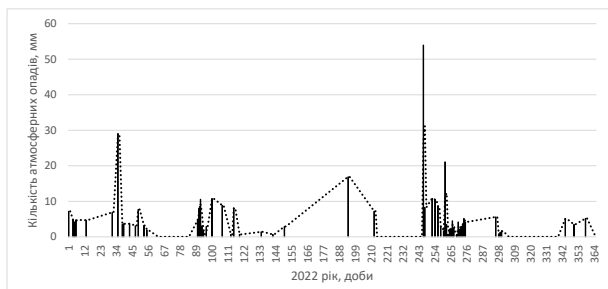


Рис. 2. Часовий розподіл атмосферних опадів на РГС «Тросник» у 2022 році. Атмосферні опади (діаграма чорного кольору), лінія тренду (пунктирна крива)

Аналіз часового розподілу атмосферних опадів за 2022 рік у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину показав на їх періодичність: 65–85 діб, які повторюються. Очевидно, цим підтверджується сезонність у часовому розподілі місцевих атмосферних опадів. Важливо відзначити, що атмосферні опади майже рівномірно розподіляються в річному діапазоні, кількість опадів, що випала в першій половині року, дорівнює тій кількості опадів, які виміряно в другій половині року.

На території режимної геофізичної станції «Тросник» (село Тросник Берегівського району Закарпатської області) є дві гідрологічні свердловини глибинами 8 м та 530 м (№ 831). За допомогою цих свердловин визначають рівень води, що зв'язано із деформаціями земної кори та місцевою сейсмічністю [25]. Аналіз результатів попередніх досліджень вказував на зв'язок рівня води у свердловині глибиною 8 м із атмосферними опадами та деформаціями земної кори, виміряними на пункті деформометричних спостережень «Королеве», який розташований у зоні Оашського глибинного розлому. Проведено дослідження варіацій рівня води у свердловині глибиною 8 м (РГС «Тросник»), виміряними в 2022 році, для чого побудовано часовий розподіл висоти рівня води в досліджуваній свердловині (рисунок 3).

Середньорічна величина рівня води у свердловині глибиною 8 м становить 135, 6 см, вирізняються коливання рівня води з періодами від 20 діб до 70 діб. Амплітуда коли-

вання становить у середньому 45 см. Для виявлення впливу атмосферних опадів на рівень води у свердловині глибиною 8 м побудовано комплексний графік часових залежностей спостережуваних величин за 2022 рік (рисунок 4).

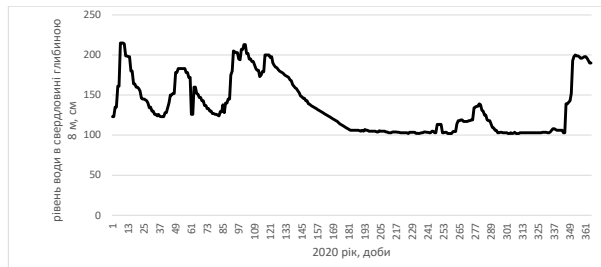


Рис. 3. Варіації рівня води у свердловині глибиною 8 м на РГС «Тросник» за 2022 рік

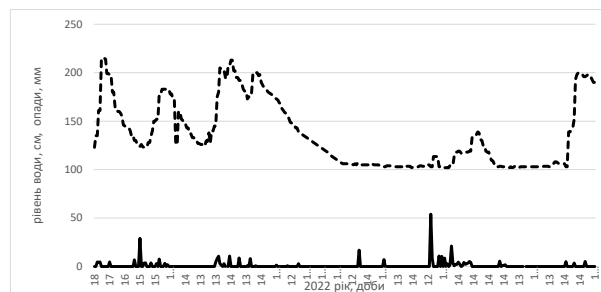


Рис. 4. Рівень води у свердловині глибиною 8 м (пунктирна крива), атмосферні опади на РГС «Тросник» (крива чорного кольору). Закарпатський внутрішній прогин, 2022 рік

Аналіз вищенаведених часових залежностей геофізичних величин показує на певний зв'язок атмосферних опадів із варіацією рівня води у свердловині глибиною 8 м. Періоди часу, пов'язані з інтенсивними опадами, супроводжуються елементами розширення верхніх шарів земної кори. Таким чином, інтенсивні опади викликають динамічні розширення земної кори, що приводять до накопичення геомеханічної енергії у сейсмогенеруючому регіоні, яким є Закарпаття. Збільшення величини кількості атмосферних опадів пропорційне величинам амплітуд рівня води у свердловині глибиною 8 м.

Розглянуто часовий розподіл рівня води в глибокій (530 м) свердловині за 2022 рік (рисунок 5).

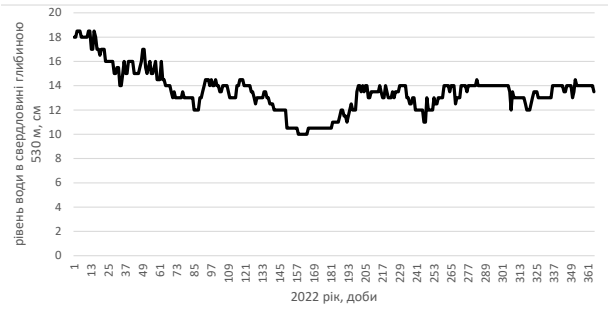


Рис. 5. Часовий розподіл рівня води у свердловині глибиною 530 м на РГС «Тросник». Закарпатський внутрішній прогин, 2022 рік

За 2022 рік рівень води у свердловині глибиною в 530 м перебував у стадії зниження на величину 4,5 см, що показує на розширення порід у регіоні (зона Оашського глибинного розлому). Розглянуто вплив атмосферних опадів на величину рівня води у свердловині глибиною 530 м на території РГС «Тросник» (рисунок 6).

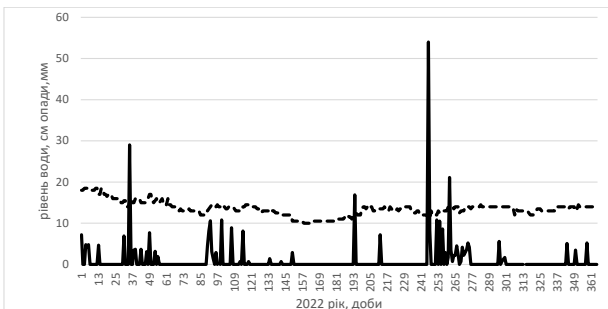


Рис. 6. Атмосферні опади в центральній частині Закарпаття (суцільна крива чорного кольору); рівень води у свердловині глибиною 530 м на РГС «Тросник» (пунктирна крива)

Як видно із вищенаведених графіків, наявний зв'язок між кількістю опадів у регіоні та рівнем води у свердловині глибиною 530 м – інтенсивні опади підтримують високий рівень води у свердловині. Відсутність опадів у середині року корелюється із низьким рівнем води у свердловині глибиною 530 м. Вивчається зв'язок рівнів води в різноглибинних свердловинах (рисунок 7).

Розглянуто сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2022 рік за результатами деформометричних

спостережень на пункті деформометричних спостережень «Королеве». Деформації земної кори вимірюються за допомогою кварцового горизонтального деформографа, базу: 24.5 м, що реєструє рухи кори в напрямку схід–захід, запис рухів кори ведеться на стрічку фотопапери, дані оцифровуються та вводяться в базу даних. На рисунку 8 показано зміщення земної кори в штольні пункту деформометричних спостережень «Королеве».

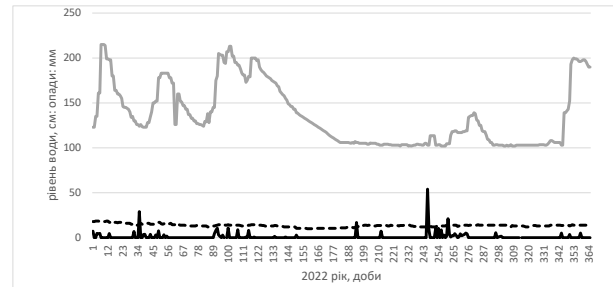


Рис. 7. Рівень води у свердловині глибиною 530 м (крива пунктирна чорного кольору); рівень води у свердловині глибиною 8 м (крива сірого кольору); атмосферні опади (крива чорного кольору). Закарпатський внутрішній прогин, 2022 рік

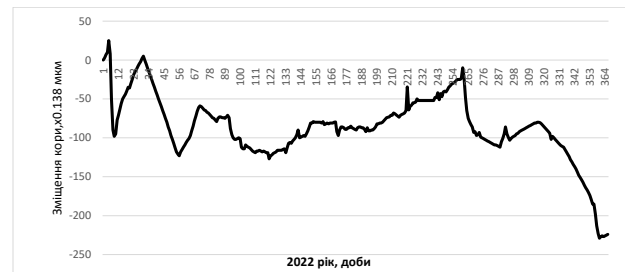


Рис. 8. Зміщення земної кори в зоні Оашського глибинного розлому (пункт деформометричних спостережень «Королеве»). 2022 рік, Закарпатський внутрішній прогин

Розраховані величини зміщення земної кори в зоні Оашського глибинного розлому Закарпатського внутрішнього прогину на пункті деформометричних спостережень «Королеве» становлять -30.9 мкм, при цьому деформації кори представлені величиною 1261 нстр (12.61×10^{-7}). Аналізуючи часовий розподіл зміщення у сучасних горизонтальних рухах кори в 2022 році, встановлено, що характер горизонтальних рухів кори – це

стиснення порід з величиною, яка перебуває в інтервалі максимальних значень, вимірних на цьому пункті спостережень. Інтервал можливих значень деформацій земної кори в Карпато-Балканському регіоні за період безперервних спостережень сучасних горизонтальних рухів перебуває в діапазоні -30×10^{-7} – $(+30 \times 10^{-7})$. Виділяють періоди коливання вимірної величини в діапазоні 20–70 дб. Протягом перших чотирьох місяців спостерігається стиснення порід зі швидкістю -0.15 мкм/добу, період з квітня по вересень 2022 року – це період розширення порід зі швидкістю -11.7 мкм/добу. В інтервалі часу, що залишився до кінця року, спостерігають інтенсивне стиснення порід зі швидкістю -0.28 мкм/добу. Розглянуто часовий розподіл сучасних рухів кори та часовий розподіл атмосферних опадів за весь 2022 рік (рисунок 9).

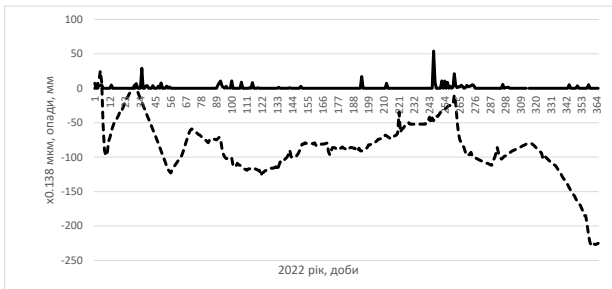


Рис. 9. Сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (пунктирна крива), варіації атмосферних опадів (суцільна крива) на РГС «Тросник» у 2022 році

Дослідження варіацій атмосферних опадів та сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2022 рік вказали на певний вплив атмосферних опадів на геодинамічний стан регіону. Інтервали часу, які характеризуються інтенсивним опадами протягом року, супроводжуються аномальними швидкими горизонтальними рухами кори. При цьому важливо вказати, що саме стиснення порід відбувається після періодів інтенсивних атмосферних опадів, їм передують розширення порід. Очевидно, інтенсивні опади суттєво тиснуть на поверхню земної кори, викликаючи її стиснення, а оскільки це все відбувається на фоні розширення порід, то

можна припустити, що в цей період відбувається акумуляція геомеханічної енергії. Серія таких гідротектонічних процесів у загальному випадку може привести до накопичення геомеханічної енергії та проявитися у її розрядці через серію місцевих землетрусів.

Для розуміння взаємозв'язків між геофізичними полями, зокрема між зміщеннями земної кори в зоні Оашського глибинного розлому, та варіаціями рівня води у свердловині глибиною 8 м за 2022 рік побудовано комплексний графік часової залежності спостережуваних параметрів (рисунок 10).

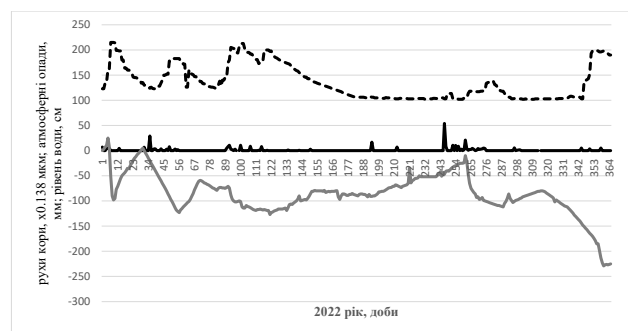


Рис. 10. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива сірого кольору), атмосферні опади на РГС «Тросник»; варіації рівня води у свердловині глибиною 8 м (РГС «Тросник») (пунктирна крива)

Порівнюючи криві сучасних рухів кори та рівня води у свердловині глибиною 8 м, отримано висновки щодо взаємозв'язків геофізичних полів: стиснення порід супроводжуються підвищеннями рівня води у свердловині, розширення порід своєю чергою супроводжується зниженнями рівня води в неглибокій свердловині. Важливо вказати на інший напрям застосування отриманих результатів, зокрема, результати спостереження рівнів води у свердловинах можна використати для вивчення сучасних горизонтальних рухів та деформацій у досліджуваній сеймотектонічній зоні.

Одним із важливих етапів у геофізичних дослідженнях є виявлення впливів досліджуваних геофізичних полів на прояв місцевої сейсмічності в досліджуваній зоні у сейсмогенеруючому регіоні. Протягом 2022 року

на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 50 підземних поштовхів (рисунок 11).

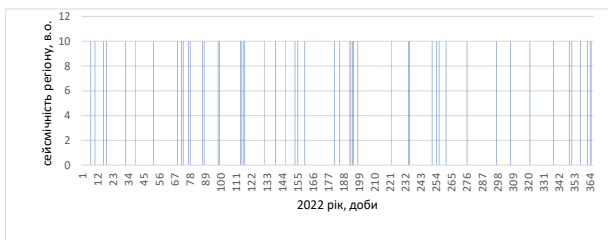


Рис. 11. Часовий розподіл місцевої сейсмічності за 2022 рік

Досліджено зв'язок сейсмічного, геодинамічного та гідрологічного станів регіону, побудовано часовий розподіл сейсмічності, варіації атмосферних опадів, рівнів води у свердловині глибиною 8 м та сучасних горизонтальних рухів кори за 2022 рік у Закарпатському внутрішньому прогині (рисунок 12).

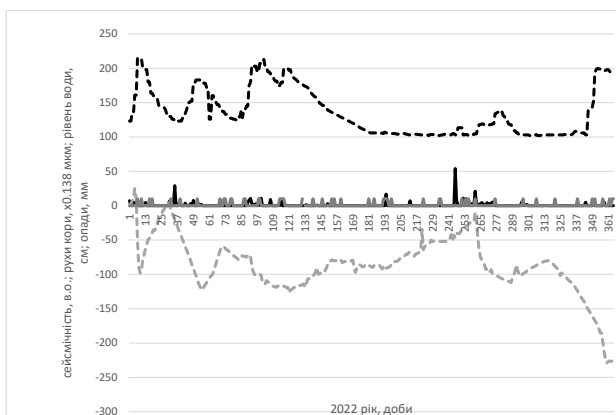


Рис. 12. Комплексний аналіз геофізичних полів у Закарпатському внутрішньому прогині в 2022 році: рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (пунктирна крива сірого кольору); варіації рівня води у свердловині глибиною 8 м (крива сірого кольору); сейсмічність регіону (крива сірого кольору); атмосферні опади (крива чорного кольору). 2022 рік. Закарпатський внутрішній прогин

Сейсмічність регіону та опади: інтервали прояву місцевої сейсмічності та інтервали

інтенсивних опадів корелюють між собою. Сучасні рухи кори та місцева сейсмічність: в основному землетруси відбуваються в періоди стиснення порід. Сейсмічність та рівень води у свердловині: сейсмічність у регіоні підвищується під час підняття рівня води у свердловині глибиною 8 м.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Таким чином, аналізуючи отримані результати геофізичних досліджень, можна зробити висновки. Протягом 2022 року на території Карпато-Балканського регіону зареєстровано 50 місцевих землетрусів різного енергетичного класу. Геодинамічний стан регіону представлений сучасними горизонтальними рухами кори, виміряними в зоні Оашського глибинного розлому, а саме стисненнями порід величиною -30 мкм. У центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину випало близько 357 мм атмосферних опадів, що вказує на їх зменшення порівняно з попередніми роками. На основі отриманих результатів можна сформулювати теоретичну модель геофізичних процесів у регіоні: внаслідок інтенсивних атмосферних опадів піднімається рівень води у свердловинах та річках регіону. Тим самим створюється додатковий тиск на поверхню земної кори, що впливає на сучасні рухи кори, викликаючи динамічні коливання спостережуваної величини. Вони можуть бути однією із причин прояву регіональної сейсмічності. Отримані результати дослідження вказують на гідрогеологічний аспект сейсмотектонічних процесів у сейсмонезбезпечному регіоні за досліджуваний період. Важливе вивчення зв'язку факторів-завад та екологічно небезпечних процесів у місцях реєстрації місцевих землетрусів на території Закарпаття, поповнення бази даних гідрогеологічних, геодинамічних та сейсмічних явищ. Отримані результати проведених досліджень актуальні для геофізичного моделювання сучасних геологічних процесів, підвищення екологічної безпеки регіону.

Література

1. Кендзера О.В., Микуляк С.В., Семенова Ю.В., Скуратівський С.І. Моделювання сейсмічного відгуку ґрунтового шару в рамках нелокальної моделі суцільного середовища. *Геофізичний журнал*. 2022. № 42 (3). С. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204700>.

2. Кендзера О., Микуляк С., Семенова Ю., Скуратівська І., Скуратівський С. Оцінка сейсмічного відгуку шару ґрунту з включеннями, що коливаються. *Геофізичний журнал*. 2020. № 42 (4). С. 3–17.
3. Андрущенко Ю., Осадчий В., Лящук А., Корнієнко І. Інструментальні спостереження на мережі постійного сейсмічного моніторингу Рівненської АЕС. *Геофізичний журнал*. 2020. № 42 (4). С. 133–141. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210677>.
4. Орлюк М., Онищук І., Роменець А., Марченко А., Яцевський П., Орлюк І. Радонові та магнітні аномалії на території міста Києва: екологічний аспект. *Геофізичний журнал*. 2021. № 43 (1). С. 227–250. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225551>.
5. Андрущенко Ю., Осадчий В., Лящук О., Корнієнко І., Халабуда М. Визначення енергетичних параметрів сейсмічних подій Закарпатського прогину з урахуванням добротності земної кори. *Геофізичний журнал*. 2021. № 43 (2). С. 218–226. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230201>.
6. Микуляк С.В., Куліч В.В., Скуратівський С.І. Про подібність зсувної деформації зернистого масиву та роздробленого середовища в сейсмічно активній зоні. *Геофізичний журнал*. 2021. № 43 (3). С. 161–169. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236386>.
7. Гурова І.Ю., Амашукелі Т.А., Калітова І.А. Реєстрація та оперативний аналіз землетрусів у Національному центрі сейсмологічних даних. *Геофізичний журнал*. 2021. № 43 (3). С. 193–204. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236389>.
8. Ганієв О.З., Амашукелі Т.А., Фарфуляк Л.В., Петренко К.В. Організація стаціонарного пункту сейсмологічних спостережень. *Геофізичний журнал*. 2021. № 43 (5). С. 232–240. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244085>.
9. Третяк К., Брусак І. Дослідження взаємозв'язку сейсмічності та сучасних горизонтальних зміщень за даними перманентних ГНСС-станцій у Карпато-Балканському регіоні. *Геодинаміка*. 2020. № 1(28). С. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.005>.
10. Козловський Е.М., Максимчук В.Ю., Малицький Д.В., Тимощук В.Р., Грицай О.Д., Пиріжок Н. Взаємозв'язок структурно-тектонічних та сейсмічних характеристик Центральної частини Закарпатського прогину. *Геодинаміка*. 2020. № 1(28). С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.062>.
11. Корчин В.А., Русаков О.М., Буриний П.О., Карнаухова Е.Е. Походження зон низької густини в кристалічній корі Закарпатського прогину (Україна) за даними петрофізичного термобаричного моделювання. *Геодинаміка*. 2021. № 1(28). С. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.081>.
12. Ковальчук А., Ковальчук І., Павловська Т. Трансформаційні процеси у річково-басейновій системі Бистриці та їх геоінформаційно-картографічні моделі. *Геодинаміка*. 2021. № 2(29). С. 33–50. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.033>.
13. Третяк К., Паляниця Б. Дослідження сезонних деформацій греблі Дніпровської ГЕС за даними ГНСС вимірів. *Геодинаміка*. 2021. № 1(30). С. 5–16. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.005>.
14. Штогрин Л., Анікеєв С., Кузьменко Е., Багрій С. Відображення активності зсувних процесів у регіональних гравітаційному та магнітному полях (на прикладі Закарпатської області). *Геодинаміка*. 2021. № 1(30). С. 65–77. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>.
15. Третяк К., Брусак І., Бубняк І., Заблоцький Ф. Вплив неприпливного атмосферного навантаження на великі інженерні споруди. *Геодинаміка*. 2021. 2(31). С. 16–28. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.016>.
16. Кушнір А., Бурахович Т., Ільєнко В., Ширков Б. Сучасні магнітотелуричні дослідження Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2021. № 2(31). С. 92–101. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.092>.
17. Третяк К., Брусак І. Сучасні деформації земної кори території Заходу України за даними ГНСС мережі «GEOTERRACE». *Геодинаміка*. 2022. № 1(32). С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.
18. Кузьменко Е., Багрій С. Оцінка впливу техногенно спровокованих гідродинамічних процесів на забруднення підземних вод території Калуського гірничопромислового району геофізичними методами. *Геодинаміка*. 2022. № 1(32). С. 119–135. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.119>.
19. Хом'як М., Малицький Д., Асташкіна О., Махніцький М., Кравець С., Микита А., Грицай О. Регресійний аналіз сейсмічних і геофізичних параметрів та його застосування для дослідження сейсмічності Закарпатського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 3(90). С. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.90.07>.
20. Углицьких Є., Вижва С., Іванік О. Моніторинг вертикальних зміщень земної поверхні території Закарпаття за даними радарної інтерферометрії. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2020. № 4(91). С. 94–99. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.91.13>.
21. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й. Метеорологічний аспект геодинамічного стану Закарпатського внутрішнього прогину за 2021 рік. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 1, 2024. С. 32–47. URL: <https://dspace.kmf.uz.ua/jspui/handle/123456789/3353>.

22. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С. Радіоактивний фон середовища та сучасні рухи кори в Закарпатському внутрішньому прогині: сейсмічний аспект. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 2, 2024. С. 58–68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2023-2-5>.
23. Ігнатишин В.В., Малицький Д.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С., Рац А.Й., Ігнатишин А.В. Дослідження змін параметрів магнітного поля та поля деформацій у сейсмонезбезпечних регіонах. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*, № 3, 2024. С. 48–58. <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>.
24. Ігнатишин В.В., Іжак Т.Й., Молнар Д.С.С. Електромагнітна емісія середовища як реакція на сейсмотектонічні процеси в сейсмогенеруючих регіонах. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*, № 4, 2024. С. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>.
25. 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 / Головний редактор Бондар О.І. Київ : Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 4(37). 200 с. С. 114–120. ISSN: 2306-9716 (Print). ISSN: 2664-6110 (Online).*

References

- Kendzera, O.V., Mykuliak, S.V., Semenova, Yu.V., & Skurativskyi, S.I. (2020). Modeliuvannia seismichnoho vidhuku gruntovoho шарu v ramkakh nelokalnoi modeli sutsilnoho seredovyscha [Modeling the seismic response of the soil layer within a nonlocal continuum model]. *Heofizychnyi zhurnal*, 42 (3), 47–58. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204700>.
- Kendzera, O., Mykuliak, S., Semenova, Yu., Skurativska, I. & Skurativskyi, S. (2020). Otsinka seismichnoho vidhuku шарu gruntu z vkliuchenniamy, sheho kolyvaiutsia [Assessment of seismic response of a soil layer with oscillating inclusions]. *Heofizychnyi zhurnal*, 42 (4), 3–17.
- Andrushchenko, Yu., Osadchyi, V., Liashchuk, A. & Korniienko, I. (2020). Instrumentalni sposterezhennia na mrezhi postiinoho seismichnoho monitorynhu Rivnenskoї AES [Instrumental observations at the permanent seismic monitoring network of Rivne NPP]. *Heofizychnyi zhurnal*, 42 (4), 133–141. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210677>.
- Orliuk, M., Onyshchuk, I., Romenets, A., Marchenko, A., Yatsevskyi, P., & Orliuk, I. (2021). Radonovi ta mahnitni anomalii na terytorii mista Kyieva: ekolohichnyi aspekt [Radon and magnetic anomalies in the territory of Kyiv: ecological aspect]. *Heofizychnyi zhurnal*, 43 (1), 227–250. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v43i1.2021.225551>.
- Andrushchenko, Yu., Osadchyi, V., Liashchuk, O., Korniienko, I., & Khalabuda, M. (2021). Vyznachennia enerhetychnykh parametriv seismichnykh podii Zakarpatskoho prohynu z urakhuvanniam dobrotnosti zemnoi kory [Determination of energy parameters of seismic events of the Transcarpathian trough taking into account the earth's crustal quality]. *Heofizychnyi zhurnal*, 43 (2), 218–226. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230201>.
- Mykuliak, S.V., Kulich, V.V., & Skurativskyi, S.I. (2021). Pro podobnist zsvnoi deformatsii zernystoho masyvu ta rozdrobenoho seredovyscha v seismichno aktyvniї zoni [On the similarity of shear deformation of a granular massif and a fragmented medium in a seismically active zone]. *Heofizychnyi zhurnal*, 43 (3), 161–169. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236386>.
- Hurova, I.Iu., Amashukeli, T.A., & Kalitova, I.A. (2021). Reiestratsiia ta operatyvnyi analiz zemletrusiv u Natsionalnomu tsentri seismolohichnykh danykh [Registration and operational analysis of earthquakes at the National Seismological Data Center]. *Heofizychnyi zhurnal*, 43 (3), 193–204. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236389>.
- Haniiev, O.Z., Amashukeli, T.A., Farfuliak, L.V., & Petrenko, K.V. (2021). Orhanizatsiia statsionarnoho punktu seismolohichnykh sposterezen [Organization of a stationary seismological observation point]. *Heofizychnyi zhurnal*, 43 (5), 232–240. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244085>.
- Tretiak, K., & Brusak, I. (2020). Doslidzhennia vzaiemozviazku seismichnosti ta suchasnykh horyzontalnykh zmishchen za danymy permanentnykh HNSS-stantsii u Karpato-Balkanskomu rehioni [Investigation of the relationship between seismicity and modern horizontal displacements according to the data of permanent GNSS stations in the Carpathian-Balkan region]. *Heodynamika*, 1(28), pp. 5–18. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.005>.
- Kozlovskyi, E.M., Maksymchuk, V.Iu., Malyskyi, D.V., Tymoshchuk, V.R., Hrytsai, O.D., Pyrizhok, N. (2020). Vzaiemozviazok strukturno-tektonichnykh ta seismichnykh kharakterystyk Tsentralnoi chastyny Zakarpatskoho prohynu [Interrelation of structural-tectonic and seismic characteristics of the Central part of the Transcarpathian Trough]. *Heodynamika*, 1(28). Pp. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.062>.
- Korchyn, V.A., Rusakov, O.M., Burynyi, P.O., Karnaukhova, E.E. (2021). Pokhodzhennia zon nyzkoi hustyny v krystalichnii kori Zakarpatskoho prohynu (Ukraina) za danymy petrofizychnoho termobarychnoho modeliuvannia [Origin of low-density zones in the crystalline crust of the Transcarpathian

Trough (Ukraine) according to petrophysical thermobaric modeling]. *Heodynamika*, 1(28). Pp. 81–93. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.01.081>.

12. Kovalchuk, A., Kovalchuk, I., & Pavlovska, T. (2021). Transformatsiini protsesy u richkovo-baseinovii systemi Bystrytsi ta yikh heoinformatsiino-kartohrafichni modeli [Transformational processes in the river-basin system of the Bystrytsya and their geographic information and cartographic models]. *Heodynamika*, 2(29). Pp. 33–50. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.033>.

13. Tretiak, K., & Palianytsia, B. (2021). Doslidzhennia sezonnykh deformatsii hrebli Dniprovskoi HES za danymy HNSS vymiriv [Investigation of seasonal deformations of the Dnipro HPP dam based on GNSS measurements]. *Heodynamika*, 1(30). Pp. 5–16. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.005>.

14. 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. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.065>.

15. Tretiak, K., Brusak, I., Bubniak, I., & Zablotskyi, F. (2021). Vplyv nepryplyvnoho atmosferneho navantazhennia na velyki inzhenerni sporudy [Impact of non-tidal atmospheric load on large engineering structures]. *Heodynamika*, 2(31). Pp. 16–28. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.02.016>.

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

17. 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 Western Ukraine according to GNSS data from the GEOTERRACE network]. *Heodynamika*, 1(32). Pp. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.

18. Kuzmenko, E., & Bahrii, S. (2022). Otsinka vplyvu tekhnohenko sprovokovanykh hidrodynamichnykh protsesiv na zabrudnennia pidzemnykh vod terytorii Kaluskoho hirnychopromyslovoho raionu heofizychnymy metodamy [Assessment of the impact of man-made hydrodynamic processes on groundwater pollution in the Kalush mining district by geophysical methods]. *Heodynamika*, 1(32). Pp. 119–135. DOI: <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.119>.

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

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

21. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.I., Molnar, D S.S., & Rats, A.I. (2024). Meteorolohichni aspekt heodynamichnoho stanu Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu za 2021 rik [Meteorological aspect of the geodynamic state of the Transcarpathian Internal Trough in 2021]. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 1. Pp. 32–47. Retrieved from: <https://dSPACE.kmf.uz.ua/jspui/handle/123456789/3353>.

22. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.I., Molnar, D S.S. (2024). Radioaktyvnyi fon seredovyscha ta suchasni rukhy kory v Zakarpatskomu vnutrishnomu prohyni: seismichni aspekt [Radioactive background of the environment and modern crustal movements in the Transcarpathian inner trough: seismic aspect]. *Acta Academiae Beregsasiensis Geographica et Recreatio*, № 2. Pp. 58–68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2023-2-5>.

23. 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. Pp. 48–58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-3-6>.

24. Ihnatyshyn, V.V., Izhak, T.I., & Molnar D, S.S. (2024). Elektromahnitna emisiia seredovyscha yak reaktsiia na seismotektonichni protsesy v seismoheneruiuchykh rehionakh [Electromagnetic emission of the medium as a response to seismotectonic processes in seismogenerating regions]. *Acta Academiae Beregsasiensis: Geographica Et Recreatio*, № 4. Pp. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2024-4-2>.

25. Ihnatyshyn, V.V., Malyskyi, D.V., Izhak, T.I., Verbytskyi, S.T., Ihnatyshyn, A.V., & Ihnatyshyn, M.B. (2021). Hidroheolohichni aspekt ekolohichnoho stanu Zakarpattia za 2020 rik [Hydrogeological aspect of the ecological state of Transcarpathia in 2020]. *Ekolohichni nauky: nauko-praktychnyi zhurnal. / Holovnyi redaktor Bondar O.I. Kyiv: Vydavnychiy dim «Helvetyka», № 4(37). 200 p. Pp. 114–120. ISSN: 2306-9716 (Print). ISSN: 2664-6110 (Online).*