



ІГНАТИШИН Василь Васильович

канд. фіз.-мат. наук,
відділ сейсмічності Карпатського регіону
Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,
Закарпатський угорський інститут ім. Ф. Ракоці II
ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

КОМПЛЕКСНІ ГЕОФІЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В ЦЕНТРАЛЬНІЙ ЧАСТИНІ ЗАКАРПАТСЬКОГО ВНУТРІШНЬОГО ПРОГИНУ ЗА 2018-2019 РР.: КІНЕМАТИЧНИЙ АСПЕКТ

Деформометричні спостереження на території Закарпатського внутрішнього прогину проводяться за допомогою унікальних високоточних методів – кварцових деформометрів. В Закарпатті за тривалий період починаючи з 80-х років 20-ст. вимірюють сучасні горизонтальні рухи кори, з 1999 року спостерігають рухи кори в зоні Оаишського глибинного розлому. Відмічено періодичності в рухах кори від добових до тривалості 10–12 років, в яких відбуваються як стиснення так розширення порід, з середньою швидкістю вікових рухів, що становить : $+10 \times 10^{-7}$. Виявлено зв'язок місцевої сейсмічності із інтенсивними сучасними рухами кори, через розрахунок фізичних параметрів: швидкостей рухів кори та прискорення рухів кори. На локальному рівні відмічено сейсмічну активізацію в періоди стиснення порід та в інтервалах знакозмінних процесів: переходу від розширення до стиснення порід. Розрядці напружено-деформованого стану порід передують періоди понижених параметрів сучасних горизонтальних рухів кори. Результати отримані під час обробки даних важливі при вирішенні проблем екологічного стану з точки зору сейсмотектонічних процесів.

Актуальність. Закарпаття – територія, яка охоплює Закарпатський внутрішній прогин, що характеризується сейсмічною активністю. Сейсмічність Закарпаття представлена землетрусами різного енергетичного класу: від поштовхів, що реєструються чутливими сейсмічними станціями до землетрусів, які відчуються людьми. Періодично відмічено сейсмічну активізацію регіону, яка пов'язана з геодинамічним станом регіону. Геодинаміка регіону представлена сучасними горизонтальними рухами

кори, які вимірюються на пунктах деформометричних спостережень, розташованих в Берегівському горбогір'ї та в зоні Оашського глибинного розлому. Сучасні горизонтальні рухи кори вимірюються за допомогою кварцових деформографів, змонтованих на режимній геофізичній станції «Берегове» та в штольні сейсмічної станції «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Комплексні геофізичні спостереження в регіоні відмітили взаємозв'язок геофізичних полів: інтенсивні рухи кори та періоди сейсмічної активності корелюються. На фоні багатьох місцевих землетрусів відбуваються також сильніші, відчутні підземні поштовхи. Сучасні рухи кори в різних частинах Закарпатського внутрішнього прогину відрізняються за величиною та напрямком. Згідно різних методів вимірювання рухів кори - рухи кори в Закарпатському внутрішньому прогині - це розширення порід із віковим ходом рівним 10×10^{-7} . Виявлено зв'язок інтенсивних рухів кори в геологічних структурах Закарпаття та проявів місцевої сейсмічності. Також виявлено відгук параметрів геофізичних полів на сейсмотектонічні процеси в регіоні: корелюються періоди підготовки та розрядки напружено-деформованого стану порід. Попередні дослідження показали, що існує зв'язок між розрахованими параметрами геомеханічних рухів в регіоні та варіаціями параметрів геодинамічного стану; вплив метеорологічного та гідрогеологічного факторів на протікання геологічних процесів в регіоні. Відмічено кореляцію динамічних характеристик варіацій параметрів геофізичних полів в особливі інтервали часу, що передують екологічно небезпечним процесам в регіоні. Тому важливо проводити дослідження геодинаміки регіону за більш тривалий період з метою вивчення періодичностей в геофізичних процесах, що є актуальними при вирішенні задач екологічного стану на сейсмонебезпечних територіях.

Аналіз публікацій. Отримано результати, які мають важливе значення для побудови сейсмічних моделей реальних геологічних середовищ. На прикладі порід-колекторів показано, що використання методу вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль V є доцільним і виправданим для здійснення неруйнівного контролю текстури зцементованих осадових дрібнозернистих пісковиків з точки зору розвитку теорії деформації порід-колекторів, утворення і розповсюдження тріщин, відновлення полів механічних напружень¹. Показано, що існує безпосередній, фізичний

1 Продайвода Г., Вишва С., Онанко Ю., Онанко А. Автоматизована система обробки результатів ультразвукових вимірювань швидкостей пружних хвиль в породах -колекторах інваріантно-поляризаційним методом. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2012. № 56. С. 48–52.

вплив Місяця на природні земні сейсмічні явища підтверджено існування залежності кількості землетрусів від кута фази Місяця, відмічено, що залежність кількості землетрусів від положення Місяця на геоцентричній орбіті по різному проявляється для явищ на різних глибинах (до 40 км і понад 40 км)². Запропонована методика сейсмопрогностичних геотермічних досліджень у Закарпатті з використанням гідротермальних свердловин та представленої геотермічної апаратури з кварцовими термочастотними датчиками, яка здатна забезпечити виявлення процесів підготовки відчутних місцевих землетрусів у радіусі кількох десятків кілометрів від пункту спостережень. Розширення мережі пунктів та подальше вдосконалення апаратури, дозволить забезпечити проведення сейсмопрогностичного моніторингу на всій території сейсмоактивного Закарпатського прогину з можливістю оцінок величин змін напружено-деформованого стану масивів порід в пунктах спостережень³. Представлено рішення прямої задачі для поля переміщень на вільній поверхні шаруватого ізотропного середовища з використанням матричного методу. Результати прямої задачі використано для визначення тензора сейсмічного моменту, показано використання методу матричного пропагатора для анізотропного середовища⁴. На основі результатів статистичного аналізу зареєстрованих сейсмічних коливань та оцінок похибок наближення випадкових процесів та полів сформульовано алгоритми для статистичного моделювання таких процесів та полів на основі інтерполяційних розкладів, побудовано моделі для статистичного моделювання адекватних реалізацій сейсмограм шуму у випадках однієї та двох змінних⁵. Запропонований графічний метод, який використовує крім точних вступів і неточні вступу хвиль для багатьох випадків може бути використано для побудови механізму вогнища землетрусу, що несуть інформацію про тип подвижки у вогнищі і орієнтацію сил, під дією яких відбувся землетрус. Порівнявши орієнтацію площин з орієнтацією активізованих розломів в області вогнища землетрусу, можна отримати більш точний механізм. Отримані результати для Березівського землетрусу 23.11.2006 р. графічним способом буде використано для побудов механізмів місцевих подій, що буде показано у наступних пу-

2 Вижва С. Казанцев А. Статистичний зв'язок параметрів Місяця із сейсмічними явищами на Землі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. № 58. С. 10–13.

3 Назаревич А., Микита А. Геотермічний метод у сейсмопрогностичних дослідженнях у Закарпатті. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. № 58. С. 16–19.

4 Малицький Д., Муйла О., Павлова А. Матричний метод у задачах сейсмології. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. N 58. С. 25–28

5 Кендзера О., Вижва З., Федоренко К., Вижва А. Визначення частотних характеристик геологічного середовища під будівельними майданчиками з використанням статистичного моделювання сейсмічного шуму на прикладі спостережень у м. Одесі. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. № 58. С. 57–61.

блікаціях⁶. Розглянуто задачу статистичного моделювання випадкових полів у чотиривимірній області змінних (однорідних за часом та однорідних ізотропних за 3-D просторовими координатами) при впровадженні у сейсмологічні дослідження для визначення частотних характеристик геологічного середовища. Побудовано модель та сформульовано алгоритм чисельного моделювання реалізацій таких випадкових полів на основі модифікованих інтерполяційних розкладів Котельникова-Шеннона для генерування адекватних реалізацій шуму сейсмограм⁷. Відмічено, що достовірність структурних побудов повинна контролюватись положенням часових відліків відбиваючих границь, які відповідають відомим стратиграфічним і літологічним границям розрізу. Процедура кореляції має виконуватись за результатами вертикального сейсмічного профілювання у комплексі з синтетичним сейсмічним моделюванням. Кореляція відбиваючих горизонтів має проходити на основі сукупності ознак схожості на сусідніх сейсмічних трасах⁸. Розроблено модель та алгоритм статистичного моделювання однорідних за часом, однорідних ізотропних за тривимірними змінними випадкових полів з обмеженим спектром, застосування яких проілюстровано на прикладі генерування реалізацій шуму сейсмограм плоскої області спостереження та розглянуто перспективу для сейсмограм тривимірної області спостереження⁹. Уточнена швидкісна модель для Закарпатського сейсмоактивного регіону: із збільшенням кількості опрацьованих даних сейсмічних бюлетенів, будуть уточнюватись і середні значення азимутальних коефіцієнтів для всіх секторів, отримані результати будуть використані для визначення, наприклад, глибини залягання вогнища землетрусу, використовуючи нейронно-мережеве моделювання, що буде показано в наступних публікаціях¹⁰. Розроблено універсальні методи статистичного моделювання (методи Монте-Карло) багатопараметричних сейсмологічних даних, які дають можливість вирішити проблеми генерування реалізацій шуму сейсмограм на площині та

6 Малицький Д., Грицай О., Муйла О. Особливості побудови механізмів місцевих осередків землетрусів на прикладі Беретівської події 23.11.2006 р. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 60. С. 37–42.

7 Вижва З. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у тривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 2/61. С. 69–71.

8 Цибульський В., Трипільський О., П. Кузьменко. Концептуальна модель як складова процесу інтерпретації сейсмічних даних. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 1/60. С. 79–83

9 Вижва З. Статистичне моделювання сейсмічного шуму у чотиривимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 3/60. С. 69–73

10 Козловський Е., Малицький Д., Павлова А. Розрахунок та аналіз азимутальних коефіцієнтів Q1 та уточнення швидкісної моделі Закарпатського сейсмоактивного регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2014. № 1/64. С. 30–35.

у тривимірному просторі на сітці необхідної детальності та регулярності¹¹. Сейсмічна томографія є потужним інструментом дослідження земних надр та останніми роками стала галузевим стандартом у світовій геофізиці, на кафедрі геофізики геологічного факультету розробляються теоретичні та методологічні основи геофізичної томографії та літологічної інверсії, зокрема, реалізовано обчислювальний алгоритм та розроблено оригінальне програмне забезпечення для реалізації сейсмічної променевої томографії¹². Використано методику виділення із повного хвильового поля частини, що відповідає поширенню прямих Р та S хвиль та важливе для визначення сейсмічного тензора як функції часу має велике практичне значення, оскільки дає можливість оцінити тривалість процесу утворення розриву, що генерує утворення сейсмічних хвиль. У результаті розв'язання оберненої задачі сейсмології, що зводиться до розв'язання системи матричних рівнянь, отримано часові залежності компонент тензора сейсмічного моменту¹³. Розглянуто задачу статистичного моделювання випадкових полів у багатовимірній області змінних (однорідних за часом та однорідних ізотропних за n іншими змінними) при впровадженні у сейсмологічні дослідження для визначення частотних характеристик геологічного середовища¹⁴. Побудовано модель та сформульовано покращений алгоритм чисельного моделювання реалізацій таких випадкових полів на основі модифікованих інтерполяційних розкладів Котельникова-Шеннона для генерування адекватних реалізацій шуму сейсмограм. Матричний метод застосовують саме у випадку поширення сейсмічних хвиль у горизонтально-шаруватому півпросторі, коли неоднорідне середовище моделюється системою однорідних ізотропних шарів із паралельними границями. Вогнище землетрусу як розподілене джерело є розміщеним в однорідному шарі. Показано перехід від перевизначеної системи рівнянь для визначення вектора посувки по розриву до розв'язку для узагальненої оберненої задачі¹⁵. Представлено результати роботи, яка полягає у вивченні на основі просторового розподілу інструментальних

11 Вижва З., Федоренко К., Вижва А. Статистичне моделювання сейсмічного шуму в багатовимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2014. № 1/64. С. 62–68.

12 Тройніч К., Вижва С. Ефективний алгоритм сейсмічної променевої томографії при обробці великих масивів сейсмічних даних. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2014. № 3/66. С. 77–82.

13 Малицький Д., Муйла О., Грицай О., Кутнів О., Обідіна О. Визначення тензора сейсмічного моменту з хвильових форм. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2011. № 1/68. С. 80–86.

14 Вижва З., Федоренко К., Вижва А. Покращений алгоритм статистичного моделювання сейсмічного шуму в багатовимірній області змінних для визначення частотних характеристик геологічного середовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2015. № 2/69. С. 79–86.

15 Малицький Д., Муйла О., Грицай О., Павлова А., Асташкіна О., Обідіна О., Козловський Е. Розподілене джерело: результати моделювання та перспективи використання для задач сейсмології. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2015. № 2/69. С. 96–101.

та макросейсмічних проявів досліджуваного землетрусу, природи його походження, параметрів вогнища та локальних закономірностей загасання енергії сейсмічних струшувань, необхідних для прогнозування величини та інтенсивності майбутніх потенційно можливих землетрусів¹⁶.

Наведено методику довгострокового регіонального часового прогнозування природного гідрогеодинамічного режиму, представлено результати реалізації запропонованого алгоритму для територій із різними умовами формування рівневого режиму, де у межах досліджуваних регіонів виділено ділянки з однорідним режимом багаторічної мінливості рівнів ґрунтових вод. Встановлено найбільш імовірні періоди підвищеної водності та побудовано відповідні картографічні моделі прогновної забезпеченості рівнів¹⁷. Показано, що антропогенне навантаження на підземні води обумовлене різними видами господарської діяльності і залишається одним із основних факторів, що впливають на гідрогеохімічні процеси, які викликають забруднення підземних вод. На більшій частині території верхня частина водоносного горизонту до глибини 8-12 м знаходиться в зоні забруднення¹⁸. Показано, що багаторічний ряд моніторингових спостережень за співвідношенням екологічних груп діатомей на різних глибинних рівнях дозволить отримати інформацію про їх тренд, а через те річні та сезонні зміни гідрографічних показників водного середовища та характеру осадконакопичення¹⁹. Отримано результати, що дають можливість зробити висновок про те, що за 30-річний період значно зріс вплив локальних техногенних джерел забруднення на підземні води, тобто збільшилася кількість забруднюючих речовин, що надходить з денної поверхні. В цих умовах, внаслідок антропогенних видів діяльності, що супроводжуються значними втратами води, відбувається постійне підвищення рівня ґрунтових вод, яке призводить до інтенсивного розвитку процесу підтоплення в часі²⁰. Відмічено, що створення алгоритму обробки вхідної гідрогеологічної інформації, апробованого на прикладі одного з по-

16 Чалий О., Ільєнко В., Щербіна С. Макросейсмічні прояви землетрусу 03.02.2015 на межі Полтавської та Сумської областей. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2015. № 3/70. С. 49–54.

17 Л. Давибіда. Довгостроковий регіональний прогноз і картування природного режиму рівнів ґрунтових вод (на прикладі територій окремих адміністративних областей). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. № 56. С. 45–48.

18 Остроух О. Природні та антропогенні чинники зміни хімічного складу підземних вод на території південно-західної частини Закарпатської області. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. № 57. С. 67–69.

19 Тимченко Ю., Наседкін Є. Перспективи застосування методів діатомового аналізу для моніторингу впливу гідрометеорологічних факторів на процеси осадконакопичення. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2012. № 58. С. 4–10.

20 Щербак О. Методичні аспекти оцінки антропогенного впливу на підземну гідросферу на прикладі Херсонської області. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 60. С. 59–63.

казників хімічного складу підземних вод, дозволило визначити методику першого етапу опрацювання даних, що включає створення і наповнення спеціалізованої бази даних, перетворення картографічних проекцій, географічну прив'язку точкових об'єктів (свердловин)²¹. Карпатський регіон характеризується гетерогенною геологічною будовою, що обумовлює виникнення відмінностей в особливостях протікання, інтенсивності та екстенсивності прояву селевих процесів. Аналіз останніх досліджень та публікацій, а також проведення польових досліджень у межах Закарпатської області підтверджує істотний вплив селевих потоків на руйнування населених пунктів, сільськогосподарських об'єктів, залізниць, автошляхів тощо. Занесення долин річок селевим матеріалом робить їх непридатними для подальшого освоєння²². За період з 1986 р по 2014 р відбулось погіршення стану ґрунтових вод, а отже, й екологічного стану геологічного середовища в цілому. Техногенний вплив на ґрунтові води відбувається у вигляді хімічних та температурних змін. Наразі такий вплив носить локальний характер з тенденцією до захоплення більшої частини території в часі, що підтверджено розрахунками на різні періоди²³. Обґрунтована принципова можливість створення комплексних моделей розвитку і змін адаптивних стратегій археологічних культур у співставленні із палеогеографічною динамікою регіонів на підставі даних геофізичних досліджень. Застосування геофізичних і геоінформаційних методів створює надійне емпіричне підґрунтя для дискусії про взаємовідносини природи і суспільства, наповнену численними свідченнями про природні умови давніх епох²⁴. Значення теплового потоку в Паннонському басейні досягають 50–60 мВт/м², є аномальними відносно стабільних тектонічних структур, що дозволяє передбачати тісний взаємозв'язок неоген-четвертинного вулканізму з джерелом геотермічної активізації. Продукти магматизму виносять велику кількість тепла, проте лавові потоки або окремі інтрузії у верхніх горизонтах земної кори охолоджуються відносно швидко (протягом перших мільйонів років) і не можуть забезпечити настільки високих потоків тепла протягом тривалого періоду. Це можна

21 Остроух О. Науково-методичний підхід до опрацювання гідрогеологічної інформації з використанням геоінформаційних технологій (на прикладі хімічного складу підземних вод південно-західної частини Закарпатської області). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 60. С. 75–79.

22 Шевчук В., Іванік О., Цибульська О. Негативний вплив селів на функціонування природно-техногенних систем та оцінка селенебезпеки притоків різних порядків басейнів річок Мокрянкя та Брустуриянка. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. № 2/61. С. 5–9.

23 Бровко А., Бровко Г., Кошляков О. Оцінка стійкості стану ґрунтових вод як методологічний підхід при вивченні техногенного впливу на підземні води (на прикладі ґрунтових вод на території Рівненської АЕС). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2015. № 2/69. С. 75–78.

24 Бондар К. Геофізичні методи при дослідженні взаємозв'язків між природними та історичними процесами. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2012. № 59. С. 17–21.

зробити тільки за рахунок глибинних джерел і підняття мантийної нагрітої речовини²⁵. На протязі тривалого періоду на території Закарпаття проведено спостереження геофізичних полів та їх зв'язків із геологічними процесами²⁶. Проводилися спостереження магнітного поля та його відгуку на протікання сейсмотектонічних процесів²⁷. Розглянуто фактори впливу на геологічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині, електромагнітної емісії, гідрогеологічних параметрів, метеорологічного стану²⁸. Вивчали зв'язок астрофізичних параметрів (сонячної активності, геомагнітного індексу, фаз Місяця) та сейсмотектонічних процесів в регіоні²⁹. Досліджено варіації радіоактивного фону середовища, сучасних рухів кори та місцевої сейсмічності³⁰. Відмічено аномальні величини в періоди сейсмічної активності регіону.

Варіації прискорення сучасних горизонтальних рухів кори та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в 2018 році.

Сучасні горизонтальні рухи кори в Закарпатському внутрішньому прогині спостерігаються впродовж тривалого часового періоду, починаючи з 80-х минулого століття. Спостереження проводяться за допомогою кварцових горизонтальних деформометрів змонтованих на початку спостережень в Берегівському горбогір'ї на пунктах деформометричних спостережень «Берегове-1», розташоване в штольнях в гірському масиві поблизу с.Мужієве, Берегівського району, Закарпатської області (початок 80-х років). На режимній геофізичній станції «Берегове» в 1989 році було встановлено в штольні два взаємноперпендикулярно розташовані кварцові деформометри відповідно бацзами: 24,5 м та 6 м. Отримано

25 Кутас Р., Майцин Д. Геотермические условия зон неовулканизма Закарпатского прогиба. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2014. № 3/66. С.39–43.

26 Ігнатишин А. В., Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й., Вербицький С. Т., Ігнатишин М. Б. Геологічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині та їх зв'язок з геофізичними полями. Збірник статей науково-інформаційного центру «Знання» за матеріалами LVIII міжнародної науково-практичної конференції: «Розвиток науки в ХХІ столітті», г. Харків: збірник зі статтями (рівень стандарту, академічний рівень). Х. : Науково-інформаційний центр «Знання», 2020. 116 с. С.20-32. ISSN 5672 – 2605.

27 Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й., Ігнатишин А. В., Вербицький С. Т., Ігнатишин М. Б. Дослідження зв'язку варіацій параметрів магнітного поля та сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2019 рік. Сучасний педагог: колект. наук. монографія. Дніпро : Акцент ПП, 2020. С 91. Т. 2. 242 с. С.143–153. ISBN 978-966-921-250 -4.

28 Ігнатишин А. В., Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й., Вербицький С. Т., Ігнатишин М. Б. Фактори впливу на геологічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині. Матеріали I Международная научно-практическая конференция «INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND EDUCATION», 29–31 марта 2020 года, Афины, Греция. // Innovative development of science and education. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. ISGT Publishing House. Athens, Greece. 2020. Pp. 230-236. URL: <http://sci-conf.com.ua> UDC 001.1 BVK 52 ISBN 978-618-04-3761-4.

29 Ігнатишин А. В., Ігнатишин В. В., Іжак Т. Й. Геомеханічні процеси в Закарпатському внутрішньому прогині: астрофізичний аспект. XXII Міжнародна наукова конференція. Астрономічна школа молодих вчених. Україна, Київ, 11–12 грудня 2020 р. Програма і тези доповідей. С.33–34.

30 Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Вербицький С. Т. Радіоактивний фон регіону та його зв'язок з динамікою горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2019 рік. XXII Міжнародна наукова конференція. Астрономічна школа молодих вчених. Україна, Київ, 11–12 грудня 2020 р. Програма і тези доповідей. С. 38–39.

важливі результати, що вказали на головні напрямки рухів кори та їх величини: розширення в близькомеридіональному напрямку та стиснення в близькоширотному, величини деформації становили: 10×10^{-7} . Отримані величини вікових ходів в Берегівському горбогір'ї співпадають із величинами, характерними для Карпато-Балканського регіону. З метою отримання характеристики сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому протягом 1998–1999 рр. в штольні в смт Королеве було встановлено горизонтальний кварцовий деформограф базою 24.5 м, що реєструє рухи кори в напрямку схід-захід. Тут на протидію рухам кори в Берегівському горбогір'ї, відмічено інтенсивне розширення порід в спостережуваному напрямку із середньорічними величинами вікового ходу : $+10 \times 10^{-7}$. Також відмічено, що в періоди інтенсивних рухів кори, виміряних на пункті деформометричних спостережень «Королеве» супроводжуються підвищенням сейсмічної активності Закарпатського внутрішнього прогину. Сейсмічність Закарпаття представлено сотнями слабких підземних поштовхів, серед яких можливі і сильніші відчутні місцеві землетруси, частота прояву яких становить від одного до шести в рік, що є індикатором сейсмогенеруючого регіону. Також аналіз багаторічних досліджень виявив, сейсмічну активність при стисненні порід, наявність періодів сейсмічного затишшя, коли сейсмічність відсутня або низька. Аналіз тривалого періоду деформометричних спостережень відмітив періоди тривалістю 12 років, які діляться на активну фазу(10 років) та 2-х річний період сталої динаміки рухів кори- реєструється стиснення або так звані нульові вікові ходи. Особливістю виділених фаз в рухах кори є зв'язок їх з багаторічними фазами сейсмічної активізації регіону. Проводився пошук та удосконалення методів обробки деформометричної інформації, зокрема математичних та фізичних. З метою виявлення зв'язків рухів кори із сейсмічністю та відгуків геофізичних полів застосовувалися розрахунки швидкостей зміщення порід, виміряних за допомогою деформометра. Отримано важливі результати, що засвідчили зв'язки кінематики рухів кори та періодів сейсмічної активізації регіону. Проведено розрахунки динамічних параметрів сучасних горизонтальних рухів кори, прискорення рухів та побудовано часові розподіли цієї величини. Відмічено наявність підвищених величин прискорення рухів кори за деякий період часу до реєстрації місцевих землетрусів, в тому числі і відчутних. Розрахований фізичний параметр несе важливий інформаційний сигнал, що підготовки та прояву місцевих сейсмотектонічних процесів. В роботі представлено результати виміряних та розрахованих величин геомеханічних рухів кори за період 2018–2019

пр. використовуючи місячні ряди спостережень, порівняно із просторово-часовим розподілом місцевої сейсмічності. Сейсмічна інформація отримана за допомогою цифрового сейсмометра DAS-05 та старших модифікацій, які встановлені на всіх сейсмічних, режимних геофізичних станціях та пунктах деформометричних спостережень в Закарпатті Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії Відділу сейсмічності Карпатського регіону та Карпатського відділення Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України. На рисунку 1 показано результати розрахунку прискорення рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за січень 2018 року.



Рис. 1. Прискорення рухів кори (крива чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в січні 2018 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Середня величина прискорення в зоні Оашського глибинного розлому становить 0 мкм/добу^2 . На відміну від залежності швидкостей рухів від часу, прискорення рухів корелюється із сейсмічною активністю в регіоні: додатні величини прискорення рухів кори супроводжуються підвищеннями сейсмічної активності регіону (рисунок 1). На рисунку 2 представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та прискорення сучасних горизонтальних рухів кори за лютий 2018 року.



Рис. 2. Прискорення рухів кори (крива чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в лютому 2018 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Середнє значення прискорення рухів кори в лютому 2018 року становить $+0.015$ мкм /добу².

Березень 2018 року. Прискорення сучасних горизонтальних рухів кори та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в березні 2018 року представлено на рисунку 3.



Рис. 3. Сейсмічність (діаграма сірого кольору) та прискорення рухів кори (крива чорного кольору) в березні 2018 року.

Середнє прискорення рухів кори за березень 2018 року становить 0 мкм/добу², на території Закарпаття зареєстровано 13 землетрусів. На рисунку 4 показано прискорення рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в квітні 2018 року.



Рис. 4. Прискорення рухів кори (крива чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в квітні 2018 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Середнє значення прискорення рухів в квітні 2018 року становить 0.032 мкм/добу². В цей період зареєстровано 7 місцевих землетрусів.

Травень 2018 року. На рисунку 5 показано прискорення рухів кори в регіоні та місцеву сейсмічність в Закарпатському внутрішньому прогині.



*Рис. 5. Прискорення рухів (крива чорного кольору)
та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору)
в травні 2018 року.*

В травні відбулося 13 місцевих землетрусів в Закарпатському внутрішньому прогині. Середнє прискорення за місяць становить -0.03 мкм/добу² (рисунок 5). Підвищені величини прискорення та активізація сейсмічності знаходяться в однакових часових інтервалах.

Червень 2018 року. На рисунку 6 показано результати сейсмотектонічних процесів в Закарпатському внутрішньому прогині.



*Рис. 6. Прискорення (крива чорного кольору)
та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в червні 2018 року
в Закарпатському внутрішньому прогині.*

Величина середнього прискорення за місяць становила -0.0045 мкм/добу². Зареєстровано 15 місцевих землетрусів різної магнітуди та енергетичного класу.

Липень 2018 року. В липні 2018 року зареєстровано 18 місцевих землетрусів (рисунок 7).



Рис. 7. Прискорення рухів (крива чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в липні 2018 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Величина середнього значення прискорення за липень 2018 року становить $0.0132 \text{ мкм/добу}^2$.

Серпень 2018 року. В серпні 2018 року на території Закарпаття зареєстровано 9 землетрусів (рисунок 8).



Рис. 8. Прискорення рухів кори (крива чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в серпні 2018 року в Закарпатському внутрішньому прогині.

Середньомісячне значення прискорення в серпні 2018 року становить $-0.026 \text{ мкм/добу}^2$. Вересень 2018 року. У вересні 2018 року зареєстровано 10 місцевих землетрусів (рисунок 9).



*Рис. 9. Прискорення рухів кори (крива чорного кольору)
та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору)
у вересні 2018 року. Закарпатський внутрішній прогин.*

Прискорення рухів кори в вересні 2018 року становить -0.22 мкм/добу².
Жовтень 2018 року. Зареєстровано 12 землетрусів в жовтні 2018 року на території Закарпатського внутрішнього прогину (рисунок 10).



*Рис. 10. Прискорення рухів (крива чорного кольору)
та місцева сейсмічність (діаграма сірого кольору)
в жовтні 2018 року.*

Середнє значення прискорення рухів кори за жовтень 2018 року становить 0.03 мкм/добу². В листопаді 2018 року в Закарпатті зареєстровано 9 місцевих землетрусів в листопаді 2018 року (рисунок 11).



Рис. 11. Прискорення рухів (крива чорного кольору) в зоні Оаишського глибинного розлому та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в листопаді 2018 року.

Рухи відбуваються із прискоренням величиною -0.0138 мкм/добу². В грудні 2018 року зареєстровано 5 місцевих землетрусів (листопад 12).



Рис. 12. Прискорення рухів кори в зоні Оаишського глибинного розлому (крива чорного кольору) та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) в грудні 2018 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Величина прискорення рухів кори в грудні 2018 року в зоні Оаишського глибинного розлому становить -0.0356 мкм/добу². Варіації прискорення сучасних горизонтальних рухів та просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в 2018 році в Закарпатському внутрішньому прогині (рисунок 13).

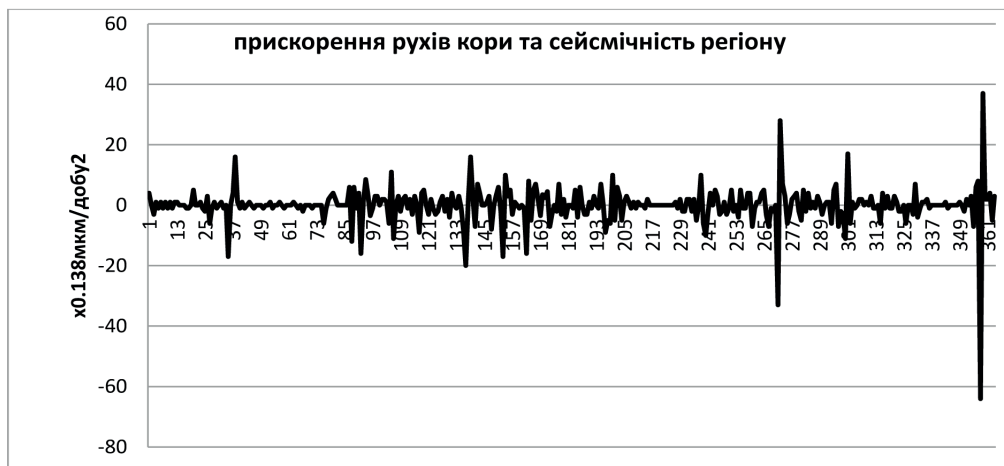


Рис. 13. Прискорення сучасних горизонтальних рухів кори в 2018 році.
Закарпатський внутрішній прогин.

Середньорічне значення прискорення горизонтальних рухів в регіоні в 2018 році становить $0.0038 \text{ мкм/добу}^2$. Представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та прискорення рухів кори за 2018 року (рисунк 14).

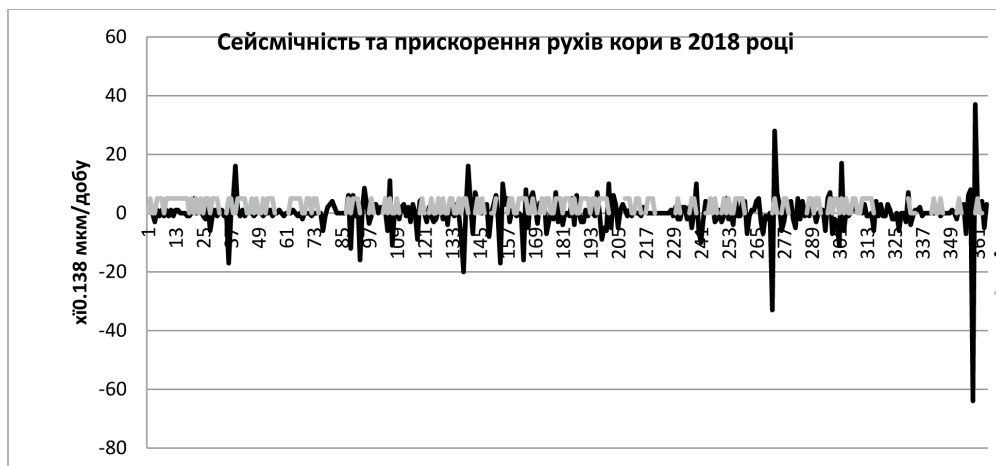


Рис. 14. Прискорення рухів (крива чорного кольору)
та сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору) за 2018 року.
Закарпатський внутрішній прогин.

Періоди підвищених величин прискорень сучасних горизонтальних рухів в регіоні супроводжуються періодами підвищеної сейсмічної активності в 2018 році в досліджуваному регіоні. Проведено порівняння прискорення рухів та прсторово-часового розподілу місцевої сейсмічності в місячному діапазоні (рисунк 15).

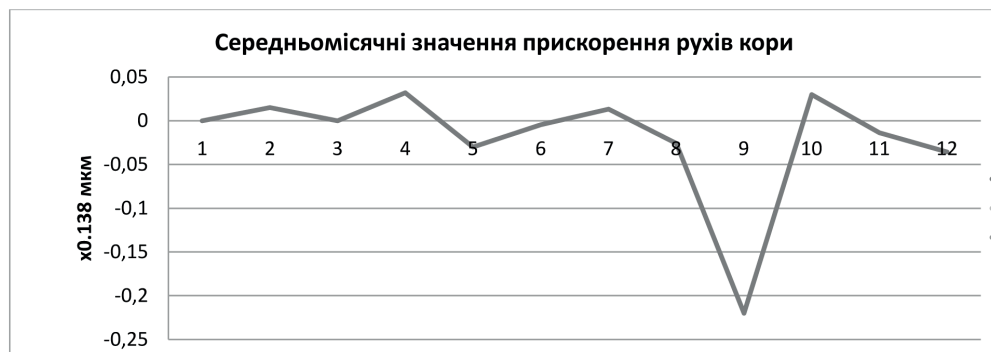


Рис. 15. Прискорення сучасних рухів кори в 2018 році.
Закарпатський внутрішній прогин.

Середньорічна величина прискорення сучасних горизонтальних рухів становить $0.0038 \text{ мкм/добу}^2$. Представлено результати просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності в місячних величинах за 2018 рік (рисунок 16).

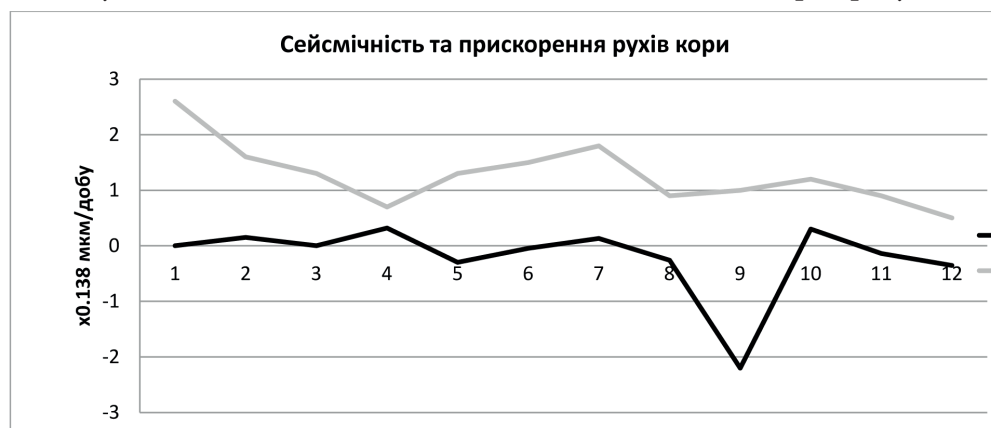


Рис. 16. Сейсмічність регіону (крива сірого кольору)
та прискорення рухів кори (крива чорного кольору) в 2018 році.
Закарпатський внутрішній прогин.

Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності та варіації прискорення сучасних горизонтальних рухів кори в Закарпатському внутрішньому прогині мають подібні форми кривих. Додатні прискорення рухів кори супроводжуються сейсмічною активізацією геологічних структур.

Вікові ходи за період деформетричних спостережень в Закарпатському внутрішньому прогині (1998-2018 рр.). Деформограф (схід-захід). Просторово-часовий розподіл вікових рухів в Закарпатському внутрішньому прогині є періодичний процес пов'язаний із загальною місцевою сейсмічністю в регіоні (рисунок 17).

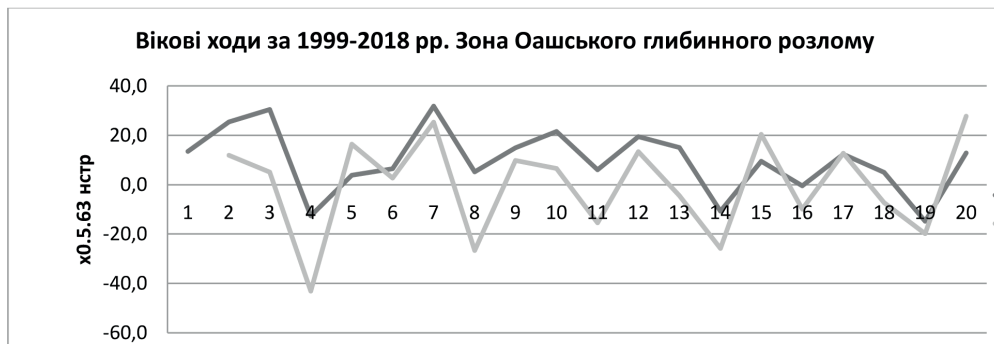


Рис. 17. Параметри вікових ходів деформацій земної кори в зоні Оашського глибинного розлому 1999-2018 рр.: віковий хід (крива сірого кольору); динаміка вікового ходу (крива чорного кольору).

Середня швидкість вікового ходу в регіоні становить: $-0,02789 \times 10^{-7}$. Середній віковий хід рівний: $+9.7 \times 10^{-7}$, що лежить в інтервалі рухів в Європі. Зміни вікового ходу мають періодичний характер – коливання проходять із періодами 2-4 роки, що ймовірно пов'язано із певними тектонічними процесами в регіоні. Часовий розподіл місцевої сейсмічності: максимуми припадають на періоди стиснення порід. Стиснення порід викликане в регіоні можливе в результаті дії зовнішніх геомеханічних факторів-рухів плит, зокрема в районах Карпат з південно-східного боку.

Вимірювання геомеханічних рухів в Закарпатському внутрішньому прогині за 2018-2019 рр. РГС «Тросник». Вимірювання кутів між двома точками у Виноградівському районі, в селах Дротинці та Тросник. Вимірювали кут між двома об'єктами розташованими на лінії схід-захід(вежі церкви в с. Тросник та с. Дротинці(відстань 2 км) та двома опорами високовольтної ЛЕП на лінії північ –південь(відстань 500 м). Вимірювання розпочато в серпні 2018 році, з точки, розташованої на протиповеневій дамбі, біля водонапірної станції. Режим опитування один раз в тиждень. Відстань між церквами становить 2.75 км, азимут лінії зміщення 76.32° . Відстань між двома лініями електроопори в с Дротинці становить 590 м, напрям рухів вимірюється по лінії з азимутом $8,26^\circ$. Представлено карти схеми профілів вимірювання рухів кори в горизонтальному напрямі в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Координати точок спостереження: об'єкт с. Тросник: $\varphi = 48^\circ 5'51.03''\text{C}$, $\lambda = 22^\circ 57'4.63''\text{B}$; об'єкт с. Дротинці: $\varphi = 48^\circ 6'12.64''\text{C}$; $\lambda = 22^\circ 59'12.19''\text{B}$; опора високовольтної ЛЕП №1: $\varphi = 48^\circ 5'49.90''\text{C}$; $\lambda = 22^\circ 58'33.72''\text{B}$; опора високовольтної ЛЕП №2: $\varphi = 48^\circ 5'31.05''\text{C}$, $\lambda = 22^\circ 58'29.65''\text{B}$ (рисунок 18).

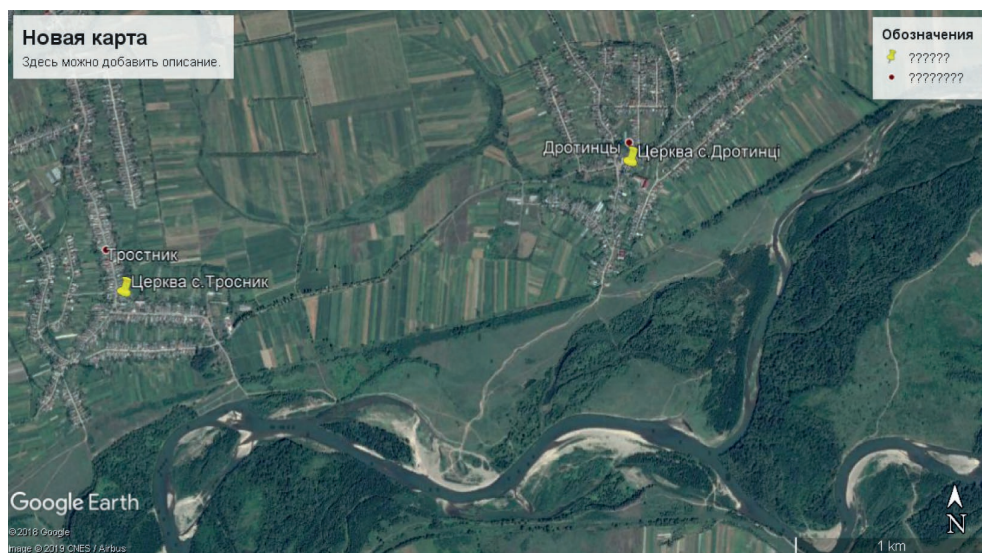


Рис. 18. Карта розташування точок спостереження горизонтальних рухів кори. Виноградівський район, церкви с. Тросник та с. Дротинці. Напрямок схід–захід (<https://google-earth-pro.ru.softonic.com/>)

Проведено вимірювання рухів кори в напрямку північ–південь за період 2018–2019 рр. (рисунок 19).



Рис. 19. Рухи кори в напрямку північ–південь. Виноградівський район, 2018–2019 рр. (<https://google-earth-pro.ru.softonic.com/>)

Побудовано залежність вимірних параметрів від часу у двох взаємо-перпендикулярних напрямків (рисунок 20).



Рис. 20. Рухи кори в напрямку схід-захід в 2018–2019 рр.
Виноградівський район (с. Тросник, с. Дротинці).

Представлено рухи кори виміряні в напрямку схід-захід за 2018–2019 рр. (рисунок 21).

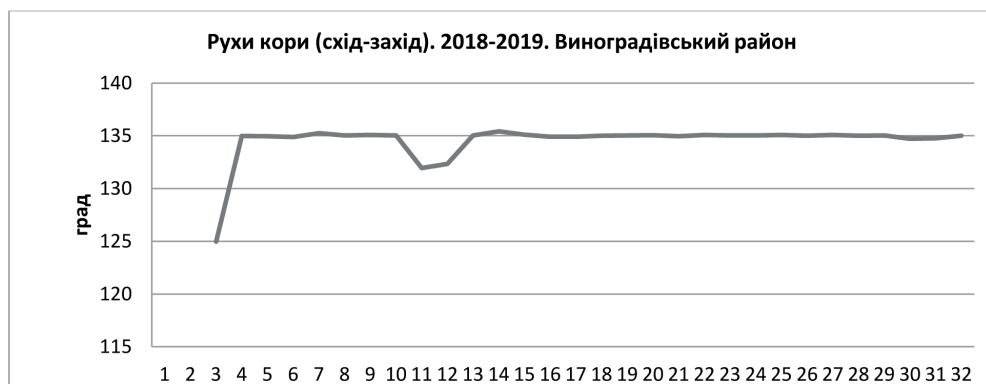


Рис. 21. Рухи кори в напрямку схід-захід.
Виноградівський район. 2018–2019 рр.

Представлено результати спостережень рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2018–2019 рр. (рисунок 22).

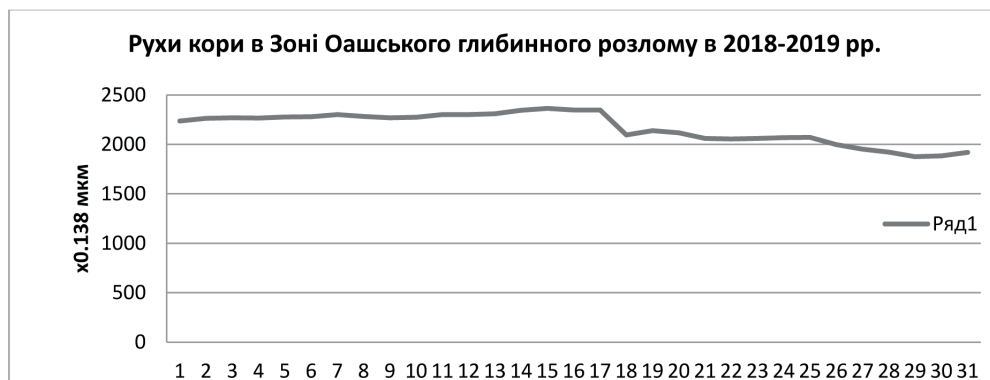


Рис. 22. Рухи кори в напрямку північ-південь за 2018–2019 рр.
Виноградівський район.

Відмічено стиснення порід за період 2018–2019 рр. в напрямку схід–захід (рисунок 23).

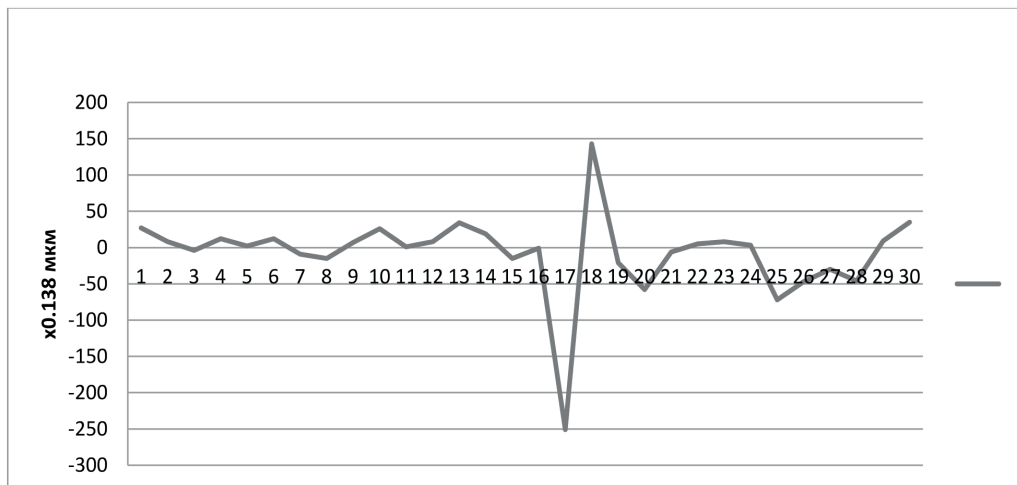


Рис. 23. Динаміка рухів кори в 2018–2019 рр.
Пункт деформометричних спостережень «Королево».

Відмічено загальне стиснення порід величиною: -44 мкм. Результати дослідження підтверджуються геодезичними вимірюваннями. Представлено на рисунку 24 динаміку сучасних рухів кори за результатами геодезичних вимірювань в напрямку схід–захід за 2018–2019 рр.



Рис.24. Динаміка рухів кори в напрямку схід–захід
в 2018–2019 рр. Виноградівський район.
Геодезичні вимірювання.

В результаті аналізу представленого графіка відмічено аномалії в рухах кори (рисунок 25).

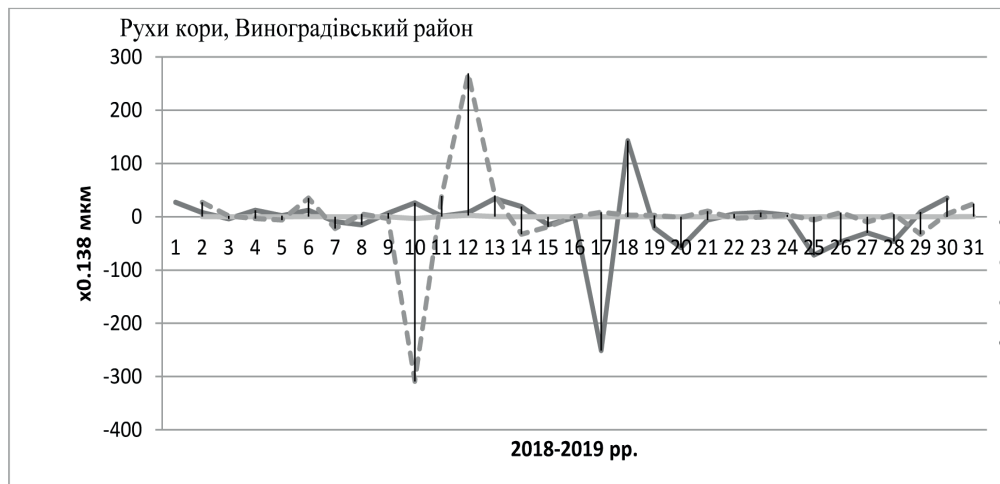


Рис. 25. Рухи кори в горизонтальному напрямку (схід-захід).
Геодезичні вимірювання – штрих лінія; деформометричні
вимірювання – суцільна лінія. 2018–2019 рр.

Відмічено періоди, де знаки рухів співпадають, проте більшість аномалій знаходяться в різних знакових сучасних горизонтальних рухів кори. Причиною, можуть бути особливості пов'язані із розташуванням пунктів спостережень. Деформометричні вимірювання проводилися на лівому березі річки Тиси в смт Королево(Виноградівський район). Геодезичні вимірювання проводилися на відстані 13 км на захід від Королево біля с, Тросник того ж району, але на протилежному березі річки Тиси на протиповеневій дамбі. Представлено результати комплексного аналізу сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому та центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину (рисунок 26).

Дослідження та аналіз графіків на рисунку 9 відмітили такі особливості:

- рухи кори в напрямку північ південь характерні аномалією, що співпадає із аномалією у результатах геодезичних вимірювань в напрямку схід-захід;
- інтервали змін динамічних характеристик співпадають, змінюється лише знак рухів кори при порівнянні рухів в зоні Оашського глибинного розлому та рухів у взаємно перпендикулярних напрямках-стиснення у зоні Оашського глибинного розлому супроводжується розширенням порід біля с. Тросник;
- виявлення таких аномальних зон важливе, оскільки вони можуть бути гіпоцентрами місцевої сейсмічності.



Рис.26. Рухи кори (горизонтальні, напрямок схід–захід) за геодезичними спостереженнями – штрих лінія; за деформометричними спостереженнями – крива сірого кольору; рухи кори в напрямку північ–південь (крива чорного кольору). 2018-2019 рік. Виноградівський район.

Висновки. В результаті проведених досліджень отримані важливі результати:

1. Рухи кори в досліджуваному регіоні за напрямком(схід-захід) співпадають за результатами отриманими обома методами-стиснення порід за вказаний період геодинамічного моніторингу.

2. Різні знаки рухів лежать в однакових часових інтервалах від координат місць спостереження- лівий та правий берег річки Тиси, що може бути регулюючим фактором в геомеханічних процесах перерозподілу енергії поверхневих шарів земної кори.

3. Наявність аномалій в динамічних характеристиках рухів кори за різними методиками свідчить про активність сейсмотектонічних процесів в регіоні.

4. Зміщення аномалій на кривих динамічних характеристик земної кори за різними методиками, може бути викликана, по-перше: георухами більших масштабів, їхніми джерелами. Тобто, причиною можуть бути зовнішні процеси, що поширюються із заходу на схід, відмічено аномалію на кривій отриманих в результаті геодезичних вимірювань.

5. Якщо напрям рухів зумовлений зовнішніми силами із південного сходу (Зона Вранча), тоді можна пояснити передування аномалії в рухах отриманих в смт. Королево.

6. Зсув фаз рухів кори отриманими за різними методами, може бути викликана фізичними характеристиками поверхневих шарів земної кори:

а) пониженою жорсткістю порід (с.Тросник, геодезичні вимірювання), та підвищеною жорсткістю в смт.Королево(Деформомграф);

б) це може бути неоднорідність земної кори, розлом меншого масштабу, на користь цього припущення можна використати результати геофізичного моніторингу протиповеневих дамб у Виноградівському районі, де на місці геодезичних вимірювань, в минулому проводилися вимірювання електромагнітної емісії, радіоактивного фону, вектора напруженості магнітного поля та вектора магнітної індукції.

7. Необхідно: провести геофізичний моніторинг даної ділянки земної кори: магнітного поля, параметрів радіоактивності, електромагнітної емісії.

8. Використати інші методи вимірювання рухів кори(точних).

9. Результати дослідження важливі для вирішення багатьох наукових проблем в геодинаміці та сучасних рухах кори, що відіграють ключову роль в екологічному стані Закарпаття як сейсмопрогностичному регіоні.

DOI: 10.51587/9798-9866-95921-2023-011-19-42