



ІГНАТИШИН Василь Васильович,

д-р філос. з фіз.-мат. наук,

Інститут геофізики імені С. І. Субботіна НАН України;

Закарпатський угорський Інститут імені Ференца Ракоці II

ORCID ID: 0000-0003-0727-2132

ІЖАК Тібор Йосипович,

д-р філос. географ. наук, доцент,

Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II

ORCID ID: 0000-0002-0940-8947;

МОЛНАР Д. Стефан Стефанович,

д-р філос. географ. наук, доцент,

Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II

ORCID ID: 0000-0003-2959-9136

РАЦ Адальберт Йосипович,

д-р філос. з природ. наук, доцент,

проректор з навчально-методичної роботи,

Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II

ORCID ID: 0000-0003-3780-2843

ІГНАТИШИН Адальберт Васильович,

інженер II категорії Відділу сейсмічності Карпатського регіону,

Інститут геофізики імені С. І. Субботіна НАН України

ORCID ID: 0009-0005-0393-572X

Україна

СЕЙСМОТЕКТОНІЧНІ ПРОЦЕСИ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГІНІ ЗА 2021 РІК (ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ)

Анотація. Актуальність дослідження сучасних горизонтальних рухів кори викликана підвищенням сейсмічності Закарпатського внутрішнього прогину, перебування геодинамічного стану регіону в інтервалі знакозмінних рухів кори. Також важливо досліджувати вплив рухів кори на геофізичні поля, зокрема на сейсмічність регіону, оскільки сейсмічність території є періодична, коли сейсмічна активність переходить в сейсмічне затишшя і навпаки. Тому важливо знаходити той період часу, коли спостережувані параметри перебувають в збуджених та аномальних станах, які супроводжуються швидким вивільненням енергії

напружено-деформованого стану порід. Щорічні спостереження рухів кори дають можливість побудови картини сейсмотектонічних процесів в Закарпатті, виділення інтервалів кореляції спостережуваних параметрів геофізичних полів. Розглянуто деформації земної кори в зоні Оашського глибинного розлому, просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 році. Результати отримані на режимній геофізичній станції «Тросник» та пункті деформометричних спостережень «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Проаналізовано зв'язок сучасних горизонтальних рухів та прояву місцевої сейсмічності в діапазоні місячних та добових спостережень. Відмічено – землетруси відбуваються в періоди локальних та сезонних знакозмінних процесах, при стисненні порід. Загальний характер рухів кори – є розширення порід величиною: $+12.6 \times 10^{-7}$. Результати важливі при вивченні будови земної кори в регіоні, побудові моделі геодинамічного та сейсмічного станів сейсмогенеруючих регіонів.

Ключові слова: деформограф, сучасні горизонтальні рухи кори, землетруси, зона Оашський глибинний розлом, Закарпатський внутрішній прогин, сейсмотектонічні процеси.

Вступ. Закарпатський внутрішній прогин-геологічна структура, яка охоплює Закарпаття, що відоме як сейсмонебезпечний регіон. Територію Закарпаття періодично трусить з різною силою, тут можливі сильні землетруси інтенсивністю до 8 балів за шкалою MSK-64. Сейсмологічні спостереження, які тут проводяться вказують на те, що протягом року сейсмічними станціями реєструють сотні слабких підземних поштовхів, супроводжуються декількома відчутними місцевими землетрусами. Проте існують періоди, коли відсутні місцеві землетруси, так зване сейсмічне «затишшя». Останній такий період відмічений з 2015 року по 2021 рік, коли на фоні сотень місцевих підземних поштовхів протягом декількох років не відмічено жодного відчутного землетрусу. Тільки в 2021 році на території Берегівського району було відмічено відчутний місцевий землетрус, після якого на території Закарпаття також відбулися місцеві відчутні землетруси, яке є результатом геодинамічних процесів в геологічних структурах Закарпатського внутрішнього прогину. Таким чином, важливо вивчення сучасних горизонтальних рухів кори та їх впливу на сейсмічність регіону, оскільки на території Закарпаття можливі

відчутні землетруси, що можуть вплинути на екологічний стан регіону. Метою роботи є вивчення ходу деформацій за 2021 рік та їх впливу на сейсмічність на регіону, пошук методик аналізу та обробки геофізичних спостережень, інтерпретацію отриманих результатів з метою отримання картини геологічних процесів, поповнення бази геофізичних даних, вивчення будови земної кори в Закарпатському внутрішньому прогині. Для вирішення поставленої мети роботи використано деформометричні спостереження в зоні Оашського глибинного розлому за 2021 рік, сейсмологічні бюлетені Закарпатських землетрусів за вказаний період. Результати досліджень можуть бути також використані при вивченні геодинаміки сейсмонебезпечних регіонів та при проведенні уроків та викладанні природничих дисциплін в системі загальноосвітніх закладах та позашкільної освіти, гуртків МАН України.

Огляд літератури. Дослідженню особливостей геофізичних та геологічних процесів в сейсмонебезпечних зонах присвячено багато публікацій, проте продовжується удосконалення старих та пошук нових методичних прийомів, що дозволять вирішити ті проблеми, що можуть виникнути на теренах геологічних структур. Для цього важливо знати геологічні аспекти сеймотектонічних процесів в Карпато-Балканському регіоні, їх зв'язок із напружено-деформованим станом порід в Закарпатському внутрішньому прогині. Процес росту Карпатської флішово-моласової призми відбувався внаслідок субдукції (суб)океанічної кори Флішового басейну під мікроплити АЛКАПА та Тисію-Дакію. Очевидно, в цей час сформувались вулканіти Вигорлат-Гутинського пасма, а утворення передового прогину пов'язано із завершенням процесу субдукції (суб)океанічної кори і часткового затягування в субдукційну зону (тільки під флішову призму Карпат) континентальної кори пасивного краю Євразії – структур платформи, яка блокувала субдукційний процес у регіоні¹. В регіоні проводяться моніторинги геофізичних полів, зокрема геомагнітний моніторинг. Наведено результати геомагнітного моніторингу при дослідженні сеймотектонічних процесів у Закарпатському прогині, виявлено тектономагнітні аномалії різної тривалості та інтенсивності, встановлено їх просторово-часовий зв'язок із сейсмічними подіями, та зроблено висновок про інформативність

1 Гнилко О. М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейнової тектоніки. Стаття 2. Флішові Карпати-давня акреаційна призма. *Геодинаміка*. 2012. 1(12). С. 67–68.

геомагнітного моніторингу в Закарпатській сейсмоактивній зоні для виявлення провісників місцевих землетрусів з магнітудою $M > 3$ в геолого-геофізичних умовах Закарпатського прогину². Українські Карпати перебувають наприкінці орогенної стадії розвитку і характеризуються невеликою сеймотектонічною активністю, що підтверджується наведеним аналізом місцевої сейсмічності; просторовий розподіл землетрусів у земній корі певною мірою відображають особливості геодинаміки цієї території і дають змогу дешифрувати деякі сейсмоактивні розломні зони в піднасувній товщі порід, які не можна задокументувати за приповерхневими геолого-геофізичними даними³. Проведено дослідження динаміки рухів земної кори Європи за період 2000–2010 рр., визначено абсолютні та регіональні річні вектори швидкостей зміщень перманентних станцій і побудовано карти-схеми річних векторів швидкостей горизонтальних зміщень, виділено умовні блоки земної кори (УБЗК), в межах яких спостерігається стала кінематика горизонтальних зміщень перманентних станцій, встановлено середню річну швидкість та напрям руху цих блоків, які необхідно для вивчення деформації земної кори досліджуваного регіону⁴. Для розуміння сеймотектонічних процесів в сейсмонебезпечних регіонах важливо дослідження швидкостей горизонтальних рухів кори. Тому цьому питанню приділена особлива увага. Обчислено цифрову модель лінійних швидкостей горизонтальних рухів земної поверхні для регіону Південно-Східної Європи, де розвинуто теорію визначення 2D-компонент тензорів швидкостей деформацій на основі аналітичного розв'язку для знаходження власних чисел та власних векторів разом зі строгим оцінюванням їх точності. Побудовано модель тензора швидкості горизонтальних деформацій для регіону Південно-Східної Європи (території України, Греції, Болгарії, Румунії, Туреччини та Ірану)⁵. Проведено дослідження зв'язку зареєстрованих варіацій рівня атмосферного інфразвуку з варіаціями атмосферного тиску та швидкістю вітру. Про це свідчить порівняння зареєстрованих варіацій з даними метеостанції «Берегове», розташованої за 4,5 км від РГС «Берегове»,

2 Максимчук В. Ю., Климович Т. А., Кузнецова В. Г., Ярема І. І. Інформативність геомагнітного моніторингу в Закарпатській сейсмоактивній зоні. *Геодинаміка*. 2012. 1(12). С. 136–144.

3 Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. Сейсмічність і деякі особливості сеймотектоніки Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2012. 1(12). С. 145–151.

4 Третяк К. Р., Вовк А. І. Дослідження динаміки горизонтальних рухів кори Європи за даними GNSS-спостережень (2000–2010 рр.). *Геодинаміка*. 2012. 2(13). С. 5–17.

5 Марченко О. М., Третяк К. Р., Ярема Н. П., Джуман Б. Б., Сідоров І. С. Поле лінійних швидкостей та руху земної кори у регіоні південно-східної Європи. *Геодинаміка*. 2012. 2(13). С. 18–27.

якщо вітер посилюється до 5–10 м/с, рівень інфразвуку в НЧ каналі зростає на порядок – до 1,5–2 Па, а при сильних поривах вітру та грозах – до 5–7 Па і більше, оскільки варіації тиску і є першопричиною виникнення вітру, а це викликає різномасштабні турбулентності, що спричиняють мікрофлуктуації тиску, які створюють як пориви вітру, так і інфразвук; враховуючи нелінійний зв'язок турбулентності з швидкістю вітрового потоку, саме різкі пориви вітру, особливо під час гроз спричиняють спостережувані варіації та різкі піки рівня атмосферного інфразвуку⁶. Сейсмоелектомагнітні явища можуть спричинити різноманітні ефекти магнітних збурень комбінованої природи. Теоретичне обґрунтування на цій основі фізичних механізмів і причин електромагнітних явищ показує, що електромагнітні провідники землетрусу, проявляються не завжди і мають досить жорсткі просторово-часові обмеження. Аналіз фізичних умов виникнення і поширення електромагнітного провідника показує, що ефективно реєструвати його можливо у ближній зоні землетрусу, яка залежить від просторово-геометричних характеристик⁷. Аналіз сутності проблеми та методів її вирішення за геодезичними даними в сучасних геодинамічних дослідженнях показує необхідність вдосконалення чинних методів та вироблення альтернативних рішень. У роботі⁸ розглянуто постановку проблеми з позицій проективно-диференціальної геометрії, беручи за основу теорію відображення поверхонь, окреслено шляхи вирішення проблеми, розв'язання якої пов'язано з координатними системами, що визначають положення геодезичних пунктів, та масштабами геодинамічних процесів. У результаті виконаних досліджень побудовано модель границі ізостатичної компенсації Українських Карпат, що узгоджується з даними сейсмічних досліджень. Застосована теорія локальної компенсації Ейрі–Хейсканена цілком підходить для вивчення ізостатичного стану регіону, обчислені ізостатичні редукції в комбінації з даними гравіметрії, які дали змогу отримати поле ізостатичних та мантийних аномалій; проведений аналіз результатів досліджень показав кореляційний зв'язок ізостатичних аномалій з

6 Назаревич А.В., Любінецький З.І., Микита А.Ю., Каратаєва Л.М., Мельник М.О., Малицький Д.В., Мезенцев В.П., Назаревич Л.Є., Коваль Ю.П. Дослідження атмосферного інфразвуку на режимній геофізичній станції «Берегове» у Закарпатті. *Геодинаміка*. 2012. 2(13). С. 84–89.

7 Шабатура О. В. Електромагнітна провідникова модель прогнозування локальних землетрусів. *Геодинаміка*. 2012. 2(13). С. 90–94.

8 Тадеев О. А., Тадеева О. О., Черняга П. Г. Проблема оцінки деформованого стану земної поверхні за геодезичними даними. *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 5–10. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.005>

тектонікою регіону⁹. Аналіз особливостей різновікового магматизму разом з іншим геолого-геофізичним матеріалом дав змогу реконструювати на різних стадіях альпійського етапу структуру і геодинаміку Панкардії, Українських Карпат зокрема, відмічено, що Альпійсько-Карпатсько-Динарська геосинкліналь – це новоутворена структура, що виникла на місці вже сформованої континентальної кори, яка на початку мезозою зазнала розтягу і деструкції в режимі пасивного рифтингу¹⁰. Детальні польові тектонофізичні дослідження та використання комплексного структурно-парагенетичного і кінематичного аналізу дали змогу визначити хронологічну послідовність полів напружень та виявити головні деформаційні фази для частини Скибового покриву, виділені деформаційні фази відображають динаміку та характер напружено-деформованого стану, що існував тут упродовж кайнозойського (палеоген-неогенового) часу формування Українських Карпат¹¹. Відтворено характерні часово-просторові закономірності модельованих процесів, виділено системи тріщин, що характеризують їх послідовні стадії, визначено роль кожної системи у структуроутворенні, показано приклади в геологічних структурах Берегівського горбогір'я у Закарпатті та деякі результати геофізичного моніторингу їх сучасного геодинамічного режиму¹². За допомогою методики комплексного аналізу просторово-часової еволюції модельних полів напружень і деформацій здійснено структурну інтерпретацію результатів і визначено положення зони першочергових крихких деформацій та передумови розвитку в ній насувів загальнокарпатської вергентності¹³. Розроблено методику та наведено алгоритм проведення комплексної інтегрованої кількісної інтерпретації геолого-геофізичних даних, який передбачає прогнозування зсувних процесів на кількісному ймовірнісному рівні з використанням функції комплексного показника ефективних параметрів, узгоджених із зсувною

9 Марченко Д. О., Максимчук В. Ю. Ізостазія Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 21–28. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.021>

10 Павлюк М.І., Ляшкевич З.М., Медведев А.П. Українські Карпати в структурі Панкардії (магматизм і геодинаміка). *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 45–60. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.045>

11 Віхоть Ю. М., Бубняк І. М. Реконструкція кайнозойських полів напружень у флішових комплексах долини річки Опір (Скибовий покрив, Українські Карпати). *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 68–77. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.068>

12 Бокун О.М., Назаревич А.В. Структура і динаміка зон горизонтального зсуву (за результатами фізичного моделювання і польових досліджень). *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 129–141. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.129>

13 Хом'як Л.М., Хом'як М.М. Моделювання напружено-деформованого стану осадового комплексу в зоні колізії та динамічні умови формування ранніх насувів Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 142–153. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.142>

небезпекою, основний комплексом геофізичних методів дослідження зсувних процесів - метод вертикального електричного зондування, метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі та метод природного електричного поля¹⁴. Визначення зв'язків між механізмами вогнищ землетрусів і напружено-деформованим станом гірських масивів у заданому сейсмічно-активному регіоні є важливою задачею, яка потребує свого вирішення для Карпатського регіону. Проблеми побудови таких механізмів у Закарпатській сейсмогенній зоні пов'язані перш за все із недостатньою кількістю сейсмічних станцій, які реєструють події, а також із невисокою сейсмічною активністю даного регіону¹⁵. ГІС-технології внесли принципово нові зміни в технологічні схеми обробки гідро-геологічної інформації, чим значно прискорили і оптимізували цей процес. Завдяки сучасним геоінформаційним системам отримано змогу моделювати гідрогеологічні процеси і явища, які швидко змінюються в просторі і часі, при цьому здійснюючи автоматизований аналіз просторової мінливості досліджуваного показника¹⁶. Екологічний стан Закарпаття: сеймотектонічний аспект, показано вплив можливих проявів місцевих землетрусів на екологію регіону, який займає особливе географічне положення¹⁷. Одним із методів дослідження впливу горизонтальних рухів кори на сейсмічність регіону є розрахунок фізичних параметрів геомеханічних рухів кори, який дозволяє виділяти інтервали часу, коли динаміка геофізичних процесів має подібний характер¹⁸. Швидкості сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому та їх зв'язок із сейсмічністю регіону вказують на ефективність побудови просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та сучасних гори-

14 Кузьменко Е. Д., Крив'юк І. В., Штогрин Л. В. Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів. *Геодинаміка*. 2013. 1(14). С. 176–187. URL : <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.176>

15 Малицький Д., Грицай О., Муйла О. Особливості побудови механізмів місцевих осередків землетрусів на прикладі Берегівської події 23.11.2006 р. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(60), 37–42. URL : <https://doi.org/10.17721/1728-2713.60.09>

16 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*, 1(60), 75–79. URL : <https://doi.org/10.17721/1728-2713.60.18>

17 Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Ігнатишин М. Б., Іжак Т. Й., Вербицький С. Т. Екологічний стан Закарпаття: сеймотектонічний аспект. Стратегування та планування регіонального розвитку в Україні в контексті досягнення Цілей 2030-Україна: збірник тез науково-практичної відео-конференції (електронне видання), 9 квітня 2021 р., К.: Інститут географії НАН України, 2021. 26 с. С.14–15.

18 Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Ігнатишин М. Б., Вербицький С. Т., Іжак Т. Й. Сучасні горизонтальні рухи земної кори та сейсмічність регіону: кінематичний аспект. І Міжнародна науково-теоретична конференція. Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 3), March 12, 2021. Vilnius, Republic of Lithuania: European Scientific Platform. P. 172–178. URL : <https://doi.org/10.36074/scientia-12.03.2021>

зонтальних рухів кори¹⁹. Проведена оцінка варіацій змін швидкостей геомеханічних рухів земної кори та їх зв'язку із сейсмічними процесами в Карпатському регіоні, швидкість рухів кори дозволяє згладжувати рафік зміщень земної кори, що дозволяє виділяти аномальні рухи кори та порівняти їх з часом прояву місцевої сейсмічності²⁰. Виконана оцінка сейсмотектонічних процесів в Карпатському регіоні із застосуванням динамічних характеристик сучасних горизонтальних рухів, тобто проведено розрахунок прискорення рухів кори та порівняно із кривою сейсмічності регіону, відмічено існування періодів часу, які об'єднують сейсмічну активність та аномальні горизонтальні рухи кори²¹.

Розділ 1.

ДЕФОРМОГРАФІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГІНІ, ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

На території Закарпаття починаючи з другої половини ХХ-століття проводяться комплексні геофізичні спостереження на пунктах геофізичних, сейсмологічних, деформетричних спостереженнях (рис. 1).

Зі створенням Карпатського геодинамічного полігону на території Закарпаття було створено сітку спостережних пунктів та станцій: режимних геофізичних станцій, сейсмічних станцій та пунктів деформетричних спостережень. На режимних геофізичних станціях проводилися спостереження параметрів геофізичних полів насамперед магнітного поля Землі, всі режимні геофізичні станції обладнані магнітометрами: РГС «Н-Селище», РГС «Тросник», РГС «Берегове», РГС «Брід»; сейсмічними станціями нового типу DAS. Також проводяться метеорологічні спостереження, зокрема на РГС «Тросник» за допомогою двох типів метеорологічних станцій: швидкість та

19 Швидкості сучасних горизонтальних рухів в зоні Оашського глибинного розлому: сейсмічний аспект // Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Ігнатишин М. Б., Вербицький С. Т., Іжак Т. Й. *Actual trends of modern scientific research. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference*. MDPC Publishing. Munich, Germany. 2021. P. 285–296. URL : <https://sci-conf.com.ua/viii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-actual-trends-of-modern-scientific-research-14-16-marta-2021-goda-myunhen-germaniya-arhiv/>.

20 Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Іжак Т. Й., Ігнатишин М. Б. Оцінка варіацій змін швидкостей геомеханічних рухів земної кори та їх зв'язку із сейсмічними процесами в Карпатському регіоні. *Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А.С.Макаренка Географічні науки*. Том 2. Випуск 2. С. 70–83.

21 Оцінка сейсмотектонічних процесів в Карпатському регіоні із застосуванням динамічних характеристик сучасних горизонтальних рухів // Ігнатишин В. В., Ігнатишин А. В., Вербицький С. Т., Ігнатишин М. Б., Іжак Т. Й. *Scientific trends: modern challenges. Volume 1 : collective monograph* / Compiled by V. Shpak; Chairman of the Editorial Board S. Tabachnikov. Sherman Oaks, California : GS Publishing Services, 2021. 202 p. Pp.35–44. URL : <https://doi.org/10.51587/9781-7364-13302-2021-002>

напрям вітру, атмосферного тиску, вологості повітря та атмосферних опадів. Тривалий період тут вимірюють електромагнітну емісію у всіх діапазонах (2–50 кГц), радіоактивний фон.



Рис. 1. Геофізичні спостереження на території Карпатського геодинамічного полігону, мережа геофізичних та сейсміологічних станцій Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України; геологічні структури Закарпатського внутрішнього прогину; розташування пунктів спостереження параметрів геофізичних полів в регіоні.

На території Закарпатського внутрішнього прогину починаючи з 80-х років минулого століття проводяться деформометричні спостереження спочатку в штольні с. Мужієве (Берегівський район, Закарпатська область) за допомогою двох горизонтальних деформографів базами 11 м 22 м. Отримані результати відмітили головні напрямки рухів кори в точці спостереження розширення порід в близько меридіональному напрямку та стиснення порід в близько широтному напрямку. В 1989 році в штольні режимної геофізичної станції «Берегове» було змонтовано два взаємно перпендикулярні деформометри відповідно базами: 6 м та 24.5 м. Отримані результати дослідження сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Берегівського горбогір'я на відстані 8 км від

деформометричної станції «Берегове-1» підтвердили раніше отримані напрямки рухів кори: стиснення в близько широтному напрямку та розширення порід в близько меридіоанальному напрямку. Отриманий результат може свідчити про те, що обидві станції знаходяться на одній геологічній структурі. З метою вивчення геодинамічного стану центральної частини Закарпатського внутрішнього прогину було змонтовано горизонтальну деформометричну станцію в штольні Замкової гори в селищі Королеве Берегівського району, Закарпатської області. Змонтована деформометрична станція базою 24.5 м реєструє сучасні горизонтальні рухи кори в східно-західному напрямку починає працювати в 1999 році. Підсилення деформометра становить 0.138 мкм на 1 мм запису, деформації деформографа становлять 5.63 нстр на 1 мм запису деформограми. Деформометрична станція працює в безперевному режимі, запис ведеться на фотопapіp, oскiльки велика вологiсть примiщення викликає збiй електронної апаратури. Вікові ходи деформацій на пункті деформометричних спостережень лежать в інтервалі сучасних горизонтальних рухів кори в Карпато-Балканському регіоні. Аналіз комплексних геофізичних спостережень в регіоні відмітив факт зв'язку сучасних горизонтальних рухів кори та місцевої сейсмічності, спостерігали відгук геофізичних полів на сейсмотектонічні процеси в регіоні. Вказано на те, що деякі параметри метеорологічного та гідрогеологічного стану середовища впливають на динаміку рухів кори та прояв сейсмічного стану регіону. Важливість дослідження сучасних горизонтальних рухів кори в сейсмонезбезпечному регіоні викликано тим, що раніше було виявлено зв'язок рухів кори та розрядки напружено-деформованого стану порід. Зокрема вказано на зв'язок знакозмінних процесів в сучасних горизонтальних рухів кори та сейсмічної активізації- після періоду зміни напрямку вікових рухів кори частота прояву місцевої сейсмічності зростає. Також важливо вивчити на локальному рівні зв'язок напрямків рухів кори та їх динаміку із проявом сейсмічності. Сучасні рухи кори мають періодичний характер- змінюючи величину зміщень та напрямків рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому.

В даному розділі представлено результати обробки даних деформометричної станції «Королеве» за 2021 рік та їх зв'язок із сейсмічністю Закарпатського внутрішнього прогину, яка показана в сейсмологіч-

них бюлетенях Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України. Для вирішення задачі використано просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності за 2021 рік, щогодинні спостереження деформацій земної кори в зоні Оашського глибинного розлому. В місячному діапазоні розглянуто рухи кори та місцеву сейсмічність, проаналізовано інтервали інтенсивних рухів кори та сейсмічної активності, виконано кореляційний аналіз спостережуваних геофізичних параметрів. Отримані результати важливі для прогнозування сеймотектонічних процесів в сейсмогенеруючих регіонах, зокрема в Закарпатському внутрішньому прогині. Сейсмічна небезпека, гідрогеологічний та метеорологічний фактори є одними із аспектів погіршення екологічного стану Закарпаття та сусідніх країн. Важливо відмітити про взаємозв'язок гідрологічного та сеймотектонічного станів регіону: як правило погіршення метеорологічного та гідрогеологічного станів супроводжується погіршенням сейсмічного стану даного сейсмонебезпечного регіону. Гідрологічний стан може змінити геомеханічний баланс в сучасних горизонтальних рухах кори, а саме прискорити розрядку напружено-деформованого стану порід, яка представлена серіями слабких та сильних місцевих підземних поштовхів різного енергетичного класу та магнітуди.

Розділ 2.

СУЧАСНІ РУХИ КОРИ ТА МІСЦЕВА СЕЙСМІЧНІСТЬ ЗА 2021 РІК

Представлено просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності за 2021 рік в місячних діапазонах (рис. 2). Проведено порівняння інтервалів сейсмічної активності регіону та інтервали інтенсивних рухів кори за 2021 рік в місячних інтервалах дослідження. В січні 2021 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 20 місцевих землетрусів(епіцентри яких лежать в околі 100 км від сейсмічної станції режимної геофізичної станції в селі Тросник, Берегівського району, Закарпатської області). Сейсмологічні спостереження проводяться по всій Закарпатській області через мережу сейсмічних, геофізичних та деформометричних станцій Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії (Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України).

Аналіз просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності за січень 2021 року та характер руху кори в зоні Оашського глибинного розлому виміряні на пункті деформометричних спостережень «Королеве» привели до таких висновків: сейсмічність проявлена в першій та третій декаді січня; рухи кори в ці періоди представлені інтенсивними стисненнями, що переходять в інтенсивні розширення порід з однаковими швидкостями проте різного напрямлення; важливо відмітити-сейсмічність регіону корелюється із критичними точками рухів кори – мінімумами та максимумами, тобто відмічено: сейсмічність найвища в періоди знакозмінних процесів в рухах кори; очевидно висока швидкість рухів може бути причиною накопичення енергії геомеханічних рухів, які розряджаються через місцеві поштовхи. Загальний характер руху верхніх шарів земної кори в січні представлений стисненнями величиною: -4.83 мкм, деформація порід становить: -1.97 нстр.



Рис. 2. Сейсмічні процеси (крива сірого кольору), сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива чорного кольору). Січень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Лютий 2021 року. В лютому 2021 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 17 місцевих землетрусів. Показано графіки просторово-часового розподілу та характеру сучасних горизонтальних рухів кори (рис. 3).

Сейсмічність на початку місяця в інтервалі стиснення порід, сейсмічність другої половини місяця при інтенсивному розширенні порід та локальних стисненнях порід. В лютому 2021 року верхні шари земної кори

перебувають в стані розширення величиною $+11.18$ мкм, деформація становить: $+450$ нстр ($+4.5 \times 10^{-7}$)

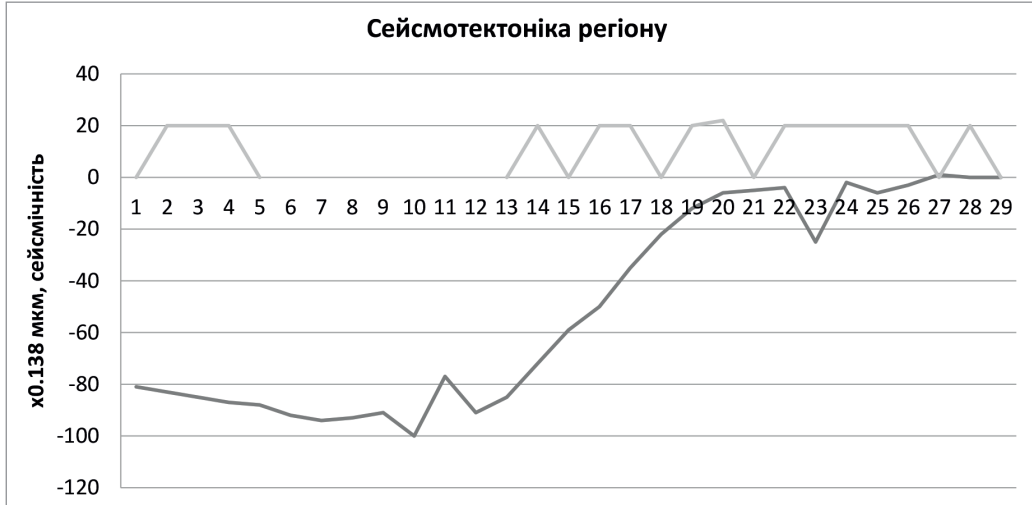


Рис. 3. Сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору),
сучасні рухи кори (крива чорного кольору).
Закарпатський внутрішній прогин, лютий 2021 року.

Березень 2021 року. В березні на теренах Закарпаття зареєстровано 14 місцевих землетрусів, проведено вивчення зв'язку із рухами кори в зоні Оашського глибинного розлому (рис. 4).

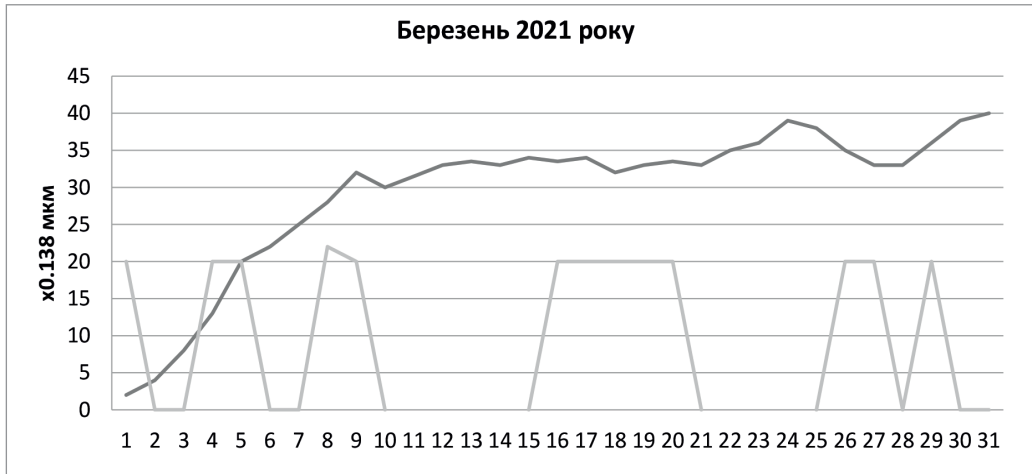


Рис. 4. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності
(діаграма сірого кольору); рухи кори (крива чорного кольору).
Закарпатський внутрішній прогин.

Землетруси першої декади місяця відбуваються при швидкостях рухів кори вищих за ці параметри в другій та третій декаді місяця. Біль-

шість землетрусів реєструються при стисненнях порід, мінімумах рухів кори. Величина розширення порід за лютий 2021 рік в зоні Оашського глибинного розлому становить :+5.244 мкм, деформація порід становить: +225 нстр.

Квітень 2021 року. В квітні зареєстровано 27 місцевих землетрусів на території Закарпаття (рис. 5).

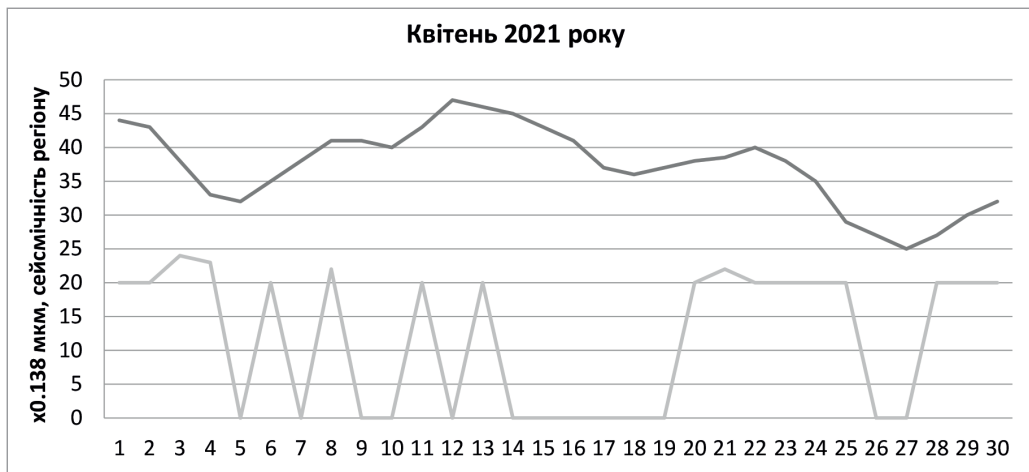


Рис. 5. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (крива сірого кольору), рухи кори (крива чорного кольору). Закарпатський внутрішній прогин, квітень 2021 року.

Сучасні горизонтальні рухи кори в квітні 2021 році в регіоні – це стиснення порід величиною: -1.656 мкм, деформація становить: $-67,6$ нстр. Кількість землетрусів збільшується, якщо маємо стиснення порід протягом всього місяця.

Періодичність рухів кори та періодичність сейсмічної активності корелюються між собою, землетруси відбуваються при стисненнях порід та в інтервалах, що супроводжують критичні точки рухів кори.

Травень 2021 року. В травні 2021 року на території Закарпатського внутрішнього прогину зареєстровано 20 місцевих землетрусів (рис. 6).

Сейсмічність регіону представлена другою та третьою декадою місяця в період інтенсивного стиснення, та зміни знаку рухів кори в інтервалі 2–3 діб. Стиснення при цьому характерні величиною: від -0.7 мкм за добу до -1 мкм за добу, Розширення порід в інтервалі реєстрації місцевих землетрусів під час активізації сейсмічного стану становить: $+0.2$ мкм за добу – до $+0.3$ мкм за добу. Землетруси супроводжують знакозмінні геомеханічні рухи кори.

Червень 2021 року. В червні 2021 року зареєстровано 25 місцевих землетрусів, жодного відчутного (рис. 7).

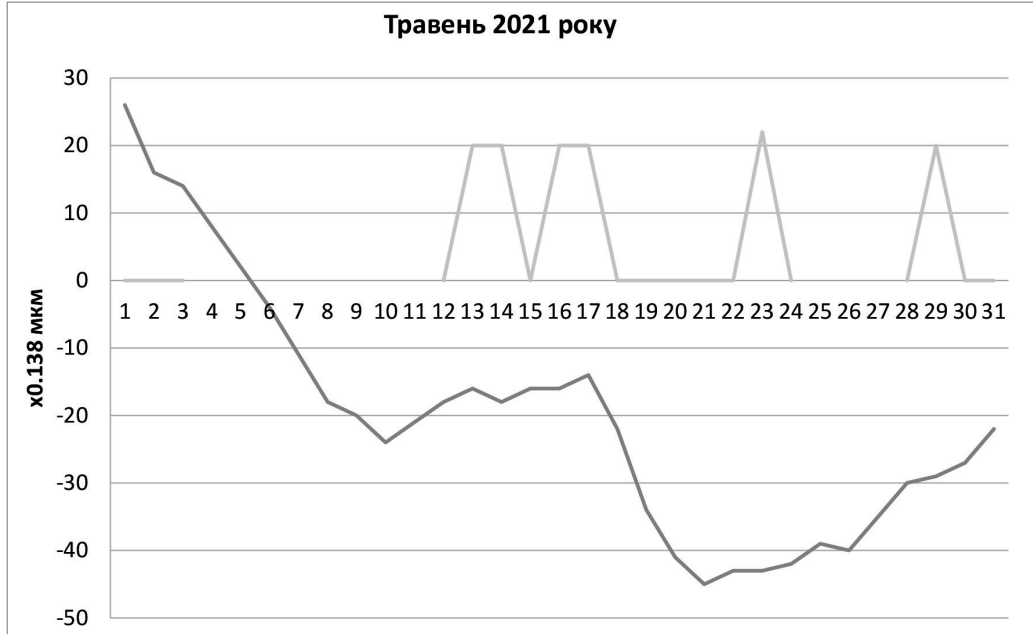


Рис. 6. Сейсмічність регіону (діаграма сірого кольору), сучасні рухи кори (крива чорного кольору) за травень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

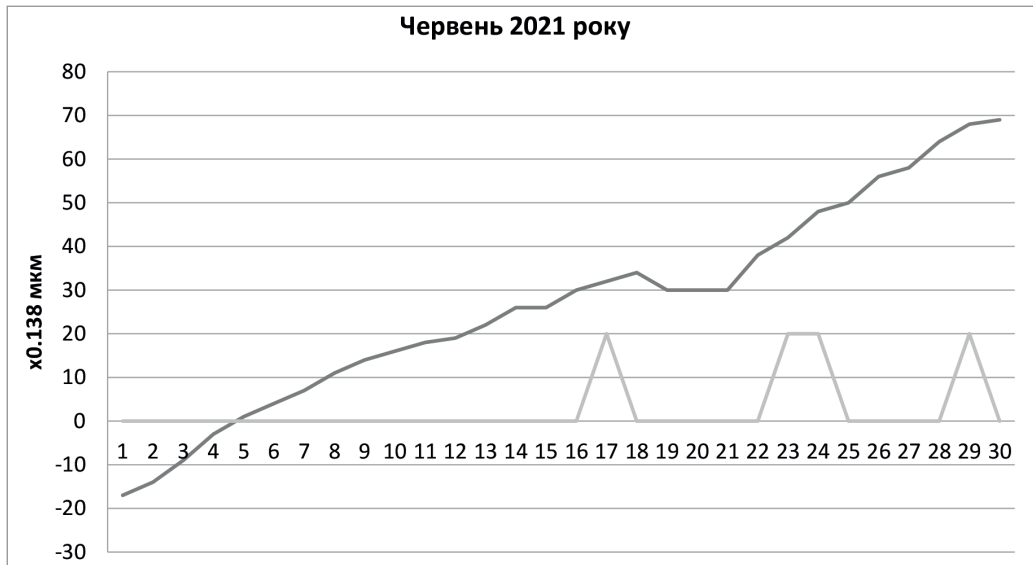


Рис. 7. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма сірого кольору) та рухи кори в зоні Оаїського глибинного розлому (крива чорного кольору) за червень 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Рухи кори-розширення порід величиною: $+0.38$ мкм за добу, та $+0.7$ мкм/добу. Інтервали із швидшими рухами кори супроводжуються частішим проявом місцевої сейсмічності. Таким чином, сейсмічність залежить від геодинамічного стану та динаміки його зміни.

Липень 2021 року. В липні 2021 року на території Закарпаття зареєстровано 51 місцевий землетрус (рис. 8).

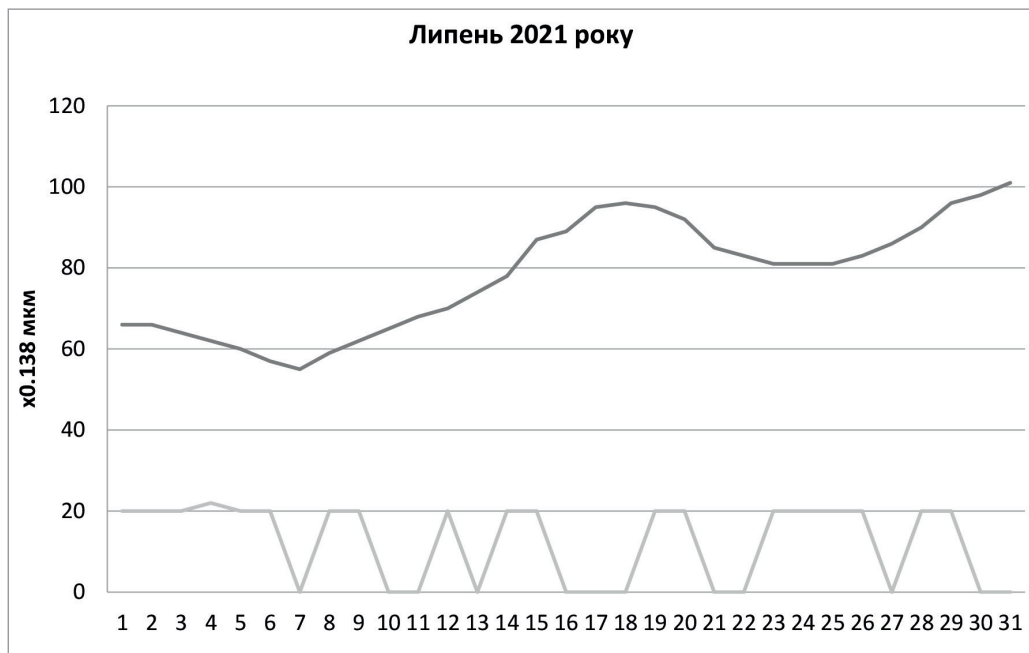


Рис. 8. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (діаграма сірого кольору) та сучасні горизонтальні рухи кори (крива чорного кольору) в липні 2021 року.
Закарпатський внутрішній прогин.

Кількість місцевих землетрусів збільшується при рухах земної кори різного знаку: стиснення величиною -0.3 мкм за добу, -0.8 мкм за добу, розширення величиною: $+0.55$ мкм за добу, $+0.46$ мкм за добу. Оскільки липень характерний підвищеною сейсмічністю, то визначити характер рухів при сейсмічній розрядці важко. Тобто землетруси реєструвалися як при стисненнях так і при розширеннях порід.

Проведено дослідження зв'язку просторово-часового розподілу місцевої сейсмічності та динаміки сучасних горизонтальних рухів кори за 2021 рік в Закарпатському внутрішньому прогині (рис. 9).

Розглянуто результати комплексних геофізичних спостережень на території Закарпатського внутрішнього прогину за 2021 рік (рис. 10).

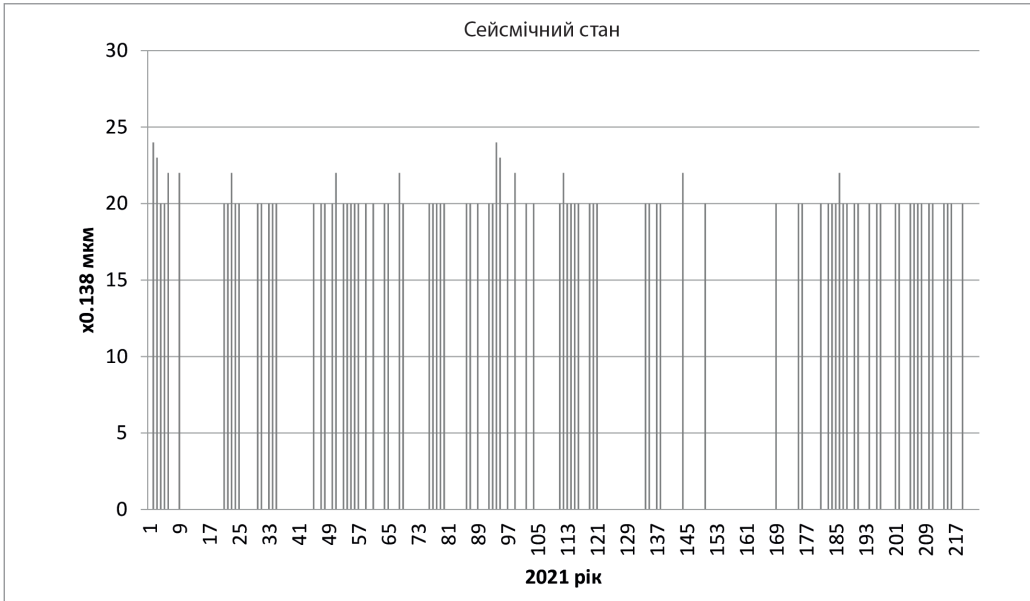


Рис. 9. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності в Закарпатському внутрішньому прогині за 2021 рік.

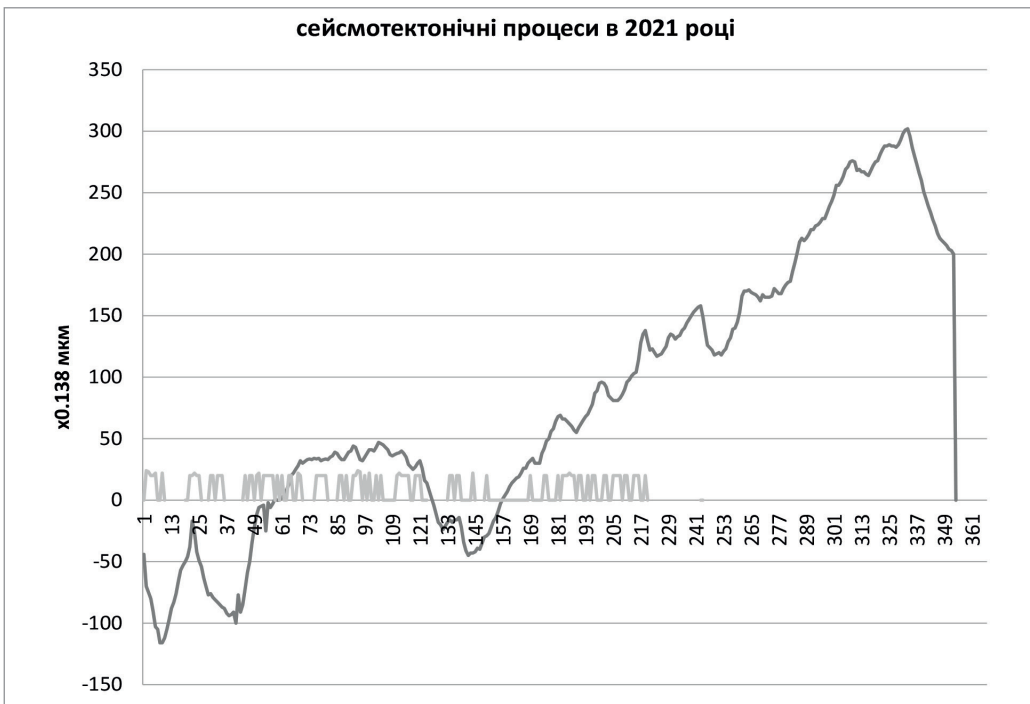


Рис. 10. Просторово-часовий розподіл місцевої сейсмічності (крива сірого кольору) та сучасні рухи кори (крива чорного кольору) в 2021 року. Закарпатський внутрішній прогин.

Середня добова швидкість рухів кори становить $+0.077$ мкм. Сейсмічність регіону за 2021 рік подібна до сейсмічності минулих років, коли протягом року реєструються сотні місцевих слабких землетрусів. Землетруси відбуваються в основному при локальних стисненнях порід. Сучасні горизонтальні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому, зокрема в перші 5 місяців представлені коливаннями рухів кори з періодами 1-3 місяці. Потім спостерігаємо лінійний характер розширення порід, який завершується в грудні 2021 року, коли відмічено інтенсивне стиснення порід. Загальний характер рухів кори в 2021 році – є розширення порід величиною: $+12.6 \times 10^{-7}$. Можливий знакозмінний характер сучасних горизонтальних рухів кори, які попереджують про підвищення сейсмічності регіону. Восени 2021 року на території села Фанчикова були зареєстровані місцеві підземні поштовхи, які були відчутні населенням. Таким чином, підтвердилося припущення про підвищення місцевої сейсмічності на фоні загального сейсмічного зростання, що може бути індикатором сейсмічної активізації центральної частини Закарпатського внутрішнього прогину.

Висновки.

Підтверджуються отримані раніше висновки: сейсмічність підвищена в періоди, що слідують за періодами знакозмінних процесів, тому виявлення цих особливих періодів є актуальною задачею, що дозволить мати оцінку сейсмотектонічних процесів в регіоні. Подібні явища відмічені також при розгляді тривалих періодів сучасних рухів кори, тобто за весь період деформометричних спостережень 1999-2021 рік. Було відмічено періоди тривалістю 12 років, 2 із яких були характерні низькими швидкостями рухів кори або навіть протилежними рухами. Особливістю цих процесів є те, що періоди розширення порід супроводжувалися підвищеннями сейсмічної активності регіону. Розгляд геофізичних полів в короткому діапазоні, тривалістю в 1 рік також показує на сейсмічну активізацію після періодів зміни знаків рухів кори на протилежний. Густина прояву місцевої сейсмічності подібна до минулих років-до 2-х сотень місцевих землетрусів, серед яких один відчутний 27 жовтня 2021 року в Берегівському районі. Таким чином, сейсмотектонічна ситуація нагадує ситуацію, що була відмічена протягом останніх років, проте трохи змінена в зв'язку із відсутністю

відчутних місцевих землетрусів протягом 2015–2020 рр. Періоду сейсмічного затишшя передує інтервал часу, що характеризується підвищеною частотою прояву місцевої сейсмічності. В липні-жовтні 2015 року на території Закарпатського внутрішнього прогину, біля селища Буштино Тячівського району Закарпатської області відбулося багато місцевих землетрусів. Зокрема за період від 19 липня по жовтень 2015 року зареєстровано близько сотні підземних поштовхів серед яких було 6 відчутних населенням краю. В період сейсмічної тишини на фоні сотень невеличких місцевих землетрусів не відмічались відчутні місцеві сейсмічні події, хоча за статистикою в Закарпатському внутрішньому прогині щороку реєстрували від 2 до 6 місцевих землетрусів за останні 10 років. Періоди, що передували цьому були характерними сейсмічними подіями – один або два відчутних місцеві землетруси протягом 4–6 років. Ситуація змінилася в залежності від напружено-деформованого стану порід, сейсмічність також варіює, на неї впливають також інші фактори, які необхідно дослідити та вивчити. Важливо також вивчити рухи кори в інших частинах Закарпаття, щоб зрозуміти причини, характер горизонтальних рухів кори та вертикальних зміщень, які важливі при вивченні можливості прояву сильних підземних поштовхів в регіоні.

DOI: 10.51587/9798-9895-14649-2024-118-5-23