

Геофізичні аспекти сучасних горизонтальних рухів у центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину

**В.В. Ігнатишин^{1,2}, Д.В. Малицький¹, Б.Є. Купльовський¹, Т.Й. Іжак²,
С.С. Молнар², А.Й. Рац², М.Б. Ігнатишин¹, А.В. Ігнатишин¹, 2025**

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна,

²Закарпатський уторський інститут ім. Ференца Ракоці II, Берегове, Україна

Проведено вивчення просторово-часового розподілу сейсмічності Карпатського регіону за 2023 р., проаналізовано результати досліджень і наукових доробок в питанні вивчення геофізичних процесів в сейсмогенеруючих регіонах. Актуальність проведених досліджень викликана тим, що останнім часом відмічають певні особливості сейсмічної активності в сейсмогенеруючому регіоні та збільшення ймовірності прояву сильних відчутних землетрусів. Проаналізовано результати спостережень сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому. Проведено дослідження зв'язків між параметрами сучасних рухів кори та просторово-часовим розподілом сейсмічності Карпатського регіону, зокрема Закарпатського внутрішнього прогину та зони Вранча (Румунія). Показано існування знакозмінних процесів у горизонтальних рухах кори в Закарпатському внутрішньому прогині в досліджуваній інтервал часу. У сучасних горизонтальних рухах кори не визначився знакозмінний процес, який визначає характер рухів кори у період до 10—12 років і є важливим у формуванні сейсмічної активності регіону. Встановлено, що місцева сейсмічність корелюється із сейсмічністю потужного сейсмогенеруючого регіону (зона Вранча), сейсмічність паралельно зростає в обох регіонах починаючи з травня—червня 2023 р. Сейсмічність регіону пов'язана із процесами локального стиснення гірських порід, виміряних в штольні пункту деформометричних спостережень «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

Ключові слова: рухи кори, деформації, землетруси, Закарпатський внутрішній прогин, зона Оашського глибинного розлому.

Вступ. Актуальність геодинамічних і сейсмологічних спостережень на території Карпатського регіону, зокрема Закарпатського внутрішнього прогину, викликана тим, що тут реєструються місцеві землетруси різного енергетичного класу, серед яких вирізняються відчутні. Частота прояву відчутних місцевих землетрусів в цьому регіоні коливається від одного до шести на рік на фоні десятків слабких підземних

поштовхів. У статті [Tretiak, Brusak, 2022] проаналізовано сучасні тенденції горизонтальних і вертикальних зміщень території заходу України за даними глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС), побудовано карти рухів з виділенням зон деформацій верхнього шару земної кори. Встановлено, що зони стиску виділяються на Закарпатті, території Закарпатського глибинного розлому та північному заході

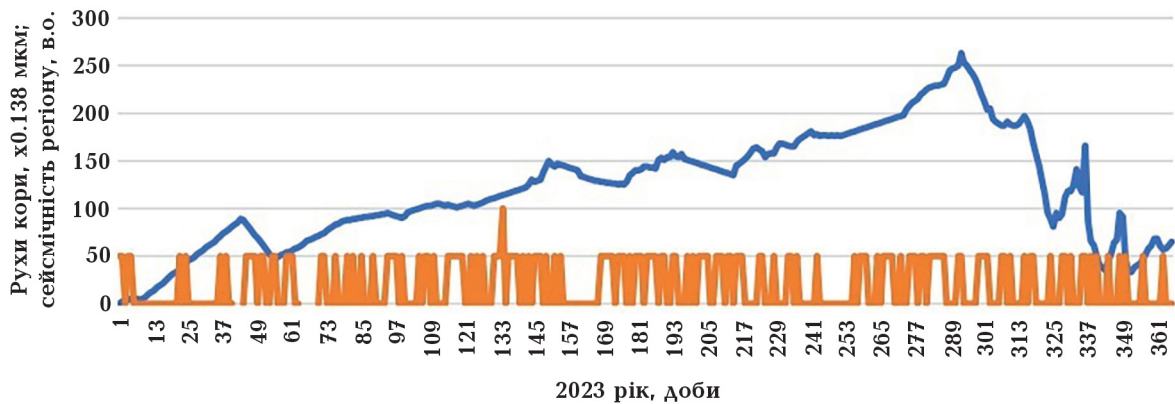
Citation: Ignatyshyn V.V., Malytsky D.V., Kuplovskyi B.E., Izhak T.Y., Molnar D.S.S., Rats A.Y., Ignatyshyn M.B., & Ignatyshyn A.V. (2025). Geophysical aspects of modern horizontal movements in the central part of the Transcarpathian Internal Trough. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 221—225. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.320370>.

Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

регіону. Збільшення кількості перманентних ГНСС-станцій сприяє покращенню точності визначення сучасних ротаційних параметрів тектонічних плит, які є основою для моделювання та аналізу глобальних, регіональних і локальних геодинамічних процесів [Savchyn, 2022]. У статті [Gnur, 2022] визначено координати вогнищ серії слабких ($1,0 < ML < 2,5$) схожих між собою (повторних) землетрусів, що відбувалися протягом 2013—2015 рр. поблизу с. Тросник на півдні Закарпаття. Врахування викладених у публікації [Nazarevych et al., 2022] особливостей сейсмотектоніки зони зчленування Оашського і Закарпатського розломів сприятиме уточненню оцінок характеристик та особливостей просторового розподілу природних геоекологічних та сейсмотектонічних ризиків і небезпек у центральній частині Українського Закарпаття. У статті [Doskich et al., 2023] побудовано карту горизонтальних деформацій земної кори на території України за даними часових рядів координат ГНСС станцій, вказано на різнонаправленість цих зміщень, спричинених наявністю сучасних субвертикальних і субгоризонтальних розломів та розломних зон. Аналіз часового розподілу місцевої сейсмічності та горизонтальних рухів кори за весь період деформометричних спостережень у зоні Оашського глибинного розлому підтвердив підвищення сейсмічності регіону в інтервалах інтенсивних рухів корита їх зв'язок із геофізичними полями [Ігнатишин та ін., 2022, 2024]. У статті [Андрущенко та ін., 2023] показано, що за результатами інструментальних спостережень у 2021 р. на територіях України та суміжних держав сталося понад півтори сотні землетрусів, частина яких належить до глибокофокусної зони Вранча (Румунія). Метою дослідження є виявлення зв'язків між параметрами геодинамічного стану Оашського глибинного розлому та сейсмічністю територій Карпатського регіону, зокрема Закарпатського внутрішнього прогину. Об'єктом дослідження є геодинамічний та сейсмічний стан сейсмогенеруючого регіону. Предметом дослідження

є зв'язки між варіаціями зміщень земної кори в зоні Оашського глибинного розлому та часовим розподілом місцевої сейсмічності, особливості їх прояву.

Результати досліджень. Побудовано часовий розподіл зміщень земної кори, які вимірювалися на пункті деформометричних спостережень (ПДС) «Королеве» Відділу сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України в 2023 р. в зоні Оашського глибинного розлому. На ПДС функціонує змонтований горизонтальний кварцовий деформометр базою в 24,5 м, азимут деформометра становить 80° (напрямок зі сходу на захід). Аналізуючи часовий розподіл рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2023 р., встановлено, що відбувається розширення порід величиною $+9$ мкм, деформації земної кори при цьому становлять 382 нстр. Важливо звернути увагу на знакозмінний процес у горизонтальних рухах кори в зоні Оашського глибинного розлому за 2023 р.: протягом 9,5 місяців рухи кори вирізняються розширенням порід із постійною швидкістю $0,2$ мкм/добу. Для решти року характерне стиснення порід величиною $-27,6$ мкм, швидкість зміщення в цей період становила $0,4$ мкм/добу, періодичність у рухах кори — від 10 до 50 діб, переважають коливання з періодами 30—40 діб, що ймовірно пов'язано із сезонними варіаціями параметрів геофізичних полів. Для вивчення сейсмічного стану регіону використано результати сейсмічних спостережень, проведених на режимних геофізичних станціях, сейсмічних станціях і пунктах деформометричних спостережень Карпатської дослідно-методичної геофізичної та сейсмологічної партії ВСКР ІГФ ім. С.І. Субботіна НАН України за допомогою цифрових сейсмометрів DAS-05. Протягом 2023 р. в Карпатському регіоні сейсмічними станціями Відділу сейсмічності Карпатського регіону зареєстровано 183 підземні поштовхи різного енергетичного класу та на різних епіцентральної відстані. Землетруси охоплюють територію Закарпаття, інших областей України, прилеглих тери-



Сейсмічність Карпатського регіону (діаграма коричневого кольору), сучасні рухи кори в зоні Оашського глибинного розлому (крива синього кольору), 2023 р.

Seismicity of the Carpathian region (brown diagram), modern crustal movements in the Oash deep fault zone (blue curve), 2023.

торій сусідніх країн: Угорщини, Словаччини, Румунії. Аналіз часового розподілу місцевої сейсмічності за 2023 р. вказує на те, що виділяються серії місцевих землетрусів, частота прояву яких підвищується в середині року. Серед зареєстрованих землетрусів 56 сталося на території Закарпатського внутрішнього прогину, глибини підземних поштовхів варіюють в інтервалі 2—140 км, закарпатські землетруси мають невелику глибину порівняно із землетрусами зони Вранча (Румунія). Сейсмічність Закарпаття та зони Вранча підвищується починаючи з травня—червня 2023 р. Проведено дослідження можливого зв'язку сейсмічності Карпатського регіону та сучасних горизонтальних рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому Закарпатського внутрішнього прогину за період 2023 р. (рисунок).

Аналіз часового розподілу сейсмічності Карпатського регіону за 2023 р. і сучасних горизонтальних рухів кори, виміряних в зоні Оашського глибинного розлому, показує, що сейсмічність у регіоні підвищується в періоди стиснення гірських порід; сейсмічна активізація в регіоні проходить після інтервалу часу, коли реєструють знакозмінні процеси в сучасних горизонтальних рухах кори, що підтверджують результати, отримані в попередні роки. Періоди, що охоплюють знакозмінні

процеси, характерні акумуляцією геомеханічної енергії та розрядкою напружено-деформованого стану порід через швидкі рухи кори — землетруси. Сейсмічність Закарпаття та зони Вранча активізується в інтервалі часу знакозмінних геомеханічних рухів у другій половині року.

Висновки. Отримані величини рухів кори лежать в інтервалі визначених раніше характеристик сучасних горизонтальних рухів в Карпато-Балканському регіоні. Визначено характер руху земної кори в досліджуваній період — розширення порід, що змінило стиснення порід в 2022 р., величиною -31 мкм, деформація порід становила -1087 нстр ($-10,87 \cdot 10^{-7}$). Величина зміщення земної кори за 2021 р. становила $+30$ мкм, деформація кори дорівнює 1261 нстр ($12,61 \cdot 10^{-7}$). Сучасні рухи кори в центральній частині Закарпатського внутрішнього прогину перебувають у стані періодичної зміни напрямків руху. Немає тривалого періоду однозначних рухів, що є важливим для формування сейсмічної активності регіону. Часовий розподіл місцевої сейсмічності за 2023 р. подібний до сейсмічності регіону в минулі роки. Коефіцієнт кореляції сейсмічності Закарпаття та рухів кори в зоні Оашського глибинного розлому в місячному діапазоні становить $0,45$. Сучасні результати досліджень підтверджують раніше отримані висновки,

що місцеві та близькі землетруси реєструються в періоди локальних стиснень земної кори. Часовий розподіл сейсмічності зони Вранча (Румунія) за 2023 р. передусь сей-

смічності Закарпатського внутрішнього прогину в інтервалі двох місяців, що може бути підтвердженням зв'язку сейсмічності цих сейсмогенеруючих регіонів.

Список літератури

- Андрущенко Ю.А., Ляшук О.І., Фарфуляк Л.В., Амашукелі Т.А., Ганієв О.З., Осадчий В.І., Петренко К.С., Вербицький С.Т. Національний сейсмологічний бюлетень України за 2021 р. *Геофіз. журн.* 2023. Т. 44. № 6. С. 162—180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649>.
- Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Моніторинг сейсмотектонічних процесів у Закарпатському внутрішньому прогині за результатами комплексних геофізичних спостережень. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2022. Т. 3. № 98. С. 42—48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05>.
- Ігнатишин В., Малицький Д., Іжак Т., Молнар С., Ігнатишин М., Ігнатишин А. Геодинамічний стан Закарпатського внутрішнього прогину за результатами деформетричних спостережень у регіоні. *Вісник Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2024. Т. 1. № 104. С. 13—21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02>.
- Doskich, S., Savchuk, S., & Dzhuman, B. (2023). Determination of horizontal deformation of the Earth's crust on the territory of Ukraine based on GNSS measurements. *Geodynamics*, 2(35), 89—98. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.089>.
- Gnyr, A. (2022). Determination of differential locations and focal mechanism of the 2013—2015. Earthquake in Trosnyk, Transcarpathians: methodological aspects and analysis of the results. *Geodynamics*, 2(33), 50—63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.
- Nazarevych, A., Nazarevych, L., Bayrak, H., & Pyrizhok, N. (2022). Seismotectonics of the Oash and Transcarpathian deep faults junction zone (Ukrainian Transcarpathians). *Geodynamics*, 2(33), 99—114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.
- Savchyn, I. (2022). Determination of the recent rotation poles of the main tectonic plates on the base of GNSS data. *Geodynamics*, 2(33), 17—27. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.017>.
- Tretiak, K., & Brusak, I. (2022). Modern deformations of the earth's crust in Western Ukraine based on «GEOTERRACE» GNSS network data. *Geodynamics*, 1(32), 16—25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.

Geophysical aspects of modern horizontal movements in the central part of the Transcarpathian Internal Trough

V.V. Ignatyshyn^{1,2}, D.V. Malytskyi¹, B.E. Kuplovskiy¹, T.Y. Izhak², S.S. Molnar D², A.Y. Rats², M.B. Ignatyshyn¹, A.V. Ignatyshyn¹, 2025

¹S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine

The work studies the spatial-temporal distribution of seismicity in the Carpathian region in 2023 and analyzes the results of research and scientific achievements in the study of geophysical processes in seismic-generating regions. The urgency of the research is

due to the fact that recently, certain features of seismic activity in the seismic-generating region have been noted, and the probability estimates of strong, noticeable earthquakes have increased. The observations of modern horizontal crustal movements in the Oash deep fault zone for the studied period have been analyzed. The relationship between the modern crustal movements and the spatial-temporal distribution of seismicity in the Carpathian region (particularly the Transcarpathian Inner Trough and the Vrancea zone (Romania)) has been studied. The existence of sign-changing processes in horizontal crustal movements in the Transcarpathian Inner Trough in the studied time interval has been shown. In modern horizontal crustal movements, there has not been found a sign-changing process that determines the nature of crustal movements for up to 10—12 years and is important in the formation of seismic activity in the region. The local seismicity correlates with the seismicity of a powerful seismic-generating region, the Vrancea zone: seismicity increases in both regions starting from May—June 2023. The seismicity of the region is associated with the processes of local compression of rocks measured in the tunnel of the deformometric observation station «Koroleve» of the Department of Seismicity of the Carpathian Region (S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine).

Key words: crustal movements, deformations, earthquakes, Transcarpathian Inner Trough, Oash deep fault zone.

References

- Andruschenko, Yu.A., Liaschuk, O.I., Farfuliak, L.V., Amashukeli, T.A., Haniiev, O.Z., Osadchyi, V.I., Petrenko, K.S., & Verbytskyi, S.T. (2023). National seismological bulletin of Ukraine for 2021. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(6), 162–180. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273649> (in Ukrainian).
- Ihnatyshyn, V., Malytskyi, D., Izhak, T., Ihnatyshyn, M., & Ihnatyshyn, A. (2022). Monitoring seismotectonic processes in the Transcarpathian inner trough based on the results of complex geophysical observations. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(98), 42–48. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.98.05> (in Ukrainian).
- Ihnatyshyn, V., Malytskyi, D., Izhak, T., Molnar, S., Ihnatyshyn, M., & Ihnatyshyn, A. (2024). Geodynamic state of the Transcarpathian inner trough based on the results of deformation monitoring observations in the region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(104), 13–21. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.104.02> (in Ukrainian).
- Doskich, S., Savchuk, S., & Dzhuman, B. (2023). Determination of horizontal deformation of the Earth's crust on the territory of Ukraine based on GNSS measurements. *Geodynamics*, 2(35), 89–98. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.089>.
- Gnyp, A. (2022). Determination of differential locations and focal mechanism of the 2013–2015. Earthquake in Trosnyk, Transcarpathians: methodological aspects and analysis of the results. *Geodynamics*, 2(33), 50–63. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.050>.
- Nazarevych, A., Nazarevych, L., Bayrak, H., & Pyrizhok, N. (2022). Seismotectonics of the Oash and Transcarpathian deep faults junction zone (Ukrainian Transcarpathians). *Geodynamics*, 2(33), 99–114. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.100>.
- Savchyn, I. (2022). Determination of the recent rotation poles of the main tectonic plates on the base of GNSS data. *Geodynamics*, 2(33), 17–27. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.017>.
- Tretiak, K., & Brusak, I. (2022). Modern deformations of the earth's crust in Western Ukraine based on «GEOTERRACE» GNSS network data. *Geodynamics*, 1(32), 16–25. <https://doi.org/10.23939/jgd2022.02.016>.