

УДК 550.34, 551.24

**В. Ю. МАКСИМЧУК<sup>1</sup>, Н. Б. ПИРІЖОК<sup>1</sup>, Р. С. ПРОНИШИН<sup>2</sup>, В. Р. ТИМОЩУК<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, вул. Наукова, 3-Б, Львів, Україна, 79060, vmaksymchuk@cb-igph.lviv.ua

<sup>2</sup>Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, вул. Ярославенка, 27, Львів, Україна, 79011

## ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ СЕЙСМІЧНОСТІ ЗАКАРПАТТЯ

**Мета.** Дослідження особливостей сейсмічності Закарпатського прогину та її зв'язку з розломно-блоковою структурою земної кори. **Методика.** Для аналізу сейсмічності Закарпаття використано дані інструментальних спостережень Карпатської сейсмічної мережі за 2001–2012 рр. Проведено зіставлення карт епіцентрів землетрусів із розломно-блоковою структурою регіону. Проаналізовано розподіл гіпоцентрів землетрусів з глибиною. Виконано аналіз сейсмічної активності основних розломів Закарпатського прогину, досліджено зміни середньорічної кількості землетрусів та виділеної сумарної сейсмічної енергії за 2001–2012 рр. Проаналізовано зв'язок просторово-часового розподілу сейсмічності з тектонікою земної кори Закарпатського прогину. **Результати.** Досліджено просторово-часові особливості сейсмічності Закарпатського прогину за 2001–2012 рр. Встановлено, що найвища сейсмічність за розглянутий період була характерна для Закарпатського та Панонського розломів, в зонах яких відбулися відчутні землетруси поблизу м. Берегове 23.11.2006 р. ( $K = 12,1$ ,  $M = 4,2$ ) та с. Угтя 14.12.2010 р. ( $K = 9,7$ ,  $M = 3,2$ ). Серед поперечних розломів за рівнем сейсмічності виділяються Латорицький, Боржавський, Виноградівський, Оашський розломи, Тячівський лінеамент, а також вузли їх перетину із Закарпатським та Панонським глибинними розломами. У розподілі вогнищ землетрусів із глибиною у Закарпатському прогині виявлено три поверхи (рівні) їх концентрації: товща осадового шару та фундаменту до глибини гранітного шару (2–10 км), верхня частина базальтового шару (15–22 км) та шар поблизу поверхні Мохо (25–35 км). Зроблено загальний висновок, що сейсмічність Закарпатського прогину зумовлена взаємодією Карпатської складчастої споруди з мікроплитами АЛЬКАПА та ТИСІЯ-ДАКІЯ. **Наукова новизна.** Проаналізовано просторово-часовий розподіл землетрусів з енергетичним класом  $K = 7–12$  за даними інструментальних спостережень 2000–2012 рр. та показано їх зв'язок з розломно-блоковою структурою земної кори. Досліджено особливості розподілу вогнищ землетрусів з глибиною у зоні Закарпатського глибинного розлому. Показано, що Закарпатський розлом проявляється як субвертикальна зона і маркується гіпоцентрами землетрусів у діапазоні глибин від 2–3 км до 30–35 км (поверхня Мохо). **Практична значущість.** Виявлені особливості просторово-часового розподілу гіпоцентрів землетрусів, їх зв'язку з розломно-блоковою структурою земної кори можуть бути використані для вивчення сейсмічно активних зон, сейсмічного районування та оцінки сейсмічної небезпеки окремих територій та населених пунктів Закарпаття.

**Ключові слова:** Закарпатський прогин, гіпоцентр, сейсмічність, глибинний розлом, просторово-часовий розподіл землетрусів.

### Вступ

Дослідження Карпатської гірської споруди охоплює вже не одне десятиліття. Та, незважаючи на це, існує низка проблем, які пов'язані з вивченням глибинної будови регіону. Важливою проблемою, щодо якої дискутують практично впродовж усього періоду вивчення Карпат, є характер членування тектонічних елементів Внутрішніх і Зовнішніх (Флішових) Карпат [Глушко В. В., 1968; Burchfiel B. C., 1980; Гнилко О. М., 2011].

Українські Карпати розташовані у зоні потужного Середземноморсько-Альпійсько-Гімалайського (Трансазійського) сейсмоактивного поясу. Сейсмічність Карпатського регіону України визначається землетрусами Закарпаття, Флішових Карпат, Передкарпаття, а також впливом сейсмоактивних зон Польщі, Словаччини, Угорщини та Румунії, зокрема потужної сейсмоактивної зони Вранча. Найактивнішим на території заходу Укра-

їни є Закарпаття. На картах сейсмічного районування СР-2004 Закарпаття належить до семибальної зони [Пустовитенко Б. Г. та ін., 2006].

Сучасна тектонічна будова Закарпатського прогину характеризується інтенсивною дислокаваністю, наявністю розривних порушень поздовжнього (карпатського) та поперечного напрямків. Найбільшим за амплітудою є Закарпатський глибинний розлом, що відділяє Закарпатський прогин від зони Пенінських скель, а також Панонський глибинний розлом, що відокремлює його від Панонської западини [Крупський Ю. З., 2001]. У період формування покривних структур Центральних Карпат Закарпатський глибинний розлом, що простягався вузькою смугою, зазнавав потужного бокового стиснення, що сприяло зближенню різних за структурно-фаціальними особливостями осадових комплексів [Глушко В. В., 1968].

З боку Закарпатського прогину зона Закарпатського глибинного розлому (ЗГР) на значних ділянках перекрита вулканогенною товщею Вигорлат-Гутинської гряди і неогеновими моласами Закарпатського прогину [Мерлич Б., Спитковская С. М., 1974; Seghedia I. et al., 2004]. За матеріалами буріння зона ЗГР зчленовується з донеогеновим фундаментом Закарпатського прогину тектонічним контактом, який перекритий неогеновими відкладами. Ширина цієї зони коливається від декількох сотень метрів до 5–5,5 км. Для цієї зони характерні відокремлені одна від одної безкореневі глиби (стрімчаки) вапняків розміром від десятка до сотень метрів юрського та неокомського віку. Ці глиби містяться у товщі мергелів та глин альби – маастриху.

Більшість дослідників (В. Заубек, М. Машка, 1963; Е. М. Лазько, Д. П. Резвой, 1962; С. С. Круглов, 1971) дійшли висновку про належність Закарпатського розлому до категорії глибинних розломів. Зіставлення структурно-фаціальних особливостей показує, що, починаючи з тріасу і до неогену, зона Закарпатського розлому є втіленням бар'єрної структури, яка розділяла області з різними умовами осадконакопичення.

Широкий розвиток магматизму в зоні ЗГР – неогенового, андезитового в північно-західній частині та мезозойського, діабазового і навіть ультраосновного в південно-східній частині також може бути аргументом для його зарахування до категорії глибинних розломів [Мерлич Б. В., Спитковская С. М., 1974; Ляшкевич З. М. та др., 1995]. Ознаками глибинного розлому можуть слугувати геофізичні дані, які показують різкий перепад (близько 30 км) поверхні Мохоровича, а також висока концентрація гіпоцентрів землетрусів у зоні Закарпатського розлому. Ця зона характеризується високою рухливістю та контрастністю коливальних рухів. До неї приурочені вогнища більшості землетрусів і різні за складом інтрузії (від кислих до ультраосновних). Із Закарпатським розломом пов'язують різке збільшення потужності земної кори (до 54 км і більше) у Складчастих Карпатах, а границя Мохоровича характеризується нахиленим заляганням у напрямку Передкарпатського прогину. Дослідники Закарпатського розлому [Соллогуб В. Б. та ін., 1987] вважають його основною сеймотектонічною лінією Карпатського регіону.

У Закарпатському прогині вирізняють низку поперечних тектонічних порушень північно-східної орієнтації, які розділяють його на декілька прямокутних блоків і перетинають майже під кутом у 45 градусів північно-західне поширення карпатських складчастих структур. З такими розломами пов'язані субмеридіальні відрізки річкових долин Латориці, Боржави, Теремлі, Чорної Тиси тощо. Із Закарпатським розломом пов'язують осередки неогенового вулканізму Вигорлат-Гутинської гряди.

Сейсмічність Закарпаття досліджується вже впродовж багатьох десятиріч (Глушко В. В., Хоменко В. І., Лазько Е. М., Резвой Д. П., Круглов С. С., Кузнецова В. Г. та ін.). Так, І. Д. Гофштейн [Гофштейн І. Д., 1973] виділив такі сеймотектонічні лінії Закарпаття: зона Закарпатського глибинного розлому; зона Берегівських горстів (зона розломів пліоценового віку); Вишківська зона (лінія Хуст–Тересва), що відповідає молодим пліоценовим розломам, та лінія Ужгород–Мукачєво–Берегове.

Висока сейсмічна активність Закарпаття тісно пов'язана із системою розломів, що розділяють Закарпатський прогин та Флішові Карпати, а також з Берегівською зоною розломів, що відділяють Закарпатський прогин від Панонської западини. Окрім цього, виділено сеймотектонічну лінію Ужгород–Залуж–Виноградів–Холмеу [Хоменко В. І., 1978].

Про наявність трьох смуг концентрації епіцентрів землетрусів карпатського простягання, пов'язаних із зонами Закарпатського та Панонського глибинних розломів, а також з осьовою зоною розломів неогенового Закарпатського прогину згадується в [Мельничук М. І., 1982]. Зв'язок землетрусів Закарпаття з поперечними розломами досліджено в працях [Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г., 1982; Харитонов О. М. та др., 1996; Пронишин Р. С., Кузнецова В. Г., 2011].

За особливістю сейсмічного режиму Закарпатський прогин поділяється на декілька зон, які ототожнюються з тектонічною будовою: Чоп-Мукачівська западина (зона А) і Солотвинська западина (зона В), границею між якими є Оашський розлом [Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г., 1982]. Виділені зони відрізняються між собою за типами послідовності, за графіками повторюваності землетрусів, за кількістю виділеної енергії, за швидкістю вивільнених умовних деформацій та активізацією їх у часі [Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г., 1982; Пронишин Р. С., Кузнецова В. Г., 2011].

Висновки вищезгаданих дослідників про основні сеймотектонічні лінії Закарпаття ґрунтуються здебільшого на результатах вивчення найсильніших землетрусів для цього району (переважно з інтенсивністю  $I_0 = 6-7$  балів). Аналіз розподілу землетрусів з енергетичним класом  $K = 6-9$  за даними інструментальних спостережень за 1988–1992 рр. дав змогу виявити певне їх співвідношення із системами структурно-тектонічного районування прогину, що пов'язано не лише із загальними особливостями будови та геодинаміки літосфери регіону, з дрібноблоковою будовою фундаменту, а також з реологічною розшарованістю літосфери прогину [Назаревич А. В., Назаревич Л. Є., 2012, 2013].

Однак у всіх роботах цього періоду, за окремими винятками [Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г., 1982], практично не аналізували особливостей розподілу гіпоцентрів місцевих землетрусів Закарпаття з глибиною. Передусім це пов'язано з невеликою точністю визначення гіпоцентрів, яка не перевищувала 5–10 км.

В останні десятиріччя, у зв'язку зі збільшенням у Закарпатті кількості сейсмічних станцій, оснащених цифровими сейсмографами, застосуванням нових методик та алгоритмів обробки даних сейсмічних спостережень, ситуація з встановленням параметрів землетрусів помітно покращилась, зокрема з точністю визначення глибини гіпоцентрів. Це відкриває нові можливості для вивчення особливостей сейсмічності Закарпатського прогину, просторових закономірностей розподілу та розвитку сеймотектонічного процесу в регіоні.

### Мета

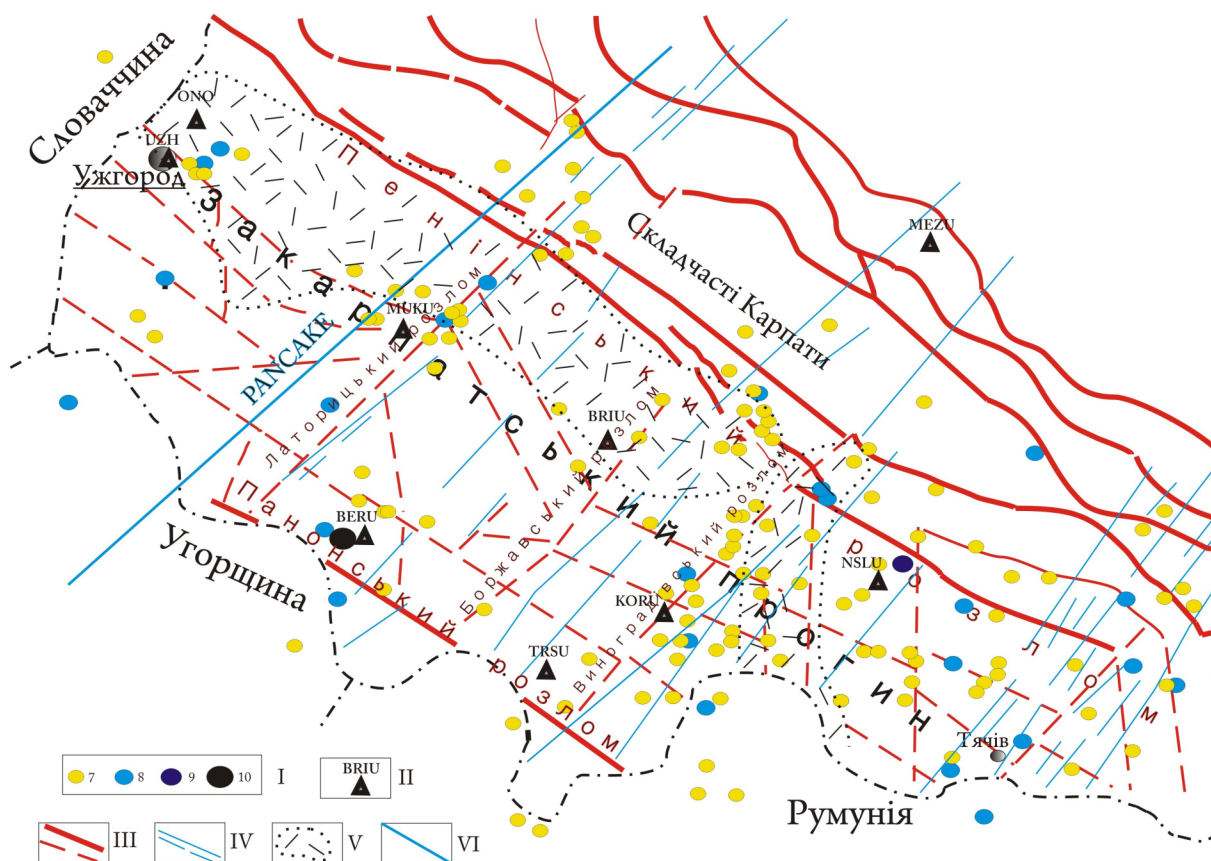
Дослідження закономірностей просторово-часового розподілу сейсмічності Закарпатського сейсмоактивного прогину за 2001–2012 рр. та їх зв'язків з розломно-блоковою структурою земної кори.

### Методика та результати роботи

Для аналізу особливостей сейсмічності Закарпатського прогину та її зв'язків з тектонічною будовою використано дані інструментальних спос-

тережень Карпатської сейсмічної мережі за 2001–2012 рр. [Сейсмологические бюллетени Украины за 2001–2012, 2005–2012 гг.]. За розглянутий період на території Закарпаття зареєстровано 195 землетрусів з енергетичним класом від 7 до 12. Землетруси з меншим класом не розглядалися, оскільки їх важко відрізнити від промислових вибухів. Найсильніші землетруси за цей період відбулися поблизу м. Берегове 23.11.2006 р. з  $K = 12,1$ ,  $M = 4,2$  та  $I_0 = 6$  балів у зоні Панонського глибинного розлому, а також поблизу с. Угря Тячівського району 14.12.2010 р. з  $K = 9,7$ ,  $M = 3,2$  та  $I_0 = 5$  балів у зоні Закарпатського глибинного розлому.

Зіставлення розташування епіцентрів землетрусів із тектонічними особливостями Закарпаття дає змогу відзначити їхні певні взаємозв'язки (рис. 1). Найбільша густина епіцентрів землетрусів спостерігається у зонах розломів: поздовжніх (карпатського простягання) Закарпатського та Панонського, Центральної (Ужгород-Тячівської) зони розломів неглибокого залягання та поперечних Латорицького, Боржавського, Виноградівського, Тячівського, а також у вузлах перетину поперечних та поздовжніх розломів.



**Рис. 1.** Схема розташування епіцентрів землетрусів Закарпаття за 2001–2012 рр. на тектонічній основі [Крылов Н.А., 1988]:

I – енергетичний клас землетрусів (Кр); II – сейсмічні станції; III – границі тектонічних зон та розривні порушення земної кори; IV – зони лінеamentів; V – Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо; VI – лінія профілю PANCEKE

**Fig 1.** Location of earthquake epicenters in Transcarpathia during 2001–2012 years on tectonic based [Krylov N.A., 1988]:

I – energy class of earthquakes (Kp); II – seismic stations; III – boundary tectonic zones and faults of the crust; IV – liniaments zones; V – Vygortat-Hutyn volcanic ridge; VI – line of the PANCEKE profile

Про кількісні показники сейсмічності поздовжніх розломів можна робити висновки із табл. 1. Найбільшу активність за розглянутий часовий інтервал проявила зона ЗГР (35 землетрусів, зокрема відчутний землетрус у районі с. Угля у 2010 р. ( $K = 9,7$ ,  $M = 3,2$ )). Значна кількість землетрусів (33 події) відбулись у центральній зоні розломів. Дещо менша кількість землетрусів у зоні Панонського розлому (13 подій), серед них Берегівський землетрус у 2006 р. з  $K = 12,1$ ,  $M = 4,2$ .

Серед поперечних тектонічних порушень за сейсмічною активністю виділяється зона Виноградівського розлому. Він під гострим кутом перетинається з Оашським розломом, який розглядається як важливий тектонічний шов, що розділяє різні за історією розвитку та будовою два блоки земної кори: Чоп-Мукачівську западину, яка сформувалась на центральних масивах Внутрішніх Карпат, та Солотвинську, яка розвинулась у флішових зонах Зовнішніх Карпат.

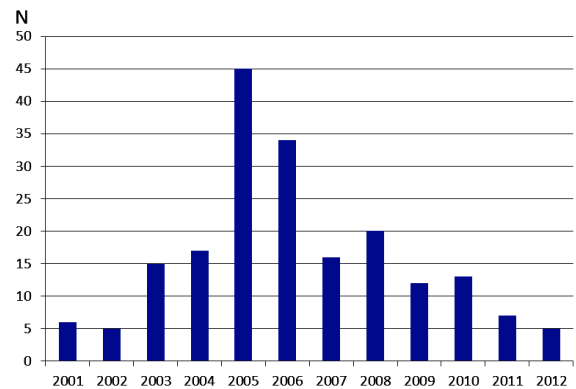
Виділені сейсмоактивні розломи та вузли відрізняються не лише кількістю та інтенсивністю землетрусів, які в них відбуваються, але і характером змін їхньої сейсмічної активності в часі. Як видно з табл. 1, постійним рівнем сейсмічної активності характеризується Закарпатський, Панонський розломи та Центральна зона розломів, в яких щорічно відбувається два–п'ять землетрусів. Серед поперечних виділяється Виноградівський розлом (три–п'ять землетрусів за рік з  $K = 7–8$ ).

До найбільш сейсмічно активних вузлів Закарпатського прогину належить зона перетину Латорицького розлому з Центральною зоною розломів поблизу м. Мукачево, яка особливо активізувалась у 2005–2006 рр., коли там відбулась серія землетрусів з  $K = 4.8–7.8$ .

Про деякі особливості розвитку сейсмотектонічного процесу в часі у Закарпатській сейсмоактивній зоні можна робити висновки із рис. 2.

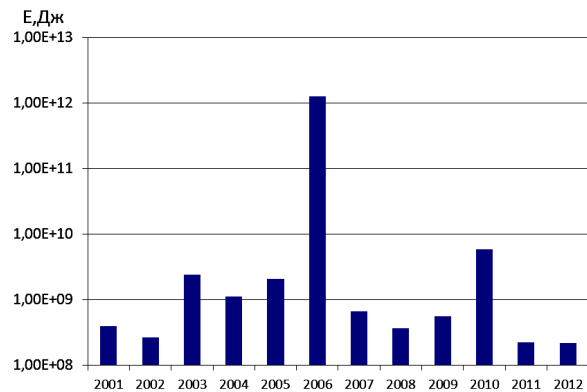
Кількість землетрусів у Закарпатті, починаючи з 2001 р. (шість подій), поступово зростає, досягаючи максимуму у 2005 р. (45 подій), а далі знову зменшилась до п'яти у 2012 р. Спостерігаються дворічні періоди сейсмічної

активності регіону. Так, для 2001–2002 рр. кількість землетрусів не перевищує шести подій. У 2003–2004 рр. цей показник збільшується до 15–17, а у 2005–2006 рр. понад 40.



**Рис. 2.** Гістограма розподілу кількості землетрусів ( $K > 7$ ) Закарпатського прогину за період 2001–2012 рр.

**Fig. 2.** Histogram of earthquakes ( $K > 7$ ) distribution in the Transcarpathians during 2001–2012 years



**Рис. 3.** Гістограма сумарної виділеної енергії землетрусів ( $K > 7$ ) Закарпатського прогину за період 2001–2012 рр.

**Fig. 3.** Histogram of total allocated earthquakes ( $K > 7$ ) energy in the Transcarpathians during 2001–2012 years

### Сейсмічність (кількість землетрусів) розломів Закарпатського прогину за 2001–2012 рр.

#### Seismicity (number of earthquakes) of faults in the Carpathian backdeep during the 2001–2012

Розломи	Роки											
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Закарпатський	2	1	3	3	8	6	2	3	2	3	2	1
Центральна зона	1	4	4	3	6	5	3	0	1	4	2	0
Панонський	1	0	1	2	0	3	1	2	2	1	1	2

Протягом 2007–2008 рр. кількість землетрусів знову зменшується до 20, у 2009–2010 рр. – не перевищує 13 подій. У 2011–2012 рр. кількість землетрусів знову не перевищує 7. При цьому, як показано у табл. 1, максимум сейсмічної активності у 2005–2006 рр. спостерігався у зонах поздовжніх розломів: Закарпатському, Панонському та у Центральній зоні розломів.

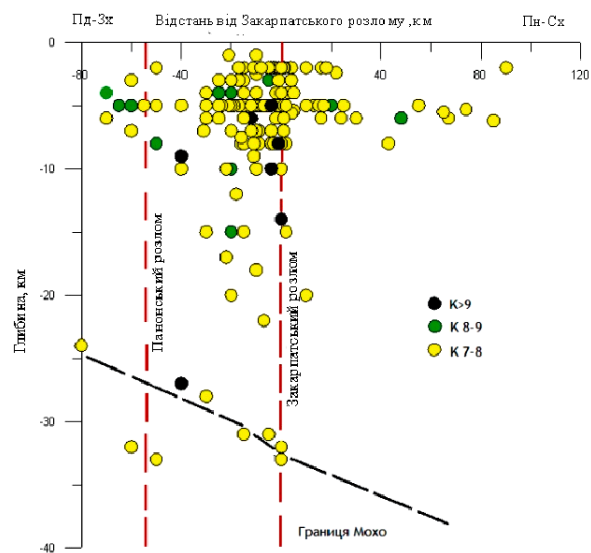
Дещо інший характер має розподіл у часі виділеної сумарної енергії землетрусів у межах Закарпаття. Енергію  $E$  для кожного землетрусу визначено за співвідношенням  $E = 10^K$  (Дж), де  $K$  – енергетичний клас землетрусу. Сумарну річну енергію землетрусів знаходять підсумуванням енергії всіх землетрусів з  $K > 7$ , які відбулися в Закарпатті протягом календарного року. Як показано на рис. 3, її рівень коливається переважно в межах  $10^8$ – $10^9$  Дж/рік. Максимум виділеної енергії спостерігається у 2006 р. на рівні  $10^{12}$  Дж, який зумовлений Берегівським землетрусом 2006 р. Інший екстремум, близько  $10^{10}$  Дж, відзначений у 2010 р. і пов'язаний з Углянським землетрусом 2010 р. Цікаво, що екстремуму виділеної енергії у 2006 р. передував екстремум кількості землетрусів 2005 р. (рис. 2). Основна кількість землетрусів 2005 р. – у зоні Закарпатського розлому та в Центральній зоні розломів (табл. 1).

Водночас у зоні Панонського розлому, де відбувся у 2006 р. Берегівський землетрус ( $K = 12,1$ ,  $M = 4,2$ ), кількість землетрусів у 2006 р. залишалась на рівні середньої за весь розглянутий період. Це свідчить про те, що 2005–2006 рр. можна вважати піком активізації сейсмічної активності за розглянутий часовий період.

Розподіл землетрусів із глибинами також свідчить, що найбільша їх концентрація спостерігається в зоні Закарпатського глибинного розлому (рис. 4). Гіпоцентри землетрусів створюють тут V-подібне поле: кількість гіпоцентрів землетрусів із глибиною зменшується, а межі їх поширення звужуються. Подібний розподіл землетрусів характерний для багатьох сейсмоактивних зон світу [Курскеєв А. К., 1990].

Отримане V-подібне поле можна розділити на три поверхи (рівні). Перший поверх – верхні шари земної кори на глибинах 2–10 км, де сконцентрована основна кількість гіпоцентрів землетрусів. У зоні Закарпатського прогину цей шар охоплює лише глибини від 2 до 10 км. У Флішових Карпатах на схід від Закарпатського розлому відзначено концентрацію гіпоцентрів землетрусів на глибинах 5–6 км в осадовому шарі. Другий поверх охоплює діапазон від 15 до 22 км, що відповідає базальтовому шару. При цьому ця зона поширення гіпоцентрів землетрусів не виходить за межі Закарпатського розлому на північному сході і Закарпатського прогину на південному заході.

У зоні Панонського розлому землетруси з такими глибинами гіпоцентрів не відбувалися.



**Рис. 4.** Розподіл гіпоцентрів землетрусів у літосфері Закарпатського прогину та Флішових Карпат за період 2001–2012 рр.

**Fig. 4.** The distribution of earthquakes hypocenters in the lithosphere of Carpathian backdeep and Flysch Carpathians during 2001–2012 years

Третій поверх характеризується невеликою кількістю гіпоцентрів землетрусів на глибинах 25–30 км, що відповідає поверхні Мохо. Привертає увагу, що у Флішових Карпатах майже на усьому проміжку від Закарпатського розлому до Передкарпаття за розглянутий часовий період землетруси з гіпоцентром понад 10 км не спостерігались.

### Обговорення результатів

Проведений аналіз сейсмічності Закарпаття за 2001–2012 рр. підтвердив виявлені раніше [Харитонов О. М та др., 1996; Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г., 1982; Кутас В. В. та др., 2003] деякі особливості сейсмотектоніки та сейсмічного режиму Закарпатського прогину.

Зіставлення просторового розподілу епіцентрів землетрусів із тектонікою Закарпаття дає змогу зробити висновок про те, що вогнища землетрусів приурочені до тектонічних розломів різного рангу та до вузлів їх перетинів. Основною сейсмогенною зоною Закарпаття слід вважати Закарпатський глибинний розлом, де відбувається найбільша кількість землетрусів, зокрема і найсильніших для Закарпаття. Важливою сейсмогенувальною структурою є також Панонський глибинний розлом, який за кількістю землетрусів, що тут відбуваються щорічно, хоча і дещо поступається Закарпатському розлому, проте не поступається йому за кількістю сильних для Закарпаття землетрусів.



Також важливою сейсмогенною структурою слід вважати Центральну зону розломів Закарпатського прогину. Із поперечних сейсмоактивних структур виділимо за рівнем сейсмічної активності Латорицький та Виноградівський (разом з Оашським) розломи, Тячівську зону розломів (Тячівський лінеамент), а також вузли їх перетину з ЗГР.

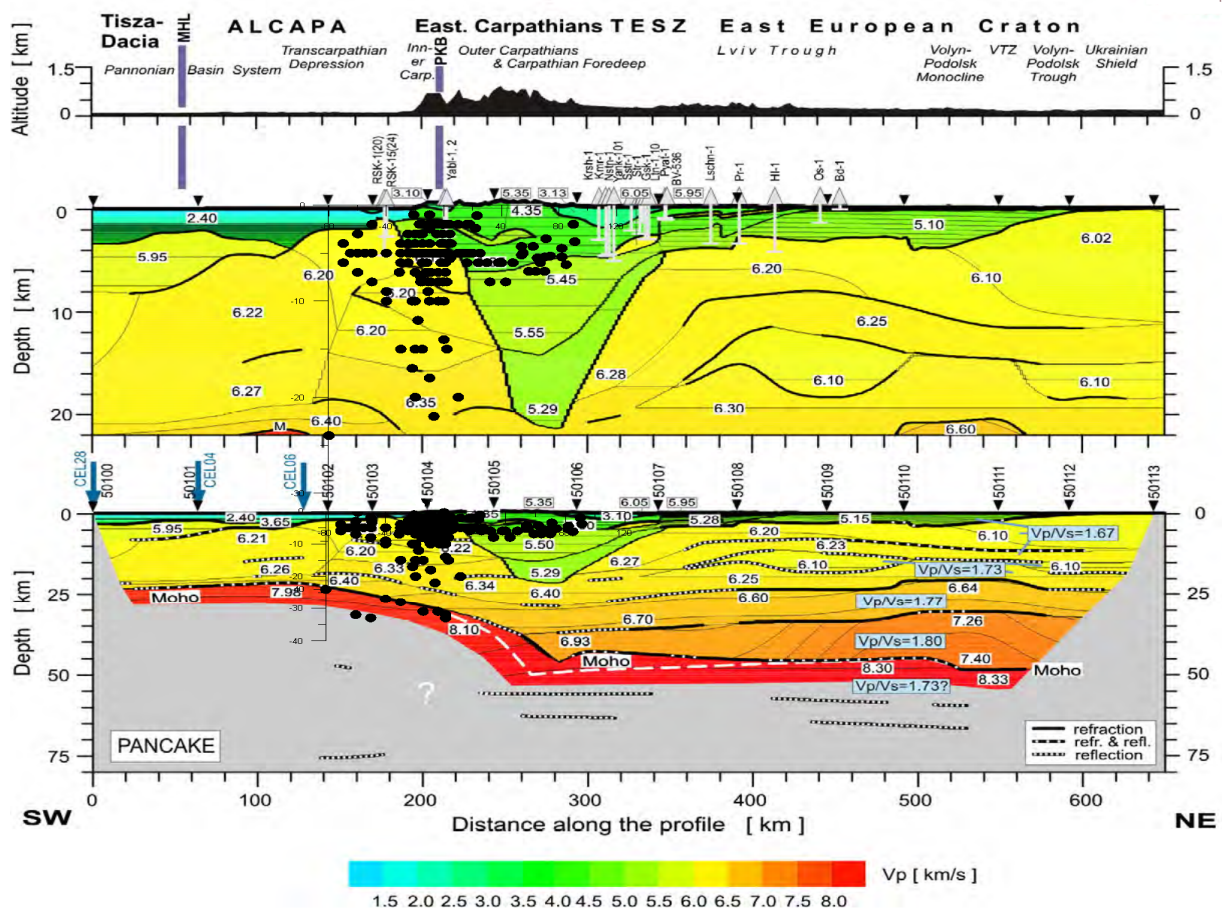
Особливості розподілу сейсмічності Закарпатського прогину пов'язані, очевидно, не лише з розломно-блоковою тектонікою земної кори, але і із загальною геодинамікою всього Карпатського регіону. Однак щодо геодинамічного розвитку Закарпатського прогину досі немає єдиної думки. Представники київської школи першоджерелом геодинамічних процесів у Закарпатті вважали верхньомантийне теплове джерело, розташоване південно-західніше Закарпатського розлому [Чекунов А. В., 1976]. За цими поглядами під Панонським масивом температура гірських порід досягає солідусних значень на глибині 60–65 км, утворюючи астеносферний шар, який занурюється під Складчасті Карпати. Сейсмічність Закарпаття пояснюється значними переміщеннями різних ярусів кори у напрямку Східних Карпат під дією мантийних мас, що перетікають [Харитонов О. М. та др., 1996].

Прихильники плитової тектоніки вважають, що сейсмічна активність у Закарпатському прогині

ні зумовлена тектонічними рухами під час занурення Євразійської плити під мікроплиту Панонської западини [Крупський Ю. З., 2001]. Детальніший розгляд цього механізму з позицій терейнового аналізу наведено в роботах О. М. Гнилка [Гнилко О. М., 2011, 2012].

Ми не ставимо перед собою завдання детального аналізу вищезгаданих геодинамічних механізмів. У розв'язанні питань геодинамічних моделей дані сейсмології мають важливе значення і розглядаються як своєрідна геофізична ознака субдукції [Хаїн В. Е., Ломизе М. Г., 1995]. У зв'язку з цим звернемо увагу на площинний розподіл гіпоцентрів з глибиною на сейсмогеологічному розрізі профілю DOBRE-3 [Starostenko V. et al., 2013; Гинтов О. Б. и др., 2014].

Як показано на рис. 5, основна кількість гіпоцентрів землетрусів Закарпатського прогину сконцентрована в межах Закарпатського прогину, який обмежується Панонським та Закарпатським глибинними розломами. Цей блок аж до глибини Мохо являє собою неоднорідність з швидкостями сейсмічних хвиль 6,2–6,4 км/с, обмежену із північного сходу майже вертикальною границею від блока коренів Карпатської споруди, яка сягає глибини 20 км і характеризується швидкостями нижче від фундаменту 5,29–5,55 км/с.



**Рис. 5.** Розподіл гіпоцентрів землетрусів у Закарпатському прогині та у Флішових Карпатах на сейсмогеологічному розрізі профілю PANCAKE [Starostenko V. et al., 2013]

**Fig. 5.** The distribution of earthquakes hypocenters in the Carpathian backdeep and Flysch Carpathians along the seismic crossing PANCAKE profile

На південний захід від Панонського розлому згадана швидкісна неоднорідність контрастно проявляється на глибинах більше ніж 15 км, де характеризується швидкістю 6,35 км/с у зоні Закарпатського прогину та 6,27 км/с на південний захід від Панонського розлому. Отже, ми спостерігаємо концентрацію гіпоцентрів землетрусів у межах вертикальної зони з високими швидкостями сейсмічних хвиль. У межах цієї неоднорідності в діапазоні глибини 10–35 км спостерігаємо вузьку субвертикальну зону, яка маркується гіпоцентрами землетрусів.

Результати вивчення механізмів землетрусів у зоні ЗГР свідчать, що зміщення блоків земної кори тут відбувається в напрямку північний захід–південний схід, що узгоджується з простяганням Закарпатського глибинного розлому [Пустовитенко А. А., Пронишин Р. С., 2011].

Отже, зона зчленування флішових покривів Українських Карпат з мікроплитами АЛЬКАПА і Тисія–Дакія є основною сейсмогенерувальною зоною Закарпатського прогину, в якій відбувається розрядка тектонічних напружень у результаті їх взаємних переміщень. При цьому стає зрозумілою висока сейсмічність зони Оашського розлому, який розглядається як зсувна зона між плитами АЛЬКАПА і Тисія–Дакія [Гнилко О. М., 2011].

#### Наукова новизна

Проаналізовано просторово-часовий розподіл землетрусів з енергетичним класом  $K = 7-12$  за даними інструментальних спостережень 2000–2012 рр. та показано їх зв'язок з розломно-блоковою структурою земної кори. Досліджено особливості розподілу вогнищ землетрусів з глибиною у зоні Закарпатського глибинного розлому. Показано, що Закарпатський розлом проявляється як субвертикальна зона і маркується гіпоцентрами землетрусів у діапазоні глибин від 2–3 км до 30–35 км (поверхня Мохо).

#### Практична значущість

Виявлені особливості просторово-часового розподілу гіпоцентрів землетрусів з розломно-блоковою структурою земної кори можна використати для вивчення сейсмічно активних зон, сейсмічного районування та оцінки сейсмічної небезпеки окремих територій та населених пунктів Закарпаття.

#### Висновки

Виконаний аналіз сейсмічності Закарпаття за результатами інструментальних спостережень у 2000–2012 рр. у комплексі з даними про розломно-блокову тектоніку регіону дає підстави зробити такі висновки:

1. Просторовий розподіл сейсмічності Закарпатського прогину тісно пов'язаний з розломно-блоковою структурою фундаменту.

2. Основними сейсмогенерувальними зонами Закарпатського прогину є Закарпатський та Панонський глибинні розломи, Центральна зона розломів та вузли їх перетинів з поперечними, передусім Латорицьким, Боржавським, Виноградівським, Оашським та Тячівським розломами.

3. У розподілі гіпоцентрів землетрусів з глибиною у літосфері Закарпатського прогину виділяються три поверхи їх концентрації: товща осадового шару та фундаменту до поверхні гранітного шару (2–10 км), верхня частина базальтового шару (15–22 км), шар поблизу поверхні Мохо (25–35 км).

4. Сейсмічність Закарпатського прогину відображає геодинаміку Карпатського регіону на сучасному етапі геологічного розвитку Карпат і зумовлена взаємодією Карпатської складчастої споруди з терейними АЛЬКАПА і Тисія–Дакія.

Надалі планується дослідження Закарпатського прогину з використанням гравітаційних та магнітних даних.

#### Література

- Гинтов О.Б. Тектонофизический и палинспастический разрезы Украинских Карпат вдоль геотраверса DOBRE – 3 (PANCAKE) / О. Б. Гинтов, И. Н. Бубняк, А. В. Муравская, М. В. Накапелюх, В. Е. Шлапинский // Геофиз. журн. – 2014. – № 3. – С. 3–30.
- Глушко В. В. Тектоника и нефтегазоносность Карпат и прилегающих прогибов / В. В. Глушко. – М.: Недра, 1968. – 264 с.
- Гнилко О. М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейної тектоніки. Частина 1. Основні елементи Карпатської споруди / О. М. Гнилко // Геодинаміка. – 2011. – № 1 (10). – С. 47–57.
- Гнилко О. М. Тектонічне районування Карпат у світлі терейної тектоніки. Стаття 2. Флішові Карпати – давня акреції на призма / О. М. Гнилко // Геодинаміка. – 2012. – № 1 (12). – С. 67–78.
- Гофштейн И. Д. О природе современных вертикальных движений земной коры / И. Д. Гофштейн // Геофиз. сборн. АН УССР. – 1973. – Вып. 55. – С. 15–17.
- Гофштейн И. Д. Неотектоника Карпат / И. Д. Гофштейн. – Киев: И-во АН УССР, 1964. – 182 с.
- Карта разрывных нарушений и основных зон лимитов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки) / под ред. Н. А. Крылова, 1988.
- Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України / Ю. З. Крупський. – К.: УкрДГРІ, 2001. – 144 с.
- Крупський Ю. З. Закарпатський прогин – нова газоносна область України / Ю. З. Крупський // Геол. журн. – 1992. – № 5. – С. 70–75.
- Кутас В. В. Сейсмичность Закарпаття в 1962–2001 гг. и локальный годограф Р- и S-волн /

- В. В. Кутас, А. В. Кендзера, Г. М. Дрогицкая, С. Т. Вербицкий, И. М. Руденская, И. А. Калинова // Геофиз. журн. – 2003. – Т. 25, № 6. – С. 15–29.
- Кутас Р. І. Геотермічна модель земної кори через Східні Карпати вздовж сейсмічного профілю ДОБРЕ-3 (PANCAKE) / Р. І. Кутас // Геодинаміка. – 2013. – № 2 (15). – С. 192–194.
- Курсеєв А. К. Проблемы прогнозирования землетрясений. – Алмата: Наука, 1990. – 264 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы I, II, V / В. Б. Соллогуб, А. В. Чекунов, И. В. Литвиненко и др. – Киев: Наук. думка, 1987. – 168 с.
- Ляшкевич З. М. Тектоно-магматическая эволюция Карпат / З. М. Ляшкевич, А. П. Медведев, Ю. З. Крупский, А. С. Варичев и др. – К.: Наук. думка, 1995. – 132 с.
- Мельничук М. И. О генетической связи сейсмических процессов с тектоникой Карпатского региона / М. И. Мельничук // Геофиз. журн. – 1982. – Т. 4, № 2. – С. 34–41.
- Мерлич Б. В. Глубинные разломы, неогеновый магматизм и оруднение Закарпатья // В кн.: Проблемы тектоники и магматизма глубинных разломов, т. 2 / Б. В. Мерлич, С. М. Спитковская. – Львов, 1974. – 190 с.
- Назаревич А. В. Геодинаміка, геотектоніка і сейсмічність Карпатського регіону України / А. В. Назаревич, Л. Є. Назаревич // Геодинаміка. – 2013. – № 2 (15). – С. 247–249.
- Назаревич Л. Є. Сейсмічність і деякі особливості сеймотектоники Українських Карпат / Л. Є. Назаревич, А. В. Назаревич // Геодинаміка. – 2012. – № 1 (12). – С. 145–151.
- Пронишин Р. С. Зв'язок просторового розподілу сейсмічності з тектонічною будовою Закарпатського прогину / Р. С. Пронишин, В. Г. Кузнецова // Геодинаміка. – 2011. – № 2. – С. 254–256.
- Пронишин Р. С. Некоторые аспекты сейсмического “климата и погоды” в Закарпатье / Р. С. Пронишин, Б. Г. Пустовитенко // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1982. – № 10. – С. 74–81.
- Пустовитенко А. А., Пронишин Р. С. Механизм очага Береговского землетрясения 23 ноября 2006 г. // Геодинаміка. – 2011. – 2(11). – С. 260–262.
- Пустовитенко Б. Г. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности / Б. Г. Пустовитенко, В. Е. Кульчицкий, А. А. Пустовитенко // Геофиз. журн. – 2006. – № 3. – С. 54–77.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2001, 2002, 2003, 2004 год / ред. Б. Г. Пустовитенко – Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Симферополь, 2005, 2006, 2007, 2008. – 113 с., 148 с., 132 с., 166 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 гг. / Севастополь: НПЦ Экоци-Гидрофизика, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013. – 205 с., 297 с., 145 с., 180 с., 249 с., 201 с., 233 с., 228 с.
- Хаин В. Е. Геотектоника с основами геодинамики / В. Е. Хаин, М. Г. Ломизе. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 480 с.
- Харитонов О. М. Особенности сейсмичности Закарпатья / О. М. Харитонов, О. П. Костюк, В. В. Кутас, И. М. Руденская // Геофиз. журн. – 1996. – № 2. – С. 3–11.
- Хоменко В. І. Глибинна будова Закарпатського прогину / В. І. Хоменко. – К.: Наук. думка, 1978. – 230 с.
- Чекунов А. В. Структура земной коры и тектоника юга Европейской части СССР / А. В. Чекунов. – Киев: Наук. думка, 1976. – 76 с.
- Burchfiel B. C. Eastern Alpine System and the Carpathian Orocline as an Example of Collision Tectonics / B. C. Burchfiel // Tectonophysics, v. 63, 1980. – P. 31–62.
- Foldvary G. Z. Geology of the Carpathian Region / G. Z. Foldvary – World Scientific, Singapore, 1988.
- Sefara J. Seismogenic zones in the Eastern Alpine-Western Carpathian-Pannonic junction area / J. Sefara, M. Kovac, D. Plasienka, M. Sujak // Geologica Carpathica, 49, 4, Bratislava, 1998. – P. 247–260.
- Seghedia I. Post-collisional Tertiary–Quaternary mafic alkaline magmatism in the Carpathian–Pannonian region: a review / I. Seghedia, H. Downes, O. Vaselli, A. Szakacs, K. Balogh, Z. Pecskey // Tectonophysics, 393 (2004). – P. 43–62.
- Starostenko V. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton / V. Starostenko, T. Janik and at. // Tectonophysics, 608 (2013) – P. 1049–1072.

В. Е. МАКСИМЧУК<sup>1</sup>, Н. Б. ПИРИЖОК<sup>1</sup>, Р. С. ПРОНИШИН<sup>2</sup>, В. Р. ТИМОЩУК<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Карпатское отделение Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, ул. Научная, 3-Б, Львов, Украина, 79060

<sup>2</sup>Отдел сейсмичности Карпатского региона Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, ул. Ярославенка, 27, Львов, Украина, 79011

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ ЗАКАРПАТЬЯ

**Цель.** Исследование особенностей сейсмичности Закарпатского прогиба и ее связи с разломно-блоковой структурой земной коры. **Методика.** Для анализа сейсмичности Закарпатья использованы данные инструментальных наблюдений Карпатской сейсмологической сети за 2001–2012 гг. Проведено сопоставление карт эпицентров землетрясений с разломно-блоковой структурой региона. Проанализировано распределение гипоцентров землетрясений с глубиной. Выполнен анализ сейсмической активности основных разломов Закарпатского прогиба и исследованы изменения среднегодового количества



землетрясений и выделенной суммарной сейсмической энергии за 2001–2012 гг. Проанализирована связь пространственно-временного распределения сейсмичности с тектоникой земной коры Закарпатского прогиба. **Результаты.** Исследовано пространственно-временные особенности сейсмичности Закарпатского прогиба за 2001–2012 гг. Установлено, что наиболее высокая сейсмическая активность в рассматриваемый период была характерна для Закарпатского и Панонского разломов, в зонах которых произошли ощутимые землетрясения вблизи г. Берегово (23.11.2006 г.,  $K = 12,1$ ,  $M = 4,2$ ) и с. Угля (14.12.2010 г.,  $K = 9,7$ ,  $M = 3,2$ ). Среди поперечных разломов за уровнем сейсмической активности выделяются Латорицкий, Боржавский, Виноградовский, Оашский разломы, Тячевский линеймент, а также узлы их пересечения с Закарпатским и Панонским глубинными разломами. В распределении очагов землетрясений с глубиной в Закарпатском прогибе обнаружено три этажа (уровня) их концентрации: толща осадочного слоя и фундамента до глубины гранитного слоя (2–10 км), верхняя часть базальтового слоя (15–22 км) и слой вблизи поверхности Мохо (25–35 км). Сделан общий вывод, что сейсмичность Закарпатского прогиба обусловлена взаимодействием Карпатского складчатого сооружения с микроплитами АЛКАПА и Тисия–Дакия. **Научная новизна.** Выполнен анализ пространственно-временного распределения землетрясений с энергетическим классом от 7 до 12 по данным инструментальных наблюдений за 2000–2012 гг. и показана их связь с разломно-блоковой структурой земной коры. Исследованы особенности распределения очагов землетрясений с глубиной в зоне Закарпатского глубинного разлома. Показано, что Закарпатский разлом проявляется как субвертикальная зона и маркируется очагами землетрясений в диапазоне глубин от 2–3 км до 30–35 км (поверхность Мохо). **Практическая значимость.** Выявленные особенности пространственно-временного распределения гипоцентров землетрясений, их связи с разломно-блоковой структурой земной коры могут быть использованы для изучения сейсмически активных зон, сейсмического районирования, а также оценки сейсмической опасности отдельных территорий и населенных пунктов Закарпатья.

*Ключевые слова:* Закарпатский прогиб, гипоцентр, сейсмичность, глубинный разлом, пространственно-временное распределение землетрясений.

V. E. MAKSYMCHUK<sup>1</sup>, N. B. PYRIZHOK<sup>1</sup>, R. S. PRONYSHYN<sup>2</sup>, V. R. TYMOSCHUK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 3-B Naukova street, Lviv, Ukraine, 79060

<sup>2</sup>Department of Carpathian region's seismicity of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 27, Yaroslavenka street, Lviv, Ukraine, 79011

#### SOME PECULIARITIES OF SEISMISITY TRANSCARPATHIANS

**Aim.** Investigations of Carpathians backdeep seismicity peculiarities and their correlation with fault-block structure of the crust. **Methodology.** For the analysis of Transcarpathians seismicity were used instrumental seismological observations in Carpathian network during 2001–2012 years. Was done a comparison of earthquake epicenters maps with fault-block structure of the region, distribution of earthquakes hypocenter depth had been analyzed. Analysis of seismic faults of Transcarpathian deep was completed. Changes of the average number of earthquakes and their total seismic energy allocated during 2001–2012 years were investigated. The relationship of spatio-temporal seismicity distribution with tectonics in the Carpathians backdeep as analyzed. **Results.** Seismic spatio-temporal peculiarities in the Transcarpathians during 2001–2012 yrs. were investigated. It was established that the highest seismic activity in the period under review was characterized for the Transcarpathian and Pannonian faults in areas where there have been notable earthquakes near the city Beregove (23.11.2006,  $K = 12.1$ ,  $M = 4.2$ ) and the village Uglya (14.12.2010,  $K = 9.7$   $M = 3.2$ ). This seismicity was defined in the Central zone faults too. Among transverse faults in the level of seismic activity are allocated Latoritskiy, Borzhavskiy, Vynohradiv, Oashsky faults, Tyachyv lineament and their crossing nodes with Carpathians and Pannonian deep faults. In the distribution of earthquake focusses with depth in the Transcarpathian basin revealed three floors (levels) concentrations: thickness of the sedimentary layer and foundation to the depth of the granite layer (2–10 km), upper basalt layer (15–22 km) and layer near the Moho surface (25–35 km). A general conclusion that the seismicity of Transcarpathian foredeep is defined by the Carpathian folded structure of micro-plates ALKAPA and Tisza–Dacia was done. **Scientific novelty.** Was done the analysis of spatio-temporal distribution of earthquakes with energy class 7–12 on the base of instrumental observations during 2001–2012 years and showed their correlation with fault-block structure of the crust. The features of the distribution of earthquake focusses with depth in the Transcarpathian deep fault zone were investigation. It is shown that the Transcarpathian fault appears as a subvertical zone and marked origins of earthquakes at depths from 2–3 km to 30–35 km (Moho surface). **Practical meaning.** The peculiarities of spatio-temporal distribution of earthquake hypocenter due to their fault-block structure of the crust can be used for the study of seismic active zones, seismic zoning and seismic hazard assessment of individual territories and settlements of Transcarpathians.

*Key words:* Carpathians backdeep, hypocenter, seismicity, deep fault, spatio-temporal earthquakes distribution.

# REFERENCES

- Chekunov A. V. *Struktura zemnoj kory i tektonika yuga Evropejskoj chasti SSSR* [Earth's crust structure and tectonics of the southern European part of the USSR]. Kiev: Naukova dumka [Kyiv], 1976, 76 p.
- Gintov O. B., Bubnjak I. N., Muravskaja A. V., Nakapeljuh M. V., Shlapinskij V. E. *Tektonofizicheskij i palinspasticheskij razrezy Ukrainskih Karpat vdol' geotraversa DOBRE – 3 (PANCAKE)* [Tectonophysical and palinspastic sections of the Ukrainian Carpathians along geotraverse DOBRE – 3 (PANCAKE)]. *Geofizicheskij zhurnal* [Geophysical journal]. Vol.36, no.3, 2014, pp. 3–30.
- Gofshtejn I. D. *O prirode sovremennyh vertikalnyh dvizhenij zemnoj kory* [About the nature of recent vertical crustal movements]. *Geofizicheskij sbornik AN USSR* [Geophysical Journal of Ukrainian Academy of Sciences], Vol. 55, 1973, pp. 15–17.
- Gofshtejn I. D. *Neotektonika Karpat* [Carpathians Neotectonics]. Kiev: I-vo AN USSR [Kyiv: Publ. AN USSR], 1964, 182 p.
- Hain V. E., Lomize M.G. *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with the basics of Geodynamics]. *Uchebnik. M.: Izd-vo MGU* [M.: Publ. MNU], 1995, 480 p.
- Haritonov O. M., Kostjuk O. P., Kutas V. R., Rudenskaja I. M. *Osobennosti sejsmichnosti Zakarpatja* [Peculiarities of Transcarpathians seismicity]. *Geofizicheskij zhurnal* [Geophysical Journal], 1996, no. 2, pp. 3–11.
- Hlushko V. V. *Tektonika i neftehazonosnost Karpat i prylehajuschykh prohybov* [Tectonics and oil-and-gas potential in the Carpathians and adjacent deeps]. *Moskva, Nedra* [Moscow, Nedra Publ.]. – 968. – 264 p.
- Hnylko O. M. *Tektonichne rayonuvannya Karpat u svitli tereynovoyi tektoniky. Chastyna 1. Osnovni elementy Karpatskoyi sporudy* [Tectonic zoning of the Carpathians in terms of the terrane tectonics. Section 1: Main units of the Carpathian building]. *Heodynamika* [Geodynamics], 2011, no. 1 (10), pp. 47–57.
- Hnylko O. M. *Tektonichne rayonuvannya Karpat u svitli tereynovoyi tektoniky. Statтя 2. Flishovi Karpaty – davnya akretsiy na pryzma* [Tectonic zoning of the Carpathians in terms of the terrane tectonics. Article 2. The flyssch Carpathian – ancient accretionary prism]. *Heodynamika* [Geodynamics], 2012, no.1 (12), pp. 67–78.
- Homenko V. I. *Glybynna budova Zakarpats'kogo progynu* [Deep structure of the Transcarpathians]. Kiev: Nauk. Dumka [Kyiv], 1978, 230 p.
- Karta razryvnyh narushenij i osnovnyh zon liniamentov jugo-zapada SSSR (s izpolzovaniem materialov kosmicheskoy semki)* [Map of faults and main lineament zones in the SW part of the USSR (using materials of space mapping)] pod.red. Krylova N.A., 1988 g.
- Krupskyy Yu. Z. *Heodynamichni umovy formuvannya i naftohazonosnist Karpatskoho ta Volyno-Podilskoho rehioniv Ukrayiny* [Geodynamics of formation and oil-and-gas bearing of the Carpathian and Volyn-Podillya areas of the Ukraine]. Kyiv: UkrDGRI, 2001, 144 p.
- Krupskyy Yu. Z. *Zakarpatskyy prohyn – nova hazonosna oblast Ukrayiny* [Carpathian backdeep – a new gas-bearing area of the Ukraine]. *Geologicheskij zhurnal* [Geological journal]. 1992, no. 5, pp.70–75.
- Kurskeev A. K. *Problemy prognozirovaniya zemletrjasenij* [The problems of earthquakes prediction]. Almata: Nauka, 1990, 264 p..
- Kutas R. I. *Geotermichna model zemnoj kory cherez Shidni Karpaty vzdovzh sejsmichnogo profilju DOBRE-3 (PANCAKE)* [Geothermal model of the Earth's crust across the Eastern Carpathians along the seismic profile DOBRE-3 (PANCAKE)] // *Geodynamika* [Geodynamics], 2013, no. 2 (15), pp. 192–194.
- Melnichuk M. I. *O geneticheskoy svyazi sejsmicheskikh processov s tektonikoj Karpatskogo regiona* [About the genetic relationship of seismic processes with tectonics in the Carpathian region]. *Geofizicheskij zhurnal* [Geophysical Journal], 1982, vol. 4, no. 2, pp. 34–41.
- Merlich B. V., Spitkovskaja S. M. *Glubinnye razlomy, neogenovyj magmatizm i orudnenie Zakarpattja. V knyzi.: Problemy tektoniki i magmatizma glubinnyh razlomov, t.2.* [Deep faults, neogene magmatism and mineralization of the Transcarpathians. In.: Problems of tectonics and magmatism in the deep faults, v. 2]. Lvov, 1974, 190 p.
- Nazarevich L. Ye. *Sejsmichnist i dejaki osoblivosti sejsmotektoniki Ukrainskih Karpat* [Seismicity and some features of seismotectonics in Ukrainian Carpathians]. *Geodynamika* [Geodynamics], 2012, no. 1 (12), pp. 145–151.
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heodynamika, heotektonika i sejsmichnist Karpatskoho rehionu Ukrayiny* [Geodynamics, geotectonics and seismicity in the Carpathian region of Ukraine]. *Geodynamika* [Geodynamics], 2013, no. 2 (15), pp. 247–249.
- Pronyshyn R. S., Kuznecova V. G. *Zv'язok prostorovogo rozpodilu sejsmichnosti z tektonichnoju budovuju Zakarpatskogo progynu* [Connection of seismicity spatial distribution with the tectonic structures in the Carpathian backdeep]. *Geodynamika* [Geodynamics], 2011, no. 2. pp. 254–256.
- Pronyshyn R. S., Pustovitenko B. G. *Nekotorye aspekty sejsmicheskogo "klimata i pogody" v Zakarpatje* [Some aspects of seismic "climate and weather" in Transcarpathians]. *Fizika Zemli* [Journal "Physics of the Earth"], 1982, no. 10, pp. 74–81.

- Pustovitenko A. A., Pronyshyn R. S. *Mehanizm ochaga Beregovskogo zemletryaseniya 23 noyabrya, 2006 g.* [Focal mechanism of the Beregovo earthquake, November 23, 2006]. *Geodynamika* [Geodynamics], 2011, no. 2(11). pp.260–262.
- Pustovitenko B. G., Kulchickij V. E., Pustovitenko A..A. *Novye karty obschego sejsmicheskogo rajonirovaniya territorii Ukrainy. Osobennosti modeli dolgovremennoj sejsmicheskoy opasnosti* [New maps of general seismic zoning of the Ukraine territory. Features of long-term seismic danger model] // *Geofizicheskij zhurnal* [Geophysical Journal], 2006, no. 3, pp. 54–77.
- Seismologicheskij bjulleten Ukrainy za 2001, 2002, 2003, 2004 god* [Seismological bulletin of Ukraine for 2001, 2002, 2003, 2004]. red. B. G. Pustovitenko – Institut geofiziki im. S. I. Subbotina NAN Ukrainy, Simferopol', 2005, 2006, 2007, 2008. 113 p., 148 p., 132 p., 166 p.
- Seismologicheskij bjulleten' Ukrainy za 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 god* [Seismological bulletin of Ukraine for 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012], Sevastopol: NPC Jekosi-Gidrofizika, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013. – 205 p., 297 p., 145 p., 180 p., 249 p., 201 p., 233 p., 228 p.
- Sollogub V. B., Chekunov A. V., Litvinenko I. V. i dr *Litosfera Centralnoj i Vostochnoj Evropy I, II, V* [Lithosphere of Eastern and Central Europe I, II, V]. Kyiv, Scientific thought Publ., 1987, 168 p.
- Burchfiel B. C. Eastern Alpine System and the Carpathian Orocline as an Example of Collision Tectonics. *Tectonophysics*, 1980, Vol. 63, pp. 31–62.
- Foldvary G. Z. *Geology of the Carpathian Region*. World Scientific, 1988, Singapore.
- Sefara J., Kovac M., Plasienska D., Sujan M. Seismogenic zones in the Eastern Alpine-Western Carpathian-Pannonian junction area. *Geologica Carpathica*, Volume 49(4), Bratislava, 1998. pp. 247–260.
- Seghedja I., Downes H., Vaselli O., Szakacs A., Balogh K., Pecskey Z. Post-collisional Tertiary–Quaternary mafic alkalic magmatism in the Carpathian–Pannonian region. *Tectonophysics*, 2004, Vol. 393, pp. 43–62.
- Starostenko V., Janik T. and at Seismic velocity model of the crust and upper mantel along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 2013, Vol. 608., pp. 1049–1072.

Надійшла 18.12.2014 р.