

# ГЕОФІЗИКА

УДК 525.62+551.24+552.24

А. В. НАЗАРЕВИЧ<sup>1</sup>, О. М. БОКУН<sup>2</sup>, Л. Є. НАЗАРЕВИЧ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3-б, тел. +38(032)2648563, ел. пошта nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua

<sup>2</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3-а

<sup>3</sup> Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, відділ сейсмічності Карпатського регіону, 79012, м. Львів, вул. Ярославенка, 27, тел. +38(032)2706100, ел. пошта nazarevych.l@gmail.com

## СТРУКТУРА, ДИНАМІКА І СЕЙСМОТЕКТОНІКА СКИДОВИХ ЗОН

(за результатами фізичного моделювання та польових досліджень)

### Частина 2: польові дослідження

**Мета.** Мета роботи — представити та проаналізувати результати фізичного моделювання і польових досліджень процесів утворення, розвитку, а також сучасної геодинамічної та сейсмотектонічної активності зон субвертикального зсуву (ЗСВЗ), зокрема, скидової кінематики. **Методика.** Фізичне моделювання проведено на спеціальній моделювальній установці для кутів падіння розриву  $75^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  і  $45^{\circ}$ . Як пластично-в'язкі модельні матеріали для нього використано спеціальні пасти на основі глини. Польові дослідження містили геоакустоемісійний, імпульсний геоелектромагнітоемісійний (ПЕМПЗ), деформографічний, нахиломірний та сейсмологічні методи. **Результати.** У частині 1 (фізичне моделювання) відтворено закономірності розвитку процесів субвертикального розривоутворення в осадових товщах у часі та з глибиною в модельних експериментах, проаналізовано розвиток різних систем тріщин залежно від швидкості зміщення та кута падіння розриву. Простежено розвиток приповерхневих тріщинуватих зон (як по латералі, так і з глибиною) над зонами СБЗ. У частині 2 (польові дослідження) наведено приклади зон субвертикального зсуву в реальних геологічних структурах, зокрема, у зоні Березівського горбогір'я в Українському Закарпатті та деякі результати геофізичного моніторингу їх сучасного геодинамічного режиму, зокрема, деформометричним та параметричним геоакустичними методами, а також методами природних геоакустоемісійного та імпульсного геоелектромагнітоемісійного (метод ПЕМПЗ) полів. За сейсмологічними даними простежено особливості сейсмотектонічного процесу в одній з характерних сейсмогенних зон скидової кінематики в районі Березівського горбогір'я в Закарпатті. **Наукова новизна.** За даними фізичного моделювання встановлено характерні часово-просторові закономірності розвитку процесів субвертикального розривоутворення, їхня залежність від кута падіння розриву та швидкості зміщення блоку основи. За даними багаторічних польових геоакустичних, деформографічних і нахиломірних досліджень на мережі пунктів спостережень у зоні Березівського горбогір'я в Українському Закарпатті виявлено підвищену геодинамічну активність таких субвертикальних тріщинуватих зон та зв'язок деформаційних процесів у них з геодинамікою земної кори Закарпаття та усієї Землі. За комплексом сейсмологічних, геологічних та геодезичних даних на прикладі характерних землетрусів Березівської сейсмогенної зони в Українському Закарпатті (зони на перетині Припанонського (захід – північно-західного простягання) і Березівського меридіонального розломів – зони розвитку горст-грабенної (“клавішної”) тектоніки) простежено характерні особливості сейсмотектоніки скидових зон. **Практична значущість.** Результати досліджень дають можливість, з одного боку, надійніше прогнозувати (а значить, і моніторити) зони проявів приповерхневих ефектів від глибинних ЗСВЗ, а з іншого, за результатами поверхневих досліджень прогнозувати наявність, локалізацію та характеристики глибинних ЗСВЗ, а також характер і характеристики геодинамічних та сейсмотектонічних процесів у таких зонах. Це є важливим для сейсмології та геодинамічного моніторингу, для пошуків нафти і газу та інших корисних копалин, для інженерної геології та геофізики, для геоекології та ін.

**Ключові слова:** фізичне моделювання тектонічних процесів; зони субвертикального зсуву (ЗСВЗ); скидові зони; системи тріщин; структуроутворення; польові дослідження; деформації порід; нахиломір-маятник; геоакустоемісійний метод; метод ПЕМПЗ; механізми землетрусів; Українське Закарпаття.

### Вступ

Зсуви різних масштабів та типів, зокрема, по субвертикальних розломах і тріщинах, є найпоширенішим типом порушень у земній корі ([Стоянов, 1977; Гінтов, 2005] та ін.). Поряд з розглянутими нами у попередній роботі [Бокун, Назаревич,

2013] зонами горизонтального зсуву великий інтерес для геологів та геофізиків, зокрема і у Карпатському регіоні України, становлять також зони субвертикального зсуву (ЗСВЗ) різної кінематики (скиди, підкиди, тощо). Ці зони часто контролюють колектори нафти і газу, рудні тіла, вони можуть бути каналами підводу вуглеводнів, гідро-

термальних флюїдів чи тектонічними екранами ([Матковський, 1992; Крупський, 2001; Лозиняк та ін., 2011, Чебаненко и др., 1990; Шеремета та ін., 2011; Скакун та ін., 1992; Ковалишин, Братусь, 1984] та ін.). Якщо такі зони відзначаються помітною сучасною активністю, то вони часто є і сейсмогенними ([Павленкова, 1985; Дослідження..., 2005; Бойко та ін., 2003; Назаревич, Назаревич, 2000, 2001, 2005, 2006, 2007, 2012, 2013, 2014] та ін.).

Вказані зони проявляються своєю активністю у морфології рельєфу [Кравчук, 2008], в індикаторах сучасних (геодезія [Юркевич и др., 1969]) та голоценових (наприклад, типи та динаміка ґрунтового покриву [Полівцев, 2010]) рухів. Вони проявляються також у багатьох геофізичних полях (геомагнітному [Максимчук та ін., 2001], геоакустоемісійному [Назаревич, Назаревич, 2002], імпульсному геоелектромагнітноемісійному (метод ПЕМПЗ) [Ляшук та ін., 2003], радоновому (еманційне знімання) [Бобров, 2008; Толстой, Шабатура, 2014] та ін.) і, як буде показано нижче, це закономірні фізичні ефекти. На нашу думку, саме пов'язані з зонами СВЗ геофізичні ефекти також можуть значною мірою пояснити наявність та особливості прояву так званих геоактивних зон.

Проблеми генерації "сейсмічних" подій (зокрема геоакустоемісійних ефектів) під час деформаційних процесів у геологічному середовищі (зокрема у зонах СВЗ), як у природних умовах, так і шляхом фізичного та математичного моделювання, розглядалися у багатьох роботах, зокрема, у [Луцький, 1963; Ходжсон, 1966; Шамина, 1981; Костров, 1975; Ризниченко, 1985; Садовский, 1987; Молчанов, 1987, 2000; Kuksenko et al., 1996; Парфенюк, Марешаль, 1998; Bakiev et al., 2001; Соколев, Пономарев, 2003; Ребецкий, 1988, 2007, 2008; Осокина, 2000, 2007; Томилин и др., 2005; Стефанов, 2009; Хамидов, 2009, Назаревич, Назаревич, 2000, 2001, 2002, 2005, 2006; Perry et al., 2006, Castro et al., 2015] та ін. Аналіз сейсмічної активності скидових зон на прикладі характерних землетрусів Березівського горбогір'я в Українському Закарпатті наведено далі.

Знання закономірностей розвитку процесів субвертикального розриву утворення в осадових товщах у часі та з глибиною є важливими для геодинамічного моніторингу, для пошуків нафти і газу та інших корисних копалин, для інженерної геології та геофізики, для геоелекології. Для цього необхідні знання про особливості структури та геодинаміки ЗСВЗ. Багато що для цього дають польові геолого-геофізичні дослідження, зокрема сейсморозвідка та буріння. Однак ці дослідження є складними та дорогими, ними важко простежити особливості розвитку структур ЗСВЗ з глибиною (тут переважно можуть допомогти дані досліджень у кар'єрах та шахтах, меншою мірою – дані свердловинних досліджень), вони не можуть дати пряме відтворення утворення цих структур у часі. Тому багато відсутньої у польових даних інформації

про ЗСВЗ можна отримати за даними фізичного моделювання. У частині 1 цієї роботи [Назаревич та ін., 2015] розглянуто результати такого моделювання, а тепер (у частині 2) порівняємо отриману за їх допомогою інформацію з даними низки польових досліджень.

### *Мета досліджень*

Метою роботи (частина 2) є виклад та аналіз результатів польових досліджень сучасної геодинамічної та сейсмотектонічної активності скидових розломно-тріщинуватих зон. Для цього проведено аналіз результатів геофізичного моніторингу геодинамічних процесів у контрольованій ЗСВЗ скидового типу у штольні режимної геофізичної станції "Берегове" у Закарпатті, аналіз комплексу сейсмологічних, геологічних та геодезичних даних стосовно характерних "скидових" землетрусів Березівської сейсмогенної зони в Українському Закарпатті.

### *Методика*

#### **Особливості вивчення геодинамічних процесів у скидових зонах у природних умовах**

Природні зони зсуву, зокрема субвертикального, а також скидової кінематики, давно і активно досліджують геологи і геофізики ([Гзовский, 1953, 1963, 1975; Копп, 1979; Лукьянов, 1963; Арефьев и др., 1985; Исай, 1989; Бобров, 2008] та ін.). Метою таких досліджень є розв'язання актуальних задач тектоніки і геодинаміки, вивчення сейсмічності, проведення та безпека гірничих робіт, розв'язання інженерно-геологічних задач, забезпечення будівництва важливих та екологічно небезпечних об'єктів тощо. Такі дослідження, проведено і в Карпатському регіоні України [Геодинаміка..., 1985; Крупський, 2001; Бойко та ін., 2003; Гинтов, 2005; Дослідження..., 2005; Гордиенко и др., 2011], зокрема, у Закарпатті [Чекунов и др., 1969; Хоменко, 1978; Бокун, 1981; Ковалишин, Братусь, 1984; Матковський, 1992; Григорчук, 1992; Скакун та ін., 1992; Колодій та ін., 1994; Гончарук та ін., 1994; Петрашкевич, Лозиняк, 1988; Третяк та ін., 2009; Андрієць, 2014]. Вони були пов'язані з вивченням глибинної будови кори, геології осадових товщ та фундаменту, пошуком та дослідженням родовищ різних корисних копалин, вивченням геодинамічних процесів.

Ми також провели в Закарпатті низку таких досліджень, пов'язаних з вивченням особливостей місцевої тектоніки, геодинаміки та сейсмотектонічного процесу, зокрема, у Солотвинській западині [Бокун, 1981], у зоні Березівського горбогір'я, на Буковині, у Складчастих Карпатах ([Назаревич, 1997, 2010, 2011; Назаревич та ін., 2011; Назаревич, Назаревич, 2000, 2001, 2002, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011, 2012; Вербицький, Назаревич, 2005; Лозиняк та ін., 2011; Nazarevych et al., 2010] та ін.).

Сучасні геодинамічні процеси розглянемо на прикладі однієї з природних тріщинуватих зон

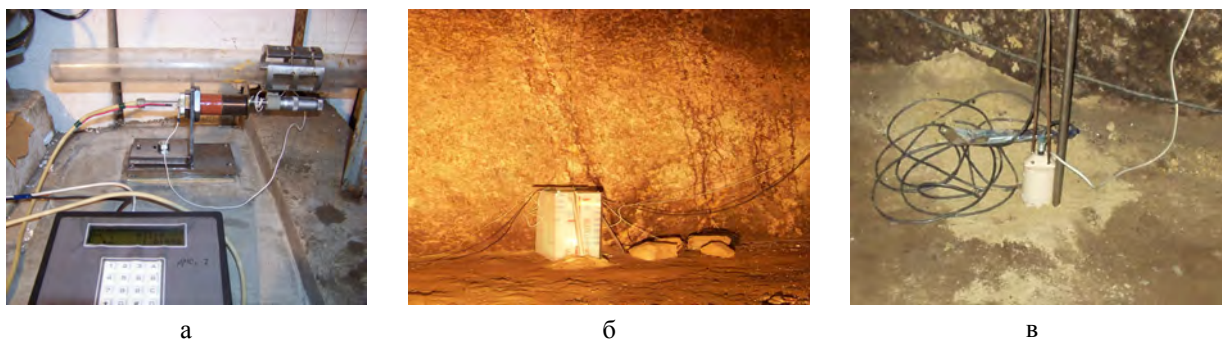
зсуву (активної як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках), локалізованої у тілі масиву гірських порід (андезитів та ріолітових туфів [Мерлич, Спитковская, 1974]) гори Ардово на північній окраїні м. Берегове, де знаходиться режимна геофізична станція (РГС) “Берегове”. Специфіка цієї зони у тому, що через неї проходить штольня РГС (тобто, вона розкрита гірською виробкою, хоча на поверхні перекрита шаром четвертинних глин товщиною порядку 30–40 см). Саме у цій зоні вже кілька років працює “короткий” кварцовий деформограф [Вербицький, Назаревич, 2005; Назаревич, 2010, 2011; Назаревич и др., 2011; Nazarevych et al., 2010; Morozov et al., 2014] (рис. 1, а), який контролює горизонтальні деформації порід і, зокрема, зміщення бортів цієї тріщинуватої зони. У 2011 р. ми спільно з чеськими спеціалістами під керівництвом д-ра Павла Календи на цій же зоні (рис. 1, б) встановили ще один геофізичний прилад – нахиломір (статичний маятник) [Назаревич и др., 2011; Kalenda et al., 2012], який дає змогу контролювати взаємні вертикальні зміщення бортів зони.

Також за кілька метрів від цих тріщин у шурфі у штольні встановлено зонд шахтної геоакустоєм-

сійної апаратури ЗУА-6 (рис. 1, в), який забезпечує контроль геоакустоємійної активності цієї зони. Характерні фрагменти отриманих переліченою апаратурою даних наведено на рис. 11 і 12 та коротко проаналізовано нижче.

Бачимо (рис. 1, б), що тріщинувата зона є субвертикальною (кут падіння близько  $75^\circ$ ) і являє собою цілу смугу тріщинуватості шириною порядку 30–50 см, по якій відбуваються зміщення її бортів переважно паралельно до простягання (рис. 2, д, е) (як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямку). Зміщення бортів вхрест простягання зони є у кілька разів меншими.

Аналізуючи коротко деформаційні процеси у даній тріщинуватій зоні, зокрема, під час місцевих (рис. 3) і далеких сильних (рис. 2) землетрусів, бачимо, що на фоні відносно плавних змін досить часто спостерігаються знакозмінні коливання. Також нерідко виникають різкі ступенеподібні деформації, очевидно, пов’язані із взаємними зміщеннями бортів цієї тріщинуватої зони. Оскільки такі ефекти проявлялися і на деформографічних, і на нахиломірних даних, це вказує на взаємні зміщення бортів цієї зони як по горизонталі, так і по вертикалі.



**Рис. 1.** Моніторингова геофізична апаратура у штольні РГС “Берегове”:

кварцовий деформограф (а); нахиломір (статичний маятник) та контрольована ним субвертикальна тріщинувата зона в андезитовому масиві гірських порід штольні (б); зонд геоакустоємійної апаратури ЗУА-6 у шурфі у штольні (в)

**Fig. 1.** Monitorings geophysical equipment in adit of RGS “Beregove”:

quartz extensometer (a), inclinometer (static pendulum) and controlled by it subvertical fractured zone in the body of the rocks maccif of adit (andesites) (б) and sounder of geoaoustic emission apparatus ZUA-6 in bore pit in adit

Експериментальними геоакустоємійними дослідженнями зафіксовано виникнення під час такої активізації деформаційних процесів серій імпульсів акустичної емісії порід (“наноземлетрусів”), які супроводжують ці процеси. Це яскраво ілюструє також графік змін інтегральної біжучої геоакустичної активності порід досліджуваної зони перед відчутним ( $M = 2,4$ ) місцевим ( $\Delta = 7$  км) Берегівським землетрусом 10 серпня 2011 р. (рис. 2, є).

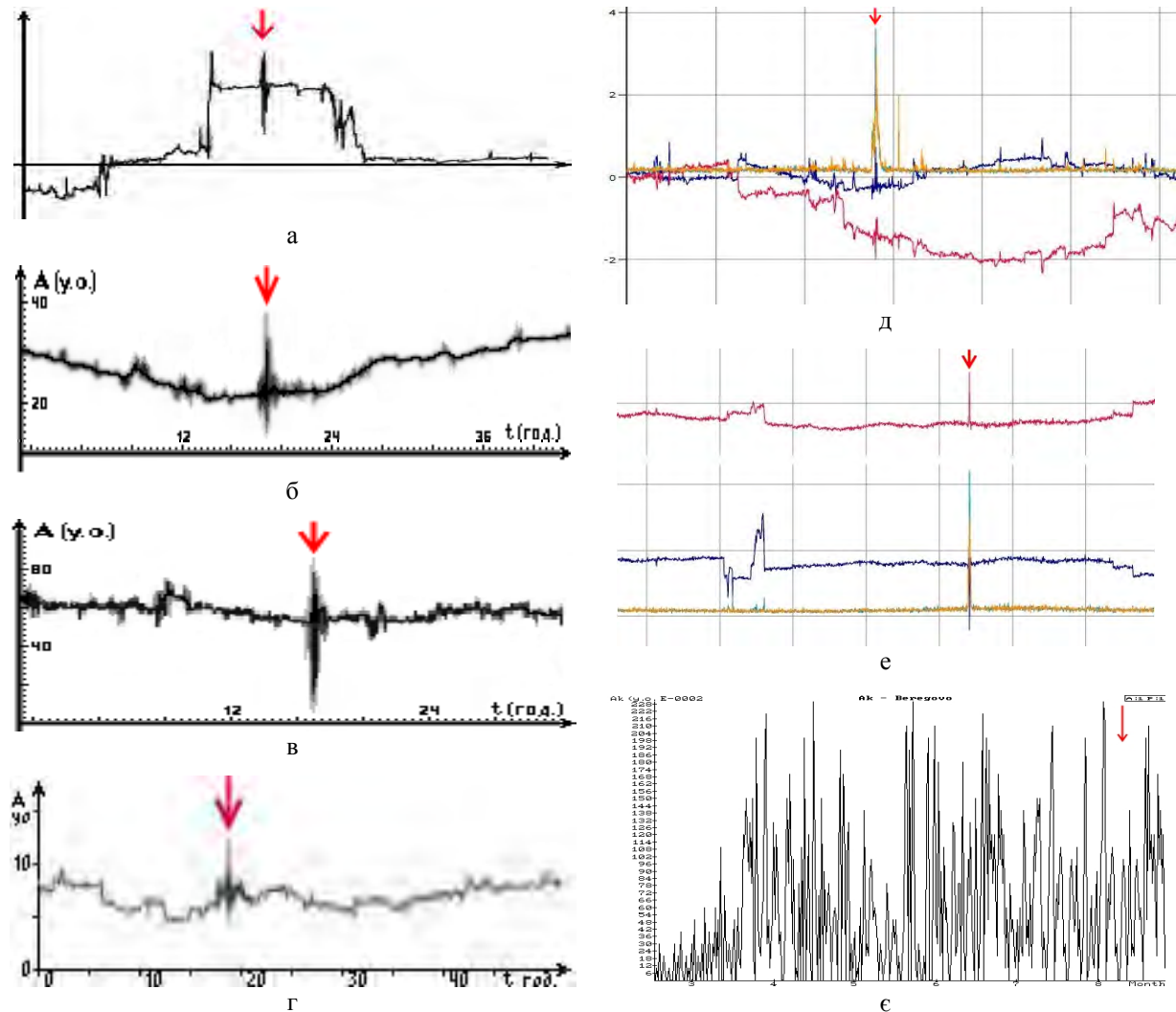
Ще одним свідченням геодинамічної активності цієї зони є результати проведених тут ще у 2002 р. спільно з Д. Н. Лящуком (ЗУГРЕ) геоелектромагнітноємійних (метод ПЕМПЗ, апаратура РХІНДС-ПМ) досліджень [Лящук та ін., 2003], які чітко показали підвищену (до 10 разів, порівняно

зі спокійними зонами) електромагнітноємійну активність порід у цій зоні.

Наведені на рис. 2 і 3 дані також чітко показують, що геодинаміка цієї, на перший погляд, локальної тріщинуватої зони (зони СВЗ) тісно пов’язана з геодинамікою цілого породного масиву, а через неї – з геодинамікою літосфери цілого Закарпаття (про що свідчать зареєстровані тут провісники місцевих землетрусів (рис. 3)), а також з напружено-деформованим станом тектоносфери цілої Землі. Про це свідчать (див, зокрема, рис. 2) зареєстровані нами за останні роки преко- і постсейсмічні деформації від низки найсильніших (з  $M \geq 7$ ) світових землетрусів (Японія, Аляска (рис. 2, б, д), Канада, Гватемала, Чилі (рис. 2, є)

Сахалін (рис. 2, а), Куріли та ін.) а також від менш сильних, але ближчих сейсмічних подій (див. запис відносних зміщень бортів цієї тріщинуватої зони під час землетрусів 8.01.2013 р. з  $M = 5,8$  в Егейському морі (рис. 2, в) і 28.01.2013 р. з  $M = 6,1$  у Східному Казахстані (рис. 2, е). Як і на інших станціях Європейської нахиломірної мережі, у нас також фіксуються постсейсмічні в'язко-пружні деформаційні хвилі, пов'язані з процесами розрядки у

вогнищевих зонах таких сейсмічних подій (рис. 2). З даних спостережень і проведеного їх спільного з даними про локальну, регіональну та глобальну сейсмічність аналізу випливає, що деформаційні збурення від формованих майбутніх вогнищевих зон (особливо це стосується сильніших землетрусів) поширюються значно далі (загасають у середньому значно менше), ніж це передбачала теорія І. Добровольського [Добровольский, 1991].



**Рис. 2.** Зміщення бортів тріщинуватої зони у штольні РГС “Берегове”

за даними кварцового деформографа (а–г) та нахиломіра-маятника (д, е) (по 2 компоненти + відповідні рівні девіації у ковзному вікні, крок клітки по часу 12 годин) та зміни рівня акустичної емісії порід у цій зоні (є) в період підготовки низки різновіддалених землетрусів різної магнітуді (позначених червоними стрілками): в Охотському морі (біля Сахаліну) 14.08.2012 р.,  $M = 7,7$  (а); Аляска, 5.01.2013 р.,  $M = 7,8$  (б, д); в Егейському морі 8.01.2013 р. (в),  $M = 5,8$ ; Чилі, 1.04.2014 р.,  $M = 8,1$  (г); Східний Казахстан, 28.01.2013 р.,  $M = 6,1$  (е); варіації рівня акустичної емісії порід за березень – липень 2011 р. в період підготовки відчутного місцевого Берегівського землетрусу 10 серпня 2011 р. ( $M = 2,4$ ,  $\Delta = 7$  км) (є)

**Fig. 2.** Displacement of sides of fractured zone in adit of RGS “Beregovo”

according to data of quartz extensometer (a-z) and inclinometer-pendulum (d, e) (two components + corresponding levels of deviation in running window, step of scale on time is 12 hours) and changes the level of rocks acoustic emission in this area (e) during the preparation of a series of earthquakes of varying magnitude and distances (indicated by red arrows): Sea of Okhotsk (near Sakhalin) 14.08.2012,  $M = 7,7$  (a); Alaska, 05.01.2013,  $M = 7,8$  (b, d) in the Aegean Sea 08.01.2013 (v),  $M = 5,8$ ; Chile, 01.04.2014,  $M = 8,1$  (z); Eastern Kazakhstan, 28.01.2013,  $M = 6,1$  (e); variation of rocks acoustic emission in March – July 2011 in preparation of tangible local Beregovo earthquake August 10, 2011 ( $M = 2,4$ ,  $\Delta = 7$  km) (e)



**Рис. 3.** Зміщення бортів тріщинуватої зони у штольні РГС “Берегове”:

за даними нахиломіра-маятника (а) під час дуже близького ( $\Delta = 3,65$  км), слабкого ( $M = 1,25 \pm 0,25$ ), дрібнофокусного ( $H = 2$  км), місцевого землетрусу 9.06.2012 р. (момент землетрусу показано стрілкою на рис 3, а (крок клітки по часу – 12 годин), локалізацію епіцентру відносно точки спостережень (РГС “Берегове”) на картооснові Google – на рис. 3, б, праворуч вгорі (червоний кружок з крапкою, внизу – епіцентр Берегівського землетрусу 1965 р.))

**Fig. 3.** Displacement of sides of fractured zone in adit of RGS “Beregovo”:

according to data of inclinometer-pendulum (a) during a close ( $\Delta = 3,65$  km) weak ( $M = 1,25 \pm 0,25$ ) shallow ( $H = 2$  km) local earthquake 9.06.2012. (earthquake moment is pointed by the arrow in Fig. 3, a (step of scale on time is 12 hours), location of the epicenter relative to the point of observation (RGS “Beregovo”) on Google Maps is given in Fig. 3, б, at the top right (red circle with a point, at the bottom, is the epicenter of the 1965 Beregove earthquake))

Водночас для слабших землетрусів теоретичні й експериментальні оцінки краще кореспондуються між собою. Так, для місцевого Берегівського землетрусу з  $M = 1,25 \pm 0,25$  (рис. 3, б), для якого величину розриву оцінено за кореляційною формулою ( $L = 1,665 \times 10^{(0,2K-2)}$ ) з нашої роботи [Назаревич, Назаревич, 2009] у 0,24–0,36 км, відстань від вогнищевої зони до точки спостережень (враховуючи епіцентральну відстань (3,65 км) і глибину вогнища (2 км)) становила  $9,5 \pm 2$  радіуси вогнищевої зони, тоді, як сама аномалія перевищує рівень шумів і флуктуацій (зокрема рівень припливних деформаційних складових) не менш як у 6–20 разів.

Щодо характерних часових особливостей деформаційних провісникових аномалій зазначимо, що короткоперіодні аномалії бухтоподібного типу розпочинаються за час  $T_x$  від кількох (8–12) (рис. 2, а, рис. 3, а) до 20–40 годин до майбутнього землетрусу і можуть бути дещо різними – плавний дрейф (рис. 2, б–з), ступінчастий вступ (рис. 2, з, є), швидкі знакозмінні варіації (рис. 2, б, в, д), а частіше складну в часі комбінацію цих ефектів (рис. 2, а, д, рис. 3, а). Тривалість таких аномалій після землетрусу є, як правило, того ж порядку, що і до нього (найчастіше в межах від 0,5 до  $2 T_x$ ). Інколи аномалії є дипольними (попередньо дві бухти різного знаку (рис. 2, е, рис. 3, а). Часом

аномалії завершуються поверненням до попереднього стану (рис. 2, б–з, д (складова N-S)), а часом залишається залишкова деформація (рис. 2, а, д (складова E-W), рис. 3, а), або взагалі різко змінюється деформаційний режим контрольованого масиву (як за амплітудою трендової деформаційної складової – до трьох раз, так і за знаком – із стиску на розтяг), як це трапилось у 1989 р. для масиву порід гори Великої Берегівської (Мужіївської) (де була розташована деформографічна станція “Берегове-1” (“Мужієво”)) під час підготовки близьких ( $\Delta = 23$  км) відчутних ( $M = 2,9/2,3$ ) Виноградівських землетрусів 5–6 травня 1989 р. [Назаревич, Назаревич, 2005, 2006; Назаревич, 2011]. Дуже цікавою є у цей час також геодинаміка субвертикальної скидової зони, контрольованої параметричним сейсмогеоакустичним методом у розташованому поряд з деформографами (за 400 м від них) геоакустичному пункті “Мужієво” [Назаревич, 1997, 2011; Назаревич, Назаревич, 2000, 2001, 2002; Вербицький, Назаревич, 2005]. Тут під час підготовки згаданих Виноградівських землетрусів спостерігався режим субвертикального розтягу, спричинений, очевидно, провисанням південного борту цієї розломної зони під дією зафіксованого деформографами станції “Берегове-1” горизонтального розтягу кори у цьому районі.

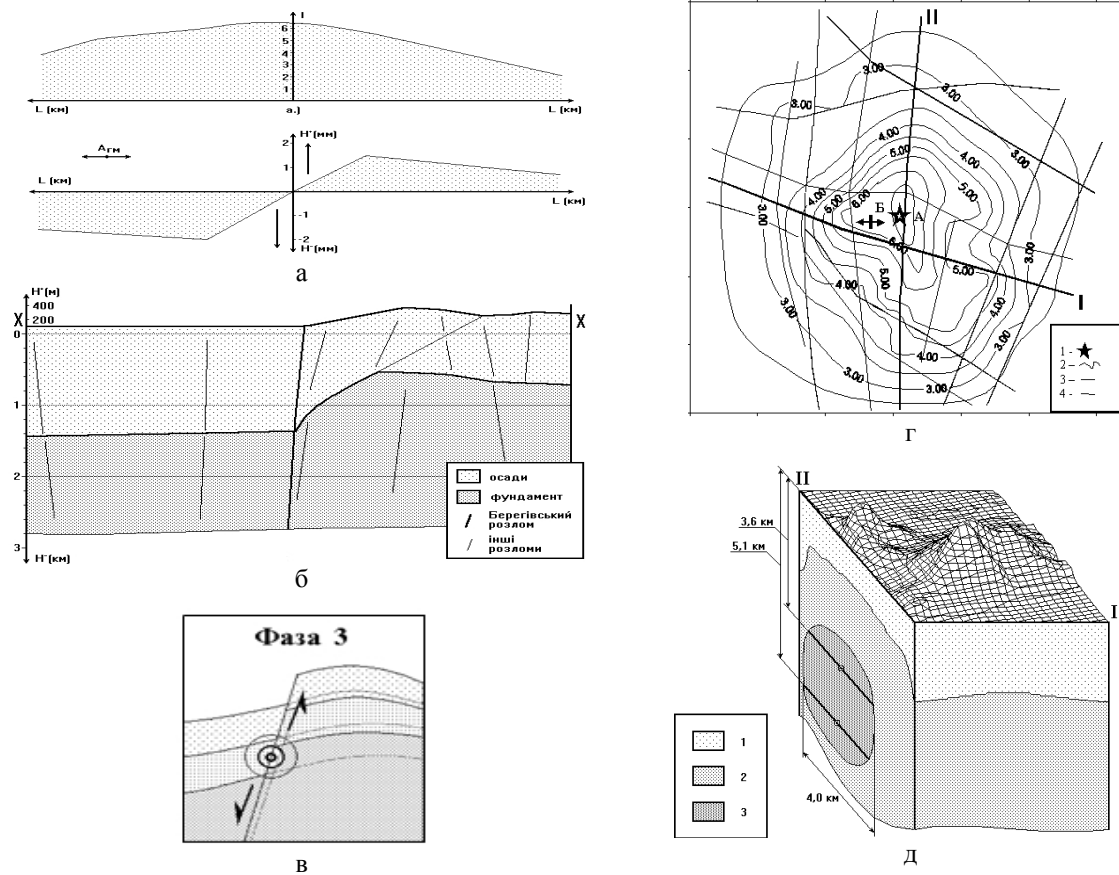
Подібні геодинамічні процеси спостерігалися і в інших сейсмогенних зонах Закарпаття з відповідною кінематикою розривів [Чекунов и др., 1969; Строеие..., 1976; Китык и др., 1983; Тектоническая..., 1986; Литосфера..., 1987–1993], зокрема, в Углянській, у зонах Оашського та Закарпатського глибинних розломів, тут вони відобразились у даних режимних геоелектричних ([Шамотко та ін., 1993] та ін.) і тектономагнітних ([Максимчук та ін., 2001, Кузнецова] та ін.) досліджень.

Завершуючи цей стислий аналіз моніторингових геофізичних даних, зазначимо, що питання поглибленого аналізу зареєстрованих змін деформацій та інших геофізичних полів як провісників землетрусів, є складними (див., наприклад, [Дослід-

ження..., 2005; Ozounov et al., 2011; Kalenda et al., 2012, 2014; Shi et al., 2014] та ін.) і потребують окремого детального розгляду в комплексі з особливостями будови та геодинаміки літосфери відповідних сейсмоактивних територій.

### Особливості сейсмотектоніки скидових зон

Деякі з особливостей сейсмотектоніки скидових зон та їх відображення у даних різних польових досліджень коротко розглянемо на прикладі характерних землетрусів Берегівської горстової зони Закарпаття, зокрема, Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. з  $M = 3,7$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Зведені дані по Берегівському землетрусу 24.10.1965 р.:

макросейсмічне поле (в балах) і вертикальні (за геодезичними даними) та горизонтальні (за макросейсмічними даними) зміщення під час землетрусу (а) в проекції на схематичний широтний структурний розріз (б) через його гіпоцентр; механізм землетрусу (в) і карта-схема його макросейсмічного поля (г) (показано місце фіксації та поляризація горизонтальної компоненти сейсмічних коливань та основні тектонічні розломи земної кори цього району); просторова локалізація розриву – вогнища цього землетрусу (д) у прив'язці до морфології рельєфу (показано структурний розріз по Припанонському (I) і Берегівському (II) розломах (1 – осадові породи, 2 – фундамент, 3 – площадка розриву (показані осі верхнього та нижнього півеліпсів розриву))

**Fig. 4.** Summary data on 24.10.1965 Beregove earthquake:

macroseismic field (in points) and vertical (by geodetic data) and horizontal (by macroseismic data) movements during an earthquake (a) in the projection of latitudinal schematic structural section (б) across of its hypocenter; earthquake mechanism (в) and schematic map of it macroseismic fields (г) (the position of fixing and polarization of horizontal component of seismic vibrations and major tectonic faults of the area are shown); spatial localization of rupture – source of the earthquake (д) in linkage to earth surface (deep sections on Perypannonian (I) and Beregovo (II) faults are shown (1 – sedimentary rocks, 2 – basement, 3 – rupture area (axis of the upper and lower halfellipsoids of rupture are shown))

Проведений комплексний аналіз сейсмологічних, геологічних, геодезичних та інших даних [Назаревич, Назаревич, 2005, 2006; Назаревич Л., 2006] показав (див. рис. 4), що цей землетрус був скидового типу (з деякою зсувною компонентою), він реалізувався на сейсмоактивному Березівському меридіональному розломі скидової кінематики (рис. 4, б) (локалізацію епіцентру див. на рис. 3, б), який проходить неподалік від РГС “Берегове”, і супроводжувався відповідними зміщеннями бортів цього розлому, про що свідчать дані нівелювань і сейсмології (рис. 4, а).

Проведені нами за методиками Шебаліна [Шебалін, 1974] та відомими формулами за моделлю Брюна [Brune, 1970] оцінки параметрів розриву у вогнищі цього землетрусу [Назаревич, Назаревич, 2006] дали такі результати (див. рис. 4, д): глибина макросейсмічного гіпоцентру (центру площадки розриву) – 4,3 км; горизонтальні розміри (довжина) розриву – 4 км; вертикальні розміри розриву – 2,1 км; кут падіння площини розриву порядку  $82 \pm 5^\circ$ , зміщення по розриву – 4,9 мм. Порівняння отриманих параметрів зі середньокореляційними залежностями [Назаревич, Назаревич, 2009] показує, що параметри вогнища цього землетрусу відповідають кріпексному (зі зниженою “жорсткістю” сейсмічного випромінювання) типу – тут майже у 4 рази більша площа розриву і майже у 8 разів – об’єм джерела, більш як у 3 рази менше зміщення по розриву, на порядок менші скинене напруження і пружна деформація зсуву, у більш як 20 разів менше радіаційне тертя, і відповідно, значно менша питома (у відношенні до площі розриву чи до об’єму джерела) енергія сейсмічного джерела. Це все зумовлено геомеханікою скидових зон (що яскраво ілюструють також представлені у частині 1 результати фізичного моделювання розвитку таких зон) – деформації, розривовтворення і зміщення по розриву в них відбуваються в умовах сублатерального розтягу, коли всяче крило просідає під дією власної ваги, стиск бортів розриву тектонічними силами (за винятком бокового розпору під дією власної ваги) відсутній, радіаційне тертя на розриві, а, відповідно, і накопичене та скинене напруження знижені.

#### **Наукова новизна**

За даними багаторічних польових геоакустичних, деформографічних і нахиломірних досліджень на низці пунктів спостережень у зоні Березівського горбогір’я в Українському Закарпатті виявлено підвищену геодинамічну активність субвертикальних тріщинуватих зон та зв’язок деформаційних процесів у них з геодинамікою земної кори Закарпаття та усієї Землі. За комплексом сейсмологічних, геологічних та геодезичних даних на прикладі характерних землетрусів Березівської сейсмогенної зони в Українському Закарпатті (зони на перетині Припаннонського (захід – північно-західного простягання) і Березівського меридіонального розломів – зони розвитку горст-грабенної (“клавішної”) тектоніки) простежено характерні особливості сеймотектоніки скидових зон.

#### **Практична значущість**

Результати досліджень дають можливість, з одного боку, надійніше прогнозувати (а значить, і моніторити) зони проявів приповерхневих ефектів від глибинних ЗСВЗ, а з іншого, за результатами поверхневих досліджень прогнозувати наявність, локалізацію та характеристики глибинних ЗСВЗ, а також характер і характеристики геодинамічних та сеймотектонічних процесів у таких зонах. Це є важливим для геодинамічного моніторингу, для пошуків нафти і газу та інших корисних копалин, для інженерної геології і геофізики, для геоекології та ін.

#### **Висновки**

Підсумовуючи це дослідження, можна констатувати, що результати фізичного моделювання (див. [Бокун, Назаревич, 2013], а також частину 1 [Назаревич та ін., 2015]) і різноманітних польових геолого-геофізичних досліджень висвітлюють з різних сторін і часово-просторових масштабних рівнів складну, але закономірну динаміку поширених у природних умовах зон субвертикального зсуву (ЗСВЗ) і, зокрема, скидових зон.

У межах платформ і складчастих областей жорсткі блоки фундаменту, рухаючись вертикально по розломах, деформують розташовані вище осадові товщі гірських порід, формуючи в них складки (зокрема, флексурні згини) і розривні порушення скидової кінематики. За фізичного моделювання таких процесів простежено формування системи розривів різного рангу та генезису, які в сукупності формують субветрикальну розривну зону. Під час моделювання отримано інформацію про генезис різних розривних порушень під час формування таких зон, про просторово-часові зв’язки між системами розривних порушень різної кінематики та просторово-часові закономірності їх формування. Основний висновок – простягання розривної зони визначається нахилом розлому в жорсткій основі (фундаменті), а її внутрішня структура – швидкістю руху блоку основи. Цією швидкістю визначаються кількісні співвідношення між тріщинами різних систем та ширина зони в цілому. Така інформація є важливою, наприклад, у нафтогазопошукових дослідженнях, зокрема, у разі обґрунтування місць закладання пошукових та розвідувальних свердловин.

Що стосується сучасної геодинаміки скидових зон, то вона, поряд з наявністю виражених характерних рис, спричинених генезисом та успадкованістю геодинамічних процесів, має свої часово-просторові особливості, пов’язані з часово-просторовими варіаціями інтенсивності саме сучасних геодинамічних і сеймотектонічних процесів, впливом на часово-просторовий розподіл напружень і деформацій, структури та властивостей земної кори, їх змін у просторі і в часі.

#### **Література**

Андрієць Т. В. Постмагматична еволюція вулканічних структур Вигорлат-Гутинського пасма

- за даними структурно-морфометричного аналізу / Андрієць Т. В. // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2014. – № 2(65). – С. 23–28.
- Бобров А. А. Исследование объемной активности разлона в разломных зонах Приольхонья и южного Приангарья: методика и предварительные результаты / Бобров А. А. // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск : Изд. ИрГТУ, 2008. – № 6 (32). – С. 124–129.
- Глибинна геологічна будова Карпатського регіону / Бойко Г. Ю., Лозиняк П. Ю., Заяць Х. Б., Анікеєв С. Г., Петрашкевич М. Й., Колодій В. В., Гайванович О. П. // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 2. – С. 52–61.
- Бокун А. Н. Соляные структуры Солотвинской впадины / Бокун А. Н. – К. : Наук. думка, 1981. – 135 с.
- Бокун О. М. Структура і динаміка зон горизонтального зсуву (за результатами фізичного моделювання і польових досліджень) / Бокун О. М., Назаревич А. В. // Геодинаміка. – 2013. – № 1 (14) – С. 129–141.
- Вербицький Т. З. Деформографічні і геоакустичні дослідження у Закарпатті / Вербицький Т. З., Назаревич А. В. // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Під ред. В. І. Старостенка. – К. : Наук. думка. – 2005. – С. 113–131.
- Геодинаміка Карпат / Круглов С. С., Смирнов С. Е., Спитковская С. М., Фильштинский Л. Е., Хижняков А. В. – К. : Наук. думка, 1985. – 136 с.
- Гзовский М. В. Волнистость простираения крупных тектонических разрывов / Гзовский М. В. // Изв. АН СССР. – 1953. – № 2. – С. 101–114.
- Гзовский М. В. Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория / Гзовский М. В. – М. : Изд. АН СССР, 1963. – Ч. 3, 4. – 544 с.
- Гзовский М. В. Основы тектонофизики / Гзовский М. В. – М. : Наука, 1975. – 536 с.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / Гинтов О. Б. – К. : Феникс, 2005. – 572 с.
- Рудоконцентруючі структури й етапи вулканотектонічного розвитку Берегово-Беганської золотоносної зони Закарпаття / Гончарук А. Ф., Степанов В. А., Веремєєнко Л. І., Кулібаба В. М., Шемякіна Т. І. // Вісн. ЛНУ ім. І. Франка. Сер. геол. – 1994. – Вип. 12. – С. 168–177.
- Украинские Карпаты (геофизика, глубинные процессы) / Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Тарасов В. М., Усенко О. В. – К. : Логос, 2011. – 129 с.
- Григорчук Г. Ю. Геолого-структурна позиція золотого і поліметалевого зруденіння – критерій глибинного прогнозу руд / Григорчук Г. Ю. // Вісн. ЛНУ ім. І. Франка. Сер. геол. – 1992. Вип. 11. – С. 153–159.
- Добровольский И. П. Теория подготовки тектонического землетрясения / Добровольский И. П. – М.: ИФЗ РАН, 1991. – 219 с.
- Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Під ред. В. І. Старостенка. – К. : Наук. думка, 2005. – 256 с.
- Исай В. М. Реологические свойства консолидированной коры и некоторые закономерности разломообразования (на примере Украинского щита) / Исай В. М. // Геофиз. журн. – 1989. – 11, № 3. – С. 40–52.
- Галогенные формации Украины: Закарпатский прогиб / Китык В. И., Бокун А. Н., Панов Г. М., Сливко Е. П., Шайдецкая В. С. – К. : Наук. думка, 1983. – 168 с.
- Ковалишин З. И. Флюидный режим гидротермальных процессов Закарпатья / Ковалишин З. И., Братусь М. Д. – К. : Наук. думка, 1984. – 86 с.
- Структура Берегівського рудного поля і прогноз нових рудовмісних зон за геоіндикацією аерокосмознімків і комплексом наявних геологічних даних / Колодій О. М., Матковський О. І., Зайцева В. М., Гожик М. Ф., Драчук В. П., Лиськевич Я. Б., Поморцева Т. П. // Вісн. ЛНУ ім. І. Франка. Сер. геолог. – 1994. – Вип. 12. – С. 177–185.
- Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения / Костров Б. В. – М. : Наука, 1975. – 176 с.
- Кравчук Я. С. Геоморфология Полонинско-Черногирских Карпат / Кравчук Я. С. – Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2008. – 188 с.
- Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України / Крупський Ю. З. – К. : УкрДГРІ, 2001. – 144 с.
- Кузнецова В. Г. Тектономагнитные исследования для изучения особенностей структуры и геодинамики литосферы / Кузнецова В. Г., Максимчук В. Е. – Львов, 1990. – 43 с. (Препринт № 13-90, АН УССР. ИПШММ).
- Литосфера Центральной и Восточной Европы // Под ред. А. В. Чекунова. – К. : Наук. думка, 1987–1993.
- Лозиняк П. Ю. Неогенова та сучасна геодинаміка і сейсмічність літосфери Закарпаття / Лозиняк П. Ю., Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Геодинаміка. – 2011. – 2 (11). – С. 170–172.
- Лукьянов А. В. Горизонтальные движения по разломам, происходящие при современных катастрофических землетрясениях / Лукьянов А. В. // Тр. ГИН АН СССР. – М. : Изд. АН СССР. – 1963. – Вып. 80. – С. 34–112.
- Лящук Д. Н. Геоелектромагнітноемісійний метод в моніторинзі локальних геодинамічних процесів / Лящук Д. Н., Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2003. – № 26–27. – С. 92–97.
- Максимчук В. Динаміка аномального магнітного поля Землі / Максимчук В., Городиський Ю., Кузнецова В. – Львів : Євросвіт, 2001. – 306 с.



- Матковський О. Родовища та рудопрояви золота Українських Карпат / Матковський О. // Вісник ЛНУ ім. І. Франка. Сер. геол. – 1992. – Вип. 11. – С. 96–120.
- Мерлич Б. В. Глубинные разломы, неогеновый магматизм и оруденение Закарпатья / Мерлич Б. В., Спитковская С. М. // Проблемы тектоники и магматизма глубинных разломов. – Львов, 1974. – С. 173–180.
- Молчанов А. Е. Процессы разломообразования и сейсмичность сдвиговых зон / Молчанов А. Е. // Физика Земли. МАИК Наука. – 1993. – № 9. – С. 12–26.
- Назаревич А. В. Геофізичні провісники деяких відчутних закарпатських землетрусів як відображення процесів формування вогнищевих зон / Назаревич А. В. // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К. : – 2010. – С. 274–285.
- Назаревич А. В. Деформографічний метод у дослідженнях сейсмотектонічних процесів у вогнищевих зонах землетрусів Закарпаття / Назаревич А. В. // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10). – С. 134–146.
- Назаревич А. В. Експериментальне дослідження спектрально-часової структури варіацій параметрів пружних хвиль в масивах гірських порід : автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук / Назаревич А. В. – К. : ІГФ. – 1997. – 24 с.
- Назаревич А. В. Структура, динаміка і сейсмотектоніка скидових зон (за результатами фізичного моделювання та польових досліджень). Частина 1: Фізичне моделювання / Назаревич А. В., Бокун О. М., Назаревич Л. Є. // Геодинаміка. – 2015. – № 1 (18). – С. 63–85.
- Назаревич А. В. Аппаратурное обеспечение и некоторые результаты деформографических и наклонерных наблюдений на РГС “Берегово” в Украинском Закарпатье / Назаревич А. В., Календа П., Мызык Б. Г. // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 213–215.
- Назаревич А. В. Геодинаміка і особливості сейсмотектонічного процесу Берегівської горстової зони (Закарпаття) / Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Геодинаміка. – 2000. – № 1(3). – С. 131–147.
- Назаревич А. В. Геодинаміка і тріщинуватість породних масивів (на прикладі Берегівського горбогір'я в Закарпатті) / Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Науковий вісник НГАУ. – 2001. – № 4. – С. 23–24.
- Назаревич А. В. Геодинаміка, тектоніка та сейсмічність Карпатського регіону України / Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Геодинаміка. – 2013. – № 2(15) – С. 247–249.
- Назаревич А. В. Глибинні особливості сейсмотектонічного процесу в Українських Карпатах / Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Матеріали XII Міжнародної конференції “Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти”, 12–15 травня 2014 року, м. Київ. – К., 2014 (CD). 05/2014; DOI: 10.3997/2214-4609.20140419.
- Назаревич А. В. Масштабно-енергетичні кореляційні співвідношення для вогнищ землетрусів Закарпаття: деякі наслідки та енергетична верифікація / Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2009. – С. 279–298.
- Назаревич А. В. Параметричні сейсмогеоакустичні методи і комплексні технології моніторингу природних та техногенних геодинамічних процесів та прогнозу катастроф / Назаревич А. В., Назаревич Л. Є. // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2002. – № 23–24. – С. 43–47.
- Назаревич Л. Є. Сейсмічність і деякі особливості сейсмотектоніки Українських Карпат / Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. // Геодинаміка. – 2012. – № 1(12). – С. 145–151.
- Назаревич Л. Є. Особливості вогнища Берегівського землетрусу 1965 року за комплексом даних (геоінформаційні аспекти) / Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2005. – Т. 2. – С. 74–79.
- Назаревич Л. Є. Особливості підготовки та характеристики вогнища Берегівського землетрусу 1965 року (за макросейсмічними даними) / Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. // Геодинаміка. – 2006. – № 1(5). – С. 61–74.
- Назаревич Л. Є. Характеристики сейсмічності і сейсмотектонічного процесу в зонах Карпатського регіону : автореф. дис. ... канд. геол. наук / Назаревич Л. Є. – К. : ІГФ. – 2006. – 21 с.
- Назаревич Л. Є. Характерні риси сейсмотектонічного процесу в літосфері Буковини та прилеглих територій / Назаревич Л. Є., Назаревич А. В. // Геодинаміка. – 2007. – № 1(6). – С. 49–54.
- Осокина Д. Н. Исследование механизмов деформирования массива в зоне разрыва на основе изучения трехмерного поля напряжений (математическое моделирование) / Осокина Д. Н. // М. В. Гзовский и развитие тектонофизики. – М. : Наука, 2000. – С. 220–245.
- Осокина Д. Н. Поле напряжений в окрестностях конца разлома как фактор, определяющий развитие нарушений второго порядка, характер роста разлома, разрушения массива и сейсмичности / Осокина Д. Н. // Фундаментальные проблемы геотектоники. Материалы X Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2007. – Т. 2. – С. 62–66.
- Павленкова Н. И. Структура и динамика земной коры и верхней мантии континентов / Павленкова Н. И. // Проблемы движений и структуры образования коры и верхней мантии. – М. : Наука, 1985. – С. 58–72.
- Парфенюк О. И. Численное моделирование термомеханической эволюции структурной зоны Капускейсинг (провинция Сьюперитор Канадского щита) / Парфенюк О. И., Маршалль Ж. К. // Физика Земли. – 1998. – № 10. – С. 22–32.
- Петрашкевич М. И. Структурное районирование основания Закарпатского прогиба / Петрашкевич М. И., Лозыняк П. Ю. // Региональная

- геология СССР и направления поисков нефти и газа. – Львов, 1988. – С. 72–79.
- Полівцев А. В. Карта вертикальних голоценових рухів Волино-Поділля та Передкарпаття / Полівцев А. В. // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10). – С. 58–70.
- Ребецкий Ю. Л. Механизм генерации тектонических напряжений в областях больших вертикальных перемещений / Ребецкий Ю. Л. // Физ. мезомеханика. – 2008. – Т. 11, № 1. – С. 66–73.
- Ребецкий Ю. Л. Напряженное состояние слоя при продольном сдвиге / Ребецкий Ю. Л. // Известия АН СССР. сер. Физика Земли. – 1988. – № 9. – С. 29–35.
- Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов / Ребецкий Ю. Л. – М. : Наука, 2007. – 406 с.
- Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды / Ризниченко Ю. В. – М. : Наука, 1985. – 406 с.
- Садовский М. А. Автомодельность сейсмических процессов / Садовский М. А. // Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях. – М. : Наука, 1987. – С. 6–12.
- Золоте зруденіння Березівського рудного поля (геолого-структурна позиція і мінералогічна типізація) / Скакун Л. З., Матковський О. І., Гожик М. Ф., Ремешило Б. Г., Шклянка В. М. // Вісник ЛНУ ім. І. Франка. Сер. геол. – 1992. – Вип. 11. – С. 128–145.
- Соболев Г. А. Физика землетрясений и предвестники | Соболев Г. А., Пономарев А. В. – М. : Наука, 2003. – 270 с.
- Стоянов С. С. Механизм формирования разрывных зон / Стоянов С. С. – М. : Недра, 1977. – 144 с.
- Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы / Соллогуб В. Б., Гутерх А., Просен Д. и др. – К. : Наук. думка, 1978. – 272 с.
- Тектоническая карта Украинских Карпат / Под ред. В. В. Глушко и С. С. Круглова. – К., 1986.
- Толстой М. І. Вивчення провісників локальних землетрусів засобами їх прямої оцінки | Толстой М. І., Шабатура О. В. // Геодинаміка. – 2014. – № 1(16). – С. 103–112.
- Томилини Н. Г. Статистическая кинетика разрушения горных пород и прогноз сейсмических явлений / Томилини Н. Г., Дамаскинская Е. Е., Павлов П. И. // ФТТ. – 2005. – Т. 47, № 5. – С. 955–959.
- Третьяк К. Р. Геодинаміка Терезле-Ріцького техногенного полігону / Третьяк К. Р., Кульчицький А. Я., Сідоров І. С. // Геодинаміка. – 2009. – № 1(8). – С. 47–52.
- Хамидов Л. А. Количественные модели концентрации напряжений в зонах сейсмоактивных разломов земной коры : автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук / Хамидов Л. А. – Ташкент : ИС АН РУз. – 2009. – 43 с.
- Ходжсон Б. Я. Движения земной коры по сейсмическим данным / Ходжсон Б. Я. // Дрейф континентов. Горизонтальные движения земной коры. – М. : Мир, 1966. – С. 42–74.
- Хоменко В. І. Глибинна будова Закарпатського прогину / Хоменко В. І. – К. : Наук. думка, 1978. – 230 с.
- Особенности развития трещиноватости пород кристаллического фундамента в разломных зонах Днепровско-Донецкой впадины / Чебаненко И. И., Малюк Б. И., Бокун А. Н., Клочко В. П., Пономаренко М. И. // Тектоника и стратиграфия. – 1990. – Вып. 31. – С. 9–12.
- Чекунов А. В. Глубинное строение и некоторые особенности тектоники Закарпатского прогиба / Чекунов А. В., Ливанова Л. П., Гейко В. С. // Сов. геология. 1969 – № 10. – С. 57–68.
- Шамина О. Г. Модельные исследования физики очага землетрясений / Шамина О. Г. – М. : Наука, 1981. – 192 с.
- Шамотко В. І. Електрометричний контроль геодинамічних процесів / Шамотко В. І., Білінський А. І., Мороз І. П. // Геолого-геофізичні проблеми сейсмічного районування території західних областей України. – Львів, 1993. – С. 53–55. (препр. / АН України. ІППММ; 17–93).
- Шебалин Н. В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР / Шебалин Н. В. – М. : Наука, 1974. – 54 с.
- Про колізію Західно-Європейської мікроплити та Східно-Європейської плити в Західному регіоні України за новими даними регіональних геофізичних досліджень та перспективи нафтогазоносності / Шеремета П. М., Слоніцька С. Г., Трегубенко В. І., Ладиженський Ю. М., Назаревич А. В., Назаревич Л. С., Хавензон І. В., Левкович Ю. М. // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 341–343.
- Юркевич О. И. Повторное нивелирование Береговского землетрясения 24 октября 1965 г. / Юркевич О. И., Волосецкий Б. И., Зяблюк Н. С. // Сейсмичность Украины. – К. : Наук. думка, 1969. – С. 103–106.
- Bakiev M. H. Stress Concentration around Regional Heterogeneous Area of the Crust / Bakiev M. H., Khamidov L. A., Ibragimov A. H. // J. Inland Earthquake. – China, 2001. – Vol. 15, No. 4. – P. 376–384.
- Brune J. N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes / Brune J. N. // J. Geophys. Res. – 1970. – 75, No. 26. – P. 4997–5009.
- Delayed Dynamic Triggered Seismicity in Northern Baja California, México Caused by Large and Remote Earthquakes / Castro R. R., González-Huizar H., Ramón Zúñiga F., Wong V. M. and Velasco A. A. // Bull. of the SSA, Vol. 105, No. 4 (August 2015), pp. 1–12; DOI: 10.1785/0120140310.
- Tilts, global tectonics and earthquakes prediction / Kalenda P., Neumann L. et al. – London : SWB, 2012. – 247 p.

- Multiparameter observations of precursors before strong earthquakes (Tohoku 2011, Okhotsk Sea 2012, Iran-Pakistan 2013) / Kalenda P., Ouzounov D., Bobrovskiy V., Neumann L., Boborykina O., Nazarevych A., Šebela S., Kvetko Ju. and Shen W-B. // International Scientific Spring-2014. Islamabad, Pakistan 10.3.2014 (CD).
- A two-stage model of fracture of rocks / Kuksenko V., Tomilin N., Damaskinskaya E. and Lockner D. // Pure Appl. Geophys. 1996. – Vol. 146, No 2. – P. 253–263.
- Software of internet portal of geophysical monitoring / Morozov Yu., Nazarevych R., Nazarevych A., Struk Ye., Markhyvka V. // Bulletin of National University “Lviv polytechnic” “Computer sciences and informatics technologies”. – 2014. – No. 800. – P. 228–238.
- Extensometric researches in Ukraine: methods, instruments, results / Nazarevych A., Nazarevych L., Nasonkin V., Boborykina O. // Геофіз. журн. – 2010. – 32, № 4. – С. 121–123.
- Ozounov D. et al. Atmosphere-Ionosphere Response to the M9 Tohoku Earthquake Revealed by Joined Satellite and Ground Observations. Preliminary results reported at EGU 2011 in Vienna, Austria. 2011. Available at: <http://arxiv.org/abs/1105.2841>.
- Perry H. K. C. Variations of strength and localized deformation in cratons: The 1.9 Ga Kapuskasing uplift, Superior Province, Canada / Perry H. K. C., Mareschal J.-C., Jaupart C. // Earth Planet. Sci. Lett. 2006; DOI: 10.1016/j.epsl.2006.07.013.
- Shi Y. On numerical earthquake prediction / Shi Y., Zhang B., Zhang S., Zhang H. // Earthquake Science. 2014; DOI: 10.1007/s11589-014-0082-z. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/265292951>

А. В. НАЗАРЕВИЧ<sup>1</sup>, А. Н. БОКУН<sup>2</sup>, Л. Е. НАЗАРЕВИЧ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 79060, г. Львов, ул. Научная, 3-б, тел. +38 (032) 2648563, эл. почта nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua

<sup>2</sup> Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, 79060, г. Львов, ул. Научная, 3-а.

<sup>3</sup> Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, отдел сейсмичности Карпатского региона, 79012, г. Львов, ул. Ярославенко, 27, тел. +38 (032) 2706100, эл. почта nazarevych.l@gmail.com

## СТРУКТУРА, ДИНАМИКА И СЕЙСМОТЕКТОНИКА СБРОСОВЫХ ЗОН

(по результатам физического моделирования и полевых исследований)

Часть 2: полевые исследования

**Цель.** Целью работы является представить и проанализировать результаты физического моделирования и полевых исследований процессов образования, развития, а также современной геодинамической и сейсмотектонической активности зон субвертикального сдвига (ЗСВС), в частности, сбросовой кинематики. **Методика.** Физическое моделирование проведено на специальной моделирующей установке для углов падения разрыва 75°, 60° и 45°. Как пластично-вязкие модельные материалы для него использованы специальные пасты на основе глины. Полевые исследования включали геоакустический, импульсный геоэлектромагнитноэмиссионный (ЕИЭМПЗ), деформографический, наклономерный и сейсмологические методы. **Результаты.** В части 1 (физическое моделирование) воспроизведены закономерности развития процессов субвертикального разрывообразования в осадочных толщах во времени и с глубиной в модельных экспериментах, проанализировано развитие различных систем трещин в зависимости от скорости смещения и угла падения разрыва. Прослежено развитие приповерхностных трещиноватых зон (как по латерали, так и с глубиной) над зонами СВС. В части 2 (полевые исследования) приведены примеры зон субвертикального сдвига в реальных геологических структурах, в частности, в зоне Береговского холмогорья в Украинском Закарпатье и некоторые результаты геофизического мониторинга их современного геодинамического режима деформометрическим и параметрическим геоакустическим методами, а также методами естественных геоакустическим и импульсным геоэлектромагнитноэмиссионным (метод ЕИЭМПЗ) полей. По сейсмологическим данным прослежены особенности сейсмотектонического процесса в одной из характерных сейсмогенных зон сбросовой кинематики в районе Береговского холмогорья в Закарпатье. **Научная новизна.** По данным физического моделирования установлены характерные пространственно-временные закономерности развития процессов субвертикального разрывообразования, их зависимость от угла падения разрыва и скорости смещения блока основания. По данным многолетних полевых геоакустических, деформографических и наклономерных исследований на сети пунктов наблюдений в зоне Береговского холмогорья в Украинском Закарпатье обнаружена повышенная геодинамическая активность таких субвертикальных трещиноватых зон и связь деформационных процессов в них с геодинамикой земной коры Закарпатья и всей Земли. По комплексу сейсмологических, геологических и геодезических данных на примере характерных землетрясений Береговской сейсмогенной зоны в Украинском Закарпатье (зоны на пересечении Припаннынского (запад – северо-западного простирания) и Береговского меридионального разломов – зоны развития горст-грабеновой (“клавишной”) тектоники) прослежены характерные особенности сейсмотектоники сбросовых зон. **Практическая значимость.** Результаты исследований дают возможность, с одной стороны, более надежно прогнозировать (а значит, и мониторить) зоны

проявлений приповерхностных эффектов от глубинных ЗСВС, а с другой, по результатам поверхностных исследований прогнозировать наличие, локализацию и характеристики глубинных ЗСВС, а также характер и характеристики геодинамических и сейсмотектонических процессов в таких зонах. Это важно для сейсмологии и геодинамического мониторинга, для поисков нефти и газа и других полезных ископаемых, для инженерной геологии и геофизики, для геоэкологии и др.

*Ключевые слова:* физическое моделирование тектонических процессов; зоны субвертикального сдвига (ЗСВС); сбросовые зоны; системы трещин; структурообразование; полевые исследования; деформации пород; наклонмер-маятник; геоакустоэмиссионный метод; метод ИИЭМПЗ; механизмы землетрясений; Украинское Закарпатье.

A. V. NAZAREVYCH<sup>1</sup>, A. N. BOKUN<sup>2</sup>, L. Ye. NAZAREVYCH<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Carpathian Branch of Subbotin Name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Naukova str., 3-b, 79060, Lviv, Ukraine, tel. +38(032)2648563, e-mail nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua

<sup>1</sup> Institute of geology and geochemistry of combustible minerals of NAS of Ukraine, Naukova str., 3-a, 79060, Lviv, Ukraine

<sup>3</sup> Subbotin Name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Department of seismicity of Carpathian region, Yaroslavenko st., 27, 79012, Lviv, Ukraine, tel. +38(032)2706100, e-mail nazarevych.l@gmail.com

## STRUCTURE, DYNAMICS AND SEISMOTECTONICS OF FAULTING ZONES

(by results of physical modelling and field studies)

Parth 2: field studies

**Purpose.** The aim of the work is to present and to analyze the results of physical modeling and field studies of processes of formation, evolution and modern geodynamic and seismotectonic activity of subvertical shear zones (SVShZ), in particular of faulting kinematics. **Methods.** Physical modeling was conducted on the special modeling machine for break dip angle 75°, 60° and 45°. As a plastic-viscous modeling materials for this the special pastes were used which are based on clay. Field researches included geoaoustic emission, impulse geoelectromagnetic emission (PIEMPZ), extenzometric, tiltmetric and seismological methods. **Results.** In the parth 1 (physical modelling) the regularities of evolution of processes of subvertical ruptures formations in sedimentary strata in time and on the depth in modeling experiments was reproduced, the evolution of different systems of crack depending from the speed of displacement and break dip angle was analyzes. Evolution of subsurface fractured zones (as on lateral as in depth) over zones of the SVSh was traced. In the parth 2 (field studies) examples of this type zones in the real geological structures, particularly in the area of Beregovo hill-land in Ukrainian Transcarpathians and some results of geophysical monitoring of its modern geodynamic regime by extenzometric and parametric geoaoustic methods and also by methods of natural geoaoustic emission and impulse geoelectromagnetic emission (method PIEMPZ (NIEMFE)) fields. By seismological data the features of seismotectonic process in one of the typical seismogenic zones of faulting kinematics in the Beregovo hill-land area in Ukrainian Transcarpathians were traced. **Originality.** By the data of the physical modeling the typical time-spatial regularities of evolution of processes of subvertical ruptures formations and their dependence from the break dip angle and speed of displacement of basis unit were determined. By the data of long-term field geoaoustic, extenzometric and tiltmetric researches on observation points network in the area of Beregovo hill-land in Transcarpathians high geodynamic activity of such subvertical fractured zones and the relationship of deformation processes in them with the geodynamics of the crust of Transcarpathians and all the Earth was found. By complex of seismological, geological and geodetic data on example of typical earthquakes of Beregovo seismogenic zone in the Ukrainian Transcarpathians (zone at the intersection of Perypannonian (west – northwest direction) and Beregovo meridional fault – zone of horst-graben (“keyboard”) tectonics distribution) the features of faulting zones seismotectonics was traced. **Practical significance.** The researches results make it possible, on the one hand, more reliably predict (and therefore monitor) zone of near-surface effects display from deep SVShZ, and on the other hand, on the results of surface studies to predict the presence, location and characteristics of deep SVShZ and the nature and characteristics of geodynamic and seismotectonic processes in these zones. It is important for seismology and geodynamic monitoring, for searching for oil and gas and other minerals, for engineering geology and geophysics, for geoecology and others.

*Key words:* physical modeling of tectonic processes; zones of subvertical shearing (SVShZ); faulting zone; systems of cracks; structure formation; field researches; deformation of rocks; inclinometer-pendulum; geoaoustic emission method; PIEMPZ method; mechanisms of earthquakes; Ukrainian Transcarpathians.

## REFERENCES

- Andriyets' T. V. *Postmahmatychna evolyutsiya vulkanichnykh struktur Vyhorlat-Hutyynskoho pasma za danymy strukturno-morfometrychnoho analizu* [Postmagmatic evolution of volcanic structures of Vygorlat-Huta ridge by structural-morphometric analysis data], *Visnyk KNU im. T. Shevchenka, Heolohiya* [Bulletin of T. Shevchenko name KNU (Kyiv National University), Geology], 2014, no. 2(65), pp. 23–28 (in Ukrainian)

- Bobrov A. A. *Issledovanie objemnoj aktivnosti radona v razlomnyh zonah Priol'hon'ja i juzhnogo Priangar'ja: metodika i predvaritel'nye rezul'taty* [Studies of volume activity of radon in fault zones of Priol'honya and southern Priangarya: methods and preliminary results], *Izvestija Sibirskogo otdelenija Sekcii nauk o Zemle RAEN, Geologija, poiski i razvedka rudnyh mestorozhdenij* [Proceedings of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of Russian Academy of Natural Sciences, Geology, searching and exploration of ore deposits], Irkutsk, Izd. IrGTU [Publ. of Irkutsk State Technical University], 2008, no. 6(32), pp. 124–129 (in Russian).
- Boyko G. Yu., Lozynyak P. Yu., Anikeev S. G., Petrashkevych M. Y., Kolodiy V. V., Gaivanovych O. P. *Hlybynna heolohichna budova Karpats'koho rehionu* [Deep geological structure of Carpathian region], *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geology and Geochemistry of Combustible Minerals], 2003, no. 2, pp. 5–61 (in Ukrainian).
- Bokun A. N. *Soljanye struktury Solotvinskoj vpadiny* [Salt structure of Solotvyno depression], Kyiv, Izd-vo "Nauk. Dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1981, 135 p. (in Russian).
- Bokun O. M., Nazarevych A. V. *Struktura i dynamika zon horyzontal'noho zsuvu (za rezul'tatamy fizychnoho modelyuvannya i pol'ovykh doslidzhen')* [Structure and dynamics of horizontal shear zones (by results of physical modelling and field studies)], *Geodynamics*, 2013, no. 1(14), pp. 129–141 (in Ukrainian).
- Verbyts'kyj T. Z., Nazarevych A. V. *Deformohrafichni i heoakustychni doslidzhennya u Zakarpatti* [Extensometric and geoacoustic researches in Transcarpathians], *Doslidzhennya suchasnoyi heodynamiky Ukrayins'kykh Karpat* [Studies of modern geodynamics of Ukrainian Carpathians], Ed. V. I. Starostenko, Kyiv, Vyd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 2005, pp. 113–131 (in Ukrainian).
- Geodinamika Karpat* [Geodynamics of Carpathians]. Kruglov S. S., Smirnov S. Ye., Spitkovskaya S. M., Filshtynsky L. Ye., Hyzhnyakov A. V. Kyiv, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1985, 136 p. (in Russian).
- Gzovskij M. V. *Volnistost' prostiraniya krupnyh tektonicheskikh razryvov* [Sinuosity of extension of major tectonic breaks], *Izv. AN SSSR* [Proceedings of AS USSR], 1953, no. 2, pp. 101–114 (in Russian).
- Gzovskij M. V. *Osnovnye voprosy tektonofiziki i tektonika Bajdzhansajskogo antiklinorija* [Main questions of tectonophysics and tectonics of Baydzhansay anticlinorium], Moscow, Izd-vo AN SSSR [AS USSR Publ.], 1963, Parts 3, 4, 544 p. (in Russian).
- Gzovskij M. V. *Osnovy tektonofiziki* [Fundamentals of tectonophysics], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 1975, 536 p. (in Russian).
- Gintov O. B. *Polevaja tektonofizika i ee primenenie pri izuchenii deformacij zemnoj kory Ukrainy* [Field tectonophysics and its application for the studies of deformations of the earth's crust of Ukraine], Kiev, Izd-vo "Feniks" ["Phoenix" Publ.], 2005, 572 p. (in Russian).
- Honcharuk A. F., Stepanov V. A., Veremeyenko L. I., Kulibaba V. M., Shemyakina T. I., *Rudokontsentryuyuchi struktury i etapy vulkano-tektonichnoho rozvytku Berehovo-Behans'koyi zolotonosnoyi zony Zakarpattya* [Ore-concentrate structures and steps of volcano-tectonic evolution of Berehovo-Began` gold-bearing zone in Transcarpathians], *Visn. LNU im. I.Franka, Ser. Heol.* [Bulletin of Franko name Lviv National University, series Geological], 1994, no. 12, pp. 168–177 (in Ukrainian).
- Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnjaja O. V., Kovachikova S., Logvinov I.M., Tarasov V.M., Usenko O.V. *Ukrainskie Karpaty (geofizika, glubinnye processy)* [Ukrainian Carpathians (geophysics, deep processes)], Kyiv, Izd-vo "Logos" ["Logos" Publ.], 2011, 129 p. (in Russian).
- Hryhorchuk H. Yu. *Heoloho-strukturna pozytsiya zolotoho i polimetalevoho zrudennynna – kryteriy hlybynnoho prohnozu rud* [Geological-structural position of gold and polymetallic mineralization as a criterion of deep prognosis of ore], *Visn. LNU im. I.Franka, Ser. Heol.* [Bulletin of Franko name Lviv National University, series Geological], 1992, no. 11, pp. 153–159 (in Ukrainian).
- Doslidzhennya suchasnoyi heodynamiky Ukrayins'kykh Karpat* [Studies of modern geodynamics of Ukrainian Carpathians], Ed. V. I. Starostenko. Kyiv, Vyd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 2005, 256 p. (in Ukrainian).
- Isaj V. M. *Reologicheskie svojstva konsolidirovannoj kory i nekotorye zakonomernosti razlomoobrazovaniya (na primere Ukrainskogo shhita)* [The rheological properties of solid crust and some regularities of faulting (on example of Ukrainian Shield)], *Geofiz. zhurn.* [Geophysical journal], 1989, V. 11, no. 3, pp. 40–52 (in Russian).
- Kityk V. I., Bokun A. N., Panov G. M., Slivko E. P., Shajdeckaja V.S. *Galogenne formacii Ukrainy: Zakarpatskij progib* [Halogen formations of Ukraine: Transcarpathian trough], Kyiv, Vyd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1983, 168 p. (in Russian).
- Kovalishin Z. I., Bratus' M. D. *Fljuidnyj rezhim gidrotermal'nyh processov Zakarpatt'ja* [Fluid regime of hydrothermal processes in Transcarpathians], Kiev, Izd-vo "Nauk. Dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1984, 86 p. (in Russian).
- Kolodij O. M., Matkovs'kij O. I., Zajceva V. M., Gozhik M. F., Drachuk V. P., Lis'kevich Ja. B., Pomorceva T. P. *Struktura Berehiv'skoho rudnoho polya i prohnoz novykh rudovmisnykh zon za heoindykatsiyeyu aerokosmoznimkiv i kompleksom nayavnykh heolohichnykh danykh* [Structure of Berehovo ore area and prognosis of new gold-bearing zones by geoindication of cosmic photos and complex of available geological data], *Visn. LNU im. I.Franka, Ser. Heol.* [Bulletin of I.Franko name Lviv National University, series geological], 1994, no. 12, pp. 177–185 (in Ukrainian).

- Kostrov B. V. *Mehanika ochaga tektonicheskogo zemletrjasenija* [Mechanics of source of tectonic earthquake], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 1975, 176 p. (in Russian).
- Kravchuk Ya. S. *Heomorfolohiya Polonyns'ko-Chornohirs'kykh Karpat* [Geomorphology of Polonyna-Montegnegrin Carpathians], L'viv, VTs LNU im. I. Franka [Publishing centre of I. Franko name Lviv National University], 2008, 188 p. (in Ukrainian).
- Krups'kyy Yu. Z. *Heodynamichni umovy formuvannya i naftohazonosnist' Karpats'koho ta Volyno-Podil's'koho rehioniv Ukrayiny* [Geodynamic conditions of formation and oil and gas content in the Carpathian and Volyno-Podillya regions of Ukraine], Kyiv, Vyd-vo UkrDGRI [UkrSGPI (Ukrainian State Geological Prospecting Institute) Publ.], 2001, 144 p. (in Ukrainian).
- Kuznetsova V. G., Maksimchuk V. Ye. *Tektonomagnitnye issledovaniya dlja izuchenija osobennostej struktury i geodinamiki litosfery* [Tectonomagnetic research to study the features of the structure and geodynamics of lithosphere], Lviv, Preprint № 13–90, IPPMM AN USSR [Preprint no. 13–90, IAPMM (Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics) AS USSR], Lviv, 1990, 43 p. (in Ukrainian).
- Litosfera Central'noj i Vostochnoj Evropy* [Lithosphere of Central and Eastern Europe], Ed. A. V. Chekunov, Kyiv, Izd-vo "Naukova dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1987–1993, V. 1–5 (in Russian).
- Lozynyak P. Yu., Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Neohenova ta suchasna heodynamika i seysmichnist' litosfery Zakarpattya* [Neogene and modern geodynamics and seismicity of Transcarpathians lithosphere], *Geodynamics*, 2011, no. 2(11), pp. 170–172 (in Ukrainian).
- Luk'janov A. V. *Gorizonta'nye dvizhenija po razlomam, proishodjashhie pri sovremennykh katastroficheskikh zemletrjasenijah* [Horizontal movements along faults occurring in today's catastrophic earthquakes], *Tr. GIN AN SSSR* [Proceedings of GIN (Geological Institute) of AS USSR], Moscow, Izd-vo AN SSSR [AS USSR Publ.], 1963, no. 80, pp. 34–112 (in Russian).
- Lyashchuk D. N., Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heoelektromagnitnoemisiynnyy metod v monitorynzi lokal'nykh heodynamichnykh protsesiv* [Geoelectromagnetic emission method in monitoring of local geodynamic processes] *Visnyk KNU im. T. Shevchenka, Heolohiya* [Bulletin of T. Shevchenko name KNU (Kyiv National University), Geology], 2003, no. 26–27, pp. 92–97 (in Ukrainian).
- Maksymchuk V., Horodys'kyy Yu., Kuznetsova V. *Dynamika anomal'noho mahnitnoho polya Zemli* [Dynamics of anomalous magnetic field of the Earth], L'viv, Vyd-vo "Yevrosvit", ["Euroworld" Publ.], 2001, 306 p. (in Ukrainian).
- Matkovs'kyy O. I. *Rodovyshcha ta rudoproyavy zolota Ukrayins'kykh Karpat* [Gold deposits and ore-shows in Ukrainian Carpathians], *Visn. LNU im. I. Franka, Ser. Heol.* [Bulletin of Franko name Lviv National University, series geological], 1992, no. 11, pp. 96–120 (in Ukrainian).
- Merlich B. V., Spitkovskaja S. M. *Glubinnye razlomy, neogenovyy magmatizm i orudnenie Zakarpat'ja* [Deep faults, Neogene magmatism and mineralization of Transcarpathians], *Problemy tektoniki i magmatizma glubinykh razlomov* [Problems of tectonics and magmatism of deep faults], L'viv, 1974, pp. 173–180 (in Russian).
- Molchanov A. Ye. *Processy razlomoobrazovaniya i seysmichnost' sdvigovykh zon* [The processes of faulting and seismicity of shear zones], *Fizika Zemli* [Physics of the Earth], MAIK "Nauka" ["Science" Publ.], 1993, no. 9, pp. 12–26. (in Russian).
- Nazarevych A. V. *Heofizychni provisnyky deyakykh vidchutnykh zakarpat-s'kykh zemletrusiv yak vidobrazhennya protsesiv formuvannya vohnyshchevykh zon* [Geophysical precursors of some tangible Carpathian earthquakes as a reflection of formation of focal zones], *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky*, [Theoretical and applied aspects of geoinformatics], Kyiv, 2010, pp. 274–285 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V. *Deformohrafichnyy metod u doslidzhennyakh seysmotektonichnykh protsesiv u vohnyshchevykh zonakh zemletrusiv Zakarpattya* [Extensometric method in studies of seismotectonic processes in the focal areas of Transcarpathians earthquakes], *Geodynamics*, 2011, no. 1(10), pp. 134–146 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V. *Eksperymental'ne doslidzhennya spektral'no-chasovoyi struktury variatsiy parametriv pruzhnykh khvyly' u masyvakh hirs'kykh porid* [Experimental investigations of spectral-temporal structure of variations of elastic waves parameters in rock massifs], *Avto-ref. dys... kandydata fiz.-mat. nauk* [Author's abstract of PhD Thesis of physics and mathematics in geophysics], Kyiv, IGF [IGPh (Institute of Geophysics)], 1997, 24 p. (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Bokun O. M., Nazarevych L. Ye. *Struktura, dynamika i seysmotektonika skydovykh zon (za rezul'tatamy fizychnoho modelyuvannya ta pol'ovykh doslidzhen')*. *Chastyna 1: Fizychno modelyuvannya* [Structure, dynamics and seismotectonics of faulting zones (by results of physical modelling and field studies) Part 1: Physical modelling], *Geodynamics*, 2015, no. 1(18), pp. 66–88 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Kalenda P., Mycyk B. G. *Apparaturnoe obespechenie i nekotorye rezul'taty deformograficheskikh i naklonomernykh nabljudenij na RGS "Beregovo" v Ukrainskom Zakarpat'e* [Hardware and some results of extensometric and tiltmetric observations in RGS "Beregovo" in Ukrainian Transcarpathians], *Geodynamics*, 2011, no. 2(11), pp. 213–215 (in Russian).

- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heodynamika i osoblyvosti seysmotektonichnoho protsesu Berehivs'koyi horstovoyi zony (Zakarpattya)* [Geodynamics and peculiarities of seismotectonic process in Beregovo horst zone (Transcarpathians)], *Geodynamics*, 2000, no. 1 (3), pp. 131–147 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heodynamika i trishchynuvatist' porodnykh masyviv (na prykladi Berehivs'koho horbohir"ya v Zakarpatti)* [Geodynamics and fracturing of rock massifs (in example of Berehovo Hill-land in Transcarpathians)], *Naukovyy visnyk NHAU* [Scientific Bulletin of National Mining Academy of Ukraine], 2001, no. 4, pp. 23–24 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Heodynamika, tektonika ta seysmichnist' Karpats'koho rehionu Ukrayiny* [Geodynamics, tectonics and seismicity of Carpathian region of Ukraine], *Geodynamics*, 2013, No. 2(15), pp. 247–249 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Hlybynni osoblyvosti seysmotektonichnoho protsesu v Ukrayins'kykh Karpatakh* [Deep features of seismotectonic process in Ukrainian Carpathians], *Materialy XII Mizhnarodnoyi konferentsiyi "Heoinformatyka: teoretychni ta prykladni aspekty", 12-15 travnya 2014 roku, Kyiv* [Proceedings of XII International Conference “Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects”, May 12–15, 2014, Kyiv], Kyiv, 2014 (CD), 05/2014; DOI: 10.3997/2214–4609.20140419 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Masshtabno-enerhetychni korelyatsiyi spivvidnoshennya dlya vohnyshch zemletrusiv Zakarpattya: deyaki naslidky ta enerhetychna veryfikatsiya* [Scale-energy correlation values for foci of Transcarpathian earthquakes: some consequences and energy verification], *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky* [Theoretical and applied aspects of geoinformatics], Kyiv, 2009, pp. 279–298 (in Ukrainian).
- Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye. *Parametrychni seismoheoakustychni metody i kompleksni tekhnolohiyi monitorynhu pryrodnykh ta tekhnohennykh heodynamichnykh protsesiv ta prohnozu katastrof* [Parametric seismogeoaoustic methods and integrated technologies of monitoring of natural and technogenic geodynamic processes and prognosis of catastrophes], *Visnyk KNU im. T. Shevchenka, Heolohiya* [Bulletin of T. Shevchenko name KNU (Kyiv National University), Geology], 2002, no. 23–24, C. 43–47 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Seysmichnist' i deyaki osoblyvosti seysmotektoniky Ukrayins'kykh Karpat* [Seismicity and some features of seismotectonics of Ukrainian Carpathians], *Geodynamics*, 2012, no. 1(12), pp. 145–151 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Osoblyvosti vohnyshcha Berehivs'koho zemletrusu 1965 roku za kompleksom danykh (heoinformatsiyi aspekty)* [Peculiarities of a source of 1965 Beregovo earthquake by the complex of data (geoinformatic aspects)], *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky* [Theoretical and applied aspects of geoinformatics], Kyiv, 2005, Vol. 2, pp. 74–79 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Osoblyvosti pidhotovky ta kharakterystyky vohnyshcha Berehivs'koho zemletrusu 1965 roku (za makroseysmichnymy danymy)* [Peculiarities of preparation and characteristics of a source of 1965 Beregovo earthquake (by macroseismic data)], *Geodynamics*, 2006, no. 1(5), pp. 61–74 (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye. *Kharakterystyky seysmichnosti i seysmotektonichnoho protsesu v zonakh Karpat-s'koho rehionu*. [Characteristics of seismicity and seismotectonic process in Carpathian region zones], *Avtoref. dys. ... kand. heol. nauk* [Author's abstract of PhD Thesis in Geol. Sciences (geophysics)], Kyiv, IHF [IGPh (Institute of Geophysics)], 2006, 21 p. (in Ukrainian).
- Nazarevych L. Ye., Nazarevych A. V. *Kharakterni rysy seysmotektonichnoho protsesu v litosferi Bukovyny ta prylehlykh terytoriy* [Features of seismotectonic process in lithosphere of Bucovina and adjoining territories], *Geodynamics*, 2007, no. 1(6), pp. 49–54 (in Ukrainian).
- Osokina D. N. *Issledovanie mehanizmov deformirovaniya massiva v zone razryva na osnove izuchenija trehmernogo polja naprjazhenij (matematicheskoe modelirovanie)* [Study of mechanisms of deformation in the rupture zone on the base of study of three-dimensional stress field (mathematical modeling)], *M. V. Gzovskij i razvitie tektonofiziki* [M.V. Gzovskii and progress of tectonophysics], Moscow, Izd-vo “Nauka” [“Science” Publ.], 2000, pp. 220–245 (in Russian).
- Osokina D. N. *Pole naprjazhenij v okrestnostjah konca razloma kak faktor, opredelajushhij razvitie narushenij vtorogo porjadka, karakter rosta razloma, razrusheniya massiva i seysmichnosti* [The stress field in the vicinity of the end of the fault as a factor which determining the evolution of the second-order ruptures, the behavior of growth of the fault and the destruction of the rocks massif and seismicity], *Fundamental'nye problemy geotektoniki. Materialy X Tektonicheskogo soveshhanija* [Fundamental problems of Geotectonics. Proceedings of the X meeting of the Tectonic], Moscow, Izd-vo “GEOS” [“GEOS” Publ.], 2007, Vol. 2, pp. 62–66 (in Russian).
- Pavlenkova N. I. *Struktura i dinamika zemnoj kory i verhnej mantii kontinentov* [Structure and dynamics of the Earth's crust and upper mantle of continents], *Problemy dvizhenij i struktury obrazovaniya kory i verhnej mantii* [Problems of movements and structure of formation of the crust and upper mantle], Moscow, Izd-vo “Nauka” [“Science” Publ.], 1985, pp. 58–72 (in Russian).

- Parfenjuk O. I., Mareshal' J. K. *Chislennoe modelirovanie termo-mehaničeskoj evolucii strukturnoj zony Kapuskejsing (provincija S'juperior Kanadskogo shhita)* [Numerical simulation of thermo-mechanical evolution of the structural zone Kapuskeysing (Superior Province of the Canadian Shield)], *Fizika Zemli* [Physics of the Earth], 1998, no. 10, pp. 22–32 (in Russian).
- Petrashkevich M. I., Lozynjak P. Yu. *Strukturnoe rajonirovanie osnovanija Zakarpatskogo progiba* [Structural zoning of Transcarpathian trough basement], *Regional'naja geologija USSR i napravlenija poiskov nefiti i gaza* [Regional geology of the USSR and direction of oil and gas prospecting], Lvov, 1988, pp. 72–79 (in Russian).
- Polivtsev A. V. *Karta vertykal'nykh holotsenovykh rukhiv Volyno-Podillya ta Peredkarpattya* [Map of Holocene vertical movements of Volyn'-Podillya and Precarpathians], *Geodynamics*, 2011, no. 1(10), pp. 58–70 (in Ukrainian).
- Rebeckij Yu. L. *Mehanizm generacii tektoničeskikh naprjazhenij v oblastjah bol'shih vertikal'nyh peremeshhenij* [Mechanism of generation of tectonic stress in the areas of large vertical displacements], *Fiz. Mezomehanika*, [Phys. mesomechanics], 2008, V. 11, no. 1, pp. 66–73 (in Russian).
- Rebeckij Yu. L. *Naprjazhennoe sostojanie sloja pri prodol'nom sdvige* [The stress state of layer in the longitudinal shear], *Izvestija AN SSSR. ser. Fizika Zemli* [Proceedings of AS USSR. Ser. Physics of the Earth], 1988, no. 9, pp. 29–35 (in Russian).
- Rebeckij Yu. L. *Tektoničeskie naprjazhenija i prochnost' gornyh massivov* [Tectonic stress and the strength of rock masses], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 2007, 406 p. (in Russian).
- Riznichenko Yu. V. *Problemy sejsmologii. Izbrannye trudy* [Problems of seismology. Selected works], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 2007, 406 p. (in Russian).
- Sadovskij M. A. *Avtomodel'nost' sejsmičeskikh processov* [Self-similarity of seismic processes] *Fizicheskie osnovy prognozirovanija razrušenija gornyh porod pri zemletrjasenijah* [Physical basis of the prediction of rock destruction during earthquakes], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 1987, pp. 12–36 (in Russian).
- Skakun L. Z., Matkovs'kyy O., Hozhyk M. F., Remeshylo B. H., Shklyanka V. M. *Zolote zrudeninnya Berehivs'koho rudnoho polya (heoloho-strukturna pozysiya i mineralohichna typizatsiya)* [Gold mineralization of Beregovo ore area (geological-structural position and mineralogical typification)], *Visn. LNU im. I. Franka, Ser. Heol.* [Bulletin of Franko name Lviv National University, series geological], 1992, no. 11, pp. 128–145 (in Ukrainian).
- Sobolev G. A., Ponomarev A.V. *Fizika zemletrjasenij i predvestniki* [Physics of earthquakes and precursors], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 2003, 270 p. (in Russian).
- Stojanov S. S. *Mehanizm formirovanija razryvnyh zon* [The mechanism of formation of discontinuous zones], Moscow, Izd-vo "Nedra" ["Subsoil" Publ.], 1977, 144 p. (in Russian).
- Stroenie zemnoj kory i verhnej mantii Central'noj i Vostočnoj Evropy [The structure of the crust and upper mantle of the Central and Eastern Europe], Sollogub V. B., Guterh A., Prosen D. et al., Kiev, Izd-vo "Nauk. Dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1978, 272 p. (in Russian).
- Tektoničeskaja karta Ukraïnskih Karpat* [Tectonic Map of Ukrainian Carpathians], Ed. V. V. Glushko & S. S. Kruglov, Kiev, 1986 (in Russian).
- Tolstoy M. I., Shabaturo O. V. *Vyvčennja provisnykiv lokal'nykh zemletrusiv zasobamy yikh pryamoji otsinky* [Study of local earthquakes precursors by tools of its direct estimation], *Geodynamics*, 2014, no. 1(16), pp. 103–112 (in Ukrainian).
- Tomilin N. G., Damaskinskaja E. E., Pavlov P. I. *Statističeskaja kinetika razrušenija gornyh porod i prognoz sejsmičeskikh javlenij* [Statistical kinetics of rocks destruction and prognosis of seismic events], *FTT* [PhCB (Physics of Solid Body)], 2005, Vol. 47, no. 5, pp. 955–959 (in Russian).
- Tretyak K. R., Kul'chyts'kyy A. Ya., Sidorov I. S. *Heodynamika Tereble-Rits'koho tekhnohennoho polihonu* [Geodynamics of Tereblya-Rika technogenic polygon], *Geodynamics*, 2009, no. 1(8), pp. 47–52 (in Ukrainian).
- Hamidov L. A. *Kolichestvennye modeli koncentracii naprjazhenij v zonah sejsmoaktivnyh razlomov zemnoj kory* [Quantitative models of stress concentration in areas of seismically active faults of the crust], *Avtoref. diss... d-ra fiz.-mat. nauk (geofisika)* [Author's abstract of Sciences Dr. (Prof.) Thesis in Physics and Mathematics (geophysics)], Tashkent, IS AN RUz [IS AS RUz (Institute of Seismology of Academy of Sciences of Republic Uzbekistan)], 2009, 43 p. (in Russian).
- Hodzhson B. Ya. *Dvizhenija zemnoj kory po sejsmičeskim dannym* [Movement of the Earth's crust by seismic data], *Drejf kontinentov. Gorizontálnye dvizhenija zemnoj kory* [Drift of Continents. Horizontal movement of the Earth's crust], Moscow, Izd-vo "Mir" ["World" Publ.], 1966, pp. 42–74 (in Russian).
- Khomenko V. I. *Hlybnyna budova Zakarpats'koho prohynu* [Deep structure of Transcarpathian trough], Kyiv, Vyd-vo "Nauk. Dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1978, 230 p. (in Ukrainian).
- Chebanenko I. I., Maljuk B. I., Bokun A. N., Kločko V. P., Ponomarenko M. I. *Osobennosti razvitija treshhinovatosti porod kristallicheskogo fundamenta v razlomnyh zonah Dneprovsko-Donckoj vpadiny* [Peculiarities of evolution of rocks fracturing of the crystalline basement in faults zones of the Dnieper-Donets depression], *Tektonika i stratigrafija* [Tectonics and stratigraphy], 1990, Vol. 31, pp. 9–12 (in Russian).



- Chekunov A. V., Livanova L. P., Gejko V. S. *Glubinnoe stroenie i nekotorye osobennosti tektoniki Zakarpatskogo progiba* [Deep structure and some features of tectonics of the Transcarpathian trough], *Sov. Geologija* [Sov. Geology], 1969, no. 10, pp. 57–68. (in Russian).
- Shamina O. G. *Model'nye issledovanija fiziki ochaga zemletrjasenij* [Model studies of the physics of earthquakes source], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 1981, 192 p. (in Russian).
- Shamotko V. I., Bilins'kyy A. I., Moroz I. P. *Elektrometrychnyy kontrol' heodynamichnykh protsesiv* [Electrometric control of geodynamic processes], *Heoloho-heofizychni problemy seysmichnoho rayonuvannya terytoriyi zakhidnykh oblastey Ukrainy* [Geological-geophysical problems of seismic zoning of the territory of western regions of Ukraine], Lviv, Preprint no. 17–93, IPPMM AN Ukrainy [Preprint no. 17–93, IAPMM (Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics) AS of Ukraine], Lviv, 1993, pp. 53–55 (in Ukrainian).
- Shebalin N. V. *Ochagi sil'nyh zemletrjasenij na territorii SSSR* [Sources of strong earthquakes on the territory of the USSR], Moscow, Izd-vo "Nauka" ["Science" Publ.], 1974, 54 p. (in Russian).
- Sheremeta P. M., Slonytska S. G., Trehubenko V. I., Ladyzhenskyy Yu. M., Nazarevych A. V., Nazarevych L. Ye., Havenzon I. V., Levkovich Yu. M. *Pro koliziyu Zakhidno-Yevropeys'koyi mikroplyty ta Skhidno-Yevropeys'koyi plyty v Zakhidnomu rehioni Ukrainy za novymy danyymi rehional'nykh heofizychnykh doslidzhen' ta perspektyvy naftohazonosnosti* [About collisions of West European mikroplate and East European plate in Western region of Ukraine by the new data of regional geophysical research and prospects of oil-and-gas presence], *Geodynamics*, 2011, no. 2(11), pp. 341–343 (in Ukrainian).
- Jurkevich O. I., Voloseckij B. I., Zjabljuk N. S. *Povtornoe nivelirovanie Beregovskogo zemletrjasenija 24 oktjabrja 1965 g.* [Repeated leveling of Beregovo earthquake of October 24, 1965], *Sejsmichnost' Ukrainy* [Seismicity of Ukraine], Kiev, Izd-vo "Naukova Dumka" ["Scientific thought" Publ.], 1969, pp. 103–106 (in Russian).
- Bakiev M. H., Khamidov L. A., Ibragimov A. H. *Stress Concentration around Regional Heterogeneous Area of the Crust*. *J. Inland Earthquake, China*, 2001, Vol. 15, no. 4, pp. 376–384.
- Brune J. N. *Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes*. *J. Geophys. Res.*, 1970, 75, no. 26, pp. 4997–5009.
- Castro R. R., González-Huizar H., Ramón Zúñiga F., Wong V.M. and Velasco A.A. *Delayed Dynamic Triggered Seismicity in Northern Baja California, México, Caused by Large and Remote Earthquakes*. *Bull. of the SSA*, Vol. 105, No. 4 (August 2015), pp. 1–12; DOI: 10.1785/0120140310.
- Kalenda P., Neumann L. et al. *Tilts, global tectonics and earthquakes prediction*. London: SWB, 2012, 247 p.
- Kalenda P., Ouzounov D., Bobrovskiy V., Neumann L., Boborykina O., Nazarevych A., Šebela S., Kvetko Ju. and Shen W-B. *Multiparameter observations of precursors before strong earthquakes (Tohoku 2011, Okhotsk Sea 2012, Iran-Pakistan 2013)*. International Scientific Spring-2014, Islamabad, Pakistan 10.3.2014, (CD).
- Kuksenko V., Tomilin N., Damaskinskaya E. and Lockner D. *A two-stage model of fracture of rocks*. *Pure Appl. Geophys.* 1996. Vol. 146, No 2. pp. 253–263.
- Morozov Yu., Nazarevych R., Nazarevych A., Struk Ye., Markhyvka V. *Software of internet portal of geophysical monitoring*. *Bulletin of National University "Lviv polytechnic" "Computer sciences and informatics technologies"*, 2014, no. 800, pp. 228–238.
- Nazarevych A., Nazarevych L., Nasonkin V., Boborykina O. *Extensometric researches in Ukraine: methods, instruments, results*. *Geophys. Journ.*, 2010, 32, no. 4, pp. 12–123.
- Ozounov D. et al. (2011). *Atmosphere-Ionosphere Response to the M9 Tohoku Earthquake Revealed by Joined Satellite and Ground Observations*. Preliminary results reported at EGU 2011 in Vienna, Austria. <http://arxiv.org/abs/1105.2841>.
- Perry H.K.C., Mareschal J. C., Jaupart C. *Variations of strength and localized deformation in cratons: The 1.9 Ga Kapuskasing uplift, Superior Province, Canada*. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006; DOI: 10.1016/j.epsl.2006.07.013.
- Shi Y., Zhang B., Zhang S., Zhang H. *On numerical earthquake prediction*. *Earthquake Science*. 2014; DOI: 10.1007/s11589-014-0082-z. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/265292951>

Надійшла 15.05.2015 р