

**ПРОЦЕССЫ РАЗРЫВООБРАЗОВАНИЯ В ОЧАГАХ ОЩУТИМЫХ  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПРЕДКАРПАТЬЯ И ЗАКАРПАТЬЯ**

Приведены результаты восстановления параметров разрывов в очагах ощутимых землетрясений: Микулинецкого (2002 г.), Кольчинского (2006 г.) и Береговского (2006 г.). В очаговых зонах исследованных землетрясений процессы разрывообразования развивались вдоль активных глубинных разломов диагональной ориентации. Линейные размеры  $L$  и время „жизни” очагов  $T$  в пределах погрешностей определения величин соответствовали таковым для данного энергетического уровня по средним долговременным зависимостям  $L(Kp)$  и  $T(L)$ .

**Ключевые слова:** землетрясение, очаг, разрыв, азимутальный годограф, скорость вспарывания.

**Введение**

В последние 10 лет на территории Предкарпатья и западной части Закарпатья произошли ощутимые землетрясения: Микулинецкое, Кольчинское и Береговское-IV (табл. 1), представляющие интерес для исследования очаговых процессов. Тектоническая позиция этих землетрясений и их макросейсмический эффект подробно описаны в работах [Пронишин и др., 2008, 2012а, б].

Для изучения процессов разрывообразования использована методика, в основе которой лежат представления об очаге, как о движущемся, протяженном источнике [Горбунова и др., 1992, Горбунова, Пустовитенко, 1997]. Предложенный азимутальный годограф  $\tau(Az)$  характеризует зависимость времени пробега очаговых волн  $P_i$  от длины разрыва, скорости его вспарывания, направления распространения разрыва по отношению к станциям регистрации.

**Предыдущие исследования**

В работе [Пустовитенко, Капитанова, 1996] были изучены процессы разрывообразования для 17 землетрясений энергетических классов  $Kp=9-12$  юго-восточной части Закарпатья за период 1979-1993г. и установлено, что линейные размеры разрывов в исследуемом диапазоне энергетических классов достаточно тесно коррелируют между собой:

$$lg(L_{max}) = 0.11(\pm 0.02)Kp - (0.07 \pm 0.18), \quad \rho = 0.92 \quad (1)$$

Скорости вспарывания разрывов оказались независимыми от энергетического уровня землетря-

сения. Их незначительные вариации связаны, в основном, со свойствами разрушаемой среды.

Продолжительность процесса вспарывания (время „жизни” очага) варьировала в пределах  $T=1.5 \div 3c$ , и была связана с длиной разрыва соотношением:

$$T = (0.14 \pm 0.02)L + (0.71 \pm 0.15), \quad \rho = 0.82 \quad (2)$$

Естественно, что различная степень подвижности среды в различных тектонических структурах оказывает влияние на продолжительность процесса вспарывания.

**Анализ ощутимых землетрясений  
последних лет в Карпатском регионе**

В настоящей работе в качестве исходных материалов использованы записи продольных волн, полученные на сейсмических станциях Украины, Молдовы, Беларуси, а также данные из международного бюллетеня [ISC].

По наблюдениям на сейсмических станциях, окружающих эпицентры рассматриваемых землетрясений (табл. 1) в широком диапазоне азимутов от  $10^\circ$  до  $360^\circ$  построены азимутальные годографы  $\tau(Az)$ , представленные на рис. 1.

По экстремальным значениям  $\tau_{max}$  и  $\tau_{min}$  с использованием формул из [Горбунова и др., 1992] рассчитаны параметры разрывов в очаговых зонах: длина разрыва ( $L$ ), скорость его вспарывания ( $C$ ), и время существования процесса разрыва ( $T$ ), (табл.2). Скорость продольной волны  $V_p$  в верхнем слое земной коры была выбрана по данным профилей ГСЗ [Строение..., 1977].

Таблица 1

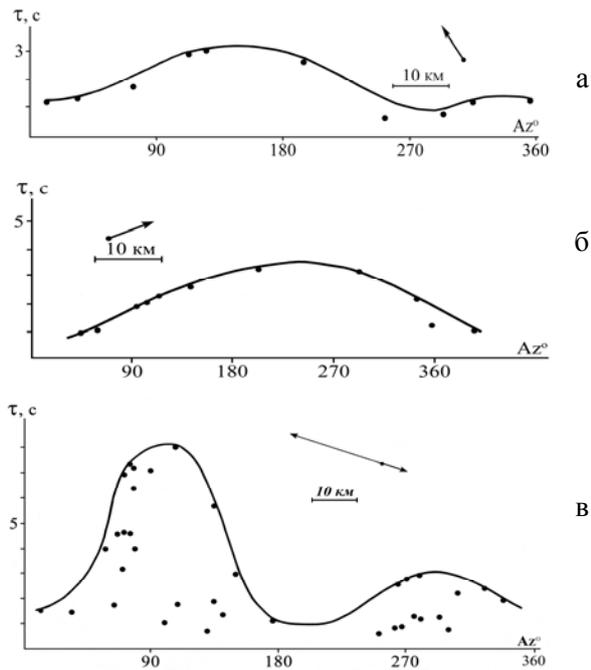
**Основные параметры изученных землетрясений по данным [Пронишин и др., 2008; 2012 а, б]**

№ п/п	Дата			Время в очаге, $t_0$			Координаты		$h$ , км	$Kp$	$I_{max}$ , балл	Район
	год	м	д	ч	мин	с	$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$				
1	2002	1	3	17	43	17	49.38	25.58	6	10.8	6	Микулинцы
2	2006	2	6	03	31	09.7	48.45	22.72	5.5	6.9	4-5	Кольчино
3	2006	11	23	07	15	20.3	48.23	22.62	9	12.1	6	Берегово

Таблица 2

**Параметры разрывообразования в очаговых зонах землетрясений**

№	Дата			$Az_1^\circ$	$Az_2^\circ$	$L1$ , км	$L2$ , км	$C1$ , км/с	$C2$ , км/с	$T_1$ , с	$T_2$ , с	Район
	год	м	д									
1	2002	1	3	330		6.8		3.6		1.9		Микулинцы
2	2006	2	6	65		7.4		3.24		2.3		Кольчино
3	2006	11	23	280	110	22.3	5.6	4.96	3.1	4.5	1.8	Берегово



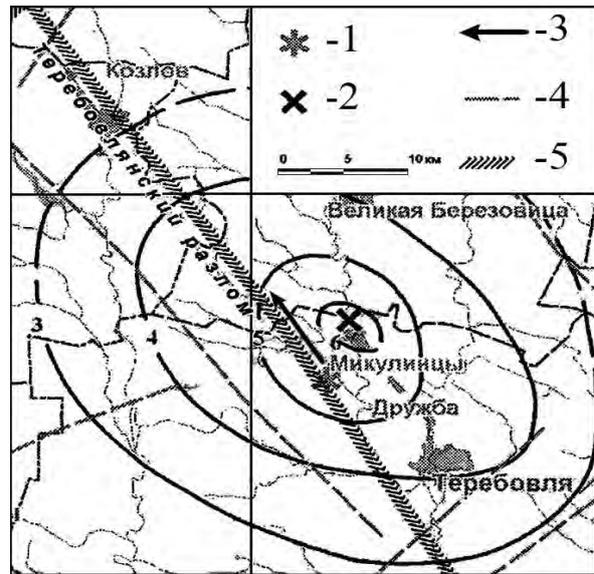
**Рис. 1.** Азимутальные годографы времен запаздывания максимальных фаз продольных волн для землетрясений:

а – Микулинецкого; б – Кольчинского; в – Береговского. Вверху над годографом – схема направлений разрыва в проекции на земную поверхность.

**Микулинецкое землетрясение** произошло в верхней части земной коры ( $h=6\text{ км}$ ) в районе Предкарпатья и его эпицентр приурочен к Тереховлянскому северо-западного простирания [Пронишин и др., 2008]. На азимутальном годографе (рис. 1,а) отчетливо выделен только один максимум, что соответствует однонаправленному разрыву. Процесс разрываобразования длился 1.9с. со скоростью 3.6 км/с в  $Az=330^\circ$ . Полученное направление разрыва совпадает с ориентацией Тереховлянского разлома и вытянутости поля изосейст (рис. 2). Длина разрыва  $L$  составила около 7 км, что почти в 2 раза меньше ожидаемой по средней зависимости (1). Соответственно, меньше в 1.3 раза по сравнению с расчетами по формуле (2) получилось время длительности процесса.

**Кольчинское землетрясение** произошло в северо-Западном районе Закарпатья (вблизи г.Мукачево) в зоне пересечения Латорицкого, Мукачевского, Кольчинского и Визницкого разломов [Пронишин и др., 2012,а]. Азимутальный годограф  $\tau(Az)$  имел также один максимум (рис. 1,б), что говорит об однонаправленности процесса испарывания среды. Длина зоны разрушения составила около 7 км, что меньше расчетного значения по формуле (1). Процесс разрываобразования развивался со скоростью 3.2 км/с в азимуте  $Az=65^\circ$ , что близко к простиранию Латорицкого разлома северо-восточной ориентации, но не совпадает с зоной максимальных интенсивностей на поверхности (рис. 3). Время „жизни” очага  $T$  превысило ожидаемое по (2) в 1.4 раза.

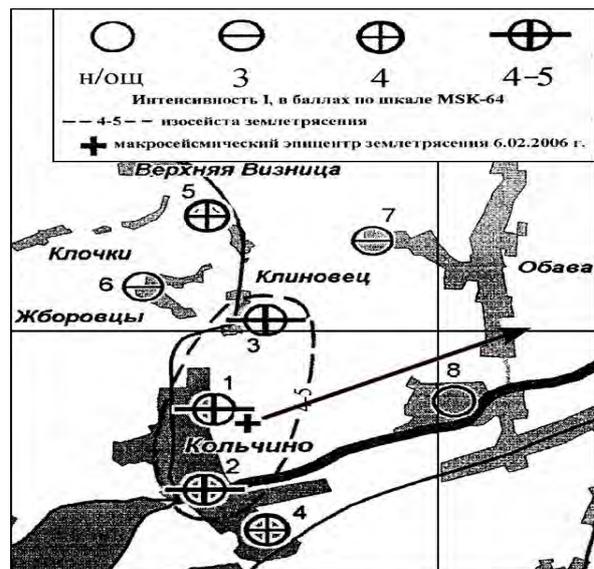
**Береговское землетрясение** – наиболее сильное и хорошо изученное землетрясение [Пронишин и др. 2012,б]. Оно произошло в зоне Припаннонского разлома под действием горизонтальных сил сжатия и имело взбросо-сдвиговый тип подвижки. Одна из нодальных плоскостей в  $Az=122^\circ$ , ориентированная по простиранию Припаннонского разлома и вытянутости первой изосейты, принята за наиболее вероятную плоскость разрыва [Пустовитенко, Пронишин, 2011].



**Рис. 2.** Фрагмент карты изосейст Микулинецкого землетрясения

[Пронишин и др., 2008]:

1, 2 – эпицентр соответственно инструментальный и макросейсмический; 3 – ориентация восстановленного разрыва; 4 – разрывные нарушения с невыясненной морфологией; 5 – глубинные разломы.



**Рис. 3.** Фрагмент карты изосейст Кольчинского землетрясения [Пронишин и др., 2012 а].

Стрелка – ориентация разрыва.

Азимутальний годограф Береговського землетрясіння (рис. 1,в) має 2 максимума, т.е. згідно теоретичним представленням процес в очагу був складним, розвиваючись в двох протилежних від початкової точки розрива напрямках: в  $Az_1=290^\circ$  і в  $Az_2=110^\circ$ .

Найбільші довжина, швидкість вщарування і час існування розрива отрималися в північно-західному напрямку ( $290^\circ$ ):  $L_1=22.3$ км;  $C \sim 5$  км/с і  $T=4.5$ с.

Отримані напрямки розриву в очаговій зоні в межах похибок визначення ( $\pm 10^\circ$ ) збігаються з орієнтацією головної площини підвижки ( $Az=122^\circ$ ), відновленої з рішення механізму очага. Це підтверджує тектонічну позицію вивченого землетрясіння [Пустовитенко, Пронишин, 2011; Пронишин і др., 2012 б].

### Висновки

Нові отримані дані про трьох вивчених землетрясіннях доповнюють існуючу статистику по очаговим параметрам району Закарпаття і розширюють енергетичний діапазон як в сторону малих (Кольчинське), так і в сторону більш сильних (Берегівське) сейсмічних подій. Відновлені параметри розривів:  $L$  і  $T$ , незважаючи на відмінності від середніх за формулами 1 і 2, знаходяться в межах розкиду даних з урахуванням дисперсії в регресійних співвідношеннях, а орієнтація розривів збігається з діагональною системою активних геологічних структур.

### Література

Горбунова І.В., Бойчук А.Н., Доцев Н.І., Кальметьєва З.А., Капітанова С.А., Кучай О.А., Михайлова Н.Н., Пустовитенко Б.Г., Симби-

рева І.Г., Товмасян А.К. Інтерпретація очагових волн на записях землетрясіння. – М.: Наука. – 1992. – 130 с.

Горбунова І.В., Пустовитенко Б.Г. Нова методологія вивчення складного сейсмічного розривоутворення // Геофіз. журн. – 1997. – 19. № 3. – С. 42-47.

Пронишин Р.С., Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф. Микунінецьке землетрясіння 3 січня 2002 року з  $M_L=3.7$ ,  $K_p=10.8$ ,  $I_0=6$  (Україна) // Землетрясіння Північної Євразії в 2002 році. – Обнінськ: ГС РАН, 2008. – С. 300-315.

Пронишин Р.С., Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Вербицкий Ю.Т., Корниєнко Е.Е. Рой Кольчинських землетрясіння 2006 р. (Україна, Закарпаття) // Землетрясіння Північної Євразії в 2006 році. – Обнінськ: ГС РАН, 2012а – С. 301-307.

Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф., Вербицкий Ю.Т., Пустовитенко А.А., Корниєнко Е.Е., Ярема І.І., Наривна М.М. Берегівське-III землетрясіння 15 листопада  $K_p=8.8$ ,  $I_0=4-5$ ; Берегівське-IV землетрясіння 23 листопада 2006 р. з  $K_p=12.1$ ,  $I_0=6$  (Україна, Закарпаття) // Землетрясіння Північної Євразії в 2006 році. – Обнінськ: ГС РАН, 2012б. – С. 412-427.

Пустовитенко Б.Г., Капітанова С.А. Нові характеристики очагових параметрів землетрясіння Закарпаття // Сейсмологічний бюлетень України за 1994 р.– Сімферополь: ІГ НАНУ, КЭС, – 1996 р.– С. 62-67.

Пустовитенко А.А., Пронишин Р.С. Механізм очага Берегівського землетрясіння 23 листопада 2006 р. // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 260-262.

Строєння земної кори і верхньої мантії по даним сейсмічних досліджень / Отв. ред. Соллогуб В.Б. – Київ: Наук. думка, 1977 – 310 с.

## ПРОЦЕСИ РОЗРИВОУТВОРЕННЯ В ВОГНИЩАХ ВІДЧУТНИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ І ЗАКАРПАТТЯ

Б.Г. Пустовітенко, С.А. Капітанова, А.А. Пустовітенко

Наведено результати відновлення параметрів розривів у вогнищах відчутних землетрусів: Микунінецького (2002 р.), Кольчинського (2006 р.) та Берегівського (2006 р.). У вогнищевих зонах досліджених землетрусів процеси розривоутворення розвивалися вздовж активних глибинних розломів діагональної орієнтації. Лінійні розміри  $L$  і час „життя” вогнищ  $T$  в межах похибок визначення величин відповідали таким для даного енергетичного рівня за середніми довготривалими залежностями  $L(K_p)$  та  $T(L)$ .

**Ключові слова:** землетрус, вогнище, розрив, азимутний годограф, швидкість вщарування.

## PROCESSES OF FAULTING IN THE SOURCES OF PERCEPTIBLE EARTHQUAKES IN THE PRECARPATHIANS AND TRANSCARPATHIANS

B.G. Pustovitenko, S.A. Capitanova, A.A. Pustovitenko

The results of reconstruction of fault parameters in sources of perceptible earthquakes: Mikulinetsky (2002), Kolchinsky (2006) and Beregovsky (2006) are represented. The processes of faulting, in the earthquake source areas under study, were formed along active deep faults with a diagonal orientation. The linear dimensions  $L$  and the "lifetime" of the sources  $T$  within the determined errors matched up with same values for equivalent energy level by the average long-term dependences  $L(K_p)$  and  $T(L)$ .

**Keywords:** earthquake, source, fault, azimuthal hodograph, speed of rupture.

<sup>1</sup>Отдел сейсмологии Института геофизики им. С.И. Субботина  
НАН Украины, г.Симферополь

Надійшла 30.07.2013

<sup>2</sup>Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений, г. Симферополь