

## Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. Инструментальные данные

© А. В. Кендзера<sup>1</sup>, О. Е. Старовойт<sup>2</sup>, В. Д. Омельченко<sup>1</sup>, Л. И. Надежка<sup>2</sup>,  
Ю. М. Вольфман<sup>1</sup>, И. П. Габсатарова<sup>1</sup>, С. П. Пивоваров<sup>2</sup>, Ю. В. Лесовой<sup>1</sup>, 2012

<sup>1</sup>Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия

Поступила 17 декабря 2009 г.

Представлено членом редколлегии В. П. Коболевым

Наведено результати спільних досліджень інструментальних даних щодо місцевих землетрусів, отриманих на цифрових сейсмічних станціях Геофізичної служби РАН та Інституту геофизики НАН України. Подано результати дослідження криворізького землетрусу 25.12.2007 за даними його реєстрації на цифрових сейсмічних станціях РАН, НАН України із залученням матеріалів спостережень окремих станцій національних мереж Румунії, Чехії, Німеччини, Туреччини та ін.

The results of joint research instrumental data of local earthquakes obtained by the digital seismic stations of the Geophysical Service of RAS and the Institute of Geophysics of NAS of Ukraine are presented. Particularly the investigation results of the earthquake 2007/12/25 in Krivoy Rog are presented, according to its registration data on digital seismic stations of RAS, NAS of Ukraine with the assistance of observations data of individual stations of national networks of Romania, Czech Republic, Germany, Turkey etc.

Сейсмический мониторинг, осуществляемый Геофизической службой РАН (ГС РАН) на Восточно-Европейской платформе (ВЕП), основан на развитии отдельных локальных сетей, информационно-обрабатывающих центров и их взаимодействии. По мере своего развития они должны обеспечить такое покрытие всей территории станциями, которое позволило бы проводить сейсмический мониторинг регионального уровня, т. е. без пропусков регистрировать землетрясения с магнитудой 3. Такие землетрясения в ряде случаев могут привести к заметным макросейсмическим проявлениям на поверхности. Как правило, ГС РАН проводит мониторинговые работы при взаимодействии с местными научными организациями геолого-геофизического профиля.

В конце 1990-х годов ГС РАН совместно с Воронежским государственным университетом была создана лаборатория сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива, а с Институтом экологии и проблем Севера УрО РАН — новая сеть сейсмологических наблюдений в Архангельской области.

Процесс получения инструментальных параметров землетрясений показывает, что современное техническое оснащение сейсмо-

логических сетей многих развитых государств достигло такого уровня, что при условии хорошо отлаженного взаимодействия информацией стало возможным следить за событиями низкого магнитудного уровня даже на тех территориях, где непосредственно нет сейсмологических станций в радиусе 300—400 км. В таких зонах ГС РАН создает «виртуальные» сети, используя соглашения о научно-техническом обмене информацией с сейсмологическими центрами соседних государств. В частности, для Украины, Белоруссии и государств Западной Европы — через международный центр ORFEUS (Нидерланды), для скандинавских государств — через NORSAR (Норвегия), HEL (Финляндия). Отметим, что ряд международных центров свободно предоставляет на своих сайтах в сети Интернет информацию о землетрясениях, включая их волновые формы в цифровом виде.

Анализ данных о землетрясениях на территории Украины за последние годы, имевшихся в инструментальных каталогах, и исторических данных о проявлении местной сейсмичности показал, что землетрясения здесь происходили ранее и происходят в настоящее время.

В статье приведены результаты совместных исследований криворожского землетрясения 25.12.2007 по данным его регистрации на цифровых сейсмологических станциях ГС РАН, Института геофизики НАН Украины (ИГФ НАН Украины), с привлечением материалов наблюдений отдельных станций национальных сетей Румынии, Чехии, Германии, Турции и др.

Землетрясение 25 декабря 2007 г. ( $M \sim 4$ ) произошло практически в центре платформенной части территории Украины (г. Кривой Рог) в районе с высоким уровнем урбанизации (рис. 1). Несмотря на небольшую интенсивность (до 4 баллов) в отдельных населенных пунктах, информация о землетрясении получила широкий резонанс в средствах массовой информации. Землетрясение вызвало большой интерес и у сейсмологов, так как произошло на территории древней платформы, характе-

ризующейся слабой сейсмичностью. Следует заметить, что факт происхождения этого землетрясения в зоне с плохо развитой сетью сейсмологических станций позволил еще раз проверить способность существующей сети станций регистрировать такие события и стимулировал работу по совершенствованию наблюдательной сейсмологической сети на территории Украины. Регистрация землетрясения сейсмическими станциями Украины, Белоруссии и России, расположенными на региональных расстояниях, позволила использовать эти данные для выявления неоднородностей строения земной коры в юго-западной части ВЕП, включающей зону сочленения Украинского щита и Воронежского кристаллического массива, и для дальнейших исследований характера сейсмотектонических процессов, происходящих в платформенной литосфере. Эти

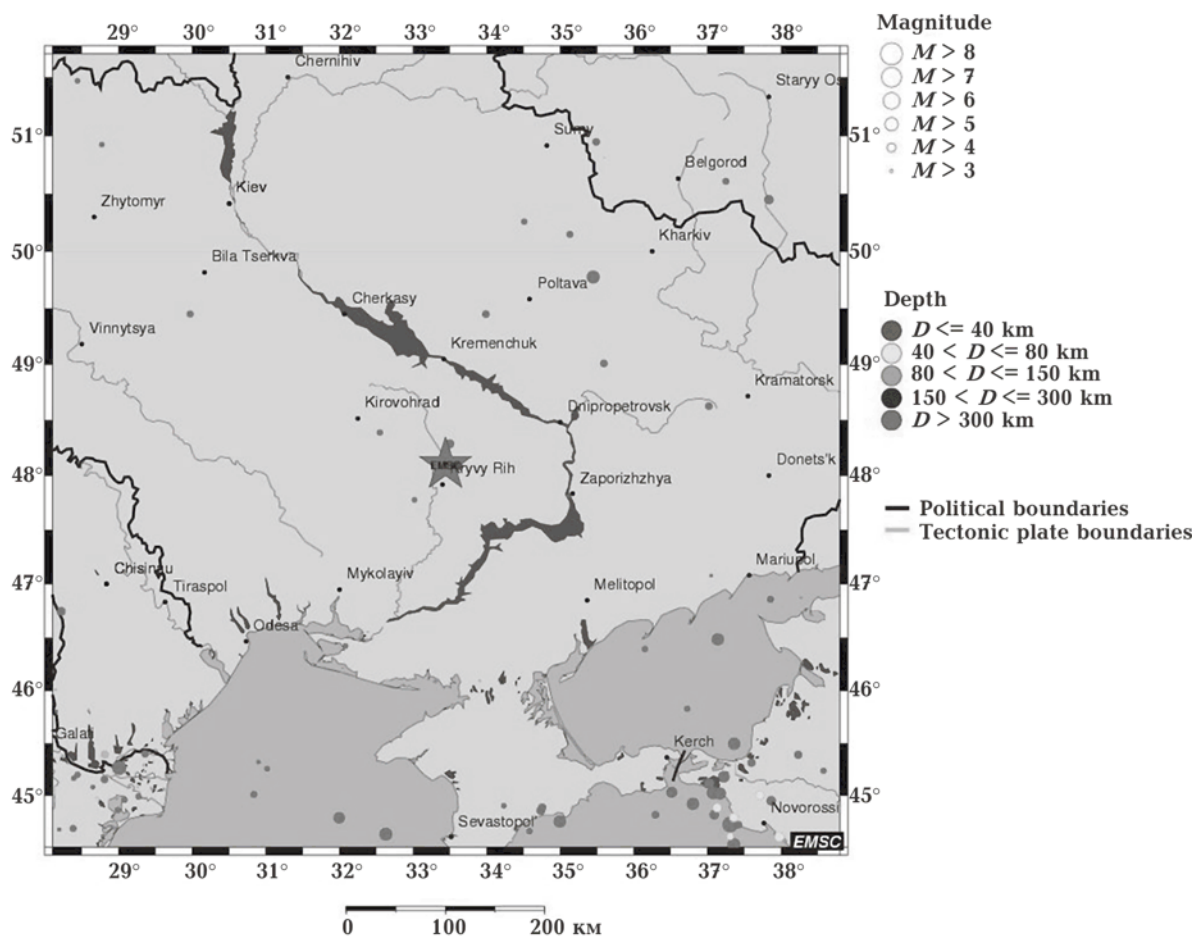


Рис. 1. Эпицентр землетрясения 25.12.07 г. (<http://www.emsc-csem.org/>).

**Таблица 1. Основные параметры гипоцентра криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. по данным различных центров и служб**

Центр	Время в очаге, (GMT)	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	Глубина, км	Эллипс ошибок			$m_b$	$M_s$	$M_L$
					Большая полуось	Малая полуось	AZ			
ГС РАН — ССД, Россия	04:09:36,2	48,06	33,57	33	—	—	—	3,9	—	—
NEIC, США	04:09:36,71 $\pm 1,1$ с	48,084	33,486	43,8	6,8	4,8	214	3,7	—	—
IDC, Австрия	04:09:32,93 $\pm 1,05$ с	48,0297	33,4529	0	17,7	10,5	152	3,8	3,6	3,3
Крымский бюллетень, WSG	04:09:34,6 $\pm 2$ с	47,79 $\pm 0,15$	33,38 $\pm 0,15$	0	—	—	—	—	—	—
Крымский бюллетень, ручная обработка	04:09:34,6 $\pm 0,6$ с	47,90 $\pm 0,2$	33,40 $\pm 0,2$	0	—	—	—	2,9	3,2	—
ГС РАН Уточнение 1*	04:09:33,05 $\pm 0,6$ с	48,055	33,353	6 $\pm$ 3	7,3	6,6	63	—	—	—
ГС РАН Уточнение 2**	04:09:34,94 $\pm 0,8$ с	48,029 ( $\pm 1,8$ )	33,437 ( $\pm 1,7$ )	16 $\pm$ 4	4,1	3,7	33	—	—	—

\* По данным 32 станций; \*\* по данным 50 станций (118 сейсмических фаз).

работы проводятся сейсмологами и геологами в рамках совместного российско-украинского проекта при финансовой поддержке Президиума Национальной академии наук Украины и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

**Параметры криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г.**, полученные в различных сейсмологических центрах, приведены в табл. 1.

Результаты локации показаны на рис. 2, из которого видно, что разброс данных о положении эпицентра землетрясения является небольшим и не превышает 15 км.

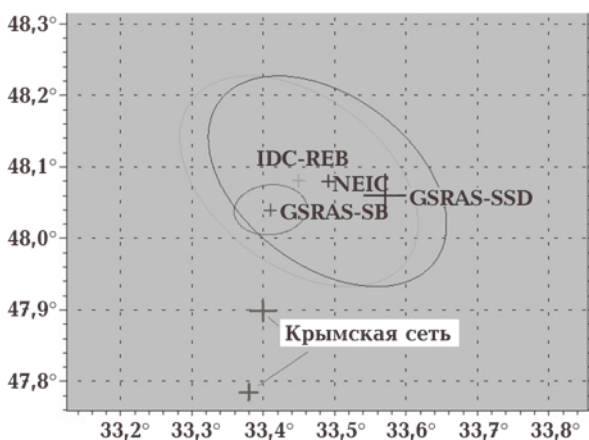


Рис. 2. Эпицентры и эллипсы ошибок криворожского землетрясения по данным различных центров (см. табл. 1).

Для получения параметров очага использовались данные различных сетей станций:

- в службе срочных донесений ГС РАН эпицентр найден по данным 18 станций, достаточно хорошо окружавших эпицентр и удаленных на расстояния от 3 до 67°. Сведения о ближайших к эпицентру сейсмологических станциях ГС РАН представлены в табл. 2;

- в бюллетене Международного центра данных IDC использовались данные 12 станций на расстояниях от 3,85 до 66,94°, по которым были выделены, в основном, первые вступления продольных волн;

- в Американском национальном центре данных о землетрясениях (NEIC) использована более представительная выборка из 39 станций с эпицентрными расстояниями от 3,17 до 66,84°;

- авторами настоящей статьи для уточнения расположения очага использовались данные 48 станций, ближайшие из которых показаны на рис. 3, с эпицентрными расстояниями от 1,76 до 66,90°, по большинству станций были собраны волновые формы колебаний грунта, наблюдаемых при землетрясениях. Всего было выделено 96 сейсмических фаз как первых вступлений, так и последующих вторичных фаз. С хорошей детальностью землетрясение записали станции лаборатории сейсмического мониторинга Воронежского государственного университета (рис. 4);

Таблица 2. Сведения о ближайших к эпицентру сейсмических станциях ГС РАН

Станция	Код	Год открытия	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	Глубина, м	Принадлежность	Тип оборудования станции
Обнинск	OBN	1964 1988	55,114	36,569	130	ГС РАН	STS-1 IRIS IDA
Воронеж	VOR	1996	51,731	39,200	161	ГС РАН + ВГУ	СМЗ, аналоговая
Дивногорье	VORD	1998	50,966	39,293	94	ГС РАН + ВГУ	СМЗ-ОС (SDAS)
Сторожевое	VSR	1999	51,216	39,166	174	ГС РАН	СМЗ-ОС, СМЗ-КВ (SDAS)
Новохоперск	VRHR	2003	51,203	41,721	98	ГС РАН + ВГУ	СМЗ-ОС, СМЗ-КВ (SDAS)
Манино	VPUM	2007	52,145	39,341	158	ГС РАН + ВГУ	СМЗ-КВ (UGRA)
Галичья Гора	LPSR	2007	52,601	38,929	138	ГС РАН + ВГУ	СМЗ-ОС, СМЗ-КВ (SDAS)
Анапа	ANN	1968	44,80	37,40	0	ГС РАН	СМЗ-КВ (SDAS)
Домбай	DOMR	2007	43,2924	41,624	1608	ГС РАН	СМЗ-КВ (UGRA)

• в рамках проекта РФФИ из Института геофизики НАН Украины были получены записи землетрясения 25.12.2007 г., зарегистрированные сейсмологическими станциями, расположенными на территории Украины. На записях ближайшей к эпицентру украинской станции «Полтава», несмотря на имеющиеся

кратковременные перерывы в записи, отчетливо видны прямые Р- и S-волны (рис. 5).

**Глубина очага.** Поскольку землетрясение зафиксировано относительно далекими станциями, то сколько-нибудь достоверное определение глубины может быть сделано только при выделении и интерпретации глубинных фаз.



Рис. 3. Ближайшие станции, участвующие в локализации криворожского землетрясения 25.12.07.

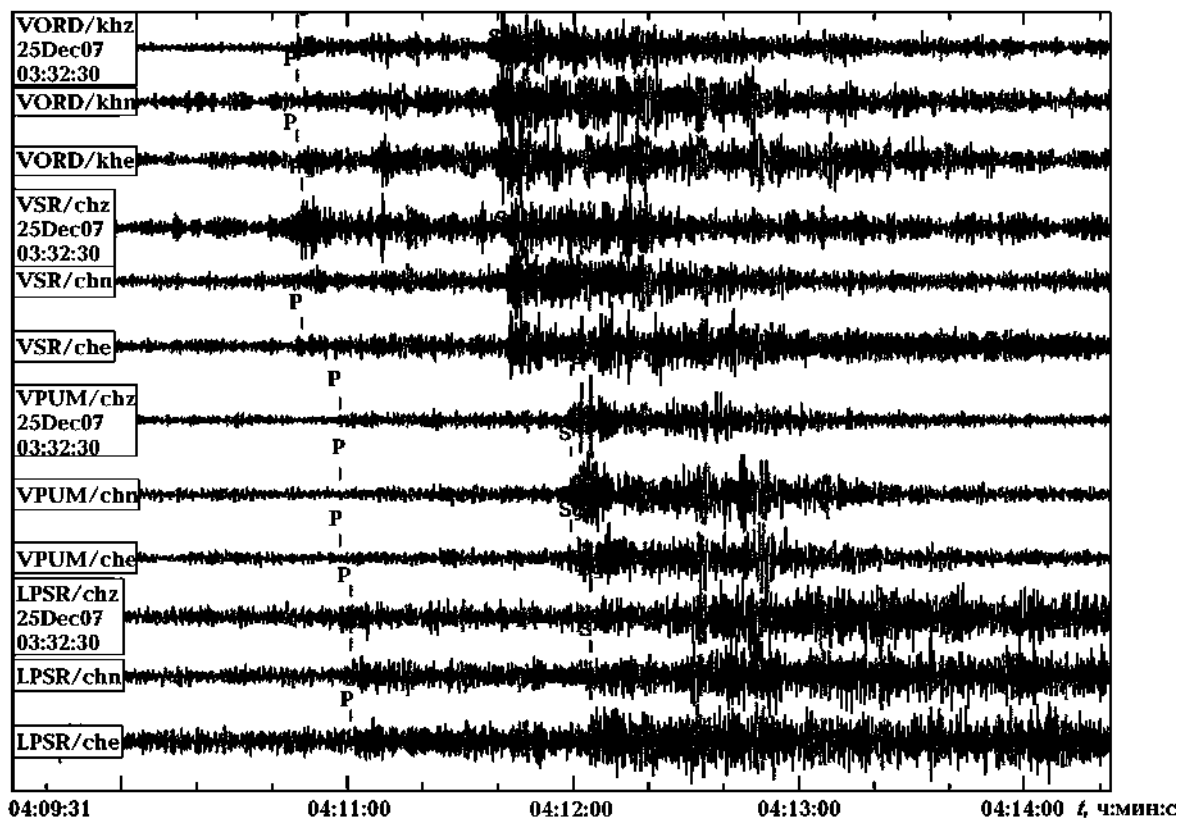


Рис. 4. Трехкомпонентные записи, полученные на станциях ГС РАН, расположенных на Воронежском кристаллическом массиве (записи фильтрованы в полосе 0,6—4,5 Гц).

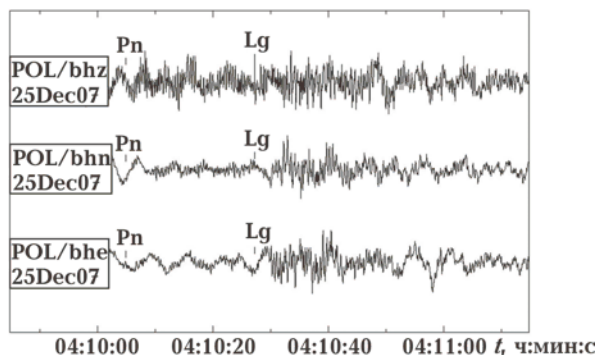


Рис. 5. Трехкомпонентная нефильтрованная запись кривокожского землетрясения (станция «Полтава»).

Необходимо отметить, что при исследовании записей землетрясения, несмотря на то, что его удалось зарегистрировать представительной сетью станций, возникли проблемы в выделении и интерпретации вступлений в группе продольных волн (не помогла ни полосовая, ни поляризационная фильтрация [Кедров, 2005]). При применении поляризационной фильтрации наблюдалось только незначительное улучшение разделения колебаний по типам волн.

В результате анализа всех имеющихся волновых форм были обнаружены глубинные фазы  $pP$  [Канасевич, 1985] на записях трех станций: TIRR (Румыния) – эпицентральное расстояние  $\Delta=5,0^\circ$ ; ARU (Арти, Урал, Россия) —  $\Delta=17,3^\circ$ , BRVK, BVAR (Боровое и Боровое сейсмическая группа, Казахстан) —  $\Delta=23^\circ$ . По их интерпретации средняя глубина очага землетрясения составила 17–18 км. Отметим, что выделенные фазы  $pP$  были использованы совместно с другими вступлениями волн при определении координат эпицентра землетрясения.

Как и в случае обработки записей бердянского землетрясения 31 июля 2006 г. [Габсатарова, Бабкова, 2008], для более уверенного обнаружения и интерпретации глубинных фаз применялся метод кепстрального анализа фрагмента записи в группе  $P$ -волн. Он основан на использовании спектров второго порядка для обнаружения эхо-сигналов, к которым можно в полной мере отнести отражения вблизи эпицентра от границы раздела земля–воздух. Глубина очага землетрясения оценивается по разностям времен вступления первичной

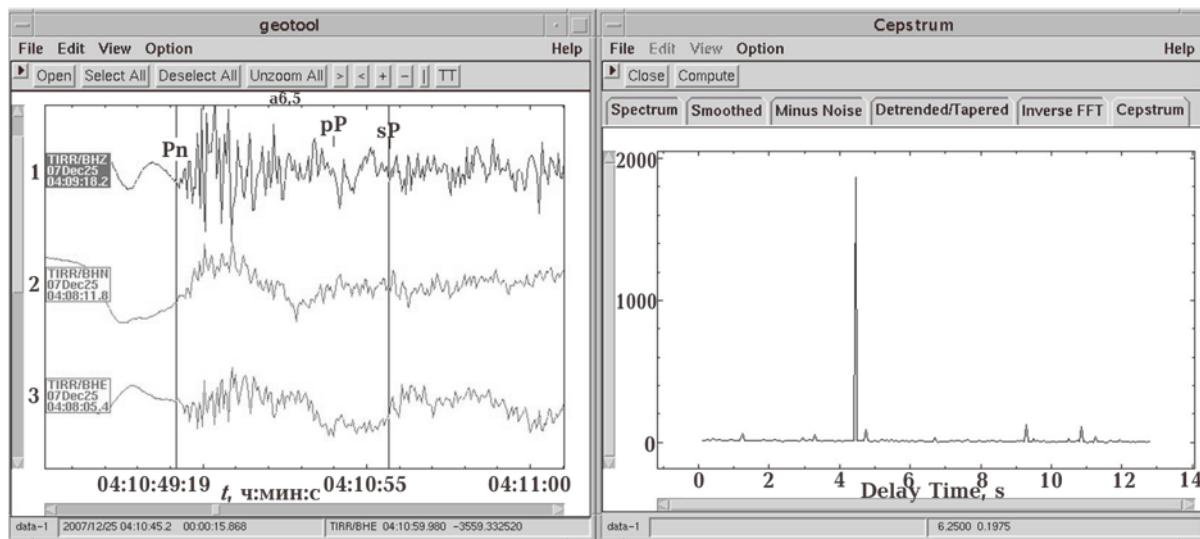


Рис. 6. Фрагмент записи на станции «Tirgusor» с последующими глубинными фазами и кепстр 13-секундного фрагмента записи группы Р-волн.

волны и ее эхо-сигналов, определенных с помощью функции автокорреляции анализируемых данных [Канасевич, 1985].

Логарифм энергетического спектра можно считать частотным рядом, автокорреляция которого называется автоковариацией второго порядка или *кепстр*. График зависимости кепстра от времени имеет максимум на частоте пульсаций, которая соответствует времени запаздывания волны спутника или эхо-сигнала (в нашем случае глубинной фазы). Прежде чем вычислять кепстр, спектры второго порядка пропускались через фильтр высоких частот для сглаживания частотного ряда.

Для проверки, являются ли выделенные вступления глубинными фазами, использовалась программа Geotool [Coyne et al., 2003], которая содержит все указанные процедуры кепстрального анализа. Предварительно из спектра быстрого преобразования Фурье сигнала был вычтен спектр шума. Затем проведено сглаживание. Сопоставление спектров до и после обработки позволило определить частотный диапазон, в котором необходимо проводить дальнейшую фильтрацию — 0,5—3 Гц. Наиболее отчетливый максимум на графике кепстра, построенного по фрагменту записи на станции TIRR (рис. 6), выделяется через 4,5 с после первого вступления, что соответствует глубине очага землетрясения 18 км по додогографу IASP91.

Из табл. 3 видно, что результаты локации с использованием глубинных фаз и без них отличаются незначительно.

**Анализ волновой картины.** Представляют интерес особенности волновой картины, наблюдаемой на сейсмологических станциях, расположенных в различных азимутах и на различных эпицентральных расстояниях. Рассмотрим их по шести азимутальным направлениям.

1. 14—50°; по записям станций POL — Полтава, Украина; OBN — Обнинск, MHV — Михнево (GEOPHON), LPSR, VRS, VRHR, VORD, VPUM — станции Воронежской локальной сети, Россия.

2. 120—140°; по записям станций ANN — Анапа; DOMR — Домбай, Россия.

3. 160—180°; по данным сейсмологического бюллетеня отдела сейсмологии ИГФ НАН Украины (SIM — Симферополь, SUDU — Судак, SEV — Севастополь, ALU — Алушта).

4. 220—235°; по записям станций ODE — Одесса, Украина, TIRR — Tirgusor, Румыния;

5. 270—290°; по записям карпатских станций NOD, HOF, MOF, KSV, LVV, RAF, MEF и TRPA, Украина.

6. 305—335°; по записям станций SKV, AKASG, Украина; MNK — Минск, NAR — Нарочь, Белоруссия (записи любезно предоставлены Центром геофизического мониторинга НАН Белоруссии).

1. Для записей азимутального створа (по обратному азимуту)  $\text{BAz}=14\div 50^\circ$  характерно преобладание по амплитудам записей Sn-волн в частотном диапазоне 1—5 Гц на расстояниях от 1,76 до 7,5° (рис. 7). Каналовые волны Lg незначительно выделяются на фоне группы

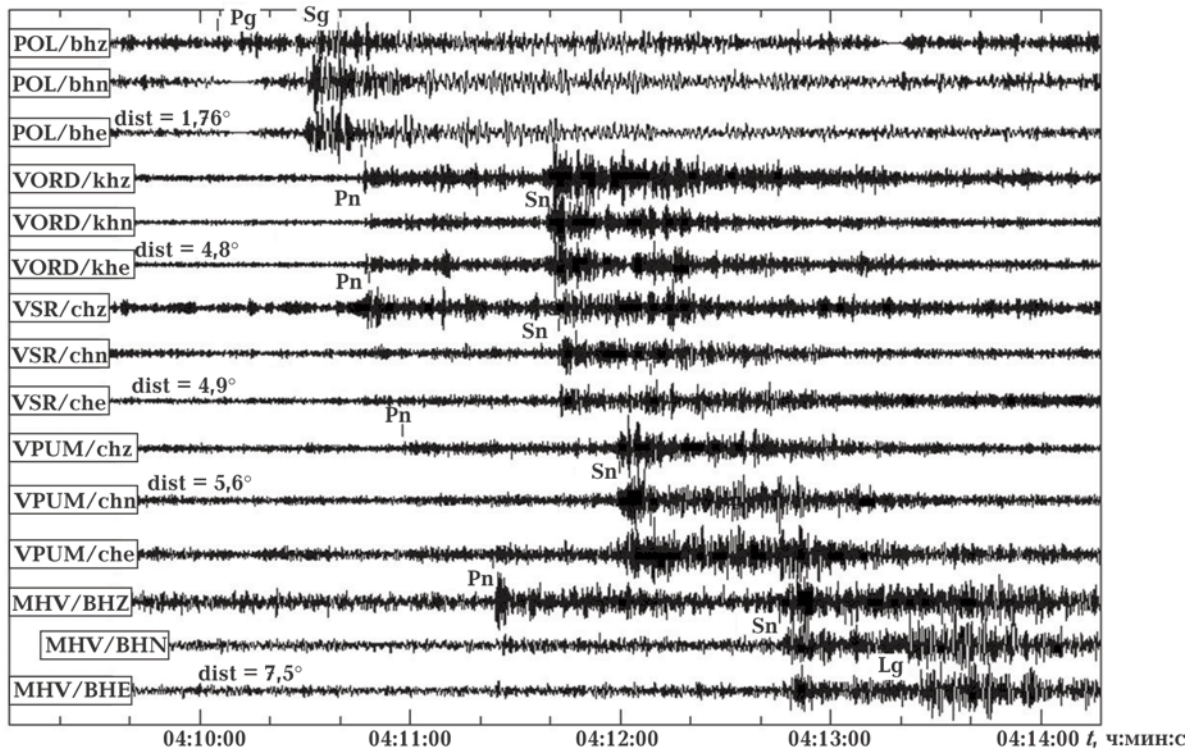


Рис. 7. Трехкомпонентные записи станций, расположенных в азимутальном створе 14—50° (записи фильтрованы в полосе 1—5 Гц).

этих волн лишь в диапазоне частот 0,4—1,2 Гц. Слабые вступления продольных волн Pn, как правило, отчетливо выделяются на фоне помех при применении полосовой фильтрации. Волны Pg, выходящие во вторичные вступления на расстояниях более 2°, практически не выделяются [Красилов и др., 2006].

В отдельных случаях (рис. 8) для выделения вступлений применялась поляризационная фильтрация. Она основана на пересчете сигнала в направлении на заданный источник с

помощью известных азимута на источник и угла падения (выхода) сейсмического луча. При этом подавляются шумовые колебания и сигналы, которые приходят на станцию от других источников. При правильном подборе параметров поляризационного фильтра можно получить довольно отчетливое вступление волны, неоднозначно выделяемое при полосовой фильтрации. Для каждой волны потребуется установка своих параметров, что делает этот способ более трудоемким, по сравнению с обычной полосовой

Таблица 3. Уточненные параметры гипоцентра криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г.

Используемые данные	$t_0$ , ч:мин:с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Характеристика сети			
			$\varphi^\circ, N$	$\delta\varphi$ , км	$\lambda^\circ, E$	$\delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км	Количество сейсмических фаз	$\Delta\text{min}$ , град	$\Delta\text{max}$ , град	GAR, град
Все выделенные фазы (без глубинных)	04:09:35,36	0,8	48,047	$\pm 1,8$	33,421	$\pm 1,7$	18	6	115	1,76	66,8	40
Все выделенные фазы +глубинные	04:09:34,94	0,6	48,029	$\pm 1,8$	33,437	$\pm 1,7$	16	4	118	1,76	66,8	40

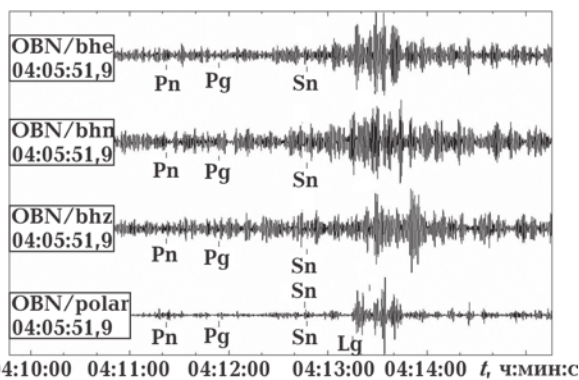


Рис. 8. Трехкомпонентная запись на станции «Обнинск»,

фильтрованная в полосе 0,7—1,4 Гц, и результат поляризационной фильтрации (нижняя трасса), рассчитанный для заданных азимута на эпицентр и угла выхода волны Lg.

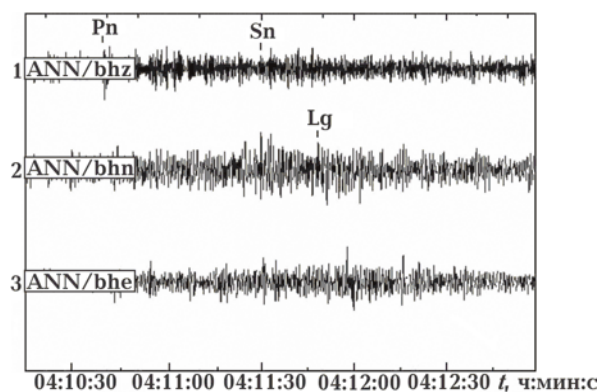


Рис. 9. Трехкомпонентная запись станции «Анапа» ( $\Delta=4,3^\circ$ ). Вертикальная компонента фильтрована в полосе 1—5 Гц, горизонтальные — в полосе 1—3 Гц.

фильтрацией цифровых записей. Способ нахождения вступлений волн различных типов с помощью поляризационной фильтрации детально описан в работе [Кедров, 2005].

2. Записи азимутального створа  $B\Delta z=120^\circ \div 140^\circ$  представлены немногочисленными станциями Северного Кавказа, слабо записавшими землетрясение на фоне шумов (рис. 9). Вступления волн на таких записях выделяются с большим трудом, что характеризует повышенное затухание волн (особенно поперечных) на трассе, проходящей через Азовское море.

3. Волновые формы землетрясения, полученные на станциях крымской сети, на этом этапе исследования были недоступны, и поэтому о волновой картине и разрешающей способности станций в азимутальном направлении  $B\Delta z=160^\circ \div 180^\circ$  можно судить только по представленным материалам в Сводном бюллетене Отдела сейсмологии ИГФ НАН Украины. Как видно, практически все вступления волны Pn неотчетливые и, в основном, имеют обозначен-

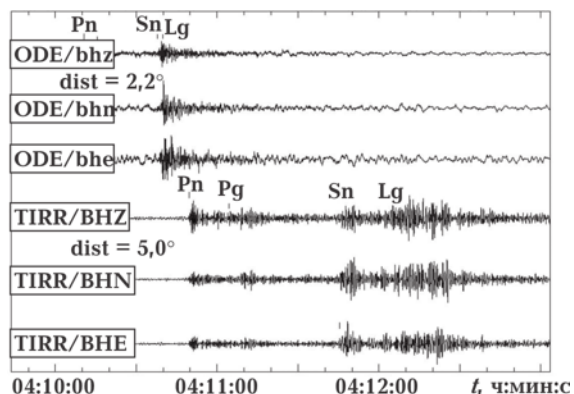


Рис. 10. Трехкомпонентные записи землетрясения на станции «Одесса» (нефильтрованная запись) и на станции «Tirgusog» (запись фильтрованная в полосе 1—5 Гц).

ние четкости и уверенности интерпретации —  $\epsilon(P)$ . Немного уверенней эти волны были выделены на записях станций «Севастополь» и «Судак». Примерно такая же картина наблюдается с выделением волн S. Заметим, что станции удалены от эпицентра криворожского землетрясения на расстояние от 2,2 до 3,5°.

4. Записи азимутального створа  $B\Delta z=220^\circ \div 235^\circ$  наиболее качественно зарегистрированы на станциях «Одесса» и «Tirgusog» (рис. 10). Вступление волны Pg, которое должно появиться на расстоянии 2,2° («Одесса») чуть позже Pn, практически не выделяется, волны сливаются в одну группу и, вероятно, этим объясняются довольно высокие амплитуды в группе продольных волн. А вот волны Sn и Lg удается разделить и по частотному составу, и по амплитуде. Волна Sn приходит на 1,5 с раньше волны Lg.

Как уже отмечалось, на записи станции «Tirgusog» удалось выделить глубинную фазу, хорошо выделяются здесь и другие фазы, кроме волны Pg (имеет небольшое соотношение сигнал/шум).

5. Станции азимутального створа  $B\Delta z=270^\circ \div 290^\circ$  представляют самую многочисленную группу (рис. 11). Несмотря на расстояния больше чем 3,9°, эти станции хорошо записали группу поперечных волн, представленную волнами Sn, Sg и Lg. Амплитуды рефрагированных на границе Мохо волн Sn незначительны, а вот каналовые волны Lg, наоборот, имеют максимальные амплитуды и хорошо видны практически на всех станциях.

Продольные волны с небольшим соотношением сигнал/шум выделяются в полосах 1—2 и 2—4 Гц. На записи станции «Львов» хорошо виден дуг поверхностной волны Рэлея.

6. На записях станций «Сквира» — SKV и сейсмической группы «Малин» — AKAG видна



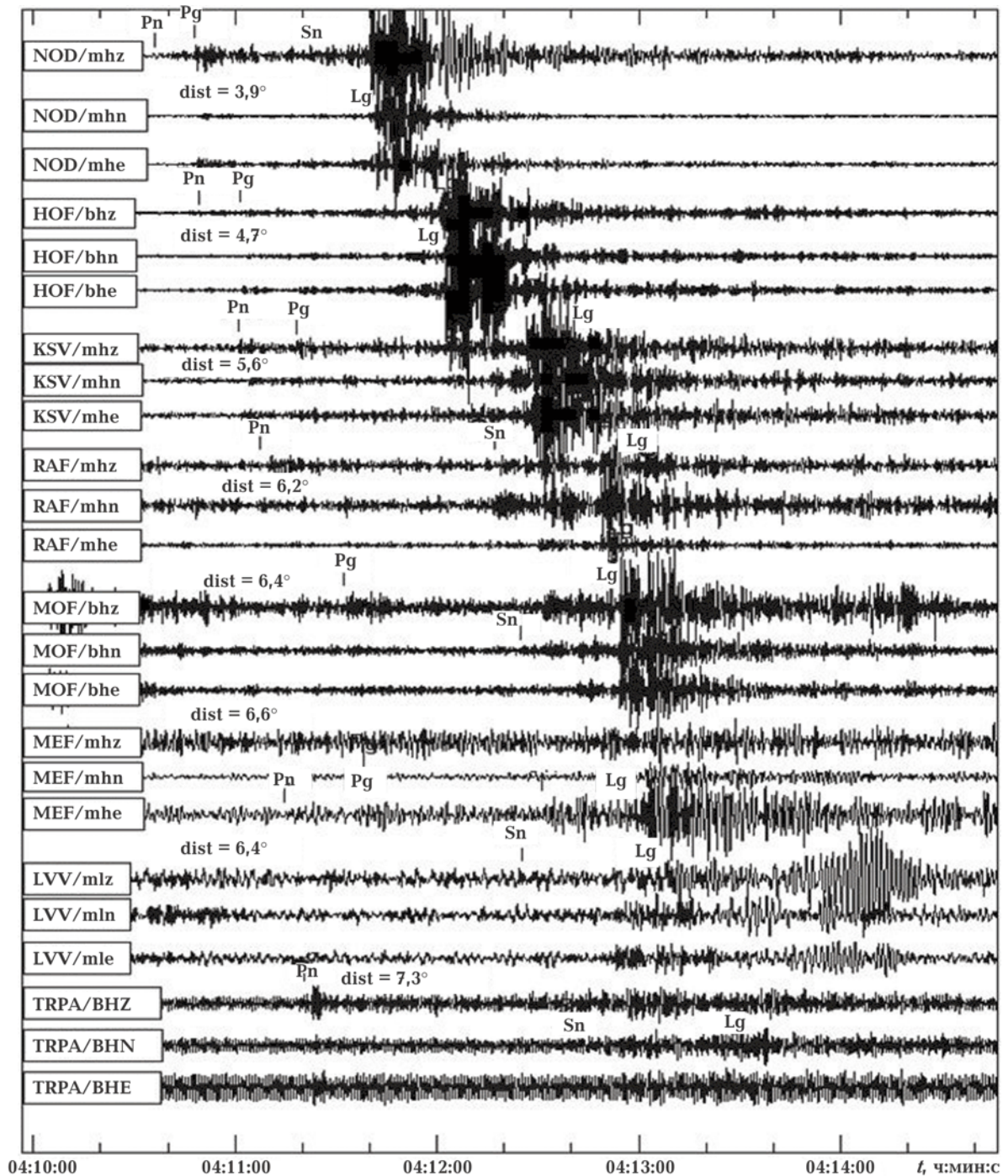


Рис. 11. Трехкомпонентные записи карпатских станций, расположенных в азимутальном створе 270—290°, фильтрация в полосе 1—2 Гц.

волновая картина, подобная наблюдаемой на предыдущей группе станций: малоамплитудные, но отчетливо выделяемые продольные волны, чуть выше по амплитудам волны Sn, максимальные по амплитудам волны Sg и Lg. Станции «Минск» и «Нарочь» записали только группу поперечных волн (рис. 12).

Из анализа волновой картины следует, что в азимутальном створе 14—50°, т. е. в северо-

северо-восточном направлении, отмечаются отличные (от других направлений) характеристики волновой картины, в основном связанные с менее выраженными каналовыми волнами Lg, явно выделяющимися и преобладающими по амплитудам в других азимутальных направлениях. Известно, что волны Lg, как правило, максимально выражены на записях сейсмических событий, полученных

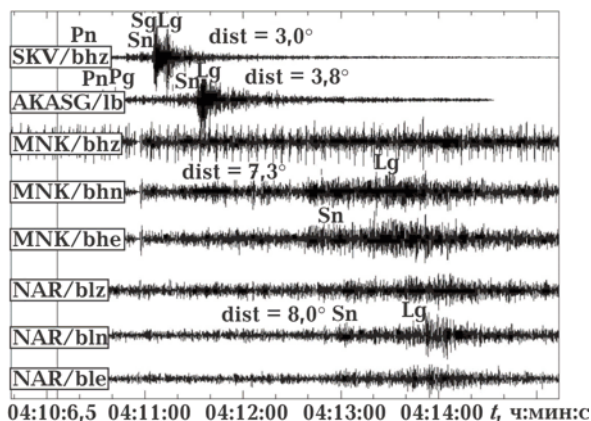


Рис. 12. Трехкомпонентные записи землетрясения на станциях, расположенных в азимутальном створе 305—335°, записи станций «Нарочь» и «Минск» фильтрованы в полосе 0,6—4,5 Гц.

на платформе [Молнар и др., 1976]. Факт различия волновой картины уже сам по себе говорит о неоднородностях строения среды на пути распространения сейсмических лучей в северо-северо-восточном направлении и требует дальнейшего исследования. Следует заметить, что подобное соотношение с преоб-

ладанием амплитуд Sn-волн над амплитудами Lg-волн отмечалось на станциях Воронежского кристаллического массива и при регистрации бердянского землетрясения 31 июля 2006 г. в 09 ч 04 мин [Габсатарова, Бабкова, 2008].

Кроме того, видны различия в волновой картине, зарегистрированной на двух станциях, расположенных в центре ВЕП: «Обнинск» ( $\Delta=7,36^\circ, Az=14^\circ$ ) и «Михнево» ( $\Delta=7,45^\circ, Az=20^\circ$ ), вероятно, также связанные с различным строением среды на пути распространения волн от очага на станцию и, возможно, со специфическими грунтовыми условиями непосредственно в месте регистрации. На рис. 13 сравниваются трехкомпонентные записи этих станций. На записи «Михнево» отчетливо выделяется высокоамплитудная и высокочастотная фаза Pn, в отличие от записи на станции «Обнинск», где выделить эту фазу невозможно, даже при применении поляризационного фильтра.

**Механизм очага.** В сложных условиях регистрации относительно слабого землетрясения для такой удаленной сети станций и вследствие этого нечетких первых вступлений P-волн на фоне шумов, на первый взгляд, казалось невозможным построить механизм очага кри-

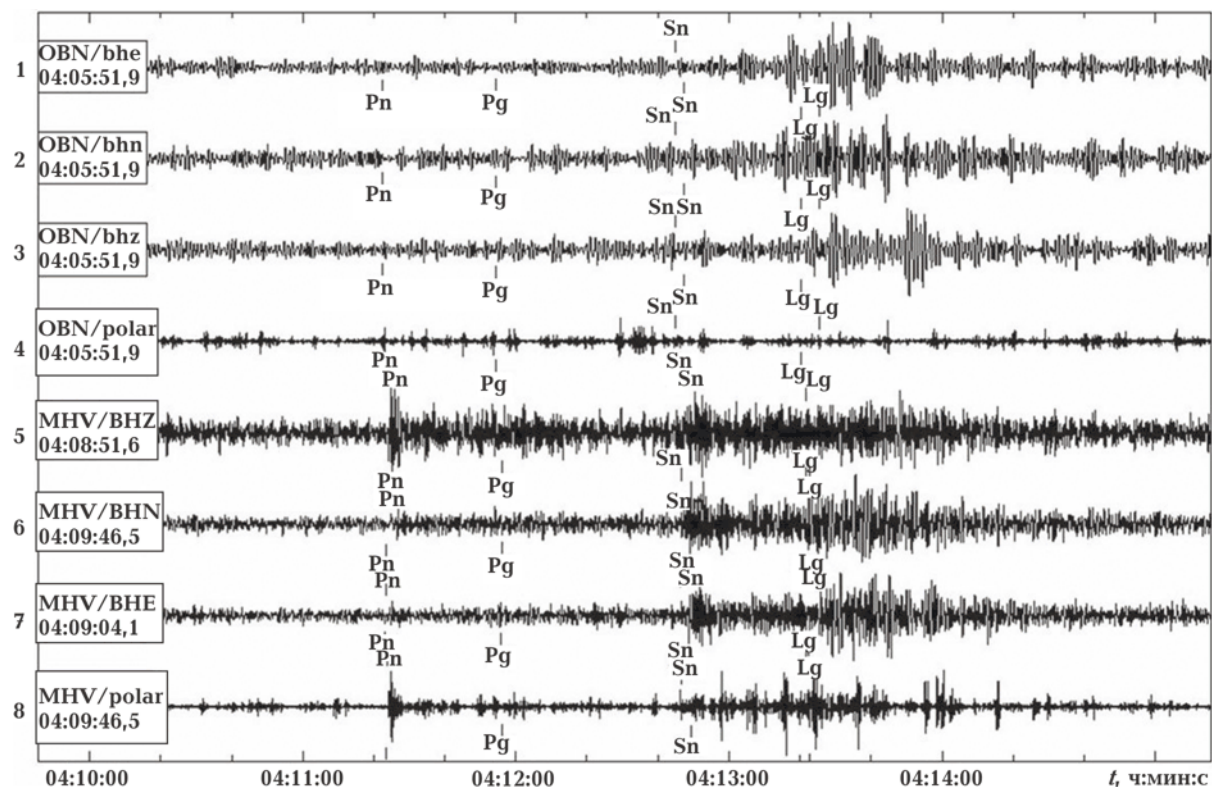


Рис. 13. Сравнение записей криворожского землетрясения на станциях «Обнинск» и «Михнево» с результатами поляризационной фильтрации (четвертая и восьмая трассы). Записи станции «Обнинск» фильтрованы в полосе 0,7—1,4 Гц, «Михнево» — в полосе 1—5 Гц.

**Таблица 4. Входные данные для расчета механизма очага землетрясения 25 декабря 2007 г.**

Код станции	Знак первого вступления	Фаза	$\Delta$ , град	Азимут, град	Угол выхода сейсмического луча, град
ODE	–	Pn	2,19	232,8	42,2
SKV	–	Pn	3,00	305,5	42,2
AKASG	–	Pn	3,83	315,8	42,2
NOD	–	Pn	3,90	281,8	42,2
ANN	+	Pn	4,24	138,1	42,2
HOF	–	Pn	4,73	286,7	42,2
VORD	+	Pn	4,80	50,1	42,2
VSR	+	Pn	4,90	47,3	42,2
TIRR	–	Pn	4,98	226,1	42,2
VPUM	+	Pn	5,59	40,4	42,2
NSF	+	Pn	6,66	275,2	42,2
TRPA	–	Pn	7,28	274,8	42,2
KIV	+	Pn	7,60	119,0	42,2
OJC	–	Pn	9,18	288,9	42,2
ARU	–	P	17,4	51,8	49,8
BRVK	–	P	23,7	63,8	59,4

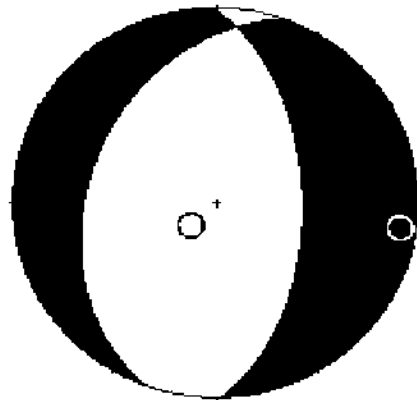


Рис. 14. Диаграмма механизма очага землетрясения 25.12.07 г., нижняя полусфера.

решение показано в виде диаграммы в нижней полусфере (рис. 14).

На станциях, расположенных к северо-востоку от очага на Воронежском кристаллическом массиве, регистрировались волны сжатия, в отличие от станций, расположенных к юго-западу от очага, где в основном регистрировались волны растяжения.

Расчет механизма очага производился с использованием программы FA [Ландер, 2006], позволяющей рассчитывать углы выхода на различных расстояниях по региональной ско-

**Таблица 5. Параметры механизма очага криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г., полученные по знакам первого вступления**

T		P		N		NP1			NP2		
PI	AZ	PL	AZ	AZ	PL	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
9	97	76	227	6	10	359	55	-103	200	37	-73

ворожского землетрясения по применяемой в ГС РАН методике, базирующейся на знаках первого вступления в P-волне. Однако тщательный анализ все же позволил найти знаки первого вступления на 15 станциях. Так как они располагались в разных азимутальных квадрантах относительно эпицентра и регистрировали и волны сжатия «+», и растяжения «-» (табл. 4), то этого оказалось достаточно для построения статистически значимого механизма очага, т. е. удалось найти достаточно уверенное положение осей сжатия и растяжения и нодальных плоскостей (табл. 5). Лучшее

ростной модели земной коры и верхней мантии.

Тип подвижки в очаге — практически чистый сброс с небольшими сдвиговыми компонентами. Землетрясения этого типа обычно рассматриваются как реакция на почти горизонтальное растяжение геологической среды, которое в настоящем решении ориентировано в восточном направлении. Обе нодальные плоскости имеют субмеридиональное простирание. По более крутой плоскости NP1 наблюдается сброс с правосторонней сдвиговой компонентой, по более пологой плоскости NP2 — сброс с левосторонним сдвигом.

### Список литературы

Габсатарова И. П., Бабкова Е. А. Параметры Бердянского землетрясения 31 июля 2006 года с MS=3,3 (Украина, Запорожская обл.) // Сейсмол. бюл.

Украины за 2006 г. — Севастополь: НПЦ «Экосигидрофизика», 2008. С. 18—26.

- Канасевич Э. Р. Анализ временных последовательностей в геофизике. — Москва: Недра, 1985. — 400 с.
- Кегров О. К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний. — Москва; Саранск: Изд-во ИФЗ РАН, 2005. — 420 с.
- Красилов С. А., Коломиец М. В., Акимов А. П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических записей с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. Междунар. сейсмол. школы. — Обнинск: ГС РАН, 2006. — С. 77—83.
- Ландер А. В. Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений *P*-волн). — Москва: Фонды автора, 2006. — 27 с.
- Молнар П., Нерсесов И. Л., Рузайкин А. И., Халтурин В. И. Волны Lg и их распространение в Центральной Азии: Сб. совет.-амер. работ по прогнозу землетрясений. Т. 1. — Душанбе: Дониш, 1976. — С. 185—206.
- Coyne J., Clark K., Lloyd S. International Data Centre Documentations. Geotool Software User Tutorial. — 2003. — P. 59.