

НОВОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ В КРИВОРОЖЬЕ И МЕХАНИЗМ ЕГО ОЧАГА

И. П. Габсатарова*, А. В. Кендзера**, Л. И. Надежка***, П. И. Пигулевский**, Е. А. Бабкова*,
М. В. Коломиец*, С. П. Пивоваров*

*Геофизическая служба РАН, г. Обнинск

**Институт геофизики НАН Украины, г. Киев

***Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 10 сентября 2013 г.

Аннотация. В статье представлены результаты по определению параметров еще одного землетрясения 23 июня 2013 г. в Криворожье на Украинском щите Восточно-Европейской платформы. Механизм очага этого землетрясения имеет схожие черты с механизмом землетрясения 25 декабря 2007 г.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, механизм очага.

Abstract. The paper presents results on the determination of the parameters of another earthquake June 23, 2013 in Kryvorizhzhya in the Ukrainian Shield, East European platform. Focal mechanism of this earthquake has similarities with the mechanism of the earthquake December 25, 2007.

Key words: earthquake, seismicity, focal mechanism

За последние 200 лет в пределах Восточно-Европейской платформы (ВЕП) произошло более 150 землетрясений: от относительно сильных, – параметры эпицентров которых определены по макросейсмическим данным, до сравнительно слабых, – инструментально зарегистрированных в последние десятилетия сейсмическими станциями России, Украины и Молдовы.

Как правило, инструментально зарегистрированные землетрясения на территории ВЕП характеризуются локальной $M = 3-4$ и интенсивностью в эпицентре 4-5 баллов по шкале МСК-64 [1-9]. Эпицентры их приурочены к краевым частям платформы и внутриплатформенным геодинамически активным зонам. К таким зонам в пределах Украинского щита относится Ингулецко-Криворожская межмегаблоковая шовная зона [10-15]. Она ограничена двумя зонами глубинных разломов Западно-Ингулецкой – на западе и Криворожско-Кременчугской – на востоке, которые имеют встречное падение. Ингулецко-Криворожская шовная зона разграничивает Ингульский и Среднеприднепровский мегаблоки, которые отличаются геологическим строением земной коры (мощностью её в це-

лом и мощностью отдельных слоёв) [2, 10-15]. Раздел Мохо по Западно-Ингулецкой разломной зоне резко погружается от 38 км до 56 км [10-15]. При этом резко меняются мощности отдельных слоёв. Сокращается мощность диоритового слоя за счет утолщения гранитоидного, появляется базальтовый слой и даже слой коро-мантийной смеси на востоке шовной зоны. Криворожско-Кременчугская зона разломов, по мнению Соллогуба В.Б., представляет собой «гигантский глубинный сдвиг» или «правый латеральный сдвиг с амплитудой до нескольких десятков км» [12]. В целом, по геологическим и геофизическим данным Ингулецко-Криворожская шовная зона неоднородна по строению и составу слагающих её слоёв. Земная кора здесь осложнена многочисленными довольно пологими разломами западного падения, которые создают тектонические чешуи [10, 12].

По особенностям строения, тектонической позиции Ингулецко-Криворожскую шовную зону можно рассматривать не только как разделяющую Украинский щит на восточную и западную части, но и как структуру, играющую важную роль в развитии Восточно-Европейской платформы.

К Ингулецко-Криворожской шовной зоне, точнее к её восточному борту Криворожско-Кременчугской зоне разломов уже в XXI веке приурочено ряд значительных землетрясений [5]. Наиболее

© Габсатарова И. П., Кендзера А. В., Надежка Л. И., Пигулевский П. И., Бабкова Е. А., Коломиец М. В., Пивоваров С. П., 2013

сильным из них было землетрясение, которое произошло 25 декабря 2007 года [2, 5, 6]. Оно было зарегистрировано большим количеством станций, что позволило изучить волновые формы его по записям станций, расположенным на разных расстояниях и в разных азимутах [5]. По результатам макросейсмического обследования уточнены особенности проявления процессов в очаговой зоне [6]. Как свидетельствуют комплексные данные, механизм очага землетрясения 2007 года представлял собой почти чистый взброс, точнее левосторонний взбросо-сдвиг [5].

Прошло чуть более 5 лет после Криворожского землетрясения 25.12.2007 г. и сейсмические станции Геофизической службы РАН, Украины и других Европейских государств вновь зарегистрировали сейсмическое событие, примерно в этом же районе, но теперь уже с большей магнитудой. Его предварительные параметры были определены в Службе срочных донесений ГС РАН (Обнинск), куда поступают близко к реальному времени цифровые записи со станций не только на территории России, но и станций, входящих в Глобальную мировую сеть. Это позволило по 21 станции, расположенных на расстояниях от 7 до 70 градусов) выделить вступления сейсмических фаз от этого землетрясения и оценить его основные параметры: дата= 23 Июня 2013, время= 21h16m32.8s (по Гринвичу), широта= 48.01°N, долгота= 33.37°E, глубина $h=15$ км, магнитуда по объемной волне P $m_b=4.7$. Как видно новое сейсмическое событие произошло в ночное время в отличие от предыдущего Криворожского землетрясения, которое произошло в утреннее «взрывное» время и из-за этого подвергалась сомнению его природа.

Положение эпицентра землетрясения совместно с другими очагами землетрясений по данным «Унифицированного каталога...», актуализированного в процессе проведения работ по ОСП-2012 (Уломов и др., 2012) показано на карте (рис. 1).

Параметры землетрясения 23.06.2013 г. были также получены в ряде других центров: IDC (Вена, Австрия), NEIC США, Норвежский центр НАО, Геофизического Института Академии наук Чешской Республики (PRU), Немецкого исследовательского центра в Посдаме (GFZ), Национального ядерного центра (NNC) Казахстана, о чем сообщается на сайте Международного сейсмологического центра ISC. Различные центры использовали для получения параметров различные сети станций и различные методики обработки, однако, четыре из них: IDC, NEIC, PRU и GFZ получили близкий результат.

Их эпицентры располагались вблизи эпицентра Криворожского землетрясения 25.12.2007 г. (рис. 2). Оценки магнитуд также были близки: $M_L=3.5$, $m_b=4.2-4.6$. Близкие оценки получены в ССД ГС РАН и в отделе сейсмологии Института Геофизики им. Субботина (Симферополь). При определении параметров в последнем из названных центров использовались данные Украинских станций: Николаев и Полтава, а также станции, установленной вблизи Кривого Рога (рис. 3).

Для проведения уточненной локации в ГС РАН использовались данные 43 станций, удаленных от эпицентра на расстояния от 0.17° до 67.0°, по значительной части были собраны волновые формы с записью землетрясения. Всего было выделено 81 сейсмическая фаза, как первых вступлений, так и последующих вторичных фаз продольных и поперечных волн. Примеры записей землетрясения 23.06.2013 г. на различных расстояниях представлены на рис. 3.

Из Российских станций особенно представительно землетрясение записали станции лаборатории сейсмического мониторинга Воронежского кристаллического массива (ГС РАН совместно с Воронежским государственным университетом) (рис. 4).

В таблице 1 представлены параметры землетрясения 23 июня 2013 г. по данным ГС РАН и отдела сейсмологии Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины (Симферополь) [7]. Как видно из таблицы 1 параметры эпицентра по Крымским данным и данным ГС РАН находятся в хорошем согласии.

Важное значение при определении балльности землетрясения и положения эпицентра имеет макросейсмическое обследование эпицентральной зоны. Макросейсмическое обследование эпицентральной зоны землетрясения, которое произошло 23.06.2013 года, не проводилось. Но вместе с тем, анализ интернет-откликов позволяет предварительно классифицировать как не менее 4-балльную интенсивность в Кривом Роге.

В работе [5] был получен механизм очага землетрясения 25.12.2007 г. В соответствии с решением землетрясение произошло под действием горизонтальных сжимающих напряжений, ориентированных близшироотно в азимуте 279°. Тип подвижки в очаге – левосторонний взбросо-сдвиг, разрыв вероятнее всего развивался от начального гипоцентра на глубине 10 км снизу вверх до глубины 6 км, вызвав в этой области очаговой зоны максимальный макросейсмический эффект.

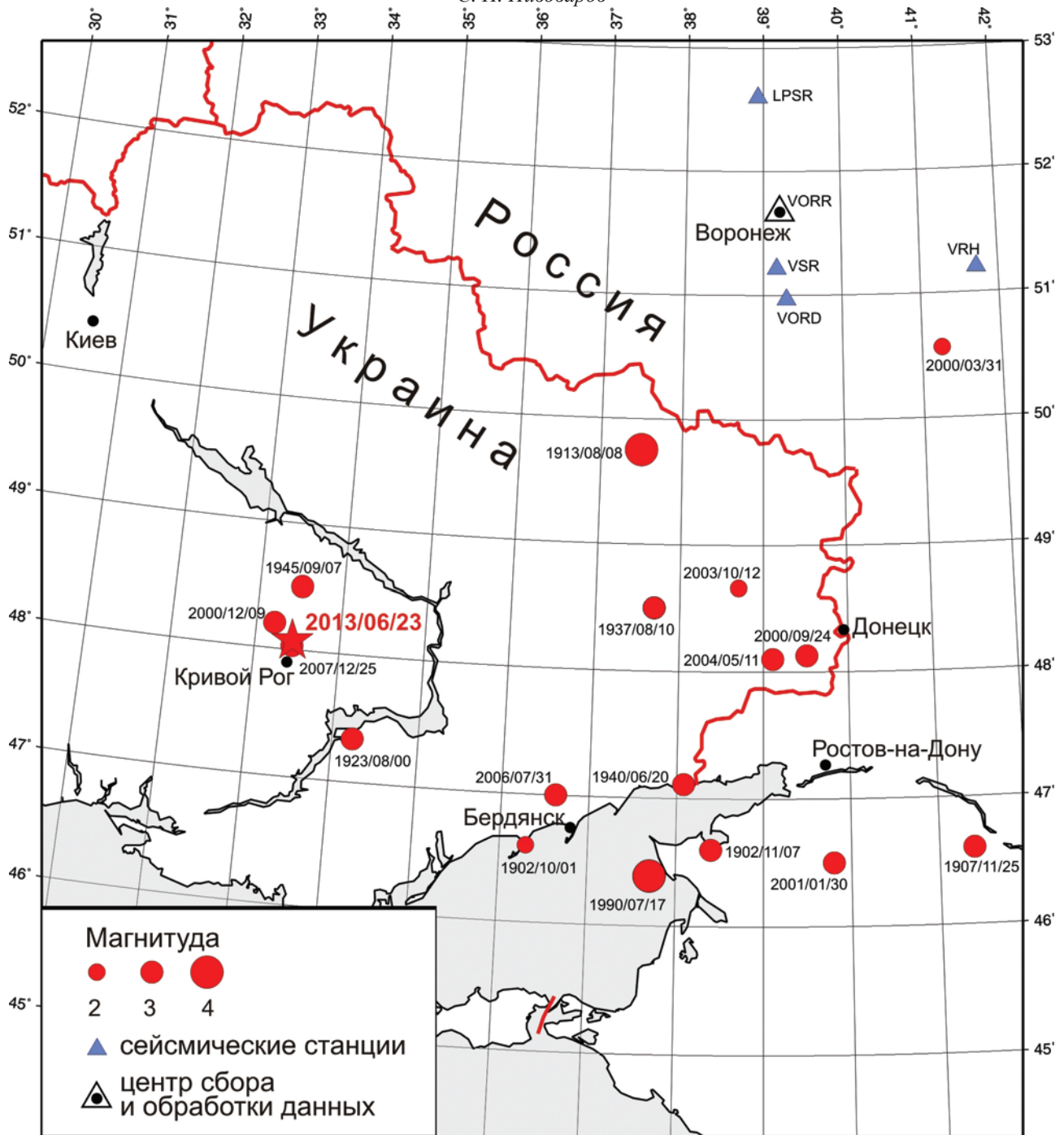


Рис. 1. Карта с эпицентрами известных в южной части ВЕП землетрясений по данным «Унифицированного каталога ...», актуализированного в процессе проведения работ по ОСР-2012 (Уломов и др., 2012). Звездой показано положение эпицентра 23.06.2013 г.

На основе анализа знаков первого движения Р-волны на 28 сейсмических станциях (на 8 станциях зарегистрирована волна сжатия, на 20 – растяжения), расположенных равномерно по азимутам относительно эпицентра землетрясения 23.06.2013 г., удалась построить и для него механизм очага. Он, как и предыдущее решение 25.12.2007 г., показывает, что и это землетрясение произошло под действием близ горизонтальных

сжимающих напряжений, однако ориентация их ближе к меридиональной ($AZ = 28^\circ$).

На стереографической проекции (нижняя полусфера) знаки, соответствующие волнам сжатия и растяжения, уверенно разделились нодальными плоскостями при двух несогласованных знаках на станциях. Параметры механизма очага представлены в табл. 2, диаграмма – на рис. 5.

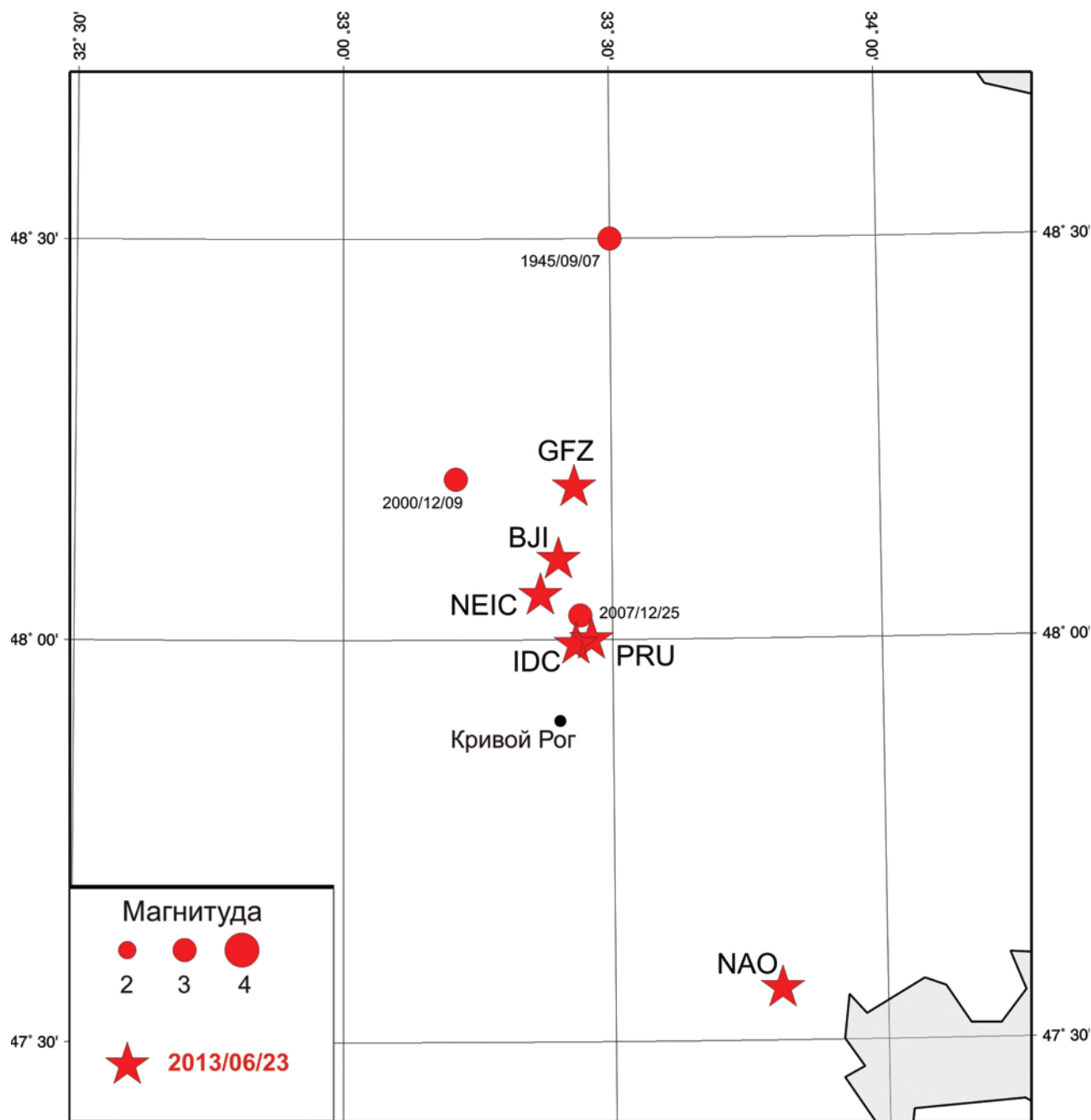


Рис. 2. Положение эпицентров Криворожского землетрясения 23.06.2013 г. по данным различных центров

Таблица 1

Основные параметры Криворожского землетрясения 23 июня 2013 г. по данным Крыма и других сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда
			φ°, N	l_{max}^* , км	λ°, E	l_{min}^* , км	h , км	δh , км	
Крым, WSG	21 16 34.0		47.95	12	33.47		0		$K_s=11.6\pm 0.3/6$, $M_b=3.7/6$, $MSH=4.3/6$, $M_d=4.0/7$
Крым, GIPO-08	21 16 34.8	0.30	47.86	8	33.48	1	0	9	$K_s=11.6\pm 0.3/6$, $M_b=3.7/6$, $MSH=4.3/6$, $M_d=4.0/7$
Крым, стандарт. метод	21 16 32.5	0.30	47.95	16	33.39	16	0	0.5	$K_s=11.6\pm 0.3/6$, $M_b=3.7/6$, $MSH=4.3/6$, $M_d=4.0/7$
ГС РАН, уточнение	21 16 33.36	0.3	48.092	3.1	33.34	4.7	10		$MS=3.4/3$

Параметры механизма очага Криворожского землетрясения 23 июня 2013 г.

Агент-ство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуда m_b	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
					T		N		P		NP1			NP2		
					PL°	AZM°	PL°	AZM°	PL°	AZM°	STK°	DP°	SLIP°	STK°	DP°	SLIP°
ГС РАН	23.06	21 16 32.8	10	4.6	44	278	39	135	20	28	327	75	131	74	43	22

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

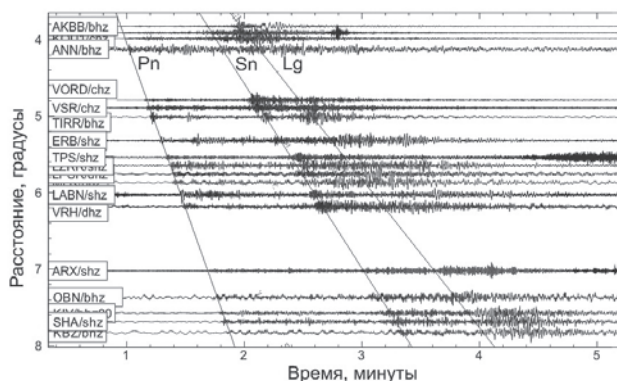


Рис. 3. Волновые формы по записям на сейсмических станциях, удаленных на расстояния от 4 до 8 градусов, расположенные в виде годографа. Отчетливо выделяются основные сейсмические фазы на таких расстояниях: Pn, Sn, Lg

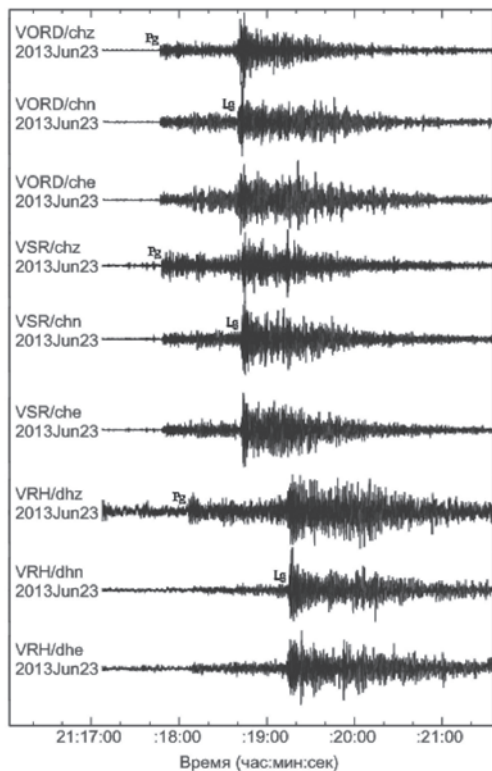


Рис. 4. Трехкомпонентные записи опорными станциями ГС РАН на Воронежском кристаллическом массиве, удаленные на расстояния 4.8–6.3°

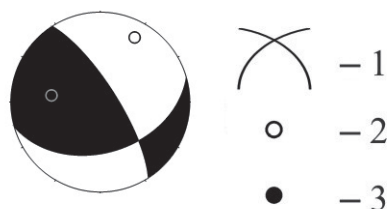


Рис. 5. Стереодиаграмма механизма очага Криворожского землетрясения 23 июня 2013 г. с $m_b=4.6$ в проекции нижней полусферы

В соответствии с сеймотектоническими условиями района землетрясения 25.12.2007 г. [6] можно высказать предположение, что нодальная плоскость NP1 механизма очага землетрясения 23.06.2013 г., также как и одна из нодальных плоскостей землетрясения 25.12.2007 г., имеет направление близкое к диагональной ориентации.

Выводы

Землетрясения 23 июня 2013 г. одно из наиболее значительных по магнитуде в Криворожье на Украинском щите юга Восточно-Европейской платформы в последнее время. Оно еще раз свидетельствует о сейсмической активизации в этом районе. Не исключается техногенная причина этой активизации. В работе [13] указывается, что при бурении сверхглубокой скважины СГ-8 в этом районе в верхней части земной коры выявлены зоны повышенного напряженного состояния и разгрузки, зафиксированные разрывными тектоническими нарушениями. Возможно существует взаимосвязь роста напряжений в зонах тектонических нарушений и деформаций геологической среды Кривбасса в связи с разработкой рудных месторождений с применением мощных взрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Землетрясения России в 2011 году : ежегодник. – Обнинск : ГС РАН, 2013. – 208 с.
2. Кутас В. В. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. / В. В. Кутас [и др.] // Геофиз. журн. – 2009. – 31, № 1. – С. 42–52.

3. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Шукина. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – Кн. 1: Землетрясения. – 381 с.

4. *Пигулевский П. И.* К вопросу геолого-геофизического изучения сейсмической активности юго-востока Украинского щита / П. И. Пигулевский, Н. А. Козарь, О. К. Тяпкин // *Науковий вісник НГУ.* – 2000. – № 6. – С. 70–75.

5. *Габсатарова И. П.* Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. по инструментальным данным / И. П. Габсатарова [и др.] // *Вестник ВГУ. Геология.* – 2011. – № 2. – С. 172–181.

6. *Пустовитенко Б. Г.* Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. / Б. Г. Пустовитенко // *Геофизический журнал.* – 2010. – 32, № 2. – С. 75–97.

7. Сводный бюллетень записи землетрясений ближней зоны. Третья декада июня 2013 г. Институт геофизики им. С. И. Субботина. Отдел сейсмологии (Симферополь). – 14 с.

8. *Андрющенко Ю. А.* Слабые землетрясения и промышленные взрывы, зарегистрированные на Восточно-Европейской платформе в пределах территории Украины в 2005–2010 гг. / Ю. А. Андрющенко [и др.] // *Геофизический журнал.* – 2012. – 34, № 3. – С. 49–60.

9. *Пивоваров С. П.* Цифровые записи землетрясений и взрывов на территории Воронежского кристаллического массива / С. П. Пивоваров, Л. И. Надежка //

Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : материалы V Международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2010. – С. 155–157.

10. *Старостенко В. И.* Глубинное строение Украинского щита / В. И. Старостенко, И. К. Пашкевич, Р. И. Кутас // *Геофизический журнал.* – 2002. – 24, № 6. – С. 36–48.

11. *Золототрубова Э. И.* 3-D плотностная модель Воронежского кристаллического массива / Э. И. Золототрубова [и др.] // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы : материалы XVI Международной конференции. – Воронеж, 2010. – С. 294–296.

12. *Соллогуб В. Б.* Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб. – Киев : Наук. думка, 1986. – 183 с.

13. *Кутас В. В.* Глубинное строение земной коры в районе Криворожской структуры по геолого-геофизическим данным и влияние техногенного фактора на проявление локальной сейсмичности / В. В. Кутас, Ю. А. Андрющенко, В. Д. Омельченко // *Геофизический журнал.* – 2013. – 35, № 3. – С. 156–165.

14. *Пигулевский П. И.* Шовные зоны восточной части Украинского щита и их сейсмическая активность / П. И. Пигулевский [и др.] // *Геологическая среда, минерагенические и сеймотектонические процессы : материалы XVIII Международной конференции.* – Воронеж, 2012. – С. 265–269.

15. *Азаров Н. Я.* Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / Н. Я. Азаров [и др.] ; под ред. Н. Я. Азарова. – К. : Наук. думка, 2006. – 196 с.

Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия

*И. П. Габсатарова, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией
Тел. 8 (48439) 309-64
ira@gsras.ru*

Geophysical Service of the Russian Academy

*I. P. Gabsatarova, the Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory
Tel. 8 (48439) 309-64
ira@gsras.ru*

Институт геофизики НАН Украины, Киев

*А. В. Кендзера, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе
Тел. +380-444-23-81-43
kendzera@igph.kiev.ua*

Institute of Geophysics National Academy of Sciences of Ukraine

*A. V. Kendzera, the Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Depute Director
Tel. +380-444-23-81-43
kendzera@igph.kiev.ua*

Воронежский государственный университет

*Л. И. Надежка, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией
Тел. 8 (473) 255-78-28
nadezhka@geophys.vsu.ru*

Voronezh State University

*L. I. Nadezhka, the Candidate of Geological-Mineralogical Sciences, head of the laboratory
Tel. 8 (473) 255-78-28
nadezhka@geophys.vsu.ru*

*И. П. Габсатарова, А. В. Кендзера, Л. И. Надежка, П. И. Пигулевский, Е. А. Бабкова, М. В. Коломиец,
С. П. Пивоваров*

*Институт геофизики НАН Украины, Киев
П. И. Пигулевский, доктор геологических наук,
старший научный сотрудник
Тел. +380-444-23-81-43
kendzera@igph.kiev.ua*

*Institute of Geophysics National Academy of Sciences
of Ukraine
P. I. Pigulevskiy, the Doctor of Geological Sciences,
senior researcher
Tel. +380-444-23-81-43
kendzera@igph.kiev.ua*

*Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия
Е. А. Бабкова, инженер-исследователь
Тел. 8 (48439) 763-71
ira@gsras.ru*

*Geophysical Service of the Russian Academy
E. A. Babkova, engineer researcher
Tel. 8 (48439) 763-71
ira@gsras.ru*

*Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия
М. В. Коломиец, заведующая отделом
Тел. 8 (48439) 30853
marikol@gsras.ru*

*Geophysical Service of the Russian Academy
M. V. Kolomiets, head of the Department
Tel. 8 (48439) 308-53
marikol@gsras.ru*

*Геофизическая служба РАН, Обнинск, Россия
С. П. Пивоваров, младший научный сотрудник
Тел. 8 (473) 255-78-44
serg@geophys.vsu.ru*

*Geophysical Service of the Russian Academy
S. P. Pivovarov, Research Worker
Tel. 8 (473) 255-78-44
serg@geophys.vsu.ru*