

## Промышленные взрывы и сейсмичность Украинского щита

© В. В. Кутас<sup>1</sup>, Ю. А. Андрущенко<sup>2</sup>, И. А. Калитова<sup>1</sup>, 2014

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

<sup>2</sup>Главный центр специального контроля ГКА Украины, Макаров-1, Украина  
Поступила 25 августа 2014 г.

Представлено членом редколлегии В. Д. Омельченко

Наведено результати аналізу записів і спектрограм сейсмічних подій, зареєстрованих на Українському щиті в 2009—2013 рр. — промислових вибухів у кар'єрах та шахтах і локальних землетрусів. Зіставлені значення сейсмічної енергії при землетрусах і вибухах, розглянуто розміщення епіцентрів локальних землетрусів з урахуванням тектоніки щита.

**Ключові слова:** магнітуда, сейсмічна енергія, землетрус, вибухи, щит, мегаблоки, зони розломів.

**Введение.** На Восточно-Европейской платформе (ВЕП) на протяжении последних столетий происходили слабые землетрясения. Локальная сейсмичность отмечена в 2006—2013 гг. в районах Украинского щита (УЩ). Девять землетрясений с магнитудой  $mb=2,0\div 2,7$  зарегистрированы в юго-западной части щита, одно с  $mb=2,9$  — в северо-западной и три с  $mb\geq 3,5$  — в центральной. Эпицентры наиболее сильных землетрясений находятся в районе рудных месторождений, при разработке которых производятся мощные взрывы. Анализ природы сейсмических событий, зарегистрированных на УЩ, приведен в работах [Андрущенко и др., 2010, 2013; Кутас и др., 2013]. Существует вероятность влияния взрывов на изменение напряженного состояния земной коры на участках, нарушенных разломами, вследствие чего могут возникать слабые локальные землетрясения.

Сейсмические события различного энергетического уровня и разной природы зарегистрированы цифровой аппаратурой Украинской сейсмической группы (УСГ) станций Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины (ГЦСК ГКАУ) и сетью сейсмических станций Института геофизики НАН Украины. Станции УСГ расположены в западной части УЩ (рис. 1). Согласно записям каждый год на ВЕП (в границах Украины) производятся десятки тысяч промышленных взрывов, значение магнитуды  $mb$  которых превышает 0,5.

В настоящей статье рассмотрены районы и масштабы проведения взрывных работ на щите. Приведены данные о глубине подрывов

среды в шахтах и мощности зарядов. Рассчитан уровень сейсмической энергии, выделившейся при промышленных взрывах и локальных землетрясениях в 2009—2013 гг. Оценена вероятность влияния мощных взрывов, произведенных в шахтах Кривого Рога на глубине более 1000 м, на устойчивость среды в верхней части земной коры в этом районе и возникновение землетрясений.

**Особенности тектоники, геолого-геофизических и геоморфологических полей в разных районах УЩ.** Земная кора УЩ нарушена межмегаблоковыми и внутримегаблоковыми раз-



Рис. 1. Схема расположения на УЩ [Гинтов, 2012]: 1 — районов проведения промышленных взрывов, 2 — эпицентров землетрясений, 3 — пунктов сейсмических наблюдений УСГ ГЦСК, 4 — основных зон разломов, разделяющих мегаблоки УЩ, 5 — контур склонов щита, 6 — контур обнаженной части щита. Мегаблоки: I — Волынский, II — Подольский, III — Росинский, IV — Бугский, V — Ингульский, VI — Среднеприднепровский, VII — Приазовский, VIII — Полесский вулcano-плутонический пояс.

ломами; на схеме щита выделено 8 мегаблоков и отмечено 47 зон основных разломов. Ингульский мегаблок, в пределах которого произошли наиболее сильные землетрясения, расположен в центральной части щита и обрамлен Тальновским и Криворожско-Кременчугским разломами. Этот мегаблок включает в себя западную Голованевскую (ГШЗ) и восточную Ингулецко-Криворожскую (ИКШЗ) шовные зоны [Гинтов, 2004, 2012].

В западной части Среднеприднепровского блока на границе с ИКШЗ зафиксированы значительные по величине знакопеременные современные движения земной коры, по-видимому, отражающие тектонические процессы, происходящие в настоящее время [Палієнко та ін., 2004]. Значения плотности теплового потока в ИКШЗ изменяются в широких пределах, максимальные значения равны 50—62 мВт/м<sup>2</sup>, минимальные — 44 мВт/м<sup>2</sup> [Гордиенко и др., 2005].

Согласно результатам обобщения геолого-геофизических, геоморфологических данных и комплексного изучения разреза Криворожской сверхглубокой скважины СГ-8, в которой выделено более 20 тектонических зон обрушения, установлено следующее. Очаги локальных землетрясений возникли на восточной окраине ИКШЗ на границе со Среднеприднепровским блоком в Криворожско-Кременчугской зоне разломов в районе тектонического узла, расположенного в пересечении разноориентированных разрывов земной коры [Кутас и др., 2009, 2013].

**Уровень сейсмического потенциала на УЩ.** Возникновение землетрясений на юго-западном и северо-западном краях УЩ и в

его центральной части не противоречит данным, установленным при изучении проявления сейсмичности в районах других древних платформ. Сейсмическая активность отмечена на резко выступающих углах платформ, в краевых прогибах и на участках, граничащих с ними, а также в шовных зонах и на окраинах щитов [Хаин, 2001].

В работе [Грачев и др., 1996] представлены схемы максимальных значений сейсмического потенциала территории ВЕП. Для одного из вариантов расчета максимального значения магнитуды землетрясений ( $M_{\max}$ ) использованы данные о деформациях изгиба земной коры с учетом разных параметров сейсмичности — постоянных на всей платформе, региональных и выбранных в экспертных точках. Для другого варианта взяты значения интенсивности изгиба современных тектонических деформаций, теплового потока, глубины залегания докембрийского фундамента и границы Мохо и другие параметры.

В соответствии с приведенным на этих схемах предполагаемые значения  $M_{\max}$  на ВЕП не превышают 5,0—5,5. В районах УЩ, где в последние годы отмечены землетрясения на Коростенском плутоне, на юго-западной окраине щита и в центральной части, максимальные значения сейсмического потенциала 4,5—5,0.

**Промышленные взрывы. Центральная часть УЩ.** Согласно сведениям из Государственного комитета Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору, на предприятиях Кривого Рога ежемесячно производится около 300 взрывов в карьерах (масса заряда до 5 т) и 500 взрывов в шахтах. Мощные взрывы в шахтах на глубине от 400

**Т а б л и ц а 1.** Сопоставление данных о взрывах, произведенных в шахтах Кривого Рога при использовании разной массы заряда

Дата	$t_0$ (ч.мин:с)	Рассчитанные координаты взрывов по данным станций УСГ		$mb$	$K$	Шахта	Масса заряда, т	Глубина, м	Координаты шахт	
		$\varphi$ °N	$\lambda$ °E						$\varphi$ °N	$\lambda$ °E
13.06.2010	03:58:17	48,02	33,35	4,3	11,3	им. Орджоникидзе	65	447—527	48,0825	33,5014
18.09.2010	04:00:35	47,84	33,30	3,3	9,8	им. Орджоникидзе	125	447—527	48,0825	33,5014
26.06.2011	04:04:30	48,02	33,35	2,5	8,5	им. Орджоникидзе	50	447—527	48,0825	33,5014
14.01.2011	05:03:12	48,10	33,40	3,5	10,0	им. Ленина	36	1200—1300	48,0824	33,5083
17.06.2012	04:03:16	47,70	33,57	3,0	9,3	им. Ленина	27	1270—1300	48,0824	33,5083
22.10.2011	04:06:45	48,89	33,24	3,1	9,5	Гвардейская	60	1200—1270	48,0596	33,4859
31.03.2012	04:00:42	48,20	33,50	3,0	9,3	Гвардейская	46	1200—1270	48,0596	33,4859

**Т а б л и ц а 2.** Данные станций УСГ о промышленных взрывах с  $mb \geq 3,0$  в пределах Ингульского мегаблока УЩ в 2009—2013 гг.

Дата	Время (ч:мин:с)	Координаты эпицентра		$mb$
		$\varphi$ °N	$\lambda$ °E	
29.01.2009	11:01:01	48,62	32,00	3,0
19.11.2009	10:01:46	48,25	32,12	3,3
18.02.2010	10:01:17	48,44	32,31	3,0
13.06.2010	03:58:17	48,20	33,00	4,3
06.07.2010	09:00:23	48,81	31,56	3,5
18.09.2010	04:00:52	48,19	33,25	3,3
20.09.2010	10:45:54	48,81	31,44	3,0
24.12.2010	09:00:10	48,12	32,38	3,0
14.01.2011	05:03:12	48,10	33,40	3,5
31.08.2011	07:54:21	47,77	33,87	3,0
22.10.2011	04:06:45	48,39	33,24	3,1
17.11.2011	10:01:07	48,18	33,45	3,8
17.11.2011	11:00:27	48,06	33,51	3,9
08.12.2011	10:00:03	48,03	33,23	3,6
15.03.2012	10:01:17	48,66	32,95	3,0
31.03.2012	04:00:42	48,20	33,50	3,0
13.04.2012	10:00:55	48,30	33,50	3,0
17.06.2012	04:03:16	48,10	33,60	3,0
17.11.2012	05:15:37	48,07	33,36	3,5
22.12.2012	05:15:20	48,20	33,40	3,0
04.01.2013	09:00:08	47,70	33,26	3,1
15.02.2013	09:01:03	47,77	33,20	3,0
28.05.2013	09:11:02	48,54	31,63	3,0
02.08.2013	08:00:11	47,80	33,31	3,0

до 1300 м (масса заряда до 125 т) производится один раз приблизительно в три месяца.

Результаты обработки записей взрывов с магнитудой не менее 1,5, зарегистрированных станциями УСГ, эпицентры которых находятся на УЩ, приведены в табл. 1—4. Сейсмический эффект, представленный в значениях магнитуды  $mb$ , энергетического класса  $K$ , энергии  $E$ , Дж, рассмотрен в зависимости от используемых зарядов и проведения взрывов в разных интервалах глубины шахты.

При сравнении взрывов, произведенных на глубине 1200—1300 м в шахтах им. Ленина и «Гвардейская», отмечена прямая зависимость сейсмического эффекта от массы заряда. Аналогичный вывод сделан при сопоставлении данных о взрывах 18 октября 2010 г. и 26 июня 2011 г. в шахте им. Орджоникидзе, при которых заряды массой 125 и 50 т располагались в интервале глубины 447—527 м. Однако при сопоставлении взрывов с массой заряда 125 и 651 т в этой шахте на той же глубине отмечен противоположный эффект. При взрыве 13 июня 2010 г. с использованием заряда вдвое меньшей массы сейсмическая энергия почти на два порядка выше (табл. 1). В черте Кривого Рога произошло обрушение грунта на территории 16 га глубиной 10—80 м [Свидлова, Бондарь, 2011].

Вследствие взрыва, произведенного 14 января 2011 г. в шахте им. Ленина с использованием массы заряда в 36 т, вдвое меньшей, чем при взрыве 13 июня 2010 г., но заложенной на большей глубине (1200—1300 м), в Кривом Роге произошло землетрясение. По макросейсми-

**Т а б л и ц а 3.** Уровень сейсмической энергии от взрывов на УЩ в 2009—2013 гг., Дж

Мегаблоки УЩ	2009	2010	2011	2012	2013
Волынский	$3,0 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{10}$	$7,8 \cdot 10^{10}$	$4,3 \cdot 10^{10}$
Подольский	$2,1 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$3,4 \cdot 10^{10}$	$4,9 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^{10}$
Росинский	$1,5 \cdot 10^{10}$	$8,0 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{10}$	$8,5 \cdot 10^9$
Бугский	$4,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^9$	$4,1 \cdot 10^9$	$6,3 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^9$
Ингульский и край Среднеприднепровского	$3,1 \cdot 10^{10}$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$7,6 \cdot 10^{10}$	$5,4 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^{10}$

**Т а б л и ц а 4.** Количество взрывов на УЩ с  $mb \geq 1,5$  в 2009—2013 гг.

$mb$	2009	2010	2011	2012	2013
1,5—1,9	214	328	415	429	401
2,0—2,4	131	109	204	240	225
2,4—2,9	23	19	56	48	31
$\geq 3,0$	12	12	15	14	11

ческим данным интенсивность сотрясений в эпицентре составила 5 баллов по шкале MSK-64 [Скляр, Князева, 2012]. Следовательно, сейсмический эффект зависит не только от массы заряда, а обусловлен рядом факторов.

В пределах Ингульского мегаблока при взрывах в карьерах и шахтах максимальное значение сейсмической энергии зафиксиро-

вано в 2010, 2011 гг. С 2009 по 2013 г. значение  $E$  изменялось в пределах  $3,0 \cdot 10^{10}$ — $1,2 \cdot 10^{11}$  Дж. Суммарное значение энергии при взрывах в этот период времени  $3,1 \cdot 10^{11}$  Дж. Общее количество взрывов с  $mb=3,0 \div 3,9$  равно 24; площадь, на которой они произведены, в основном ограничена значениями  $\varphi=47,8 \div 48,8^\circ \text{N}$ ,  $\lambda=31,5 \div 33,5^\circ \text{E}$ .

**Западная часть УЩ.** Основное количество взрывов в западной части щита произведено в карьерах, расположенных на Волинском мегаблоке и в северной части Подольского мегаблока (в Ровенской и Житомирской областях). За исследуемый период времени зарегистрировано 33 взрыва с  $mb \geq 3,0$  и более 1000 взрывов с  $mb=1,5 \div 2,9$ . Сейсмическая энергия при взрывах в 2009—2013 гг. в районах этих мегаблоков и произведенных на Ингульском мегаблоке аналогична. Однако количество энергии, выделившейся на единице площади территории, где находятся карьеры в северо-западной части щита, значительно меньше. Размер этой площади в 5 раз превышает ту, на которой проводятся горные работы в карьерах и шахтах на Ингульском мегаблоке.

В центральной и южной частях Подольского мегаблока (Хмельницкая и частично Житомирская области) объем взрывных работ менее значительный. Зарегистрировано 6 взрывов с  $mb \geq 3,0$  и около 200 взрывов с  $mb=1,5 \div 2,9$ . На Росинском мегаблоке (Киевская и Черкасская области) магнитуда трех наиболее мощных взрывов не превышает 3,0. На Бугском мегаблоке (Винницкая область) произведен только один взрыв такой магнитуды. Суммарное значение сейсмической энергии при взрывах в районах этих трех мегаблоков УЩ равно  $1,4 \cdot 10^{11}$  Дж.

**Уровень сейсмической энергии при локальных землетрясениях на УЩ. Центральная часть УЩ.** Эпицентры наиболее сильных землетрясений на щите расположены в районе Кривого Рога в Криворожско-Кременчугской зоне разломов. Согласно расчетам, проведенным по записям станций УСГ, наблюдается возрастание магнитуды землетрясений от 3,3 (25 декабря 2007 г.) до 4,5 (23 июня 2013 г.). По данным разных сейсмических служб значения магнитуды этих землетрясений различаются: 3,0—4,0 (25 декабря 2007 г.); 3,5—4,0 (14 января 2011 г.); 4,5—4,9 (23 июня 2013 г.).

Магнитуда землетрясения 23 июня 2013 г. соответствует максимальному уровню сейсмического потенциала, установленному для центральной части щита [Грачев и др., 1996]. Сейсмическая энергия на полтора-два порядка

выше, чем при двух предыдущих землетрясениях ( $E=10^{12}$  Дж). По-видимому, увеличение магнитуды обусловлено ростом напряжений в некоторых участках среды в верхней части земной коры, связанным с проведением мощных взрывов.

Эпицентральная область землетрясений 2007—2013 гг. находится в границах координат:  $\varphi=48,00 \div 48,20^\circ \text{N}$ ;  $\lambda=33,45 \div 33,60^\circ \text{E}$ . В этом районе расположены и шахты, в которых произведены взрывы: 17.11.2011, 30.03.2012, 17.06.2012, 17.11.2012 и 22.12.2012. Незначительные различия, отмеченные в координатах эпицентров взрывов 22.10.2011 и 8.12.2011 (табл. 2), по-видимому, связаны с погрешностями, возникающими при расчетах по данным небольшого числа станций. (Станции УСГ находятся в северной части щита на расстоянии около 400 км в узком створе азимутов относительно расположения шахт и очагов землетрясений.)

Можно предположить, что землетрясения связаны с изменением напряжений в верхнем слое земной коры. При проведении взрывов в шахтах на глубине более 1000 м происходят обвалы, перемещение большой массы породы и образование пустот в структуре нарушенной части массива. На некоторых участках среды в зоне глубинного разлома напряжения, по-видимому, достигают критического уровня.

Сравнение формы записи объемных и поверхностных волн сейсмических событий 25 декабря 2007 г., 14 января 2011 г. и 23 июня 2013 г., зарегистрированных аппаратурой УСГ, размещенной в коренных породах щита в штольне на глубине 37 м, и анализ особенностей спектрограмм позволяют отнести их к землетрясениям. В районе эпицентра произошли сотрясения земной поверхности с интенсивностью 5 баллов.

При сопоставлении формы записи волн и спектрограмм наиболее мощных взрывов в шахтах и этих землетрясений выявлены существенные различия [Андрущенко и др., 2013]. Хотя возникают сомнения в их тектонической природе, так как два первых землетрясения произошли в 6 и 7 часов по местному времени — в основной период проведения взрывов в шахтах Кривого Рога. Однако имеются данные о глубине очага землетрясения 25 декабря 2007 г.:  $h_0=10$  км,  $16 \pm 4$  км [Пустовитенко и др., 2009, 2010; Кендзера и др., 2012].

Существуют различия и в оценке глубины очага землетрясения 14 января 2011 г. Глубина заложения заряда при взрыве, произведенном в это время в шахте им. Ленина, не превышала

1300 м. По данным УСГ очаг землетрясения находился на глубине 10 км; согласно результатам расчетов, для которых использованы записи других станций, — на 5 км [Бондарь, 2012]. В то же время, учитывая дальность регистрации волны  $P$  (более 7000 км), можно предположить, что очаг землетрясения расположен глубже. По данным GSRAS (службы геофизических наблюдений РАН) глубина очага — 24 км, по данным CSEM (Сейсмологического центра средиземноморских наблюдений Франции) — 30 км.

Больше уверенности в тектонической природе сейсмического события 23 июня 2013 г. Процесс в очаге возник в 24 ч 15 мин по местному времени; в такое время суток взрывы в Кривом Роге не производятся. Момент вступления отраженной волны  $pP$  на записях станциями УСГ соответствует расположению очага на глубине 10 км. (По данным Геофизической службы РАН глубина очага землетрясения — 15 км, согласно приведенному в других источниках — 10÷14 км.)

**Западная часть УЩ.** На юго-западном крае УЩ на границе с Днестровским прогибом в 2006—2012 гг. зарегистрировано девять землетрясений с  $mb=2,1\div2,7$ ; глубина очагов 3—6 км. Обобщение данных о землетрясениях в этом районе, связанных, возможно, с работой Новоднестровской ГЭС, приведено в работе [Андрущенко и др., 2013].

В северной части УЩ 12 марта 2006 г. произошло землетрясение на западной окраине Коростенского плутона. В оценках его параметров, рассчитанных по записям разных групп сейсмических станций, отмечены незначительные различия. По данным обработки записей станций УСГ:  $\varphi_{эп}=51^\circ N$ ,  $\lambda_{эп}=28,25^\circ E$ ;  $mb=3,4$ ;  $h_0=2$  км. Сейсмические станции этой группы находятся на близком расстоянии от эпицентра на  $\Delta=29\div81$  км. При использовании записей станций Карпатской ОМСП, расположенных на расстоянии 236—497 км,  $\varphi_{эп}=51,06^\circ N$ ,  $\lambda_{эп}=28,16^\circ E$ ;  $MD=2,9$ ;  $h_0=10$  км [Сейсмологический..., 2008].

При интерпретации записей станций УСГ установлены критерии для распознавания природы сейсмических событий, зарегистрированных на эпицентральных расстояниях до 1000 км [Андрущенко, Гордієнко, 2009], которые были использованы для оценки происхождения события 12 марта 2006 г. Незначительная величина соотношения амплитуды объемных волн  $S/P$  и наличие мощной волны Рэлея характерны для взрывов. Однако особенности спектрограмм (расположение максимума плот-

ности спектра в интервале записи  $S$ -волны в полосе частот 3—9 Гц) — признак землетрясения. В сводках о проведении работ в местных карьерах отсутствуют сведения о взрывах в этот день, а также данные о карстовых процессах в районе эпицентра. Длительность записи более трех минут свидетельствует в пользу тектонической природы события. Дополнительное подтверждение — в районе сейсмической станции, расположенной на расстоянии 29 км от эпицентра в пункте Зеленица, был слышен подземный гул.

**О точности определения координат эпицентров сейсмических событий на УЩ.** Отмечены расхождения рассчитанных значений координат эпицентров взрывов относительно координат расположения шахт. В соответствии с результатами расчетов по записям станций УСГ, расположенных в интервале эпицентральных расстояний  $\Delta=360\div430$  км в полосе  $Az=280\div315^\circ$ , различие в случае шести из семи взрывов находится в таких пределах: по  $\varphi$  от  $0,02$  до  $0,33^\circ$ , по  $\lambda$  от  $0,06$  до  $0,20^\circ$ ; при взрыве 22.10.2011 г. расхождения значительнее — соответственно  $0,84^\circ$ , и  $0,25^\circ$  (см. табл. 1).

Координаты шахты, в которой осуществлен взрыв 14 января 2011 г., и эпицентра землетрясения, вызванного им, по записям станций УСГ по широте различаются на  $0,02^\circ$ , по долготе — на  $0,11^\circ$ . Однако существуют и другие данные о координатах эпицентра этого землетрясения. По записям 7 сейсмических станций Крымской сети ( $\Delta=325\div376$  км,  $Az=137\div174^\circ$ ) и 12 других станций ( $\Delta=129\div575$  км,  $Az=46\div320^\circ$ )  $\varphi_{эп}=47,80^\circ N$ ;  $\lambda_{эп}=31,18^\circ E$  [Бондарь, 2012]. Координаты эпицентра землетрясения значительно отличаются от координат шахты, в которой был произведен взрыв (по  $\varphi$  на  $0,72^\circ$ , по  $\lambda$  на  $0,33^\circ$ ).

Наибольшее совпадение координат шахты, в которой произведен взрыв, и эпицентра землетрясения 14 января 2011 г. отмечено при его сравнении с макросейсмическими данными [Скляр, Князева, 2012]. Различия по широте соответствуют  $0,01^\circ$ , по долготе —  $0,06^\circ$ .

**Закключение.** Пространственное расположение элементов сейсмических сетей ГЦСК ГКАУ и Карпатской ОМСП Института геофизики НАН Украины является эффективным при проведении сейсмологического мониторинга правобережной части территории Украины. Сигналы от источников, расположенных на левобережье, станциями этих сетей регистрируются недостаточно четко. Русло р. Днепр, как и большинства других крупных

рек, проходит в районе тектонического разлома; при распространении сейсмических волн через разломную зону возникает интенсивное затухание энергии. В связи с этим чрезвычайно актуальным является расширение базы сейсмологических наблюдений. В настоящее время ГЦСК планирует установить цифровую сейсмологическую станцию Guralp в Полтавской области.

Интерес к значениям сейсмической энергии, возбуждаемой промышленными взрывами в районе интенсивной разработки рудных месторождений, вызван землетрясениями в районе Кривого Рога. Значения магнитуды  $m_b$  землетрясений 25 декабря 2007 г., 14 января 2011 г. и 23 июня 2013 г. по данным сети станций УСГ, расположенных на УЩ, равны 3,3; 3,5; 4,5 соответственно. По данным международных сейсмологических центров (GSRAS и CSEM) значение магнитуды этих землетрясений несколько выше: 3,9; 3,9; 4,6 и 4,0; 4,0; 4,7.

Возникновение землетрясений и увеличение их магнитуды рассматривается как следствие изменения напряженного состояния верхней части земной коры в одном из районов Криворожско-Кременчугской зоны разломов, связанное с проведением в шахтах Криворожского железорудного бассейна мощных взрывов (эквивалент до 125 т массы ВВ) на глубине 1200—1300 м.

Отмечено, что сейсмическая энергия при взрывах, осуществленных в каждой из шахт одинаковыми зарядами, расположенными в

одном и том же интервале глубины, в ряде случаев различна. Это связано с особенностями распределения заряда по площади разрабатываемого участка породы, со спецификой растяжки взрывного процесса во времени и направленностью излучения энергии.

Суммарное значение энергии при землетрясениях 14 января 2011 г. и 23 июня 2013 г. незначительно превышает энергию, выделившуюся при 16 взрывах с магнитудой 3,0—3,9, произведенных в шахтах в этот период времени. Энергия землетрясений равна  $1,1 \cdot 10^{11,5}$  Дж, взрывов —  $1,5 \cdot 10^{11}$  Дж.

Более слабые землетрясения зарегистрированы на юго-западном крае щита ( $E \approx 10^9$  Дж). В этом районе мощные взрывы не производятся, и появление локальной сейсмичности в одной из зон разломов, возможно, связано с особенностями работы Новоднестровской ГЭС, вблизи которой находятся эпицентры землетрясений.

На северном крае щита, где в 2006 г. произошло землетрясение с магнитудой 3,4, в 2009—2013 гг., не зафиксированы проявления локальной сейсмичности тектонического происхождения. В пределах Волинского мегаблока и северной части Подольского суммарное значение энергии ( $2,9 \cdot 10^{11}$  Дж) при 33 наиболее мощных взрывах в карьерах соизмеримо с энергией взрывов в шахтах Кривого Рога. Однако площадь, на которой проведены эти работы, в 5 раз превышает район железорудных месторождений Кривого Рога.

### Список литературы

- Андрущенко Ю. А., Гордиенко Ю. А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних і регіональних подій в умовах платформної частини України. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 3. С. 121—129.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Гордиенко Ю. А., Калитова И. А. Природа сейсмических событий, зарегистрированных на западе Украинского щита в 2005—2007 гг. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 2. С. 64—74.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кендзера А. В., Омельченко В. Д., Калитова И. А. Локальные землетрясения на Украинском щите. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 6. С. 114—127.
- Бондарь М. Н. Сейсмическое событие 14 января 2011 г. в районе Кривого Рога (Днепропетровская область). В кн.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год*. Севастополь. НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. С. 136—140.
- Гинтов О. Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 3. С. 3—24.
- Гинтов О. Б. Докембрий Украинского щита и тектоника плит. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 6. С. 3—21.
- Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Тарасов В. Н., Усенко О. В. Украинский щит (геофизика, глубинные процессы). Киев: Изд. Ин-та геофизики НАНУ, 2005. 210 с.
- Грачев А. Ф., Магницкий В. А., Мухамедиев Ш. А., Юнга С. Л. К определению максимально возможных магнитуд землетрясений на Восточно-Европейской платформе. *Физика Земли.* 1996. № 7. С. 3—20.
- Кендзера А. В., Старовойт О. Е., Омельченко В. Д., Надежка Л. И., Вольфман Ю. М., Габсатарова И. П.,

- Пивоваров С. П., Лисовой Ю. В. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. Инструментальные данные. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 2. С. 60—71.
- Кутас В. В., Андрущенко Ю. А., Омельченко В. Д. Глубинное строение земной коры в районе Криворожской структуры по геолого-геофизическим данным и влияние техногенного фактора на проявление локальной сейсмичности. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 3. С. 156—165.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 1. С. 42—52.
- Палієнко В. П., Спиця Р. О., Кендзера О. В., Омельченко В. Д., Бондар А. Л., Засць І. М. Сучасні рухи земної кори на території України: проблеми тектонічної інтерпретації та картографування. *Геоінформатика*. 2004. № 1. С. 66—73.
- Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пустовитенко А. А., Скляр А. М. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 2. С. 75—97.
- Пустовитенко Б. Г., Пустовитенко А. А., Капитанова С. А. Процессы в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. В кн.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. С. 17—22.
- Свидлова В. А., Бондарь М. Н. Каталог и подробные данные о сейсмических событиях центральной и северо-восточной части Украины за 2010 г. В кн.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. С. 109—114.
- Скляр А. М., Князева В. С. Макросейсмические данные Криворожского землетрясения 14 января 2011 г. В кн.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2012. С. 59—61.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2008. 295 с.
- Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). Москва: Научный мир, 2001. 606 с.

## Industrial explosions and seismic activity of the Ukrainian Shield

© V. V. Kutas, Yu. A. Andrushchenko, I. A. Kalitova, 2014

Results of analysis of records and spectrograms of seismic events, registered in the Ukrainian Shield during 2009—2013 — industrial explosions in the open pits and mines and local earthquakes have been described. The values of seismic energy during earthquakes and explosions have been compared, locations of epicenters of local earthquakes have been considered taking into account tectonics of the USH.

**Key words:** magnitude, seismic energy, earthquakes, explosions, records, shield, megablocks, fault zones.

### References

- Andrushchenko Yu. A., Gordienko Yu. A., 2009. Analysis of the effectiveness of the identification criteria explosions and earthquakes to local and regional events under the platform part of Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal* 31(3), 121—129 (in Ukrainian).
- Andrushchenko Yu. A., Kutas V. V., Kendzera A. V., Omelchenko V. D., Gordienko Yu. A., Kalitova I. A., 2010. Nature seismic events recorded in the west of the Ukrainian shield in 2005—2007. *Geofizicheskiy zhurnal* 32(2), 64—74 (in Russian).
- Andrushchenko Yu. A., Kutas V. V., Kendzera A. V., Omelchenko V. D., Kalitova I. A., 2013. Local earthquake in the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(6), 114—127 (in Russian).
- Bondar M. N., 2012. Seismic event January 14, 2011 in the area of Krivoy Rog (Dnepropetrovsk region). In: *Seismological Bulletin of Ukraine for 2011*. Sevastopol: SPC «EKOSI-Gidrofizika», P. 136—140 (in Russian).
- Gintov O. B., 2004. Fault zones of the Ukrainian Shield. Effects of faulting on the structure of the crust. *Geofizicheskiy zhurnal* 26(3), 3—24 (in Russian).
- Gintov O. B., 2012. Ukrainian Precambrian shield and plate tectonics. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(6), 3—21 (in Russian).
- Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnyaya O. V., Kovachikova S., Logvinov I. M., Tarasov V. N., Usen-

- ko O. V., 2005. Ukrainian Shield (geophysics, deep processes). Kiev: IG NASU Publ., 210 p. (in Russian).
- Grachev A. F., Magnitskiy V. A., Mukhamediev Sh. A., Junga S. L., 1996. Determination of the maximum possible magnitude earthquake on the East European platform. *Fizika Zemli* (7), 3—20 (in Russian).
- Kendzera A. V., Starovoyt O. E., Omelchenko V. D., Nadezhka L. I., Volfman Yu. M., Gabsatarova I. P., Pivovarov S. P., Lisovoy Yu. V., 2012. Krivoy Rog earthquake December 25, 2007. Instrumental data. *Geofizicheskiy zhurnal* 34(2), 60—71 (in Russian).
- Kutas V. V., Andrushchenko Yu. A., Omelchenko V. D., 2013. Deep crustal structure in the region of Krivoy Rog structure for geological and geophysical data and the impact of anthropogenic factors on the expression of local seismicity. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(3), 156—165 (in Russian).
- Kutas V. V., Omelchenko V. D., Drogitskaya G. M., Kalitova I. A., 2009. Krivoy Rog earthquake December 25, 2007. *Geofizicheskiy zhurnal* 31(1), 42—52 (in Russian).
- Palienko V. P., Spitsya P. O., Kendzera A. V., Omelchenko V. D., Bondar A. L., Zaets I. M., 2004. Modern crustal movements on the territory of Ukraine: problems of tectonic interpretation and mapping. *Geoinformatika* (1), 66—73 (in Ukrainian).
- Pustovitenko B. G., Kulchytskiy V. E., Pustovitenko A. A., Sklar A. M., 2010. Macroseismic and instrumental data about the processes in the source zone of the Krivoy Rog earthquake December 25, 2007. *Geofizicheskiy zhurnal* 32(2), 75—97 (in Russian).
- Pustovitenko B. G., Pustovitenko A. A., Kapitanova S. A., 2009. Processes in the source zone of the Krivoy Rog earthquake December 25, 2007. In: *Seismological Bulletin of Ukraine for 2011*. Sevastopol: SPC «EKO-SI-Gidrofizika», P. 17—22 (in Russian).
- Svidlova V. A., Bondar M. N., 2011. Catalog and details of seismic events in central and north-eastern part of Ukraine for 2010. In: *Seismological Bulletin of Ukraine for 2011*. Sevastopol: SPC «EKOSI-Gidrofizika», P. 109—114 (in Russian).
- Sklar A. M., Knyazeva V. S., 2012. Macroseismic data Krivoy Rog earthquake January 14, 2011. In: *Seismological Bulletin of Ukraine for 2011*. Sevastopol: SPC «EKOSI-Gidrofizika», P. 59—61 (in Russian).
- Seismological bulletin of Ukraine for 2006, 2008*. Sevastopol: SPC «EKOSI-Gidrofizika», 295 p. (in Russian).
- Khain V. E., 2001. Tectonics continents and oceans (the year 2000). Moscow: Nauchniy Mir, 606 p. (in Russian).