

## Глубинное строение земной коры в районе Криворожской структуры по геолого-геофизическим данным и влияние техногенного фактора на проявление локальной сейсмичности

© В. В. Кутас<sup>1</sup>, Ю. А. Андрущенко<sup>2</sup>, В. Д. Омельченко<sup>1</sup>, 2013

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

<sup>2</sup>Главный центр специального контроля НКА Украины, Макаров-1, Украина

Поступила 15 октября 2012 г.

*Представлено членом редколлегии А. В. Кензгрой*

Проаналізовано особливості будови земної кори в районі Криворізько-Кременчуцької шовної зони, яка розміщується на межі двох мегаблоків Українського щита. Використано дані, отримані в результаті буріння Криворізької надглибокої свердловини СГ-8 і проведення геофізичних робіт сейсмічними методами. Наведено результати зіставлення записів і спектрограм локальних землетрусів та промислових вибухів у шахтах та кар'єрах. Розглянуто походження локальної сейсмічності з магнітудою  $mb \geq 3,0$ , що проявилася в зонах тектонічних порушень земної кори в районі Криворізької структури в 2007—2011 рр., у зв'язку з техногенними навантаженнями, зумовленими розробкою корисних копалини із застосуванням потужних промислових вибухів.

Peculiarities of the Earth's crust structure in the area of the Krivoi Rog and Kremenchug suture zone located on the border of two megablocks of the Ukrainian Shield have been analyzed. The data obtained as a result of the SG-8 Krivoi Rog super-deep well drilling and geophysical works performance by seismic methods have been used. The results of comparison of the records and spectrograms of local earthquakes and industrial explosions in mines and quarries have been given. The origin of local seismicity with magnitude  $mb \geq 3,0$  manifested in the zones of tectonic faults of the Earth's crust in the Krivoi Rog structure area during 2007—2011 in connection with technogenic loadings caused by mineral wealth mining with the application of powerful industrial explosions, has been considered.

Начало геологических исследований в Криворожском железорудном бассейне относится к 1880 г. Почти все исследователи рассматривали этот район как сложную синклиналиную складку или систему синклиналиных складок. Представления о тектонике, стратификации и вещественном составе пород в районе Кривбасса (близкие к современным) появились в первой половине XX в. Создание тектонической схемы строения этого района относится к 1939—1946 гг.

Широкое проведение работ по поискам железных и других руд геофизическими метода-

ми (магнито- и гравиразведка) начато в 40-х годах, изучение строения земной коры Украинского щита (УЩ) — в 60-х годах XX в. Важную роль в определении основных временных этапов формирования Криворожской структуры, различия в возрасте пород Криворожско-Кременчутской зоны и смежных с ней мегаблоков сыграли изотопно-геохимические данные.

Первая модель глубинного строения Кривбасса по результатам экспериментально-методических работ сейсмическим методом отраженных волн была построена Г. И. Дмитриевым и В. П. Власюком в 1971 г. [Мечников и др., 2011].

Особенности глубинного строения земной коры и верхней мантии по результатам изучения этого района различными сейсмическими методами приведены в работе [Литосфера ..., 1988]. Современная модель строения Кривбасса, созданная на основании результатов многолетних исследований, проведенных геофизическими методами, уточненных геологическими данными, подтверждена при бурении сверхглубокой скважины СГ-8 и скважин-спутников [Криворожская ..., 2011].

Местная сейсмичность в западной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) в пределах территории Украины регистрируется цифровой аппаратурой с 2005 г. Сведения о пунктах сейсмических наблюдений Главного центра специального контроля Национального космического агентства Украины (ГЦСК НКАУ) и Опытно-методической сейсмической партии (ОМСП) Института геофизики НАН Украины приведены в работах [Андрущенко и др., 2011, 2012].

Цель настоящей работы — анализ строения земной коры в центральной части УЩ по результатам геолого-геофизических исследований и природы сейсмических событий, зарегистрированных в последние годы в районе г. Кривой Рог.

**Строение земной коры исследуемого района. Геолого-геофизические данные.** Криворожская структура находится в одной из шовных зон, разделяющих мегаблоки УЩ, главная особенность которой — подвиго-надвиговая структура, отмеченная на поверхностном и глубинном уровнях. В начальный период исследований Криворожско-Кременчугская шовная зона разломов (ККШЗ) считалась границей Ингулецкого (Кировоградского) и Среднеприднепровского мегаблоков земной коры. В дальнейшем было установлено, что ККШЗ — один из элементов обширной структуры — Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугской шовной зоны [Азаров и др., 2006], части которой отличаются друг от друга структурой, вещественным составом, палеотектонической позицией и глубинным строением.

Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугская шовная зона состоит из трех структурно-формационных зон:

- Криворожско-Кременчугской, ограниченной Криворожско-Кременчугским глубинным разломом, часть которого, расположенная в пределах Кривбасса, названа Тарапаковским разломом [Державна ..., 2002];

- Ингулецко-Криворожской, находящейся между Криворожско-Кременчугским и Ингулецким разломами;
- Западно-Ингулецкой (Кировоградской), примыкающей с востока к Ингульскому мегаблоку.

Криворожско-Кременчугская шовная зона изучена наиболее полно, в ней находится крупнейший в Европе докембрийский железорудный бассейн. Граница зоны, пересекающей УЩ в меридиональном направлении, проходит по Тарапаковскому разлому, отделяющему Саксаганскую синклинали от Криворожской [Державна ..., 2002]. Длина зоны разломов — 275 км, ширина — 7 км; кинематический тип при заложении зоны — правый взбросо-сдвиг [Гинтов, 2004].

В пределах сложно построенной Ингулецко-Криворожской структурно-формационной зоны выделяется Основная Криворожская синклинали, взброшенная по Тарапаковскому разлому с амплитудой не менее 3 км.

Результаты изучения глубинного строения УЩ по комплексу геолого-геофизических данных и закономерностей расположения месторождений рудных полезных ископаемых приведены в работах [Старостенко и др., 2002, 2007].

**Результаты геофизических работ, проведенных сейсмическими методами.** Вдоль профиля Путивль — Кривой Рог, отработанного методом глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ), прослежены глубинные и другие крупные разломы, выделенные по резким смещениям сейсмических горизонтов, изгибам линий изоскоростей, точкам дифракции и изменениям расслоенности коры. Многие из разломов пересекают всю кору и хорошо коррелируются с тектоническими нарушениями, отмеченными на поверхности по геологическим данным. Результаты исследований подтверждают обоснованность разделения земной коры на три комплекса со значениями скоростей волн: 5,7—6,4 км/с — условно "гранитный"; 6,4—6,8 км/с — условно "диоритовый"; 6,8—7,6 км/с — условно "базальтовый". Установлено, что горизонт, разделяющий первый и второй комплексы, погружается за Криворожско-Кременчугским разломом; максимальная глубина его расположения (16 км) зафиксирована вблизи Западно-Ингулецкого разлома. Раздел М залегает несогласно с этим горизонтом и под Криворожской структурой прогнут до глубины 55 км. К западу и востоку от структуры подошва коры подымается и под Ингульским мегаблоком находится на глубине 35—38 км. Утолщение коры

под Криворожской структурой разделено на два локальных погружения глубиной 55 км, между которыми подошва коры поднимается до 35—40 км [Чекунов и др., 1992].

На основании результатов сейсмических исследований, проведенных вдоль международного геотраверса VIII, часть которого проходит по территории Украины от г. Рени до г. Днепропетровск, создана геодинамическая модель развития и строения Ингульского мегаблока и краевых сопредельных блоков. Выделена крупная наклонная трансформационная зона, предположительно связанная с дроблением и срывом пластин консолидированной коры относительно друг друга [Чекунов и др., 1989].

В районе Криворожской скважины СГ-8, расположенной вблизи Криворожско-Кременчугского разлома, были проведены работы по изучению строения литосферы сейсмическим методом общей глубинной точки (ОГТ). Сделано заключение — преломляющие элементы на сейсмических разрезах отображают зоны разрывно-тектонических нарушений. Получена информация о геометрии отражающих границ в коре и верхней мантии. Установлено, что волновое поле в земной коре формируется как горизонтальными, так и наклонными отражающими элементами. Отмечено несовпадение данных о строении литосферы, полученных при использовании материалов ОГТ и ГСЗ вдоль геотраверса VIII. Высказано предположение о связи выявленных различий с классом моделей, выбранных по ГСЗ для аппроксимации среды в районе г. Кривой Рог. Поскольку обратная задача определения скоростного разреза по методу ГСЗ не имеет однозначного решения, получена полоса значений скорости, в пределах которой любой разрез с одинаковой точностью соответствует данным наблюдений. Ширина полосы определяет степень неоднозначности решений; модель, выбранная по данным ГСЗ, недостаточно приближена к действительной [Бородулин, Байсарович, 1992].

**Тектонические зоны, вскрытые при бурении Криворожской сверхглубокой скважины СГ-8.** Результаты комплексного изучения разреза Криворожской сверхглубокой скважины СГ-8 внесли вклад в создание геолого-геофизической модели Ингулецко-Криворожской шовной зоны [Криворожская ..., 2011]. При бурении возникали многочисленные аварии. В интервалах 3612—3630, 3816—3850 м в плагиогранитоидах вскрыты мощные тектонические зоны, представляющие собой системы разно ориентированных трещин. Катастрофическое об-

рушение пород вдоль трещин связано с тем, что в интервале глубин 3500—3900 м давление начинает превышать степень прочности горного массива [Курлов, Станько, 2011].

Результаты исследования большого объема горной массы, обрушившейся при аварии — состава и формы кусков шлама размером 10—14 см, свидетельствуют о напряженном состоянии массива пород. В основном стволе скважины выявлено 26 тектонических зон шириной от 5 до 15 см. Большинство зон обрушения отмечено в гранитоидах на глубине 3600—3850 м, где открытые трещины составляют до 40 % от общего количества (в других зонах до 5—20 %). Такой тип трещин предположительно связывают с неотектоническими перемещениями блоков [Курлов, Гурский, 2011].

Для прогноза расположения тектонических зон в этом интервале глубин использованы результаты изучения разреза среды методами вертикального сейсмического профилирования и газового каротажа. Разработаны технологические меры по предупреждению аварий. Однако и глубже (до 5380 м) выявлены зоны интенсивного катаклизма, дробления и напряженного состояния, связанные с Тарапаковским движением; отмечено интенсивное кавернообразование (до 8—12 см), сопровождаемое обрушением ствола скважины, в связи с этим (и другими причинами) бурение СГ-8 было приостановлено на глубине 5430 м.

К аварийным ситуациям при бурении скважины СГ-8 приводили геологические факторы — крутое падение пород (58—80°) и наличие современных тектонических напряжений, формирующих участки и зоны разгруженного и напряженного состояния. Разгруженные зоны — мощные разрывные тектонические нарушения; основной разлом в этом районе — Криворожско-Кременчугский. На основании результатов интерпретации фактических данных сделано следующее заключение — в районе бурения скважины СГ-8 (и в целом по Кривбассу) в верхней части земной коры существуют вертикальные и горизонтальные напряжения, создающие объединенный эффект. Напряженные участки имеют различные размеры и специфическое распределение напряжений — симметричного или асимметричного вида. Чаще отмечено асимметричное распределение напряжений — постепенное нарастание напряжения в одном из интервалов и резкое снижение в конце участка [Мечников, 2011].

На напряженное состояние геологической среды Кривбасса кроме тектонического факто-

ра влияют интенсивные техногенные нагрузки, связанные с сетями промышленных предприятий и железных дорог, а также с разработкой полезных ископаемых (подземной и наземной), при которой используется электротранспорт и проводятся мощные взрывные работы. Нагрузки деформируют естественную среду и влияют на природные поля — электрическое, магнитное и поле напряжений.

**Местные сейсмические события в Западно-Ингулецко-Криворожско-Кременчугской шовной зоне.** В последние годы в центральной части УЩ зарегистрированы сейсмические события с магнитудой  $mb \geq 3,0$ . Одно из наиболее значительных произошло 25 декабря 2007 г. в районе Криворожско-Кременчугского разлома. Землетрясение зарегистрировали 68 сейсмостанций, расположенных на расстоянии до 7400 км.

Результаты изучения особенностей волновой картины на записях станций, которые находятся на значительном расстоянии от эпицентра, привели к различным заключениям о тектоническом процессе в районе очага землетрясения — взброс крыла разлома под действием сжимающих сил [Пустовитенко и др., 2009], взбросо-сдвиг [Пустовитенко и др., 2010], сброс и растяжение [Кендзера и др., 2012]. Отсутствует также единая точка зрения относительно движения геологической среды — по широте указаны противоположные направления. Отмечено, что разрывообразование развивалось с юго-востока на северо-запад вдоль Ледекинского разлома; землетрясение рассматривается как результат действия близгоризонтальных сил сжатия, ориентированных близширотно [Пустовитенко и др., 2010]. По другим данным тип подвижки в очаге — чистый сброс с небольшими сдвиговыми компонентами, который рассматривается как реакция на почти горизонтальное растяжение геологической среды, ориентированное в восточном направлении. Нодальные плоскости имеют субмеридиональное простирание, по более крутой из них наблюдается сброс с правосторонней сдвиговой компонентой, по более пологой — сброс с левосторонним сдвигом [Кендзера и др., 2012].

Различия в значениях координат эпицентра землетрясения 25 декабря 2007 г. и глубины очага, приведенные в этих работах, незначительные, в магнитуде более существенные:  $\varphi = 47,99^\circ \text{N}$ ;  $\lambda = 33,54^\circ \text{E}$ ;  $h = 10 \text{ км}$ ;  $mb = 3,0$  [Пустовитенко и др., 2010] и  $\varphi = 48,03 \pm 0,18^\circ \text{N}$ ;  $\lambda = 33,44 \pm 0,17^\circ \text{E}$ ;  $h = 16 \pm 4 \text{ км}$ ;  $mb = 3,9$  [Кендзера и др., 2012]. Со-

гласно результатам расчета по записям землетрясения сейсмическими станциями ГЦСК  $\varphi = 48,00^\circ \text{N}$ ;  $\lambda = 33,60^\circ \text{E}$ ;  $h = 10 \text{ км}$ ;  $mb = 3,3$ . В районе эпицентра землетрясения отмечены сотрясения земной поверхности с интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64; по макросейсмическим данным  $\varphi = 48,03^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 33,44^\circ \text{E}$ , гипоцентр находится на 5 км [Скляр и др., 2009]. Расположение эпицентра землетрясения по инструментальным и макросейсмическим данным, приведенное на участке карты [Тектонічна ..., 2007], показано на рис. 1.

В связи с возникновением в центральной части УЩ землетрясения с магнитудой  $mb > 3,0$  проведен анализ сейсмических событий, представленных в разных каталогах (IDC, ISC NEIC, MOS и др.), с целью выявления землетрясений, отмеченных в этом районе в прежние годы. По данным IDC вблизи Криворожско-Кременчуг-

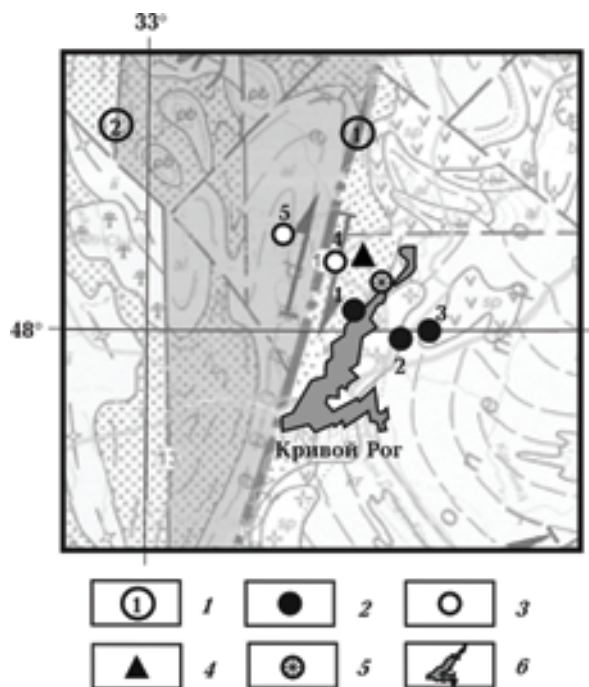


Рис. 1. Расположение в районе г. Кривой Рог эпицентров землетрясений, сверхглубокой скважины и шахт, показанное на участке карты [Тектонічна ..., 2007]: 1 — разломные нарушения (1 — Криворожско-Кременчугское I-го порядка, разделяющее мегаблоку УЩ; 2 — Западно-Ингулецкое II-го порядка); 2 — эпицентр землетрясения 25 декабря 2007 г. по данным (1 — [Скляр и др., 2009], [Кендзера и др., 2012], 2 — [Пустовитенко и др., 2010], 3 — каталог ГЦСК); 3 — эпицентр землетрясения 14 января 2011 г. по данным каталогов (4 — ГЦСК, 5 — EMSC); 4 — скважина СГ-8; 5 — шахты; 6 — контур г. Кривой Рог.

ского разлома наиболее значительные события зарегистрированы 9 декабря 2000 г. ( $mb = 3,9$ ), 21 мая 2001 г. ( $mb = 3,8$ ) и 12 февраля 2002 г. ( $mb = 3,7$ ). Расположение эпицентров двух из них определено по записям 5 и 7 сейсмических станций. Время в очаге ( $t_0$ ) установлено с недостаточной точностью (более  $\pm 2$  с). Координаты эпицентра сейсмического события 9 декабря 2000 г., рассчитанные по данным 13, 17 и 19 станций, различаются по широте на  $0,3^\circ$ , по долготе — на  $0,1^\circ$ . Погрешность в значении  $t_0$  не превышает  $\pm 0,6$  с. Это событие предположительно рассматривается как тектоническое землетрясение [Кутас и др., 2009].

Землетрясение 13 июня 2010 г. зарегистрировано рядом станций, наиболее далекая из которых находится на расстоянии 9308 км от эпицентра, является следствием выполнения взрывных работ на шахте им. Орджоникидзе г. Кривой Рог. Взрывные работы проводились на глубине 447 м; эквивалент взрывчатки 64 т. На земной поверхности отмечено обрушение грунта на территории около 16 га, глубина которого от 10 до 80 м [Свидлова, Бондарь, 2011].

В настоящее время станциями сети ГЦСК ежедневно регистрируются сейсмические события с  $mb \geq 2,5$ , эпицентры которых находятся в центральной части УЩ, где расположены горнодобывающие предприятия. Форма записи, амплитудная выразительность сигналов и спектрограммы этих событий существенно различаются. Одна из основных задач — установление связи возникновения наиболее сильных из них с проведением мощных взрывов и с особенностями тектоники района. (При сравнении формы записи и спектрограмм землетрясений, произошедших в западной части УЩ, и взрывов в карьерах, произведенных в этом районе, выявлены отличительные признаки, зависящие от природы источников событий [Андрущенко и др., 2011, 2012].)

Для уточнения происхождения сейсмических событий с  $mb \geq 3,0$ , зарегистрированных станциями ГЦСК в 2007—2012 гг. в районе Криворожской структуры, сделан запрос в Государственный комитет Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору. Согласно представленным сведениям на горных предприятиях г. Кривой Рог ежемесячно проводится примерно 300 взрывов в промышленных карьерах и 500 взрывов в шахтах. При взрывах в карьерах используется до 1000 т взрывчатого вещества (ВВ) — значительно больше, чем при взрывах в шахтах. В этом районе взрывы в шахтах производятся на глубине до 1300 м

небольшими зарядами (эквивалент ВВ до 5 т), а также приблизительно один раз в три месяца более мощными (эквивалент ВВ от 20 до 125 т).

В ответной информации нет сведений о проведении мощных взрывов 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г.; данные о координатах эпицентра последнего из них, представленные в каталогах служб EMSC, GSRC и ГЦСК, различаются несущественно:  $\varphi = 48,14^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 33,29^\circ \text{E}$ ,  $\varphi = 48,2^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 33,34^\circ \text{E}$  и  $\varphi = 48,1^\circ \text{N}$ ,  $\lambda = 33,4^\circ \text{E}$ . Приведенные значения соответственно равны: глубины очагов — 30, 5 и 10 км, магнитуды  $mb$  — 3,9, 3,0 и 3,5.

**Особенности записи и спектрального состава сейсмических событий с  $mb \geq 3,0$  в районе Криворожской структуры.** При изучении происхождения сейсмических событий, зарегистрированных в 2010—2012 гг., учтена информация о датах и времени проведения промышленных взрывов на горных предприятиях в районе г. Кривой Рог. Наиболее мощные из них ( $mb \geq 3,0$ ) произведены в шахтах на глубине от 475 до 1300 м. Для максимального снижения сейсмического эффекта на земной поверхности взрывы осуществлены с временными задержками, а места их проведения разнесены по площади выработок. В результате амплитуда  $P$ -волны суммарного сигнала имеет меньшую величину;  $P$ -кода становится более сложной, чем при единичном взрыве такой же мощности. Форма суммарного сигнала в ряде случаев оказывается похожей на запись землетрясения, однако в силу интерференционного характера спектр такого сигнала существенно отличается от спектра локального землетрясения. При взрывах в шахтах основная часть энергии приходится на поверхностные волны, амплитуда которых значительно выше амплитуды объемных волн; спектры находятся в полосе частот ( $f$ ) до 15 Гц. Максимум спектральной плотности наблюдается на записи  $Lg$ -волны в диапазоне  $f = 1 \div 5$  Гц,  $Lr$ -волны — в полосе до 1 Гц.

Установлены некоторые различия записей взрывов в карьерах и шахтах, связанные с особенностями условий в местах взрыва заряда и его мощностью. При взрывах в карьерах ОАО "Ингулецкий ГОК" (вес заряда 900—1000 т ВВ) спектр находится в полосе частот до 15 Гц, как и при взрывах в шахтах, а максимумы спектральной плотности прослеживаются не в интервале записи  $Lg$ -волны, а в пути  $Lr$ -волны на  $f = 1 \div 2$  Гц. Спектрограммы взрывов в этих карьерах практически не отличаются от спектрограмм взрывов в Первомайском карьере ОАО "Северный ГОК" (вес заряда 900 т ВВ). В то же время

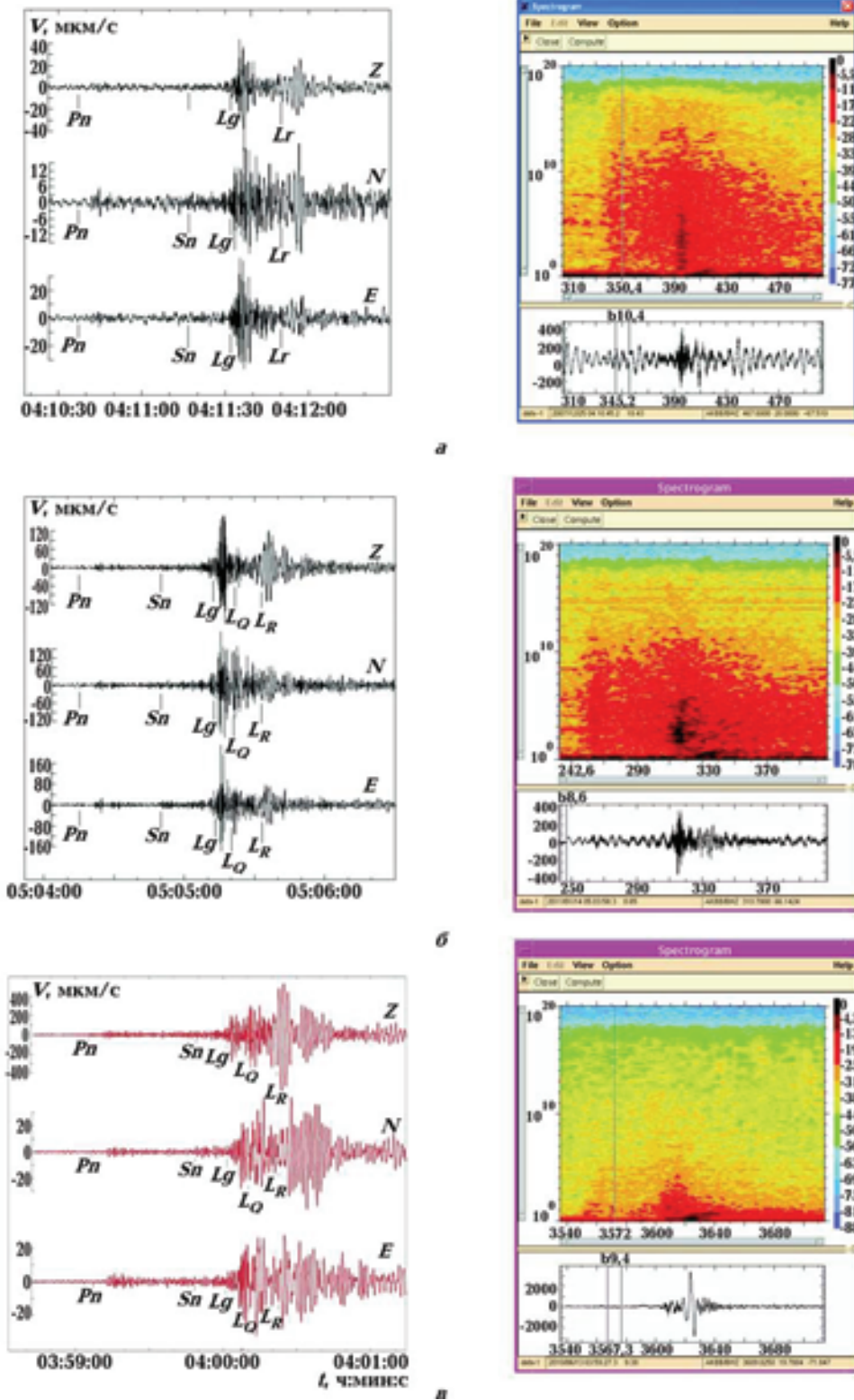


Рис. 2. Записи и спектрограммы (с/ст. "Малин", полоса частот 0,5—2,0 Гц) землетрясений: а — 25 декабря 2007 г., 04 ч 09 мин 31 с,  $m_b = 3,3$ ; б — 14 января 2011 г., 05 ч 03 мин 12 с,  $m_b = 3,5$ ; в — 13 июня 2010 г., 03 ч 58 мин 17 с,  $m_b = 4,3$ .

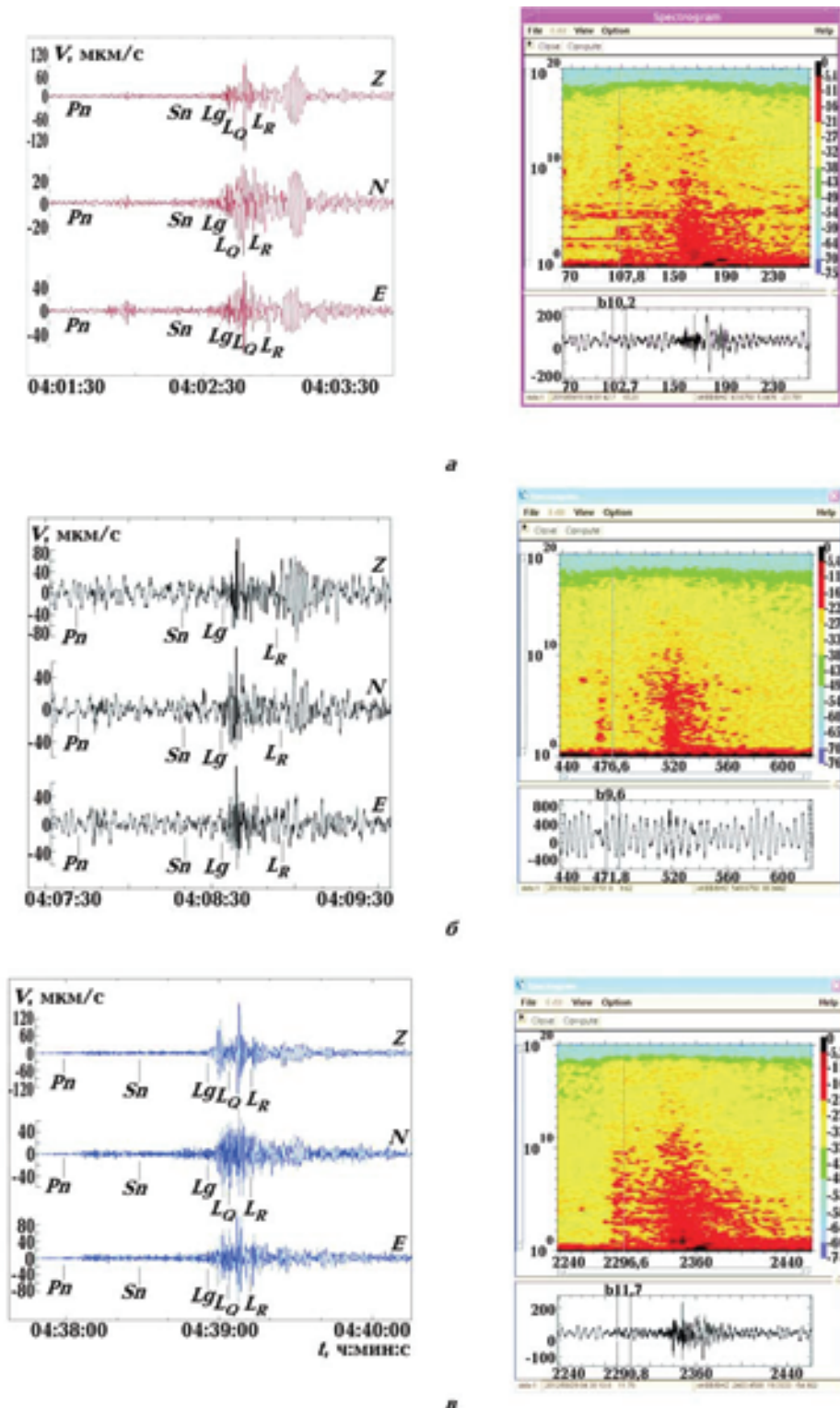


Рис. 3. Записи и спектрограммы (с/ст. "Малин", полоса частот 0,5—2,0 Гц) промышленных взрывов в шахтах: *а* — 18.09.2010 г., 04 ч 00 мин 35 с,  $mb = 3,3$  (глубина 447—527 м, эквивалент заряда 125 т ВВ); *б* — 22.10.2011 г., 04 ч 06 мин 45 с,  $mb = 3,1$  (глубина 1200—1300 м, эквивалент заряда 60 т ВВ); *в* — 29.09.2012 г., 04 ч 38 мин,  $mb = 3,4$  (глубина 1200—1300 м, эквивалент заряда 65 т ВВ).

обнаружены различия в волновой картине и спектрограммах при взрывах в других карьерах.

В случае проведения взрывов меньшей мощности вступление  $P$ -волны на фоне помех практически невозможно выделить, прослеживаются только вступления и цуги поверхностных волн. При взрывах в карьерах, расположенных на расстоянии более 400 км от пунктов сейсмических наблюдений ГЦСК, с уверенностью выделяются и идентифицируются сигналы лишь при использовании мощных зарядов — порядка 1000 т ВВ.

При некоторых наиболее мощных взрывах в шахтах происходит дробление и обрушение горных пород или проседание грунта на земной поверхности, как при взрыве в 03 ч 58 мин 13 июня 2010 г., сопровождавшемся землетрясением с магнитудой 4,3.

Природа землетрясений 25 декабря 2007 г. в 04 ч 09 мин и 14 января 2011 г. в 05 ч 03 мин остается неясной (тектоническая или техногенная?), так как нет сведений о проведении взрывов в эти даты. Однако, как и землетрясение 13 июня 2010 г., они отмечены в период времени суток, в котором произведены взрывы в шахтах г. Кривой Рог, магнитуда которых находится в полосе значений 3,0—3,4. Мощные взрывы зарегистрированы 18 сентября 2010 г. в 04 ч 00 мин, 26 июня и 22 октября 2011 г. в 04 ч 04 мин и 04 ч 06 мин; 31 марта, 17 июня и 29 сентября 2012 г. в 04 ч 00 мин, 04 ч 03 мин и 04 ч 38 мин. Эти взрывы проведены в шахтах им. Орджоникидзе, им. Ленина и Гвардейская на глубинах 447—527 м и 1200—1300 м (эквивалент заряда от 25 до 125 т ВВ). Площадь горных разработок ограничена координатами 48,06—48,08°N, 33,49—33,51°E; по результатам расчетов координаты эпицентров взрывов находятся в полосе значений: 47,70—48,09°N; 32,5—33,6°E. Отмеченные различия в действительных значениях  $\phi$ ,  $\lambda$  и рассчитанных в основном связаны с погрешностями, возникающими при использовании записей небольшого количества сейсмических станций. Украинская сейсмическая группа станций ГЦСК расположена в узком азимутальном створе ( $Az = 280 \div 315^\circ$ ) по отношению к эпицентрам взрывов.

Для исключения влияния на волновую картину и спектральный состав колебаний особенностей строения среды в местах их регистрации сопоставлены записи землетрясений и взрывов в одном из пунктов ГЦСК, в котором цифровая аппаратура установлена в коренных породах УЩ в шахте на глубине 37 м в районе г. Малин. Фильтрация записей проведена в полосе частот 0,5—2,0 Гц (рис. 2, 3). Форма запи-

си и спектрограммы сейсмических событий разной природы различны. При взрывах увеличение спектральной плотности наблюдается в полосе записи  $P$ - и  $Lg$ -волн. Спектрограммы землетрясений 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г. по сравнению со спектрограммами взрывов более насыщенные, без явных затуханий; четкие максимумы спектральной плотности зафиксированы в интервале записей  $Lg$ - и  $L_R$ -волн. Записи этих землетрясений в основном идентичны; небольшие различия в амплитуде  $L_R$ -волны на  $N$ -компоненте и отсутствие макросейсмического эффекта при землетрясении 14 января 2011 г., по-видимому, обусловлены большей глубиной его очага.

**Заключение.** Сейсмические проявления зарегистрированы на восточной границе шовной зоны, разделяющей Ингульский и Среднеприднепровский мегаблока УЩ. Глубинные разломы, прослеженные в этом районе по результатам геофизических работ, проведенных сейсмическими методами, коррелируются с тектоническими нарушениями, отмеченными на поверхности по геологическим данным. Установлено резкое изменение мощности земной коры под Криворожской структурой.

При бурении сверхглубокой скважины СГ-8 в верхней части земной коры выявлены зоны повышенного напряженного состояния и разгрузки, зафиксированные разрывными тектоническими нарушениями. Деформация геологической среды Кривбасса, связанная с разработкой рудных месторождений с применением мощных взрывов, приводит к росту напряжений в зонах тектонических нарушений.

Отмечены различия в волновой картине и спектрограммах сейсмических событий, произошедших в районе г. Кривой Рог. Среди серии взрывов, зарегистрированных станциями ГЦСК, выделены три землетрясения; записи и спектрограммы двух из них — 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г. идентичны. При землетрясении 13 июня 2010 г., возникшем вследствие взрыва, произведенного в шахте на глубине 447—527 м, произошло обрушение грунта на большой площади.

Интенсивность сотрясений земной поверхности в районе эпицентра землетрясения 25 декабря 2007 г. в северо-восточной части г. Кривой Рог составила 5 баллов; глубина очага по макросейсмическим данным 5 км, по инструментальным —  $16 \pm 4$  км. Эпицентр землетрясения относительно Криворожско-Кременчугской зоны разломов и района расположения шахт, в которых взрывы производятся на глубине до



1300 м, находится на расстоянии 7 км, от сверхглубокой скважины СГ-8 — на 10 км.

Землетрясения 25 декабря 2007 г. и 14 января 2011 г. отмечены в интервале времени суток (04—05 ч по Гринвичу), в котором в 2010—2012 гг. проводились взрывы в шахтах, в том числе рассмотренные в настоящей работе шесть наиболее мощных взрывов на глубине 1200—1300 м. Поскольку нет информации о проведении взрывов в эти даты, такое совпадение можно оценивать как случайное. Основание для возникновения в исследуемом районе событий тектонической природы — глубинные разрывные нарушения разного порядка; наличие тектонического узла в районе Криворожской структуры, установленное по результатам работ, проведенных сейсмическими методами; существование зон разгрузки напряжений и участков

напряженного состояния различных размеров, выявленных в верхах земной коры при бурении скважины СГ-8. Эти землетрясения могут быть связаны с нарушением геодинамического равновесия в зоне разломов земной коры — с увеличением напряжений на некоторых участках геологической среды при изменении техногенных нагрузок в результате длительного проведения взрывных работ с применением мощных зарядов.

Магнитуда  $m_b$  при землетрясениях, приведенная в разных каталогах, находится в пределах значений 3,3—3,9 (25 декабря 2007 г.), 3,4—4,3 (13 июня 2010 г.) и 3,5—3,9 (14 января 2011 г.). В связи с тем, что некоторые шахты находятся в районе северо-восточной окраины г. Кривой Рог, сейсмические события с  $m_b \geq 4,0$  создают опасность для жизни населения.

### Список литературы

- Азаров Н. Я., Анциферов А. В., Шеремет Е. М., Глевовацкий Е. Б., Есипчук К. Е., Кулик С. Н., Бурахович Т. К., Пугулевский П. И., Николаев Ю. И., Николаев И. Ю., Сетая С. Д., Захаров В. В., Курлов Н. К. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита. — Киев: Наук. думка, 2006. — 196 с.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кенгзера А. В., Омельченко В. Д. Результаты сейсмических наблюдений на Восточно-Европейской платформе в районах Волыно-Подоллии и Украинского щита в 2005—2011 гг. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. — Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2011. — С. 42—52.
- Андрущенко Ю. А., Кутас В. В., Кенгзера А. В., Омельченко В. Д. Слабые землетрясения и промышленные взрывы, зарегистрированные на Восточно-Европейской платформе в пределах территории Украины в 2005—2010 гг. // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 3. — С. 49—60.
- Бородулин В. А., Байсарович М. Н. Модель литосферы Украинского щита по материалам ОГТ // Геофиз. журн. — 1992. — 14, № 4. — С. 57—66.
- Гинтов О. Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 3. — С. 3—24.
- Державна геологічна карта України. — 1 : 200 000.
- Аркуш L-36-IV (Кривий Ріг) / Укладачі: В.В. Захаров, А.В. Мартинюк, Ю.М. Токар. — Київ: Геоінформ, 2002. — 101 с.
- Кенгзера А. В., Старовойт О. Е., Омельченко В. Д., Надежка Л. И., Вольфман Ю. М., Габсатарова И. П., Пивоваров С. П., Лесовой Ю. В. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. Инструментальные данные // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 2. — С. 60—71.
- Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8 / Под ред. Е. М. Шеремета. — Донецк: Ноулидж, 2011. — 555 с.
- Курлов Н. С., Гурский Д. С. Новые технологические результаты, полученные при проходке СГ-8 // Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. — Донецк: Ноулидж, 2011. — С. 164—166.
- Курлов Н. С., Станько П. Я. Технология бурения // Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. — Донецк: Ноулидж, 2011. — С. 61—72.
- Кутас В. В., Омельченко В. Д., Дрогицкая Г. М., Калитова И. А. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 1. — С. 42—52.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы IV, VI, VIII / Гл. ред. А. В. Чекунов. — Киев: Наук. думка, 1988. — 171 с.
- Мечников Ю. П. Тектонофизическая модель // Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. — Донецк: Ноулидж, 2011. — С. 334—335.

- Мечников Ю.П., Анциферов А.В., Пигулевский П.И. Сейсмическая модель // Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8. — Донецк: Ноулидж, 2011. — С. 311—332.
- 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. — 32, № 2. — С. 75—97.
- Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Капитанова С.А. Процессы в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // 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 в центральной и северо-восточной части Украины за 2010 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. — Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2011. — С. 109—114.
- Скляр А.М., Князева В.С., Останин А.М. Макросейсмический эффект Криворожского землетрясения 25 декабря 2007 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2007 год. — Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2009. — С. 14—16.
- Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Кутас Р.И. Глубинное строение Украинского щита // Геофиз. журн. — 2002. — 24, № 6. — С. 36—48.
- Старостенко В.И., Гинтов О.Б., Пашкевич И.К., Бурахович Т.К., Куприенко П.Я., Кутас Р.И., Макаренко И.Б., Орлюк М.И., Цветкова Т.А. Металлогения Украинского щита: закономерности размещения месторождений рудных полезных ископаемых, связь с глубинным строением и динамикой литосферы // Геофиз. журн. — 2007. — 29, № 6. — С. 3—31.
- Тектонічна карта України. — 1 : 1 000 000 / Гол. ред. С.С. Круглов, Д.С. Гурський. — Київ: УкрДГРІ, 2007.
- Чекунов А.В., Соллогуб В.Б., Галецкий Л.С., Курлов Н.С. Геодинамическая модель центральной части Украинского щита и Криворожская сверхглубокая скважина // Геофиз. журн. — 1989. — 11, № 4. — С. 3—12.
- Чекунов А.В., Кившик Н.К., Харитонов О.М., Омельченко В.Д., Толкунов А.П. Профиль ГСЗ Путивль — Кривой Рог через сверхглубокие скважины Украины // Геофиз. журн. — 1992. — 14, № 1. — С. 3—9.