

Землетрясения в Днепровско-Донецком авлакогене

© В. В. Кутас¹, Ю. А. Андрущенко², В. Д. Омельченко¹,
А. И. Лящук², И. А. Калитова¹, 2015

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²Главный центр специального контроля ГКА Украины,
пгт. Городок, Украина

Поступила 22 мая 2015 г.

Представлено членом редколлегии А. В. Кензерой

Наведено результати аналізу хвильової картини і спектрограм сейсмічних подій у Дніпровсько-Донецькому авлакогені, зареєстрованих групою станцій Головного центру спеціального контролю ДКАУ. Вогнища землетрусів з магнітудою $mb = 3,0; 4,5$ знаходяться на глибині 3—10 км на межі зон грабену — центральної і південної прибортової — поблизу м. Полтава і на північному крайовому розломі поблизу м. Лебедин Сумської обл. Розглянуто зв'язок локальної сейсмічності з особливостями будови земної кори в цих районах авлакогену, встановленими за геолого-геофізичними даними.

Ключові слова: локальна сейсмічність, промислові вибухи, епіцентри землетрусів.

Введение. Для установления природы сейсмических событий в 2010 и 2015 гг. в Днепровско-Донецком авлакогене (ДДА) использованы записи и спектрограммы станций Главного центра специального контроля (ГЦСК) Государственного космического агентства Украины (ГКАУ). Критерии идентификации событий [Андрущенко, Гордієнко, 2009] апробированы на записях промышленных взрывов и локальных землетрясений на территории Восточно-Европейской платформы в районах Волыно-Подолыи и Украинского щита (УЩ) [Андрущенко и др., 2010, 2012; Кутас и др., 2014].

Проанализирована связь проявления локальной сейсмичности в центральной части ДДА с особенностями глубинного строения земной коры.

До настоящего времени нет общепринятого тектонического термина для определения генетического типа Днепровско-Донецкой структуры. Понятия "бассейн", "впадина" характеризуют не консолидированную земную кору, а осадочный чехол. Ниже приведены данные о глубинном строении этой структуры по результатам исследований сейсмическими методами и используется термин "авлакоген" [Че-

кунов и др., 1992; Чирвинская, Соллогуб, 1980]. Строение ДДА в поперечном сечении: краевые зоны — южный и северный борта и расположенный между ними центральный Днепровский грабен. Бортовые зоны от грабена отделяются крупными региональными разломами [Чекунов, 1972]. Характеристика геологического строения Днепровско-Донецкой структуры и связи особенностей геофизической неоднородности консолидированной коры и разломов в ней с месторождениями углеводородов в осадочном чехле представлены в монографии [Тектоника ..., 2015].

Эпицентры сейсмических событий в ДДА. В центральной части ДДА 14 мая 2010 г. зарегистрировано сейсмическое событие. Согласно данным [Свидова, Бондарь, 2011], время возникновения процесса в очаге $t_0 = 23$ ч 16 мин, магнитуда $mb = 2,3$, координаты эпицентра $\varphi_{\text{ЭП}} = 49,51^\circ \text{N}$, $\lambda_{\text{ЭП}} = 35,37^\circ \text{E}$, глубина очага $h_0 = 3 \pm 3$ км. В связи с возникновением в ночное время и отсутствием сведений о проведении взрывов в этом районе сейсмическое событие отнесено к землетрясениям. Расчет координат эпицентра был произведен с использованием записей станций, расположенных в интервале рас-

стояний $\Delta_{\text{ЭП}} = 330 \div 566$ км в азимутальном створе $Az = 53 \div 289^\circ$.

По данным обработки записей сейсмических станций ГЦСК (Малин, Поддубы, Зеленица, Каменный Брод, "Любар") магнитуда сейсмического события 14 мая 2010 г. выше — $mb = 3,0$, значения координат $\varphi_{\text{ЭП}} = 49,55^\circ\text{N}$, $\lambda_{\text{ЭП}} = 34,52^\circ\text{E}$. Эпицентр находится на расстоянии 15 км от г. Полтава.

По результатам расчета с использованием данных станций ГЦСК, крымских (SUDU, ALU, SEV) и российской VSR (Сторожевое) эпицентр находится юго-восточнее: $\varphi_{\text{ЭП}} = 49,40^\circ\text{N}$, $\lambda_{\text{ЭП}} = 34,92^\circ\text{E}$, его расположение приведено на фрагментах тектонических карт [Международная ..., 1996; Тектонічна ..., 2007] (рис. 1, а, б).

Запись сейсмического события 14 мая 2010 г. аппаратурой ГЦСК, расположенной в шахте на глубине 38 м в коренных породах УЩ в районе г. Малин (обозначение АКВВ в Международной системе сейсмического мониторинга), и спектрограмма приведены на рис. 2, а. Для однозначной оценки природы этого события форма записи и спектрограмма недостаточно информативны. Согласно данным, полученным при проведении анализа природы сейсмических событий в центральной части УЩ в районе Кривого Рога, четко выраженные различия в волновой картине и спектрограммах, связанные с их происхождением, обычно проявляются в случае регистрации промышленных взрывов и землетрясений с $mb > 3,0$.

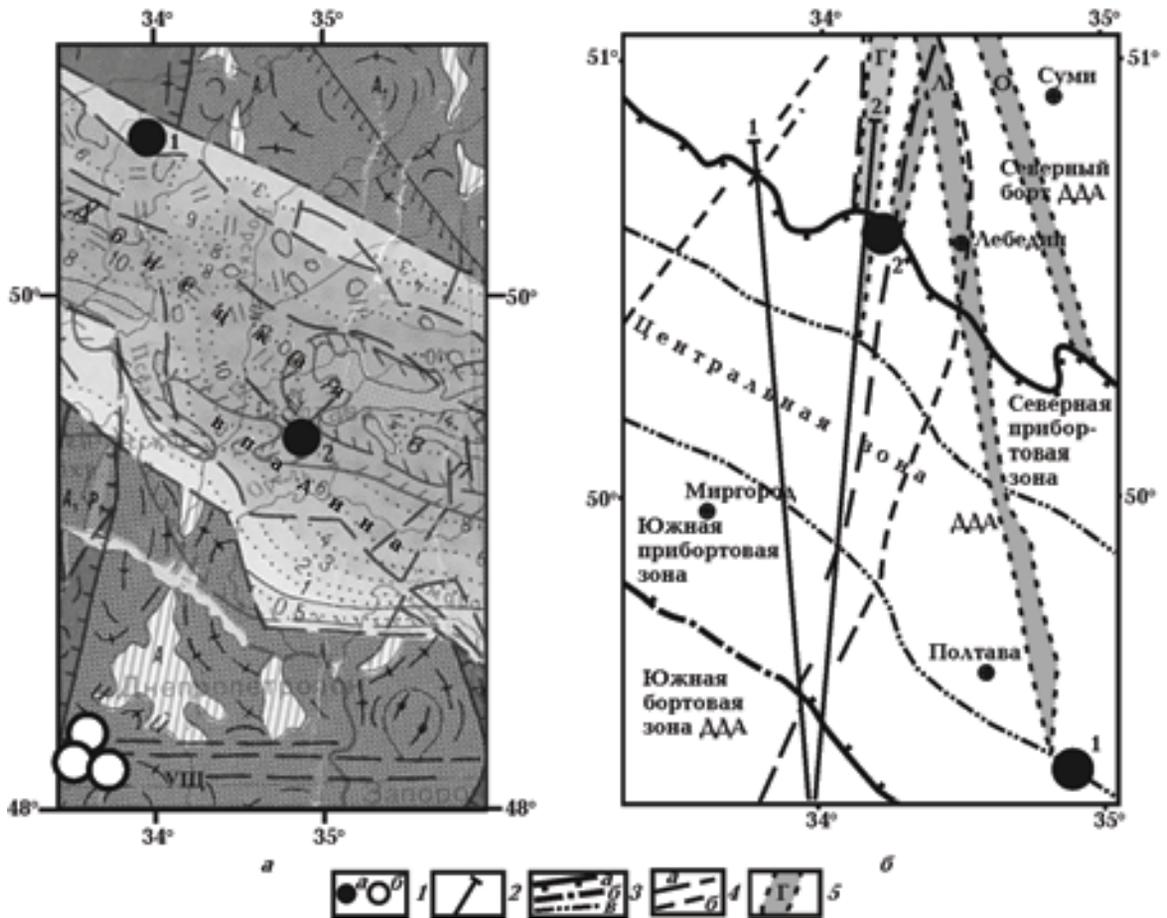


Рис. 1. Эпицентры землетрясений в ДДА и на УЩ, представленные на фрагментах тектонических карт [Международная ..., 1996] (а), [Тектонічна ..., 2007] (б): 1 — эпицентры землетрясений (а — ДДА (1 — 14.05.2010 г., 2 — 3.02.2015 г.), б — УЩ); 2 — профили ГЦЗ—КМПВ (1 — Путивль—Кривой Рог, 2 — Решетилровка—Синевка); 3 — границы зон грабена ДДА (а, б — краевые (а — достоверные, б — вероятные), в — внутренние); 4 — субмеридиональные разломы, приведенные на картах [Тектонічна ..., 2007] (а), [Карта ..., 1988] (б); 5 — зоны разломов по данным [Снтін, 2005]: Г — Глуховская, Л — Лебединская, О — Охтырская.

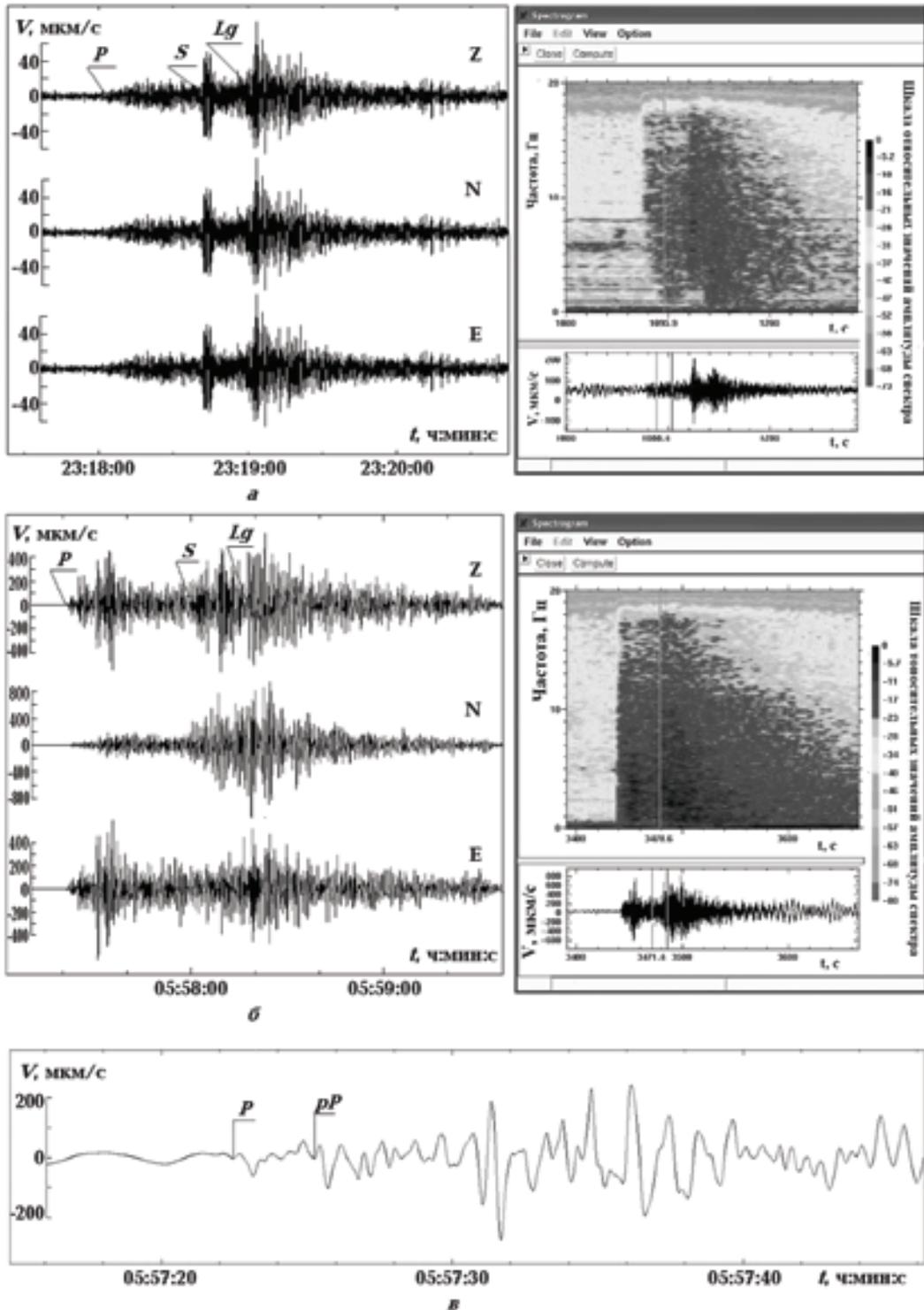


Рис. 2. Участки записи и спектрограммы сейсмических событий в ДДА, зарегистрированных с/ст. АКВВ (полоса частот $f = 0,6 \div 4,5$ Гц): а — 14 мая 2010 г., $m_b = 3,0$, $\Delta_{\text{ЭП}} = 353$ км; б — 3 февраля 2015 г., $m_b = 4,5$, $\Delta_{\text{ЭП}} = 370$ км; в — глубинные фазы на вертикальной составляющей записи землетрясения 3 февраля 2015 г.

К сейсмическим событиям тектонического происхождения можно однозначно отнести землетрясение 3 февраля 2015 г. с $mb = 4,5$. Очаг находился на глубине 10 км в северной части ДДА на границе Полтавской и Сумской областей. Сведения разных сейсмических центров о гипоцентре землетрясения, координатах эпицентра и значении магнитуды представлены в таблице.

Значения параметров сейсмических событий по данным GFZ (Германский научно-исследовательский центр геонаук) определяются по записям большого количества станций. В случае землетрясения 3 февраля в каталоге GFZ приведены времена вступления P -волны на 29 станциях, расположенных в интервале $\Delta_{\text{эп}} = 650 \div 988$ км, в полосе $Az = 136 \div 334^\circ$. Координаты эпицентра, глубина очага и магнитуда события по GFZ совпадает с представленными другими сейсмологическими центрами. Станции ГЦСК находятся от эпицентра на расстояниях 352,8—460,9 км, в азимутальном створе 260,9—274,8°. Отмечены несущественные различия в значениях широты при сравнении с данными GSRC (Центр геофизических наблюдений РАН). Средние значения координат эпицентра: $\varphi_{\text{эп}} = 50,608^\circ\text{N}$, $\lambda_{\text{эп}} = 34,205^\circ\text{E}$, расположение показано на рис. 1, а, б.

Критерии установления природы сейсмических событий в ДДА. Для точной идентификации природы сейсмических событий, как показывает практика, необходимо изучать записи, полученные на станциях, расположенных на близких эпицентральных расстояниях. При увеличении $\Delta_{\text{эп}}$ большое влияние на форму записи сигнала и спектрально-временную диаграмму оказывают особенности глубинного строения среды на пути распространения сейсмического сигнала от источника до пункта регистрации, а также в районе эпицентра.

Станции УСГ находятся на значительном удалении от очагов сейсмических событий в

ДДА. Тем не менее запись и спектрально-временная диаграмма сейсмического события 3 февраля 2015 г. (рис. 2, б), обладают рядом специфических особенностей, характерных для тектонических землетрясений, которые установлены при сопоставлении событий различной природы, зарегистрированных в районах Волыно-Подоллии и на УЩ. Спектрограмма очень насыщенная, без явных затуханий. Максимум спектральной плотности в интервале записи S -волны находится в полосе частот до 7 Гц, что является характерной особенностью тектонических землетрясений. Отмеченное вступление глубинной фазы pP (рис. 2, в) позволяет с достаточной точностью определить расположение гипоцентра — $h_0 = 10$ км. (На сейсмограммах событий не тектонического характера глубинные фазы отсутствуют.)

В результате сравнения записей и спектрограмм сейсмических событий, зарегистрированных в ДДА, установлены некоторые различия в волновой картине и спектральной плотности. Вступления волн на записи события 14 мая 2010 г. более четкие, чем при землетрясении 3 февраля 2015 г. Отсутствие глубинной фазы может свидетельствовать как о "вызванном" источнике колебаний, расположенном на поверхности, так и о тектоническом землетрясении низкого энергетического класса, очаг которого находится вблизи поверхности.

Форма записи сейсмического события 14 мая 2010 г. соответствует отмеченной при локальных землетрясениях, зарегистрированных в других районах платформы — в Днестровском прогибе и на УЩ. Однако спектрально-временная диаграмма не такая насыщенная, как в случае землетрясений в этих районах. Аналогичное различие по сравнению с спектрограммой землетрясения в ДДА 3 февраля 2015 г. В случае события 14 мая 2010 г. наблюдается затухание спектральной плотности при переходе от одной сейсмической фазы к другой. В цуге S -волны спект-

Данные о землетрясении 3 февраля 2015 г.

Время	Координаты		Глубина, км	Магнитуда	Центры
	φ , °N	λ , °E			
05:56:30,5	50,65	34,21	10	$mb = 4,6$	INFO
05:56:30,3	50,65	34,22	10	$M = 4,5$	GFZ
05:56:28,2	50,48	34,20	10	$mb = 4,5$	GSRC
05:56:32,0	50,65	34,19	10	$mb = 4,5$	AKBB

ральная плотность мощности находится в полосе частот 5—11 Гц, что не характерно для событий тектонического происхождения. В то же время отсутствие на записи и спектрограмме ярко выраженных признаков, присущих взрывам, позволяет оставить предположение о тектонической природе события, происшедшего в 23 ч. Ночью промышленные взрывы не проводятся, также отсутствует информация об аварийном взрыве в это время в районе эпицентра события.

Результаты изучения глубинного строения ДДА сейсмическими методами. На фрагменте карты [Тектонічна ..., 2007] представлены краевые разломы, отделяющие грабен ДДА от бортовых зон, и отмечены крупные региональные разломы на границах зон грабена (центральной и прибортовых), амплитуда которых более 5 км. На одном из участков Северного краевого разлома находится очаг землетрясения 3 февраля 2015 г.

ДДА и УЩ приблизительно вкрест простирая пересекают сейсмические профили КМПВ—ГСЗ Путивль—Кривой Рог и Решетилловка—Синевка, имеющие общую точку в северной части щита и расходящиеся на 30 км в северной бортовой зоне ДДА.

Профиль Путивль—Кривой Рог проходит вблизи сверхглубоких скважин — Криворожской СГ-8 и Днепроовско-Донецкой СГ-9. В районе скважин проведены площадные наблюдения. Скоростной и сейсмический разрезы литосферы вдоль этого профиля построены до глубины 50—60 км. Главные сейсмические границы — кровля и подошва консолидированной коры, горизонт K_2 в низах гранитного слоя, раздел М.

Отмечено резкое изменение строения коры при переходе от УЩ к грабену Днепроовско-Донецкого палеорифта, скачкообразное сокращение мощности коры от 48—50 до 34—40 км и погружение фундамента на глубину 10—12 км. Кора становится более высокоскоростной, на разделе М скорость уменьшается; под палеорифтом расположен "вал" утоненной коры и приподнятой мантии [Чекунов и др., 1992].

На разрезе земной коры вдоль профиля Решетилловка—Синевка, проходящего через центральную часть ДДА с юга на север, выделены сейсмические преломляющие и отражающие границы в осадочной толще и кристаллическом фундаменте, раздел М и тектонические нарушения [Калюжна, 1978]. В двумерной скоростной модели осадочного чехла и кристаллического фундамента Днепроовского грабена при пе-

реходе от УЩ к ДДА отмечено ступенчатое погружение изолинии скорости 6,0 км/с, соответствующей кровле консолидированной коры. Глубина расположения этой изолинии в районе южного борта грабена равна 0,5 км, северного — 2 км, в центральной части грабена — 12 км [Ильченко, Калюжная, 1999].

Разломы земной коры, прослеженные на сейсмических разрезах вдоль профилей Решетилловка—Синевка и Путивль—Кривой Рог, выделены по резким смещениям сейсмических горизонтов, изгибам изолиний скоростей, точкам дифракции и изменениям сейсмической слоенности земной коры. В рельефе поверхности кристаллического фундамента отмечены выступы и впадины, ограниченные тектоническими нарушениями с амплитудой до 3 км. Разломы, разделяющие крупные структуры, наиболее четко выражены. Они пересекают всю кору и коррелируются с тектоническими нарушениями, подтвержденными на поверхности по геологическим данным.

По результатам томографической инверсии первых вступлений волн, зарегистрированных вдоль профиля Решетилловка—Синевка, наблюдается ступенчатое погружение изолинии скорости 6,0 км/с в переходной части профиля от щита к грабену ДДА. По направлению к центру грабена выявлены перегибы изолиний (5,5; 6,0 и 6,5 км/с) и пологое погружение изолинии 6,0 км/с в центре грабена на глубине 14—15 км. По характеру распределения скоростных изолиний на томографическом разрезе выделены зоны тектонических нарушений до глубины около 30 км. Граница УЩ и ДДА проявляется нарушением в интервале 4—11 км. На северном крае ДДА в кристаллическом фундаменте прослеживается пологая дислокация, падение которой направлено в сторону впадины [Коломиец и др., 2013].

Строение земной коры в районе эпицентров землетрясений. Эпицентр землетрясения 3 февраля 2015 г. находится в зоне краевого разлома, разграничивающего Днепроовский грабен и Северный борт ДДА. Координаты эпицентра, установленные по данным станций ГЦСК, относительно средних значений, учитывающих результаты обработки материала в других сейсмологических центрах, различаются незначительно — по широте на $0,04^\circ$, по долготе на $0,01^\circ$.

Современное представление о строении земной коры ДДА сформировалось на основании результатов, полученных при изучении скоростей распространения сейсмических волн, а также природных полей — гравитационного

и магнитного. По комплексу данных установлено, что тектоника этого района обусловлена активным проявлением разновозрастных тектонических систем — широтно-меридиональной (докембрийской) и северо-западной, образовавшейся на рифтовом этапе развития авлакогена, и системами разломов, возникшими на пострифтовом этапе формирования современной структуры региона. Северный краевой разлом, в районе которого проявился очаг землетрясения, рассматривается как шовная зона северных краевых разломов, представляющая собой уступ. Структура внутри уступа, установленная по сейсмическим данным, имеет сложное строение [Цюха, Гейко, 2012].

По инструментальным данным эпицентр землетрясения 3 февраля 2015 г. находится на Северном краевом разломе Днепровского грабена в районе его пересечения с субмеридиональной зоной разломов, по направлению совпадающей с Криворожско-Кременчугской зоной разломов УЩ. Эта зона разломов, ограничивающая с востока Ингульский мегаблок и вытянутая в меридиональном направлении, рассматривается как “мегазона”, которая “кинетически сшивает не только западную и восточную части щита”, но, возможно, и более крупные сегменты Восточно-Европейской платформы [Гинтов, 2004].

Северный борт ДДА и северную прибортовую зону в субмеридиональном направлении пересекают зоны разломов, установленные по геофизическим данным — Глуховская, Лебединская, Охтырская и другие [Єнтін, 2005]. Направления Глуховской зоны разломов и Криворожско-Кременчугской совпадают. Лебединская (наиболее протяженная из этих зон) в южном направлении проходит через Центральную зону ДДА до г. Полтава.

Эпицентр сейсмического события 14 мая 2010 г., рассматриваемого по некоторым характерным признакам на записи и спектрограмме как тектоническое, находится в районе разлома, расположенного между зонами ДДА — Центральной и южной прибортовой (см. рис. 1, б).

Заключение. Проявление локальной сейсмичности в ДДА отмечено в районах нарушения структуры земной коры зонами разломов и скачкообразного изменения глубины залегания сейсмических границ — кровли кристаллического фундамента и поверхности М. Эпицентр землетрясения 3 февраля 2015 г. ($m_b = 4,5$) расположен на границе зон ДДА — северной прибортовой и бортовой. Очаг земле-

трясения находится на глубине 10 км в районе пересечения краевого разлома грабена Глуховской зоной разломов. Не исключена вероятность возникновения деформационных процессов, вызывающих подвижки среды и землетрясения низких энергетических классов, на участках Северного краевого разлома в районах пересечения другими субмеридиональными зонами разломов.

Очаг землетрясения 14 мая 2010 г. ($m_b = 3,0$) находится на глубине, не превышающей 3 км, в зоне глубинного разлома между Центральной и южной прибортовой зонами ДДА. Участок его пересечения субмеридиональной зоной разломов, проходящей по ДДА между Миргородом и Полтавой, может рассматриваться как потенциально сейсмоактивный.

Станции существующей системы сейсмологических наблюдений в западной части Украины в силу специфики их местонахождения практически не регистрируют сигналы от слабых сейсмических событий, эпицентры которых находятся в пределах ДДА. Пространственное расположение элементов сейсмологических сетей ГЦСК ГКАУ и Карпатской ОМСП Института геофизики НАН Украины эффективно для сейсмологического мониторинга правобережной части территории Украины. Сейсмические сигналы от источников разного происхождения в районах левобережной части регистрируются недостаточно четко. Это связано, по-видимому, с интенсивным затуханием сейсмической энергии в районе тектонического разлома, вдоль которого расположено русло р. Днепр.

На основании результатов изучения сейсмических проявлений, зарегистрированных в районах правобережной части Украины на УЩ в 2012—2014 гг., установлено: идентификация природы сейсмических событий ($m_b = 2,5 \div 3,0$) с достаточной степенью надежности возможна при использовании записей в пунктах наблюдения, расположенных на расстояниях до 300 км от источников колебаний. В то же время записи и спектрограммы промышленных взрывов и локальных землетрясений с $m_b = 3,5 \div 4,5$, зарегистрированных сетью станций ГЦСК ГКАУ на расстояниях до 500 км, обладают ярко выраженными особенностями, позволяющими установить природу сейсмических событий. Очаги землетрясений на УЩ находятся на глубине 10—15 км, в ДДА — на 3 и 10 км.

Для накопления данных об уровне сейсмичности в районах разработки полезных ископаемых и перспективных с точки зрения нефте-

газоносности необходимо расширить базу сейсмологических наблюдений на территории ДДА. В рамках решения этого вопроса специали-

тами ГЦСК планируется установка цифровой сейсмической станции "Guralp" в Полтавской области.

Список литературы

- Андрущенко Ю.А., Гордиенко Ю.А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини України. *Геофиз. журн.* 2009. Т. 31. № 3. С. 121—129.
- 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 2005—2010 гг. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 3. С. 49—60.
- Андрущенко Ю.А., Кутас В.В., Кенгзера 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.
- Гинтов О.Б. Зоны разломов Украинского щита. Влияние процессов разломообразования на формирование структуры земной коры. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 3. С. 3—24.
- Єнтін В.А. Геофізична основа Тектонічної карти України масштабу 1 : 1 000 000. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 1. С. 74—84.
- Ильченко Т.В., Калюжная Л.Т. Скоростная и стратиграфическая модели Днепро-Донецкого палеорифта (по профилю ГСЗ Решетилровка—Синьковка). *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 1. С. 85—94.
- Калюжна Л.Т. Структура земної кори і верхньої мантії центральної частини Дніпровсько-Донецького авлакогену (по профілю Решетилровка—Синьківка). *Доп. АН УРСР. Сер. Б.* 1978. № 2. С. 1063—1065.
- Карта разрывных нарушений и основных зон линейментов юго-запада СССР (с использованием материалов космической съемки). Гл. ред. Н.А. Крылов. 1 : 1 000 000. Киев: Мингео СССР, 1988. 4 л.
- Коломиец Е.В., Козленко М.В., Козленко Ю.В., Лысичук Д.В. Разломная тектоника Днепро-Донецкой впадины по данным томографичес-
- кой инверсии. *Геол. журн.* 2013. № 2. С. 59—67.
- Кутас В.В., Андрущенко Ю.А., Калитова И.А. Промышленные взрывы и сейсмичность Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 6. С. 165—172.
- Международная тектоническая карта Европы. 1 : 5 000 000. Глав. ред. В. Е. Хаин, Ю. Г. Леонов. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 1996.
- Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Каталог и подробные данные о сейсмических событиях центральной и северо-восточной частей Украины за 2010 г. В сб.: *Сейсмол. бюлл. України за 2010 год.* Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2011. С. 109—114.
- Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепро-Донецкой впадины. Под ред. В.И. Старостенко, О.М. Русакова. Киев: Галактика, 2015. 211 с.
- Тектонічна карта України. 1 : 1 000 000. Під ред. С.С. Круглова, Д.С. Гурського. Київ: Укр ДГРІ, 2007.
- Цюха О.Г., Гейко Т.С. Структурно-тектонічні особливості північного борту ДДА, деякі аспекти його геодинамічної еволюції та закономірностей нафтогазоносності (у світлі узагальнюючих тематичних досліджень). *Азово-Чорноморський полігон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа: Сборник тез. X Междунар. конф. "Крым-2012"*. Симферополь, 2012. С. 47—48.
- Чекунов А.В. Структура земной коры и тектоника юга европейской части СССР. Киев: Наук. думка, 1972. 176 с.
- 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. Т. 14. № 1. С. 3—9.
- Чирвинская М.В., Соллогуб В.Б. Глубинное строение Днепро-Донецкого авлакогена по геофизическим данным. Киев: Наук. думка, 1980. 180 с.

Earthquakes in the Dnieper-Donets aulakogen

© V. V. Kutas, Yu. A. Andrushchenko, V. D. Omelchenko,
A. I. Lyashchuk, I. A. Kalitova, 2015

Results of analysis of the wave pattern and spectrograms of seismic events in the Dnieper-Donets aulakogen registered by a group of stations of the Main center for special control of ГКАУ have been presented. The sources of the earthquakes with magnitude $mb = 3,0; 4,5$ are situated at a depth of 3—10 km at the boundary of graben zones: the central zone and the southern one adjacent to the edge near Poltava city and also on the northern fault near Lebedyn city of Sumy district. Relationship of local seismicity and special features of the earth crust structure in these areas of aulakogen revealed according to geological-geophysical data has been considered.

Key words: local seismicity, industrial explosions, earthquake epicenters.

References

- Andruschenko Yu. A., Gordienko Yu. A., 2009. Analysis of the effectiveness of applying the criteria of identification of explosions and earthquakes to local and regional events under the platform part of Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal* 31 (3), 121—129 (in Ukrainian).
- Andruschenko Yu. A., Kutas V. V., Kendzera A. V., Omelchenko V. D., 2012. Weak earthquakes and industrial explosions registered on the East European platform in the territory of Ukraine within 2005—2010 years. *Geofizicheskiy zhurnal* 34 (3), 49—60 (in Russian).
- Andruschenko Yu. A., Kutas V. V., Kendzera A. V., Omelchenko V. D., Gordienko Yu. A., Kalitova I. A., 2010. The nature of seismic events recorded in the west of the Ukrainian Shield in 2005—2007. *Geofizicheskiy zhurnal* 32 (2), 64—74 (in Russian).
- Gintov O. B., 2004. Fault zones of the Ukrainian Shield. Influence of faulting on the structure of the crust. *Geofizicheskiy zhurnal* 26 (3), 3—24 (in Russian).
- Entin V. A., 2005. Geophysical basis of tectonic maps of Ukraine scale 1 : 1 000 000. *Geofizicheskiy zhurnal* 27 (1), 74—84 (in Ukrainian).
- Ilchenko T. V., Kalyuzhnaya L. T., 1999. Speed and stratigraphic models of the Dnieper-Donets paleorift (the profile NHS Reshetilovka—Sinevka). *Geofizicheskiy zhurnal* 21 (1), 85—94 (in Russian).
- Kalyuzhnaya L. T., 1978. Structure of the crust and upper mantle of the central part of the Dnieper-Donets aulacogene (the profile Reshetilovka—Sinevka). *Dopovidi AN URSS. Ser. B* (2), 1063—1065 (in Ukrainian).
- Map faults and lineaments main areas southwest of the USSR (with the use of satellite imagery). 1988. Ed. N. A. Krylov. 1 : 1 000 000. Kiev: USSR Ministry of Geology, 4 p.
- Kolomiets E. V., Kozlenko M. V., Kozlenko Yu. V., Lyshchuk D. V., 2013. Fault tectonics Dnieper-Donets basin according to the tomographic inversion. *Geologicheskiy zhurnal* (2), 59—67 (in Russian).
- Kutas V. V., Andruschenko Yu. A., Kalitova I. A., 2010. Industrial explosions and seismic activity of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal* 36 (6), 165—172 (in Russian).
- International tectonic map of Europe, 1996. 1 : 5 000 000. Eds V. E. Khain, Yu. G. Leonov. St. Petersburg: VSEGEI (in Russian).
- Svidlova V. A., Bondar M. N., 2011. Catalog and details of seismic events in central and northeastern part of Ukraine for 2010. In: *Seismological Bulletin of Ukraine in 2010*. Sevastopol: SPC "EKOSI-Gidrofizika", 109—114 (in Russian).
- Tectonics and hydrocarbon potential of crystalline basement of the Dnieper-Donets Depression, 2015. Eds V. I. Starostenko, O. M. Rusakov. Kiev: Galaktika, 211 p. (in Russian).

Tectonic map of Ukraine, 2007. 1 : 1 000 000. Eds S.S. Kruglov, D.S. Gurskiy. Kiev: UkrDGRI (in Ukrainian).

Tsoha O.G., Geyko T.S., 2012. Structural-tectonic features of the northern edge of DDA, some aspects of its geodynamic evolution and patterns of oil and gas potential (in the light of generalizing case studies). In: Azov-Black Sea landfill studying geodynamics and fluid dynamics of formation of oil and gas fields: Abstracts of X Int. Conf. "Crimea-2012". Simferopol, 47—48 (in Ukrainian).

Chekunov A.V., 1972. Crustal structure and tectonics of the southern European part of the USSR. Kiev: Naukova Dumka, 176 p. (in Russian).

*Chekunov A.V., Kivshik N.K., Kharitonov O.M., Omelchenko V.D., Tolkunov A.P., 1992. Profile NHS Putyvl—Krivoy Rog ultradeep wells through Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal* 14 (1), 3—9 (in Russian).*

Chirvinskaya M.V., Sollogub V.B., 1980. Deep structure of the Dnieper-Donets aulacogene by geophysical data. Kiev: Naukova Dumka, 180 p. (in Russian).