

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 7 АВГУСТА 2016 И ЕГО АФТЕРШОКОВ

© 2019 г. И. А. Санина^{1,2*}, Г. Н. Иванченко¹, Э. М. Горбунова¹,
Н. Л. Константиновская¹, М. А. Нестеркина¹, И. П. Габсатарова³

¹Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (государственный университет), г. Москва, Россия

³Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба РАН», г. Обнинск, Россия

*E-mail: irina@idg.chph.ras.ru

Поступила в редакцию 23.08.2017 г.

Принята в печать 28.05.2018 г.

07.08.2016 г. вблизи г. Мариуполь у южной границы Восточно-Европейской платформы (ВЕП) произошло землетрясение с магнитудой 4.8, сопровождаемое афтершоками с магнитудами от 2.2 до 3.9 на протяжении 5 дней. Рассматриваемый регион испытывает внешнее влияние неотектонически активной Альпийской зоны, которое выражается во внутриплитных деформациях, горизонтальных и вертикальных движениях земной поверхности, сейсмичности. Очаги землетрясения и его афтершоков расположены в пределах блока, ограниченного Малоянисольским, Кальмиусским и Приморским разломами. В осевой части блока прослежена сейсмогенерирующая структура – субмеридиональная Кальчикская линейная зона, выделенная на основе комплексного анализа геолого-геофизических данных и визуального дешифрирования космоснимка. К этой неотектонически активной зоне приурочены эпицентры основного события и большинства афтершоков.

Ключевые слова: землетрясение, афтершоки, геодинамическая обстановка, неотектонически активная зона, вероятностные критерии, техногенная нагрузка

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002-333720192156-167>

ВВЕДЕНИЕ

07.08.2016 вблизи г. Мариуполь произошло землетрясение с магнитудой $M_s = 4.8$ (Global CMT Catalog – GCMT), приуроченное к южной периферийной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП). В геолого-структурном отношении регион находится в зоне сочленения Украинского щита и Причерноморской впадины (микроплиты), которые характеризуются разнонаправленными вертикальными движениями. Наличие глубинных разноориентированных разломов обуславливает блоковое строение территории исследований [Гинтов и др., 2014]. Активность основных морфоструктур региона на неотектоническом этапе выражается в особенностях ландшафта и геофизических полей. На основе визуального дешифрирования космоснимка выделена сейсмогенная субмеридиональная линейная зона.

При рассмотрении карт общего сейсмического районирования Украины (ОСР 2004 А, В)

район исследований отнесен к шестибальной зоне сейсмической опасности по шкале MSK-64. По макросейсмическим данным вдоль северного побережья Азовского моря отмечены четыре исторических землетрясения в XIX–XX вв. [Никонов, Шварев, 2011]. По инструментальным данным в 1990 и 1997 гг. зарегистрированы землетрясения в северной части Азовского моря [Пустовитенко и др., 2012]. В 2006 г. в районе г. Бердянск и в 2016 г. в районе г. Мариуполь произошли землетрясения с магнитудами 3.6 и 4.8, соответственно.

Последнее землетрясение сопровождалось 12 афтершоками с $M_L = 2.2 \div 3.9$ в течение 5 дней. Три афтершока были определены на записях трехкомпонентных станций ФИЦ ЕГС РАН на Северном Кавказе и на записях сейсмических групп с использованием полосовой фильтрации, остальные – выделены только на записях сейсмических групп с применением метода кросс-корреляции волновых форм (ККВФ) [Адушкин и др., 2017; Китов и др., 2017].

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИСТРАЦИИ

По данным ФИЦ ЕГС РАН основное событие – землетрясение 07.08.2016 г. в 08 час 15 мин вблизи г. Мариуполь зарегистрировано на 172 сейсмических станциях Российской и международных сетей на расстояниях от 2.3 до 82.2° [Сейсмологический..., 2017]. Оценки магнитуд по различным волнам составили: $MPSP = 4.8$ (магнитуда по P -волне на короткопериодном канале), $M_s = 3.8-4.0$ (магнитуда по поверхностной волне Релея).

Параметры этого землетрясения по данным разных центров приводятся в табл. 1.

Для выделения афтершоков и их локации использовались записи следующих станций: временной сейсмической группы ИДГ РАН – RDON (Ростов-Дон, Россия), станции KBZ (Хабаз, Кавказ, Россия) и двух сейсмических групп, входящих в Международную сеть IMS СТВО – AKASG (Малин, Украина), BRTR

(Бельбаш, Турция), и сейсмической группы MHVAR (Михнево, ИДГ РАН, Россия), расположенных на расстояниях от 3.28° до 7.96° (табл. 2).

Как известно, малоапертурные сейсмические группы позволяют лучше выделять и лоцировать события с большей точностью, чем одиночные сейсмические станции. Эти возможности групп иллюстрируют рис. 1а, 1б, 1в, на которых приведены сейсмические записи на вертикальных каналах групп MHVAR и RDON и пример совместной локации главного толчка. Координаты события, полученные по результатам совместной локации по данным групп, практически совпадают с результатами локации по данным 49 трехкомпонентных станций, полученным в ССД ФИЦ ЕГС РАН. Данные координаты были в дальнейшем использованы как стартовые для определения местоположения афтершоков с применением метода кросс-корреляции волновых форм.

Таблица 1. Основные параметры Мариупольского землетрясения 07.08.2016 г. по инструментальным данным и различным сейсмологическим центрам

№ п/п	Время в очаге чч: мин: сс (GMT)	Широта, град	Долгота, град	Глубина, км	К-во станций	M_s/N	mb/N MPSP	IO, балл	GAP, град	ЦЕНТР*
1	08:15:03.8	47.17	37.52	10	49		4.8/12	4–4.5	56	ССД
2	08:15:04.9	47.14	37.50	19	172	3.8/20	4.8/48		11	Сейсмологический бюллетень
3	08:15:05.5	47.06	37.64	14	66	$KP = 12.3$ $MLH_{пересч} = 4.6$ $M_w = 4.8$ $(V_{max}) = 4.0$		5	248	Региональный каталог Северного Кавказа
4	08:15:05.3	47.17	37.56	10	260		4.8		21	CSEM
5	08:15:05.6	47.09	37.52	10	92		4.8		43	NEIC
6	08:15:04.8	47.35	37.74	10	91		4.7			GFZ
7	08:15:04.9	47.0013	37.5427	0 f	39	$ML = 4.4$ $M_s = 3.7$	4.5		51	REB IDC

*Примечание: ССД и Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН, 2017 – данные Службы срочных донесений и уточненные данные Информационно-обрабатывающего центра Единой геофизической службы РАН; Региональные данные (совместная обработка станций Крыма и Северного Кавказа) ФИЦ ЕГС РАН; CSEM – Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр; NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США; GFZ – Немецкий исследовательский центр наук о Земле; REB IDC – уточненный вариант бюллетеня автоматической обработки Международного центра данных, Австрия, Вена.

Пример записи одного из афтершоков, зарегистрированных сейсмическими группами MHVAR и RDON, произошедшего 11.08.2016 г. в 21:59:30 магнитудой 2.9 приведен на рис. 2а, 2б.

Применение метода кросс-корреляции волновых форм позволило выделить по двум и более станциям дополнительно еще 12 афтершоков (№№ 2–13) в течение 5 дней после главного события (№ 1) ([Китов и др., 2017], табл. 3).

Таблица 2. Параметры станций и сейсмических групп

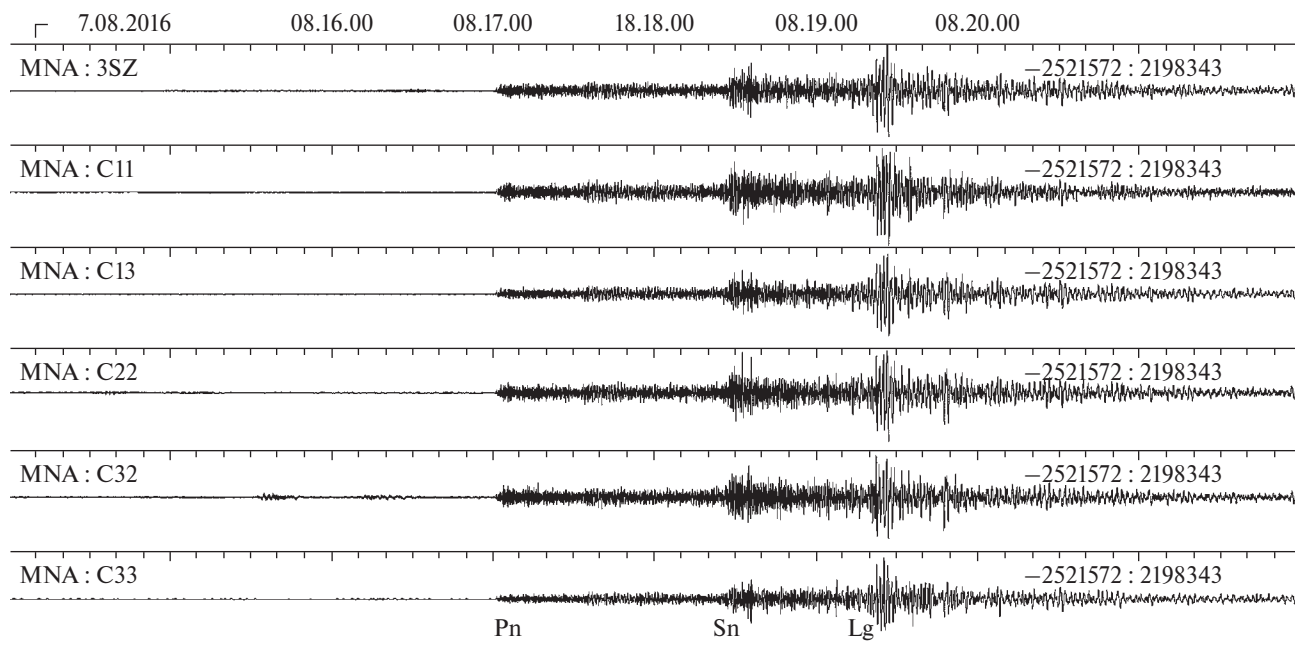
Код группы и станции	RDON	KBZ	AKASG	BRTR	MHVAR
Расстояние, град	3.28	5.00	6.62	7.81	7.96
Азимут на станцию, град	81	129	307	201	5
Апертура группы, км	1	–	25	–	1.5
Количество датчиков вертикальных	7	1	23	6	10
Частота регистрации, Гц	200	40	40	20–40	200

Таблица 3. Основное событие и афтершоки

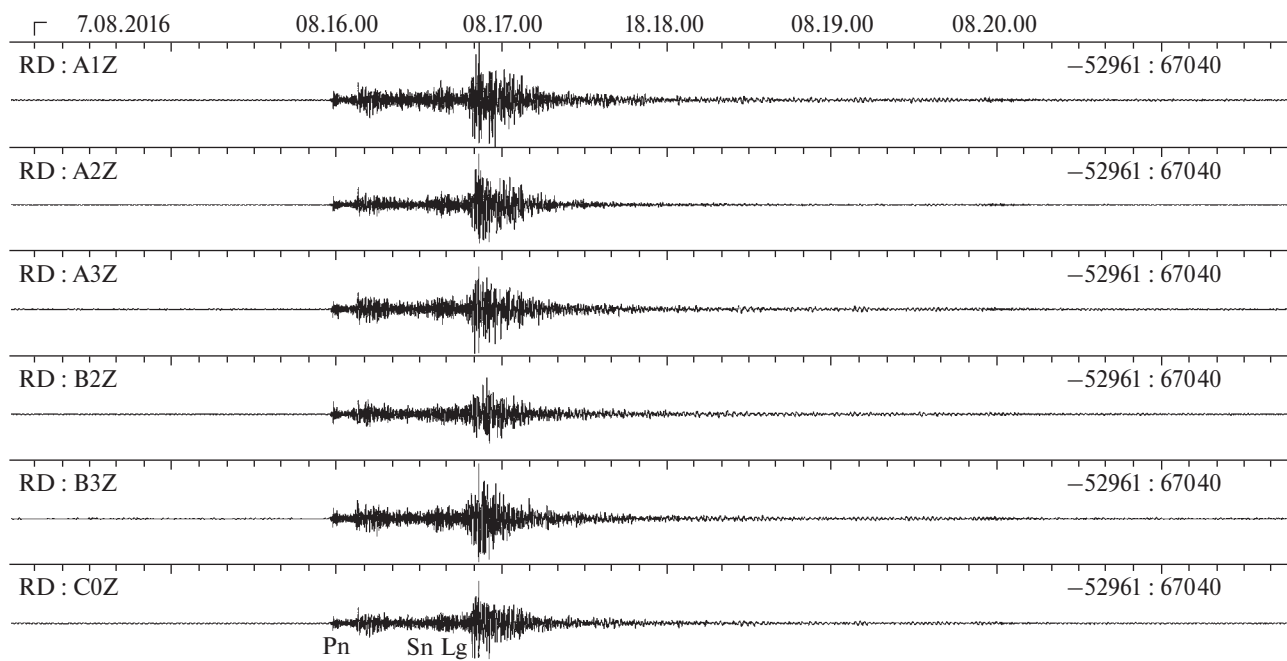
№	Дата	Время			Координаты		RM	RMS RM
		час	мин	сек	шир. град	долг., град		
1	07.08.2016	8	15	3.941	47.17	37.52	0	0
2	07.08.2016	8	18	10.887	47.157	37.432	–0.92	0.305
3	07.08.2016	8	22	32.982	47.107	37.569	–1.86	0.12
4	07.08.2016	8	24	28.203	47.191	37.569	–1.82	0.233
5	07.08.2016	8	53	59.494	47.114	37.527	–2.29	0.095
6	07.08.2016	9	29	15.582	47.257	37.386	–2.33	0.035
7	07.08.2016	14	49	23.492	47.219	37.485	–2.64	0.25
8	07.08.2016	16	14	39.645	47.137	37.552	–2.04	0.342
9	07.08.2016	16	40	56.691	47.257	37.532	–2.38	0.273
10	09.08.2016	13	12	26.254	47.197	37.569	–4.16	0.388
11	11.08.2016	11	46	53.672	47.257	37.386	–2.30	0.195
12	11.08.2016	14	15	29.617	47.257	37.386	–1.95	0.120
13	11.08.2016	21	59	27.328	47.122	37.557	–1.91	0.343

Примечание: RM – относительная магнитуда, RMS RM – стандартное отклонение относительной магнитуды.

(а)



(б)



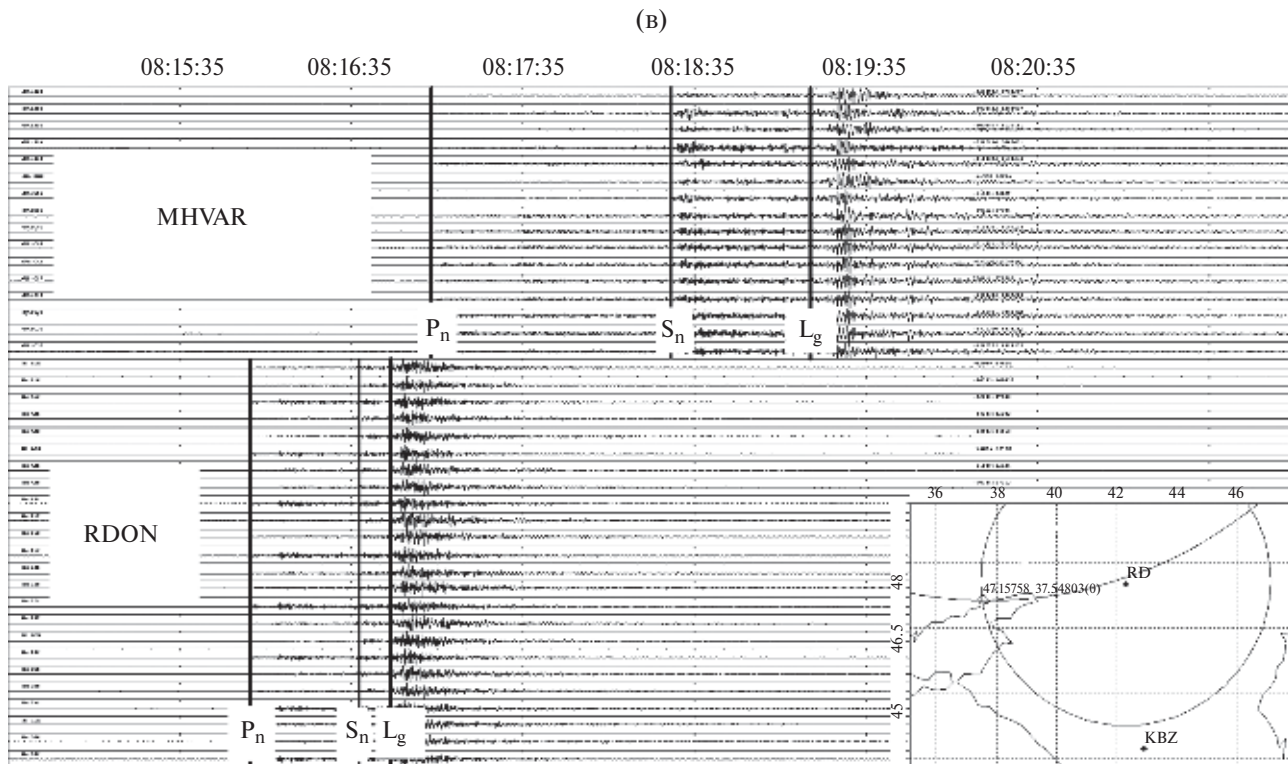
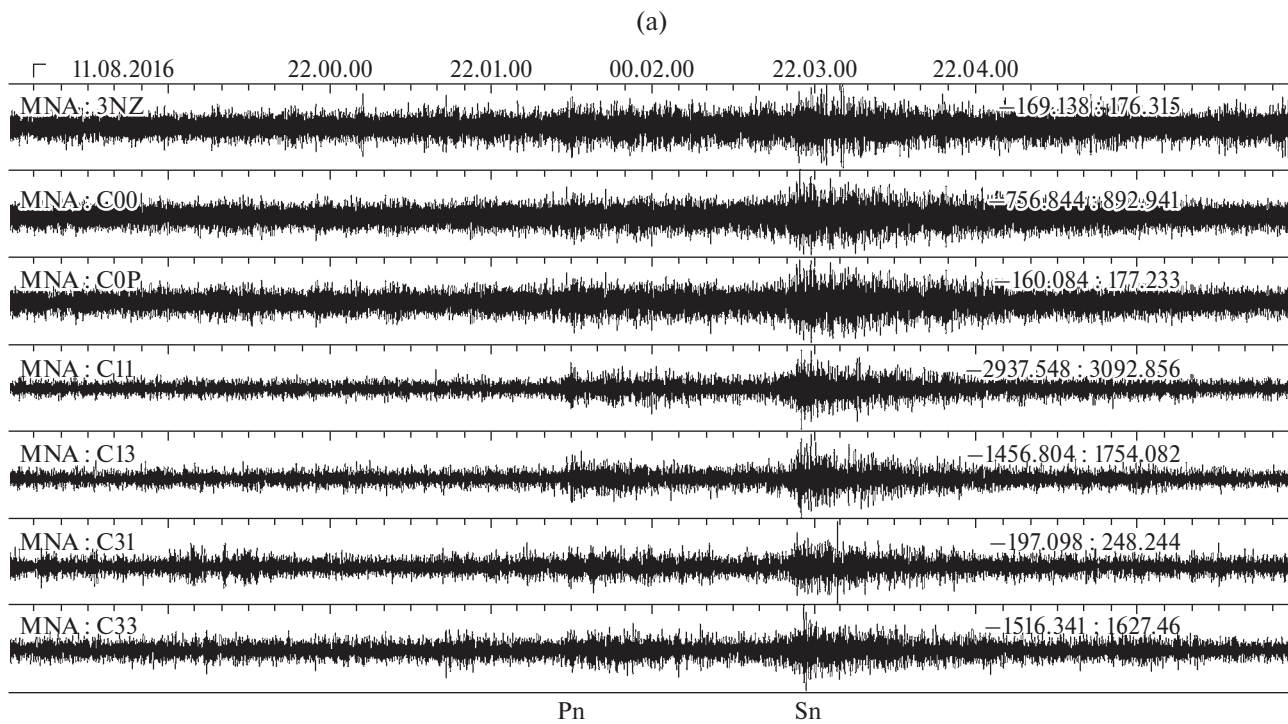


Рис. 1. Примеры исходных записей на вертикальных каналах сейсмических групп: стационарной MHVAR (а) и временной RDON (б) землетрясения 07.08.2016 г., время в очаге 08:15:06; названия каналов приведены слева, шкала амплитудной записи – справа, величины даны в отсчетах АЦП. Коэффициенты пересчета: для MHVAR – $7.45 \cdot 10^{-6}$ мкм/с, для RDON – $3.16 \cdot 10^{-3}$ мкм/с; (в) – показан пример совместной локации данного события по двум группам. Координаты эпицентра даны на врезке.



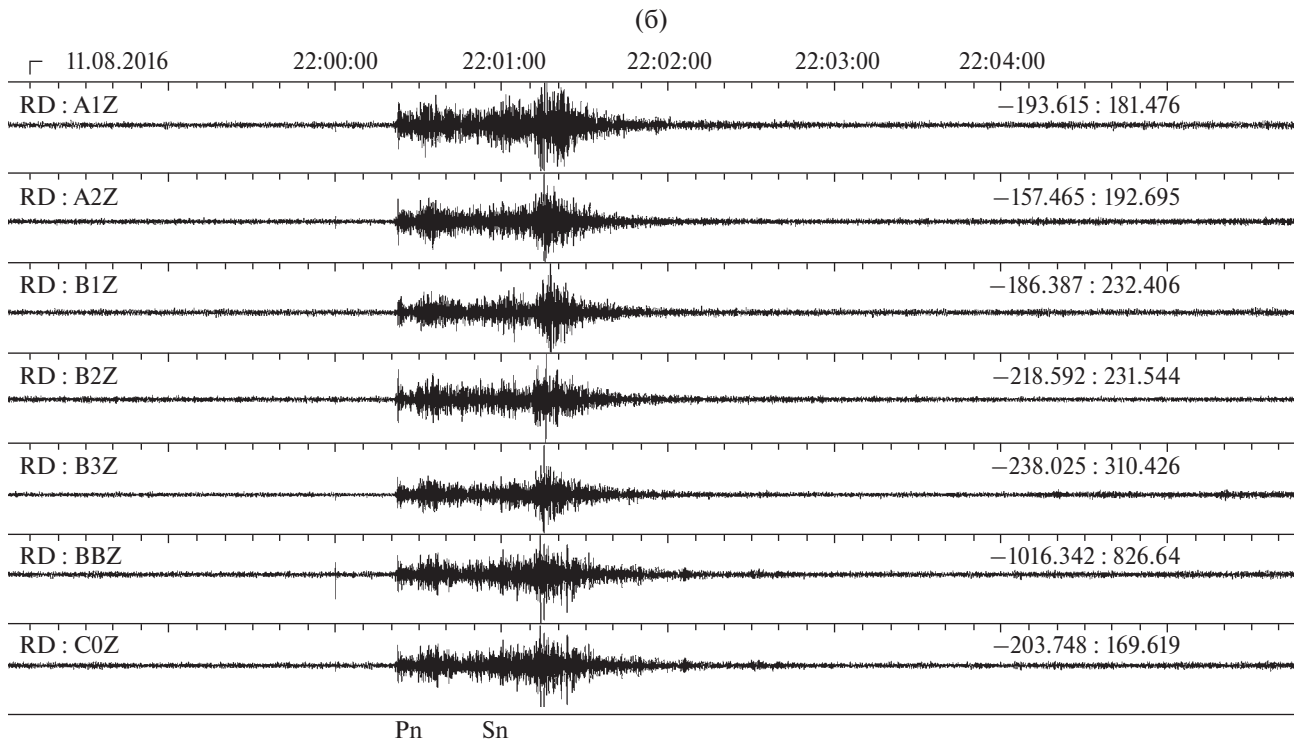


Рис. 2. Примеры записей на сейсмических группах: стационарной МНВАР (а) и временной RDON (б) афтершока, произошедшего 11.08.2016 г., время в очаге 21:59:30. Записи отфильтрованы в полосе 1–5 Гц, каналы вертикальные, названия каналов приведены слева, шкала амплитудной записи – справа, величины даны в отсчетах АЦП. Коэффициенты пересчета: для МНВАР – $7.45 \cdot 10^{-6}$ мкм/с, для RDON – $3.16 \cdot 10^{-3}$ мкм/с.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА РЕГИОНА

Общая геодинамическая обстановка района Мариупольского землетрясения, сопровождаемого сериями афтершоков, определяется его положением на южной границе древней Восточно-Европейской платформы и молодой Скифской плиты. Региональное поле напряжений характеризуется режимом субмеридионального сжатия [Адушкин и др., 2013]. Оно обусловлено давлением с юга на Скифскую плиту Восточно-Черноморской микроплиты [Гончар и др., 2007], которая представляет собой жесткий блок с субокеанической корой и холодной литосферной мантией (рис. 3).

Керченско-Таманская ветвь, в которой происходит подвиг Восточно-Черноморской микроплиты в северном направлении, и Южнобережная зона, характеризующаяся инденторным механизмом, разделены областью рассеянной сейсмичности в районе максимального изгиба пододвигающейся плиты. Зона сдвиговых деформаций, ограничивающих с запада область подвига, ассоциируется с Западно-Крымским разломом и подтверждается ветвью гипоцентров землетрясений, прослеженных от западного

побережья Крымского полуострова. На границе Скифской плиты и Приазовского блока Украинского щита за областью максимального изгиба зоны столкновения Восточно-Черноморской микроплиты образуется зона сжатия, определяющая деформации далеко на север, по-видимому, включая Донбасс. В этой области активизируются древние разломы с кинематикой, соответствующей современному полю напряжений (рис. 4 [Копп, 2005]).

Район расположения сейсмических событий приурочен к южно-украинской моноклинали, расположенной на южном склоне Украинского щита. Основной толчок Мариупольского землетрясения и все афтершоки локализируются в пределах неотектонически активного блока треугольной формы [Санина и др., 2017].

На юго-западе блок ограничен активизированным на неотектоническом этапе Малоянисольским глубинным разломом, на юго-востоке – Кальмиусской неотектонически активной зоной древних разломов. Между ними проходит Приморский глубинный разлом, являющийся северной границей блока, в пределах которого также отмечаются признаки неотектонической активности.



Рис. 3. Геодинамическая схема: 1–3 – границы (1 – микроплит, 2 – Скифской плиты, 3 – девонского палеорифта); 4 – орогены (I – Крымский, II – Кавказский); 5 – направление давления Восточно-Черноморской микроплиты; 6 – эпицентр землетрясения вблизи г. Мариуполь 07.08.2016 г.

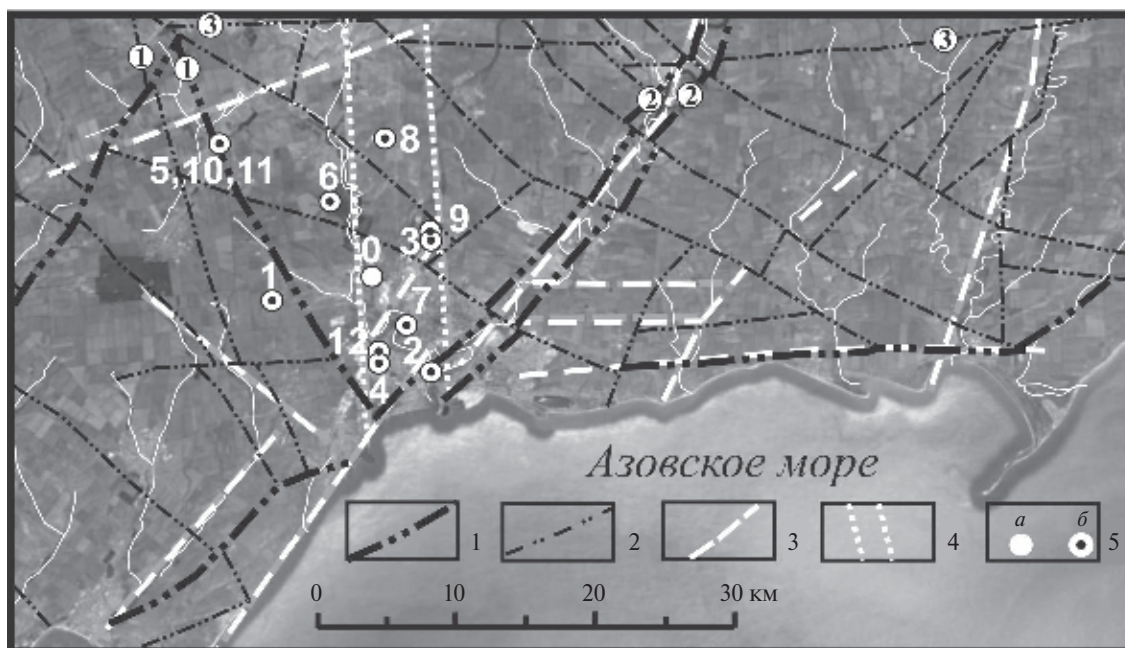


Рис. 4. Компильционная схема неотектонических разломов и линеаментов: 1–2 – неотектонические разломы (по материалам [Государственная..., 2012]): 1 – основные, 2 – второстепенные; 3 – линеаменты; 4 – Кальчикская линеаментная зона; 5 – эпицентр землетрясения 07.08.2016 г. (а) и его афтершоки (б); цифра – номер; цифры в кружках – номера разломов; 1 – Малоянисольский, 2 – Кальмиусский, 3 – Приморский.

При дешифрировании космоснимка Landsat по линейным элементам ландшафта выделены линеаменты и линеаментные зоны, большинство из которых совпадают с активными на неотектоническом этапе разломами. Рассматриваемый

блок разбит разломами различной протяженности и направлений на более мелкие блоки, пронизан интрузивными образованиями, которые обуславливают гетерогенность (мозаичность) его строения. Внутри блока выделена

субмеридиональная Кальчикская линейная зона шириной ~5 км, вытянутая вдоль долины р. Кальчик.

В северо-западной и центральной частях блока отмечено неглубокое залегание кристаллического фундамента. На востоке преимущественное развитие получают отложения неогена, распространение которых контролируется субмеридиональной Кальчикской линейной зоной.

ТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ

В пределах рассматриваемого региона выделены районы с различной техногенной нагрузкой от слабой до интенсивной ([Государственная..., 2012], рис. 5). Геологическая среда максимально нагружена на территории населенных пунктов и промышленных зон. Наиболее сильное воздействие на ландшафты оказывают горнодобывающие предприятия, в том числе представленные средне-механизированными карьерами по добыче камня, песка, щебня. В их состав входят два средних карьера площадью 0.5–1 км² и несколько десятков мелких, количество которых ежегодно увеличивается. На исследуемой территории находятся Кальчикское и Кальмиусские водохранилища. Изменившаяся в последние годы структура водоснабжения характеризуется увеличением доли подземных вод. Большую нагрузку на среду оказывает комбинат Азовсталь.

Значительная техногенная нагрузка, связанная с наличием крупного промышленного центра – Мариуполя, водохранилищ в среднем течении рек Кальчик и Кальмиус (Павловское водохранилище) и длительной разработкой гранитных карьеров с применением взрывных технологий, может влиять на деформационные и прочностные свойства сложнопостроенной геологической среды.

Значительные изменения ландшафта, связанные с формированием локальных участков с техногенным рельефом, осложненных карьерами, отвалами, полигонами отходов и др., обуславливают сложность выделения природных линейных аментов в условиях высокой антропогенной нагрузки на геологическую среду.

СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Геодинамическая обстановка и сейсмотектонические условия южной периферийной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП) обуславливают развитие сейсмического процесса. Сейсмическая активность рассматриваемого региона подтверждена наличием очагов исторических землетрясений. История геологического развития региона связана с тектоно-магматическими циклами, включая незавершенный в настоящее время альпийский этап активизации, предопределивший сложное гетерогенно-блоковое строе-

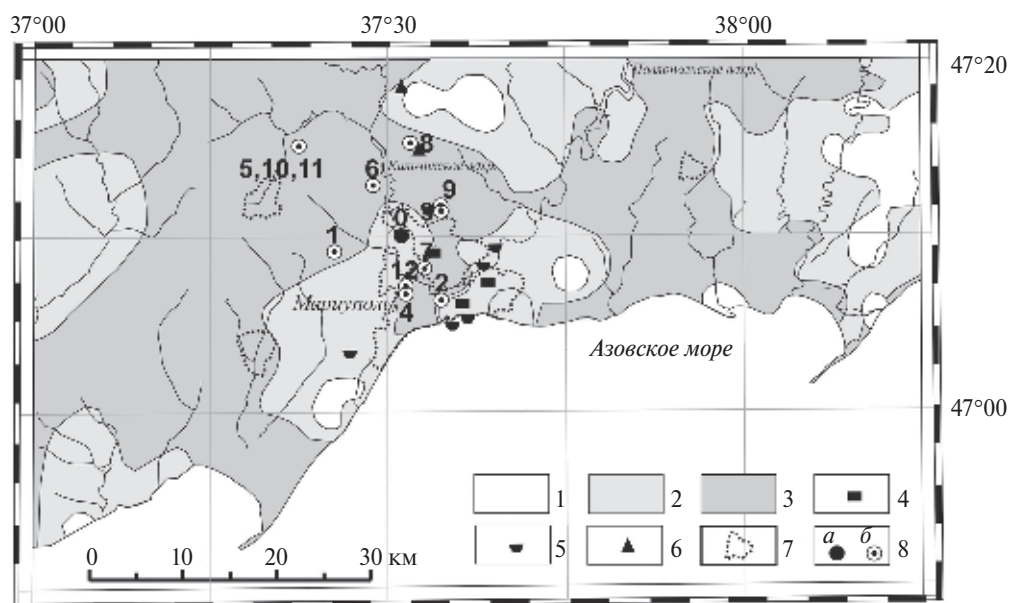


Рис. 5. Схема экологического районирования: районы с различной техногенной нагрузкой: 1 – слабая; 2 – средняя; 3 – интенсивная; 4–7 – техногенные объекты: 4 – металлургический комбинат; 5 – шламонакопитель; 6 – карьер; 7 – город; 8 – эпицентр землетрясения 07.08.2016 г. (а) и его афтершоки (б), цифра – номер (составлена на основе [Государственная..., 2012]).

ние: наличие долгоживущих глубинных разломов, разновозрастных интрузивных массивов.

При анализе пространственно-временного распределения эпицентров основного землетрясения и его афтершоков отмечены особенности их локализации с учетом погрешности определения координат эпицентров, оцененной как ± 5 км. События 3 и 9, 4 и 12 приурочены к границам Кальчикской линеаментной зоны. События 5, 10, 11 сгруппированы в зоне структурообразующего Малоянисольского разлома (рис. 5).

Основное событие и остальные афтершоки проявились в виде одиночных. Землетрясение 07.08.2016 г. и афтершоки 7 и 8 находятся в пределах субмеридиональной линеаментной зоны. Событие 2 расположено на участке сочленения Кальмиусской зоны с Кальчикской линеаментной зоной. Событие 6 приурочено к зоне динамического влияния западной границы Кальчикской линеаментной зоны, событие 1 — к зоне динамического влияния Малоянисольского разлома северо-западного простирания.

В пределах рассматриваемого блока субмеридиональная Кальчикская линеаментная зона ассоциируется с зоной малоамплитудных нарушений, выраженной в геофизических полях. На неотектоническом этапе сдвиговая морфокинематика линеаментной зоны отражена в рисунке гидросети. В современном поле напряжений эта зона локализации деформаций проявилась в виде подвижки с механизмом strike-slip основного толчка Мариупольского землетрясения.

По данным Каталога GСMT тип движения в очаге определяется как чистый сдвиг или подвижка по простиранию (рис. 6). По нодальной плоскости NP1 — субмеридиональный ($\text{strike} = 192^\circ$), по нодальной плоскости NP2 — субширотный ($\text{strike} = 101^\circ$). Обе плоскости имеют крутое падение — $DP_{NP1} 88^\circ$ и $DP_{NP2} 73^\circ$. Из двух нодальных плоскостей с ориентировкой выделенной субмеридиональной Кальчикской линеаментной зоны совпадает плоскость NP1.

Природа выделенных афтершоков, произошедших 07, 09 и 11 августа 2016 г., достоверно не определена. На основе комплексного анализа геолого-геофизических данных пространственного распределения афтершоков и техногенной нагрузки может быть высказано предположение о генезисе зарегистрированных событий.

Афтершоки 1, 5, 10 и 11 с магнитудами от 2.5 до 3.9, зарегистрированные в зоне Малоянисольского глубинного разлома за пределами городской агломерации, предположительно, являются тектоническими. К тектоническим событиям также

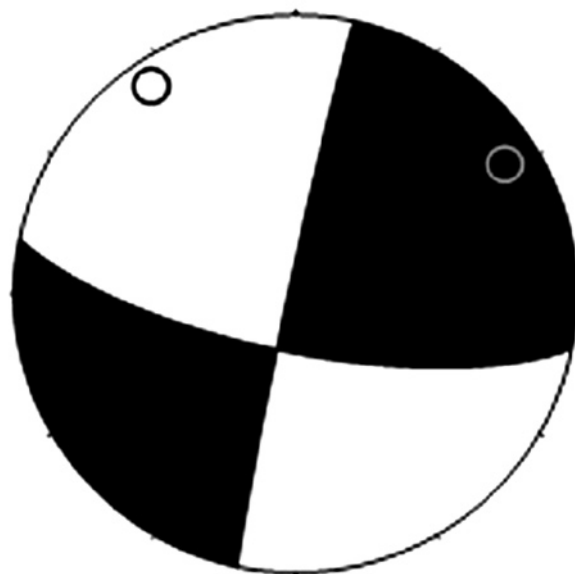


Рис. 6. Решение механизма очага в стереографической проекции по данным Гарвардского GСMT: черные квадраты — движение вверх — волна сжатия, белые квадраты — движение вниз — волна растяжения.

могут быть отнесены афтершоки 3, 6, 8, 9, расположенные севернее г. Мариуполь в пределах сейсмически активного Кальчикского линеамента.

Афтершок 6 с малой магнитудой 2.2 тяготеет к зоне контакта интрузивного образования с вмещающим докембрийским массивом. Вероятно, приуроченность данного сейсмического события к ослабленной зоне литологического контакта объясняет его низкую магнитуду относительно остальных выделенных афтершоков.

Афтершоки 2, 4, 7 и 12 с магнитудами от 2.5 до 2.9 расположены в пределах градопромышленной агломерации — г. Мариуполь в пределах субмеридиональной Кальчикской линеаментной зоны. Подобное сочетание высокой техногенной нагрузки с наличием неотектонически активных морфоструктур затрудняет однозначную интерпретацию природы зарегистрированных афтершоков и позволяет предположить их техногенно-тектоническую природу. Событие 2 с магнитудой 2.9 находится в узле пересечения Кальмиусской разломной зоны и Кальчикской линеаментной зоны.

Реализация сейсмического процесса происходила в течение 4 суток. Первые 4 афтершока зарегистрированы на протяжении 40 мин после землетрясения 07.08.2016 г. в 8 ч 15 мин в пределах тектонического узла вдоль структурообразующей зоны. Последующие афтершоки в структурном плане приурочены к субмеридиональным

и СЗ-ЮВ разломам, сопутствующим основной зоне, на участках их пересечения с границами щелочной интрузии. Наиболее сильные афтершоки с магнитудой более 2.4 (7, 8 и 12), выделенные в конце первых и третьих суток после основного события, локализованы вдоль субмеридиональной Кальчикской линейной зоны, активной на неотектоническом этапе.

Генезис афтершоков в пределах городской агломерации может быть определен как техногенно-тектонический в соответствии с исследованными геолого-структурными условиями, геоэкологической обстановкой региона и существующей техногенной нагрузкой. Нельзя исключить вероятность техногенной индукции их тектонической активизации под влиянием повышенной техногенной нагрузки на среду в районе карьеров и промышленных объектов, а также в связи с изменением гидрогеодинамической обстановки (наличием водоохранилища, режимом эксплуатации подземных вод в Мариупольском промышленном узле и т. п.).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Регистрация любого сейсмического события в слабосейсмичных платформенных территориях нуждается в дополнительном исследовании, направленном на определение его генезиса. Тектоническая природа землетрясения, произошедшего 07.08.2016 г., подтверждена сетевыми и стационарными признаками (дискриминантами). Сетевые дискриминанты описывают сейсмический источник и основаны на таких его параметрах, как магнитуды mb и M_s , местоположение эпицентра, глубина его и механизм, которые оцениваются по совокупности записей, полученных по сети станций. Стационарные дискриминанты характеризуют сейсмический сигнал с использованием динамических параметров в частотной, временной и частотно-временной областях, которые могут быть рассчитаны по отдельной записи на станции.

Исследованы два сетевых дискриминанта: магнитудный и механизм очага. Первый из названных связан с определенным соотношением mb (магнитуда по объемной волне P) и M_s (магнитуда по поверхностной волне) и основан на различной физике процесса при взрывах и землетрясениях. Взрывы возбуждают, главным образом, P -волны, в отличие от землетрясений, которые сопровождаются P -волнами и преимущественно поперечными волнами. Поскольку поверхностные волны Релея являются комбинацией волн P и S , то при землетрясениях они оказываются более интенсивными, чем при взрывах.

По данным ФИЦ ЕГС РАН магнитуда по объемным волнам составила $mb = 4.8$ (12 станций на расстояниях от $\Delta = 20$ до $\Delta = 59^\circ$), значение магнитуды по поверхностным волнам $M_s = 3.8-4.0$. В Международном центре данных (International Data Centre – IDC) магнитуды этого события определены $mb = 4.5$, $M_s = 3.7$, Каталога GCMT – $M_s = 4.8$, National Earthquake Information Center (NEIC) $mb = 4.8$. Все эти значения однозначно показывают природу основного события как землетрясения в соответствии с известными пороговыми значениями магнитудного дискриминанта (см. [Mueller, Murphy, 1971; Murphy et al., 1997], рис. 7).

Сопоставление логарифмов отношений спектральных амплитуд волн Pg/Lg , которое обычно используется в качестве стационарного дискриминанта вероятностного критерия различия взрывов и землетрясений, также свидетельствует о тектонической природе землетрясения 07.08.2016 г. вблизи г. Мариуполь при сравнении отношений спектральных амплитуд, полученных для взрыва и ряда землетрясений на Украине (рис. 8а, 8б).

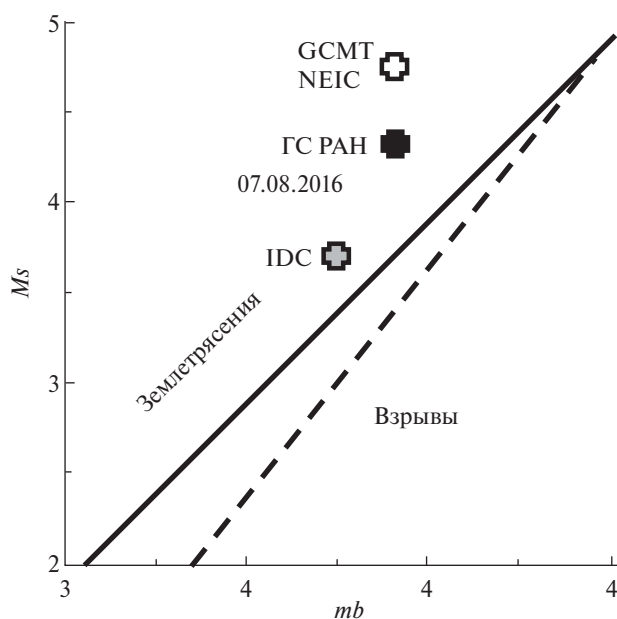


Рис. 7. График соотношения значений M_s и mb для сейсмического события 07.08.2016 г. возле Мариуполя. Черным и серым крестом показаны соотношения магнитуд по данным ГС РАН, GCMT и IDC. Двумя линиями проведены пороговые значения – линии скрининга (по [Mueller, Murphy, 1971]) – сплошная линия; (по [Murphy et al., 1997]) – пунктирная линия, разделяющие землетрясения и взрывы и используемые в качестве порогового значения магнитудного дискриминанта – волна растяжения.

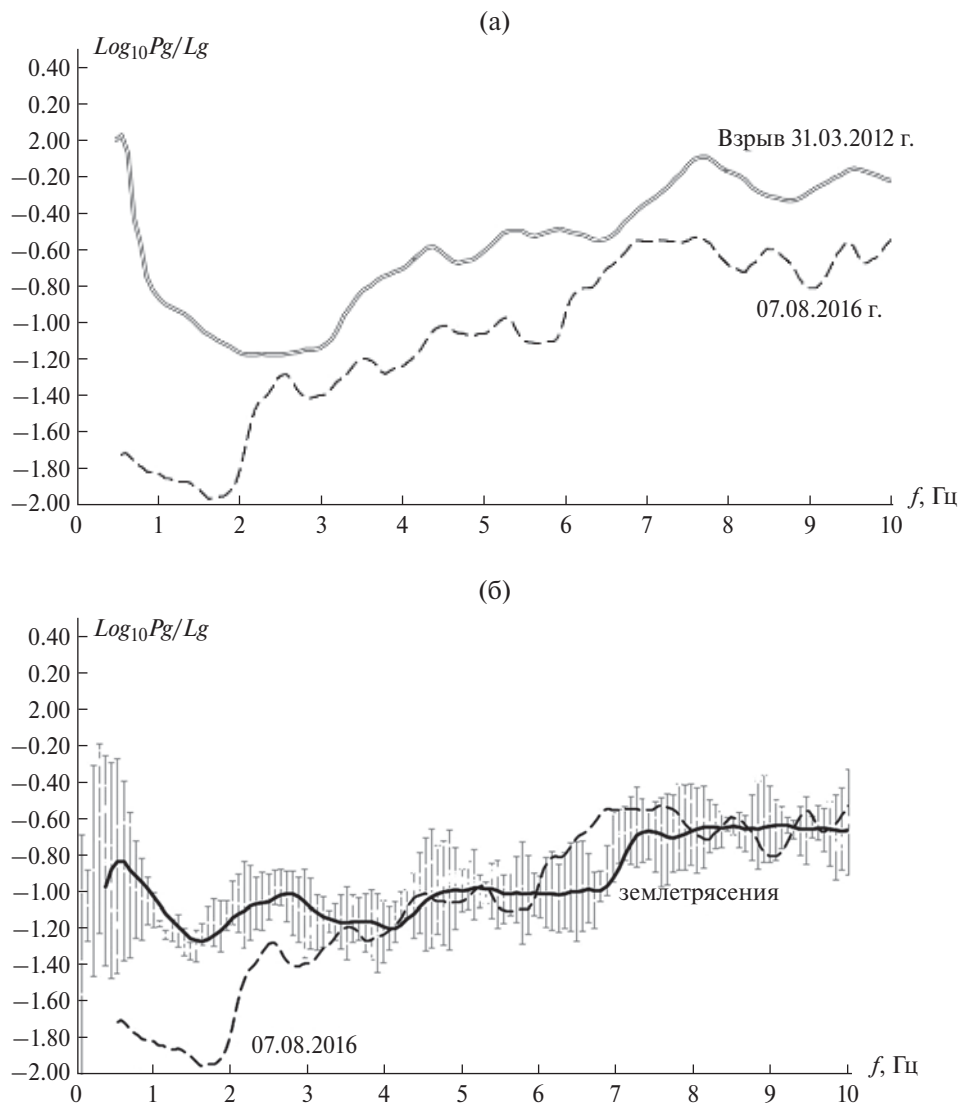


Рис. 8. Логарифм спектральных отношений амплитуд волн Pg/Lg по записям центрального пункта станции «Малин» (AKASG) для взрыва в Кривом Роге и исследуемого землетрясения 07.08.2016 г. (а); для нескольких землетрясений на Украине и исследуемого землетрясения 07.08.2016 г. (б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ геодинамической обстановки региона подтвердил неотектоническую активность блока, ограниченного основными структурообразующими разломами. В пределах блока наиболее активной является субмеридиональная Кальчикская линейная зона, к которой приурочены эпицентры землетрясения 07.08.2016 г., произошедшего вблизи г. Мариуполь, и ряда афтершоков.

На основе сетевых и стационарных дискриминантов установлена тектоническая природа основного события. Предположительно, наличие афтершоковой эмиссии после землетрясения 07.08.2016 г. связано с постепенной релаксацией

напряженного массива на структурных границах разного ранга, приуроченных к геологическим неоднородностям — разрывным нарушениям, несогласным контактам, границам интрузивных образований.

Значительная техногенная нагрузка на сейсмоструктурно активный регион, связанная с наличием крупного промышленного центра — Мариуполя, водохранилищ в среднем течении рек Кальчик и Кальмиус (Павловское водохранилище) и длительной разработкой гранитных карьеров с применением взрывных технологий, может влиять на деформационные и прочностные свойства сложнопостроенной геологической среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 16-17-00095.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В., Бобров Д.И., Китов И.О., Рожков М.В., Санина И.А. Дистанционное обнаружение афтершоковой эмиссии как новый метод сейсмического мониторинга // Докл. РАН. 2017. Т. 473. № 1. С. 83–87.
- Адушкин В.В., Санина И.А., Владимирова И.С., Габсатаров Ю.В., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н. Современные геодинамически активные зоны центральной части Восточно-Европейской платформы // Докл. РАН. 2013. Т. 452. № 5. С. 558–561.
- Государственная геологическая карта Украины. Центральнoукраинская серия. L-37-VIII (Мариуполь), L-37-IX (Таганрог). Масштаб 1:200 000. Пояснительная записка. Киев: ДНВП «Геоинформ Украины». 2012. http://geoinf.kiev.ua/wp/w/Viewer.php?pr=1&umpr=137-8-&fmp=kv_137-8_1.jpg
- Гинтов О.Б., Егорова Т.П., Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Муровская А.В. Геодинамические особенности зоны сочленения Евразийской плиты и Альпийско-Гималайского пояса в пределах Украины и прилегающих территорий // Геофизический журнал. № 5. Т. 36. 2014. С. 27–63.
- Гончар В.В., Трегубенко В.И., Токовенко В.С. Режимы деформирования и взаимодействие плит Черноморско-Крымской области конвергенции // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2007. № 2. С. 5–18.
- Китов И.О., Санина И.А., Сергеев С.С., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л. Обнаружение, оценка магнитуды и относительная локация слабых афтершоков с помощью кросс-корреляции волновых форм: землетрясение 7 августа 2016 г. в Мариуполе // Сейсмические приборы. 2017. Т. 53. № 2. С. 58–80. DOI: 10.21455/si2017.2-4
- Копп М.Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука. 2005. 340 с. (Труды ГИН РАН. Вып. 552).
- Никонов А.А., Шварев С.В. Землетрясения доисторического периода в системе совершенствования оценок сейсмической опасности/безопасности (Восточно-Европейская платформа и ее обрамление). Инженерные изыскания в строительстве. Материалы седьмой общероссийской конференции изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг». 2011. С. 223–226.
- Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Князева В.С., Бушмакина Г.Н., Габсатарова И.П. Две версии изосейст Осипенковского (Бердянского) землетрясения 31 июля 2006 г. с $M_w = 3.3$, $I_0 = 5$ (Украина, Запорожская обл.). Землетрясения Северной Евразии, 2006 г. Обнинск. 2012. С. 359–366.
- Санина И.А., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. Анализ геолого-структурных условий района Мариупольского землетрясения. Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 6–9 июня 2017 г.): Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. М.: ГЕОС. 2017. С. 243–250.
- Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН. 2017.
- Mueller R.A., Murphy J.R. Seismic characteristics of underground nuclear detonations. Part I: seismic spectrum scaling // Bull. seism. Soc. Am. 1971. V. 61. P. 1675–1692.
- Murphy J.R., Barker B.W., Marshall M.E. Event screening at the IDC using the M_s/mb discriminant. Tech. rep., final report. Maxwell Technologies. 1997. 23 p.

Seismotectonic Setting of the Earthquake of August 7, 2016 and its Aftershocks

I. A. Sanina^{a,b,*}, G. N. Ivanchenko^a, E. M. Gorbunova^a,
N. L. Konstantinovskaya^a, M. A. Nesterkina^a, and I. P. Gabsatarova^c

^aInstitute of Geosphere Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119334 Russia

^bMoscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudnyi, 141701 Russia

^cFederal Research Center Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Obninsk, 249035 Russia

*E-mail: irina@idg.chph.ras.ru

Received August 23, 2017

An earthquake with magnitude 4.8 hit the vicinity of Mariupol close to the southern boundary of the East European Platform (EEP) on August 7, 2016. The main event was followed by the aftershocks with magnitudes ranging from 2.2 to 3.9 which lasted for five days. The region experiences external influence from the neotectonically active Alpine zone resulting in intraplate deformations, horizontal and vertical movements of the Earth's surface, and seismicity. The sources of the main shock and aftershocks are located within the block bounded by the neotectonically active Maloyanisol, Kalmius, and Primorsky faults. A seismogenic structure traced by the submeridional Kalchik lineament zone is identified in the axial part of the block by the combined analysis of geological and geophysical data and visual interpretation of the satellite image. This neotectonically active zone hosts the epicenters of the main event and most of the aftershocks.

Keywords: earthquake, aftershocks, geodynamic setting, neotectonically active zone, probabilistic criteria, technogenic load