

**ДВЕ ВЕРСИИ ИЗОСЕЙСТ ОСИПЕНКОВСКОГО (БЕРДЯНСКОГО)
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 31 июля 2006 г. с $M_w=3.3$, $I_0=5$ (Украина, Запорожская обл.)**

**А.Н. Пустовитенко¹, В.А. Свидлова¹, В.С. Князева¹, Г.Н. Бушмакина¹,
И.П. Габсатарова**

¹Отдел сейсмологии Института геофизики НАН Украины, г. Симферополь, seismosilver@mail.ru
²Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru

Землетрясение 31 июля 2006 г. в 09^h04^m произошло в Приазовье на территории Запорожской области Украины, примерно в 20–25 км от г. Бердянска, в 9 км от с. Андреевка (первый вариант макросейсмического эпицентра) или в 1 км от с. Осипенко (второй вариант макросейсмического эпицентра). Учитывая результаты макросейсмического обследования, правильнее назвать его Осипенковским, а не так, как уже в нескольких работах [1, 2, 3] его называли Бердянским.

В сеймотектоническом плане это землетрясение произошло в переходной зоне от Приазовского поднятия Украинского щита Русской палеозойской платформы к Северо-Азовскому прогибу (рис. 1)

Параметры гипоцентра Осипенковского (Бердянского) землетрясения, несмотря на небольшую магнитуду, определены в ряде сейсмологических центров: в группе сводной обработки отдела сейсмологии ИГ НАН Украины (Симферополь); в службе Сейсмологического бюллетеня ГС РАН; в Международном центре данных IDC – Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний в Вене, в Средиземноморском центре CSEM; в Глобальном центре Геологической службы США, NEIC; в Международном сейсмологическом центре ISC (табл. 1). Кроме того, уточнению параметров этого землетрясения посвящены работы [2] и [3].

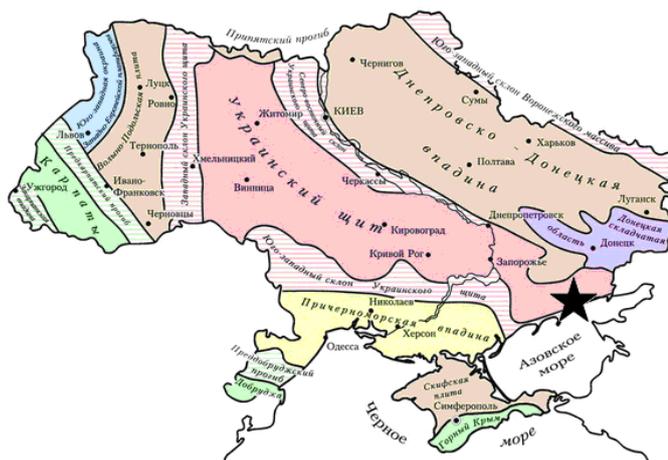


Рис. 1. Тектоническая схема территории Украины (заимствовано с информационного сайта <http://www.photoukraine.com/russian/articles?id=3>)

Звездой показано положение эпицентра землетрясения 31 июля 2006 г.

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 31 июля 2006 г. по данным различных агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Сеть			
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км		n	Δ_{\min}°	Δ_{\max}°	gap $^\circ$
Бюллетень отдела сейсмологии ИГ НАНУ (Крым)	09 04 32.9	1.6	46.80		37.20		33	$K=9.5\pm 0.3$ / 8 $M_d=3.3/5$	8	1.6	3.3	
То же, уточнение [2]			46.87		36.67		35	$K_p=9.8\pm 0.2$ / 6 $K_d=10.2/6$, $M_d=3.3/5$, $M_c=3.2/1$	8			

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Сеть			
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км		n	Δ_{\min}°	Δ_{\max}°	gap $^\circ$
Оперативный СБ ГС РАН	09 04 27.82	1.34	47.162	0.12	37.228	0.06	48	$MPSP=4.2/1$	21	2.37	23.18	78
То же, уточнение [3]	09 04 28.79	0.7	46.944	0.06	36.997	0.04	24±5 14 _{pp}	$ML=3.7\pm 1/3$, $K_p=9.8\pm 0.3$	28	1.69	23.35	58
Карпатский центр [2]			46.74		37.06		53		21			
REB EIDC [4]	09 04 27.52	1.51	47.0268	0.16	36.7876	0.11	0f	$ML=3.2/5$, $m_b=3.4/1$	8	6.20	20.40	130
CSEM [4]	09 04 23.50	0.92	46.9992	0.08	37.1399	0.06	15	$m_b=4.2$	18	2.21	23.3	78
NEIC [4]	09 04 26.50	1.33	47.208	0.10	37.288	0.09	10f	$ML=3.2\pm 0.2/5$, $m_b=3.4/1$	12	2.41	23.14	86
ISC [4]	09 04 25.15	1.22	46.9333	0.06	37.1406	0.05	12.4	$ML=3.5/1$	39	2.14	23.39	77

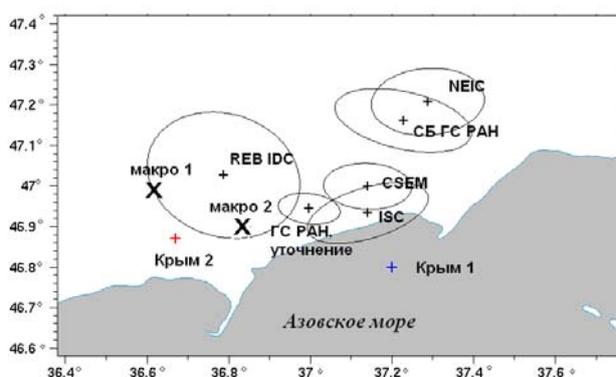


Рис. 2. Положение эпицентра землетрясения 31 июля в 2006 г. в 09^h04^m по данным различных центров

уточнении положения землетрясения 31 июля 2006 г. в 09^h04^m, показана на рис. 3.

Из-за расположения очага землетрясения в краевой части региона энергетический класс $K_p=(9.8\pm 0.2)/6$ определен по номограмме Т.Г. Раутиан [5]. Класс по длительности по [6] немного выше – $K_d=10.2/6$. Магнитудные оценки землетрясения получены следующие: по длительности записи $M_d=3.3/7$ [6], по коду волн $M_c=3.2/1$, по продольной волне (из программы WSG) $m_b=2.6/2$.

Что касается инструментального значения глубины, то при таком расположении станций относительно эпицентра ($\Delta_{\min}=170$ км) не может быть точного определения глубины в случае очага в земной коре, т.е. параметр h является физически неопределенным. Правильнее было бы при локации фиксировать значение глубины.

Как показывает табл. 1, разброс координат по данным различных центров существенен и достигает 30 км по широте, 50 км по долготе, 53 км по глубине. На неточность решения показывают и довольно большие эллипсы ошибок определения эпицентра (рис. 2). Это может быть объяснено удаленностью сейсмических станций от места землетрясения, ближайшая сейсмическая станция удалена примерно на 170 км.

Для уточнения параметров были собраны и дополнительно проинтерпретированы цифровые записи ряда станций. Виртуальная сеть станций, участвующая в

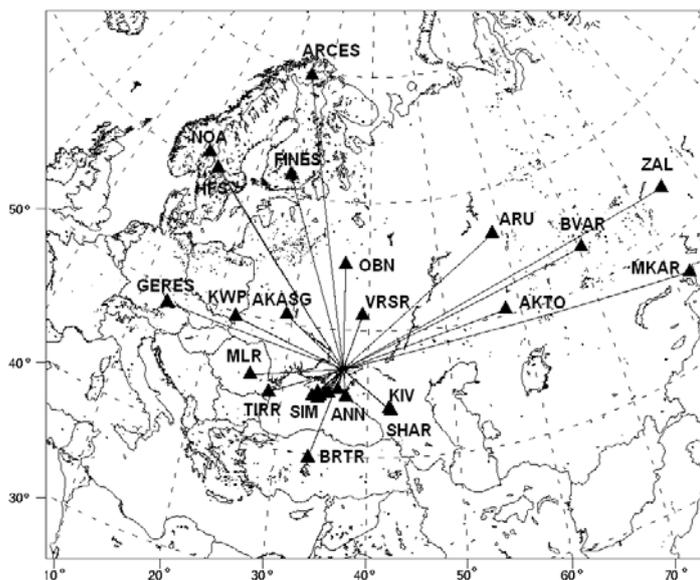


Рис. 3. Положение сейсмических станций, зарегистрировавших землетрясение 31 июля 2006 г. в 09^h04^m

В работе [3] с помощью кепстрального анализа записи на одном из элементов сейсмической группы FINES удалось выделить глубинную фазу pP с задержкой 3.2^s после прихода P -волны на станцию, что соответствует глубине $h=14$ км. Такое значение хорошо согласуется со значениями h по данным CSEM, NEIC и ISC (табл. 1). В [2] определено значение h по макросейсмическим данным, и оно находится в интервале 9–15 км.

Особенности волновой картины. Записи землетрясения практически на всех станциях были осложнены довольно высоким уровнем помех и для выделения сейсмических фаз приходилось применять различные полосы фильтрации и другие способы трансформирования записей. Особенно это важно было для выделения первого вступления или фазы Pn и вторичной фазы Pg , которые чаще всего выделялись с очень небольшим отношением сигнала к шуму. На ближайших станциях эти фазы уверенно выделялись лишь на записях «Анапа» и «Судак» (рис. 4). На записях станций «Симферополь»–SYM, «Алушта»–ALU и «Ялта»–YLT вступления P -волн различаются крайне неуверенно. Наиболее интенсивны волны Sg (Lg). Нечеткие первые вступления и на других станциях не позволили собрать данные о знаке первого движения в P -волнах и, соответственно, построить механизм очага этого землетрясения.

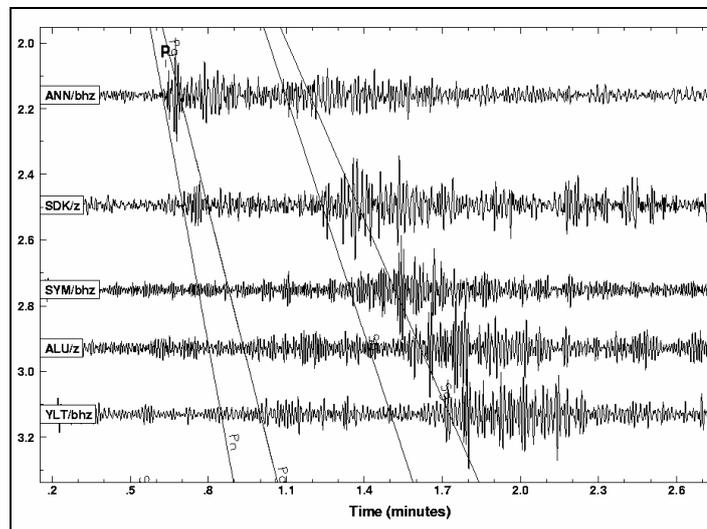


Рис. 4. Записи вертикальной компоненты ближайших к очагу землетрясения 31 июля 2006 г. в 09^h04^m сейсмических станций, наложенные на кривые годографа АК135 [7]

Записи на станции «Сторожевое»–VRSR, удаленной на расстояние $\Delta=4.5^\circ$, вопреки утверждению в [2] – «Вид волновой картины землетрясения больше соответствует поверхностному очагу, либо событию нетектонической природы» – показывают насыщенность записи высокими частотами, малые амплитуды и плохую выраженность на записи поверхностной волны, в отличие от записи взрыва на той же станции в карьере «Павловск» (рис. 5), что не может служить подтверждением мелкофокусности очага.

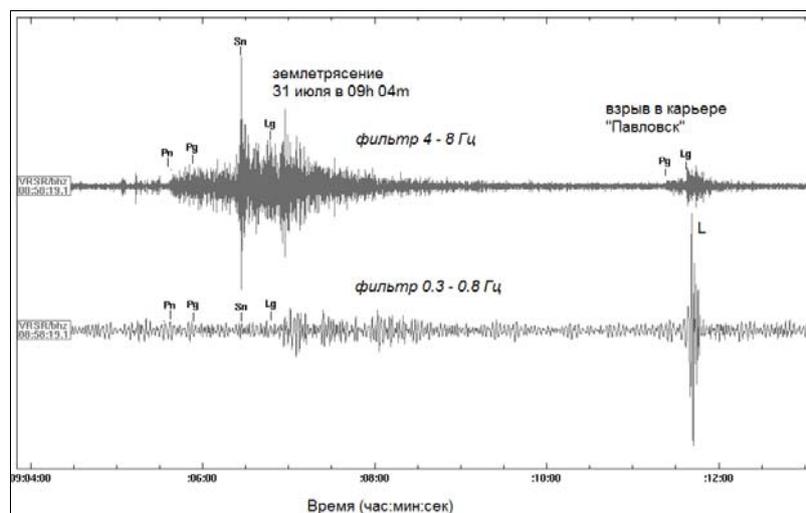


Рис. 5. Фрагмент записи вертикальной компоненты станции «Сторожевое» землетрясения 31 июля 09^h04^m и взрыва в карьере «Павловск» 31 июля 2006 г. 09^h11^m

Верхняя запись отфильтрована в полосе частот $f=4-8$ Гц, нижняя $f=0.3-0.8$ Гц.

Спектральные и очаговые параметры для этого землетрясения рассчитаны в [8] по амплитудному и энергетическому спектру записи поперечной волны прибором СХ (составляющая E-W) станцией «Феодосия» и получены следующие динамические параметры очага: сейсмический момент $M_0=10.69 \cdot 10^{13}$ Н·м, сброшенное напряжение $\Delta\sigma=1.20 \cdot 10^5$ Па, средняя подвижка по разрыву $\bar{u}=0.21 \cdot 10^{-2}$ м. По сейсмическому моменту M_0 рассчитана моментная магнитуда, ее значение составило $M_w=3.3$ [8].

Исторические сведения. Эпицентр Осипенковского землетрясения 31 июля располагается в Азово-Кубанской зоне Крымско-Нижнекубанского региона, где землетрясения случаются редко. Согласно [9, 10], в этом районе в XIX–XX вв. известно несколько землетрясений, хотя в основном они находятся восточнее настоящего землетрясения (рис. 6). Параметры их относительно [9] претерпели изменения благодаря исследованиям последних лет А.А. Никонова и нашли отражение в «Специализированном каталоге ...» [10] (табл. 2). На основе не известных ранее и принципиально новых геологических, сейсмических и археосейсмических данных выделен протяженный Северо-Азовский сейсмолинеament [11].

Таблица 2. Параметры ощутимых землетрясений за период 1814–2006 гг. в Азово-Кубанской зоне по [10]

№	Дата, д м г	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	M	I_0 , баллы	№	Дата, д м г	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	M	I_0 , баллы
			φ°, N	λ°, E							φ°, N	λ°, E			
1	10.05.1814		47.25	38.80	5	2.5	4	5	07.11.1902	14 08 00	46.60	38.40	10	3.5	4–5
2	29.03.1816		47.20	38.50	5	2.8	4–5	6	20.06.1940	08 00 00	47.11	38.08	8	3.5	4–5
3	17.12.1859		47.30	39.10	10	3.5	4	7	17.07.1990	13 15 23.8	46.39	37.71	34	4.2	
4	01.10.1902	16 30 00	46.60	36.30	5	2.5	3–4	8	31.07.2006	09 04 28.79	46.944	36.997	24	3.7	5

Как можно заметить на рис. 6, большая часть этих землетрясений происходила на северном побережье Таганрогского залива Азовского моря. Осипенковское землетрясение заполнило брешь между эпицентрами 1 октября 1902 г. и 2 июня 1940 г.

В инструментальный период наблюдений известно землетрясение 17 июля 1990 г. с $K_{II}=11.5$ [12]. Следует заметить, что, как отмечается в [12], сейсмичность этого района слабо изучена из-за полного отсутствия на Азовском побережье сейсмических наблюдений.

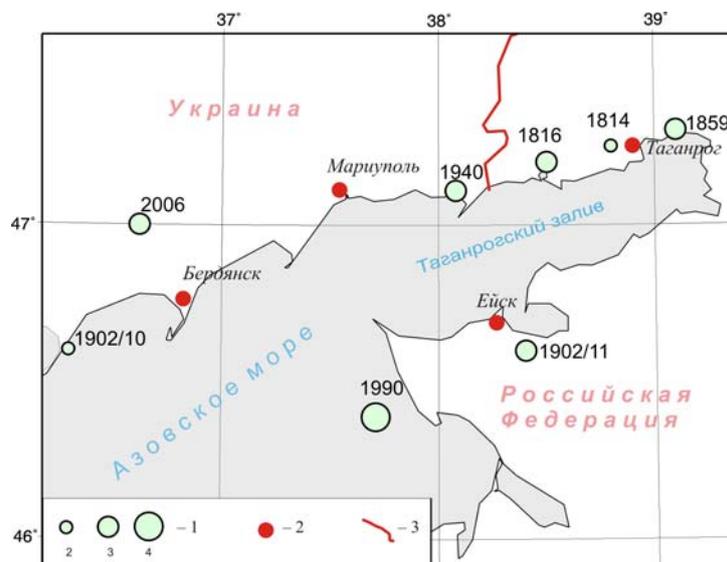


Рис. 6. Землетрясения в Азово-Кубанской зоне за период 1814–2006 гг.

1 – магнитуда $M=2$, 3, 4 в соответствии с размером кружка, 2 – наиболее крупные города, 3 – государственная граница Российской Федерации и Украины

Макросейсмические сведения собраны при обследовании эпицентральной зоны сотрудниками отдела сейсмологии ИГ НАНУ. Подробный опрос выполнен только в г. Бердянске

и Приморском. В остальных пунктах сведения получены от случайных свидетелей. Несмотря на это, собранный материал позволил произвести оценки интенсивности сотрясений вблизи эпицентра и построить две версии карт изосейст затухания балльности (рис. 7 и 8).

Обработка результатов опроса населения осуществлялась по опросной таблице, составленной на базе шкалы MSK-64 [13] и предложенной И.В. Ананьиним крымским сейсмологом для практического использования. По оценкам крымских сейсмологов *первый вариант макросейсмического эпицентра* с координатами $\varphi=47.00^{\circ}\text{N}\pm 0.13^{\circ}$, $\lambda=36.62^{\circ}\text{E}\pm 0.26^{\circ}$ расположен к северо-западу от Бердянска в центре треугольника, составленного поселками Андреевка, Елисеевка и Осипенко (рис. 7), в которых землетрясение ощущалось с интенсивностью $I=5$ баллов по шкале MSK-64.

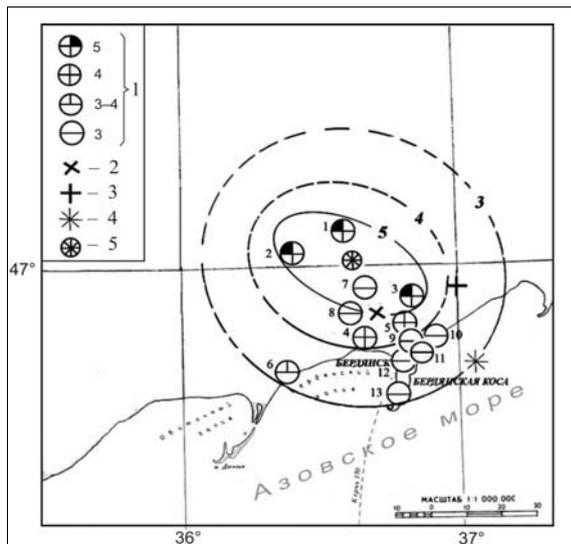


Рис. 7. Первый вариант схемы изосейст землетрясения 31 июля 2006 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2–4 – инструментальные эпицентры Крымской сети, ГС РАН и Карпатской сети соответственно; 5 – макросейсмический эпицентр (первый вариант).

В большинстве остальных пунктов интенсивность колебаний находится в пределах 3 баллов, за исключением г. **Приморска**, где интенсивность колебаний от 3 до 4 баллов: «Паника на базе отдыха, люди боялись заходить в дома». Отметим, что трехэтажное здание базы отдыха расположено на песчаном берегу моря, и, возможно, усиление интенсивности колебаний произошло из-за плохих грунтовых условий.

Приведем еще несколько наиболее интересных сообщений из зоны трехбалльных сотрясений: в **Бердянске** дежурный в здании горисполкома сообщил: «Обращений достаточно много». В том же здании на втором этаже сотрудница: «Сидела за компьютером, почувствовала легкое дребезжание, не поняла, как будто танки проехали очень быстро. Не обратила внимания, у сидевшей рядом сотрудницы завис компьютер». На 4-м этаже здания горисполкома в отделе чрезвычайных происшествий: «Сидели. По звуку показалось, что два взрыва, сразу задрожало здание, не поняли». Улица Руденко, ба, 2-й этаж двухэтажного дома: «Находились в помещении, сидели, не испугались. Почувствовали один толчок, ощущение, как от удара (где-то что-то упало), направление удара сначала снизу, затем вертикальное движение вверх (на землетрясение не похоже), продолжительность 2–3^с». Дача на восток от города: «Сидела в саду на очень толстом бревне, говорила с соседкой, ощутили движение (раскачивание), гул, как будто танки прошли со стороны **Новопетровки**, удивилась, не поняла, услышала дребезжание». **Поселок АКЗ** в северной части Бердянска: «Посыпалась посуда». В селах **Новопетровка**, **Новотроицкое**, в пос. **Роза** получены краткие сообщения: «Ощущали толчки». На **Бердянской косе**: «Дрожание грунта». Дополнительно еще два сообщения, полученные из МЧС Бердянска по телефо-

Особенно убедительные сведения об интенсивности сотрясений получены из села **Осипенко**: «Сидели в кресле с дочкой, испугались, выбежали, услышали звук: гул, как будто прошла тяжелая машина; на крыше, вроде бы показалось, грохот, как эшелон рядом; дрожь, как будто крыша валится, стены вибрируют; две волны, около трех минут; в комнатах за обоями посыпался песок». Судя по этим показаниям интенсивность сотрясений можно оценить с 5 до 6 баллов. Завышение длительности колебаний до трех минут можно объяснить сильным испугом свидетельницы. Более краткие сообщения получены из с. **Андреевка**: «Ощутили сильно» и с. **Елисеевка**: «Очень сильно колебалась земля».

Колебания с интенсивностью $I=4$ балла отмечены в селах **Нововасильевка**: «Как два взрыва, вздрогнула земля», и **Луначарское**: «Ощутили как взрывы, качались люстры». Поскольку люстры качались, видимо, не еле заметно, имеем полное право считать, что интенсивность колебаний была не менее 4 баллов.

ну: *Елисеевка* (зона 5 баллов): «Колебания дома», *Приморск*, здание милиции, 1-й этаж: «Качались шкафы, полочки».

Основные макросейсмические сведения о землетрясении представлены в табл. 3. Расстояние от макросейсмического эпицентра дано для первой и второй версий.

Таблица 3. Макросейсмические сведения о землетрясении 31 июля 2006 г. с $K_p=9.8$

№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta^1,$ км	$\Delta^2,$ км	№	Пункт	φ°, N	λ°, E	$\Delta^1,$ км	$\Delta^2,$ км
<u>5 баллов</u>						<u>3 балла</u>					
1	Андреевка	47.10	36.58	9	28	7	Новотроицкое	46.96	36.65	8	15
2	Елисеевка	47.01	36.41	17	33	8	Роза	46.86	36.68	15	15
3	Осипенко	46.91	36.83	19	1	9	Пос. АЗК	46.80	36.84	28	15
<u>4 балла</u>						10	Новопетровка	46.79	36.91	32	10
4	Луначарское	46.81	36.68	22	17	11	Бердянск	46.76	36.81	32	17
5	Нововасильевка	46.85	36.9	23	8	12	Дачи	46.78	36.81	33	26
<u>3–4 балла</u>						13	Средняя коса	46.62	36.77	41	31
6	Приморское	46.73	36.37	43	40						

Знание максимальной балльности вблизи эпицентра позволяет оценить глубину очага. Для этого используем стандартное уравнение макросейсмического поля из [14]:

$$I_0 = bM - v \lg h + c. \quad (1)$$

Для расчета взяты средние значения коэффициентов: $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$, применимые к платформенным очагам землетрясений [14]. По результатам макросейсмического обследования, приведенным выше, интенсивность сотрясений достигала максимум $I_0=5$ баллов. При магнитуде $M_w=3.3$ получим глубину землетрясения $h=7$ км. Если принять магнитуду по удаленным станциям $MS=3.7/3$ [2], то глубина получится $h=10$ км. Примерно такой же порядок глубины очага $h=6$ км получим, если воспользуемся номограммой из [14], в которой за параметры принимаются среднее расстояние в км между изосейстами 5 и 3 балла и количество изосейст. Совершенно очевидно, что этот порядок глубин ближе к действительности, чем инструментальные определения по удаленным сейсмическим станциям. В самом деле, если принять глубину, равную среднему значению из трех вышеприведенных инструментальных значений $h=37$ км, то по формуле (1) при $M=3.3$ получим балльность в эпицентре $I_0=2.5 \pm 0.5$ балла, что противоречит макросейсмическим данным. Из этого факта видно, насколько важно для уточнения основных параметров удаленных землетрясений иметь макросейсмические данные. Даже неполные данные позволили достаточно точно определить глубину очага.

Второй вариант макросейсмического эпицентра. Собранные макросейсмические данные лишь односторонне описывают эпицентральную область, что позволяет выдвинуть еще одну версию их интерпретации. Так как ни в *Андреевке*, ни в *Елисеевке* не было произведено макросейсмического обследования с выездом на места, а сообщения были слишком краткими для убедительного присваивания этим пунктам конкретных высоких баллов, то в качестве пункта с балльностью 5 примем только с. *Осипенко*. А эффекты в селах *Андреевка* и *Елисеевка* будем рассматривать как локальные, связанные, например, с особенностью грунтов. В таком случае координаты макросейсмического очага вблизи с. Осипенко составят – $\varphi=46.91^\circ N$, $\lambda=36.83^\circ E$.

В других источниках, например в сейсмологическом бюллетене ГС РАН, для Бердянска дается оценка в 3–4 балла. Это показывает на неоднозначность (значимую погрешность) трактовки макросейсмических данных, собранных в основном по телефону. Предположительное положение изосейст во втором варианте – вдоль побережья Азовского моря, что не противоречит простиранию тектонических структур в этом районе, а также эпицентральному полю оцутимых в 1814–2006 гг. землетрясений на рис. 6. Такое положение макросейсмического эпицентра лучше увязывается с инструментальными данными и положением эпицентров по различным центрам. Как видно из рис. 2 и рис. 8, различия положений макросейсмического (второй вариант) и

инструментального эпицентров в таком случае можно объяснить величиной погрешности определения последнего, иллюстрируемой областями эллипсов ошибок определения.



Рис. 8. Карта пунктов-баллов землетрясения 31 июля 2006 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – второй вариант макросейсмического эпицентра; 4 – изосейста.

Л и т е р а т у р а

1. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М., Антонюк Г.П., Бухарина Л.И., Горячун Ю.Г., Курьянова И.В., Ткаченко А.И. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 2006 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2008. – С. 112–137.
2. Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Князева В.С., Бушмакина Г.Н. Бердянское землетрясение 31.07.2006 // Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2008. – С. 27–30.
3. Габсатарова И.П., Бабкова Е.А. Параметры Бердянского землетрясения 31 июля 2006 года с $M_S=3.3$ (Украина, Запорожская обл.) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2008. – С. 18–26.
4. *Bulletin of the International Seismological Centre for 2006*. – Berkshire: ISC, 2008.
5. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; №32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
6. Пустовитенко Б.Г. Определение энергии землетрясений Крыма по длительности колебаний // Сейсмический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН (Крым–Карпаты) в 1970–1974 гг.– Киев: Наукова думка, 1980. – С. 34–39.
7. Kennett B.L.N., Engdahl E.R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times // *Geophys Journ. Int.* – 1995. – 122. – P. 108–124.
8. Поречнова Е.И., Сыкчина З.Н. Очаговые параметры землетрясений Крыма. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст сб.).
9. Ананьин И.В. (отв. сост). XIV. Европейская часть СССР, Урал и Западная Сибирь [1467–1974 гг.; $M \geq 3.0$; $I_0 \geq 4$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 465–470.
10. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии для общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (СКЗ ОСР-2012) / Отв. ред. В.И. Уломов. – [Электронный ресурс]. – http://seismorus.ru/eq/spec_catalog

11. **Никонов А.А., Шварев С.В.** Землетрясения доисторического периода в системе совершенствования оценок сейсмической опасности/безопасности (Восточно-Европейская платформа и ее обрамление) // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы седьмой общероссийской конференции изыскательских организаций, 15–16 декабря 2011 г. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2011. – С. 223–225
12. **Пустовитенко А.Н., Пантелеева Т.А.** Землетрясения Крыма // Землетрясения СССР в 1990 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. –С. 20–23.
13. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. **Шебалин Н.В.** Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.