

ГЛУБОКОЕ КАРПАТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1838 г.¹

© 2021 г. Н. Г. Мокрушина^{1,*}, Р. Э. Татевосян^{1,**}, Р. Н. Вакарчук^{1,***}

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: nina305@inbox.ru

**E-mail: ruben@ifz.ru

***E-mail: roman@ifz.ru

Поступила в редакцию 30.11.2020 г.

После доработки 31.01.2021 г.

Принята к публикации 25.03.2021 г.

Глубокие землетрясения возникают в зонах субдукции – они играют ключевую роль в модели глобальной тектоники. На Земле есть всего несколько мест, где глубокофокусная сейсмичность наблюдается на континентах в небольших локализованных областях на значительном удалении от современных зон субдукции, в частности в зоне Вранча в Карпатах. Сильнейшие глубокие землетрясения Вранча ощущаются на расстоянии свыше 1000 км. Фактически они определяют сейсмическую опасность Восточно-Европейской платформы, где локальные очаговые зоны либо отсутствуют, либо характеризуются небольшими магнитудами. Поэтому изучение глубоких Карпатских землетрясений имеет большое значение для адекватной оценки сейсмической опасности Восточно-Европейской платформы. Мы исходим из того, что хотя сильнейшие глубокие Карпатские землетрясения исследованы достаточно полно и детально, не вся существующая информация исчерпана. Поиск ранее неизвестных первоисточников может обнаружить новые сведения о макросейсмическом эффекте и, соответственно, привести к более надежным и точным определениям параметров землетрясений. Объектом исследования в настоящей статье является глубокое Карпатское землетрясение 1838 г. на основании оригинальных описаний из первоисточников. Магнитуда землетрясения определена с использованием нового подхода, основанного на минимизации невязок между расчетными и наблюдаемыми интенсивностями сотрясений во всех населенных пунктах. Показано, что магнитуда землетрясения 1838 г. недооценена в опубликованных каталогах ориентировочно на 0.5 единиц. Мы полагаем, что основная причина была в недостаточной полноте используемых ранее макросейсмических данных в дальней зоне.

Ключевые слова: Исторические землетрясения, макросейсмика, уравнение макросейсмического поля, глубокие землетрясения Карпат.

DOI: 10.31857/S0002333721060053

ВВЕДЕНИЕ

Глубокие землетрясения возникают во всех зонах субдукции – они играют ключевую роль в модели глобальной тектоники. Но на Земле есть всего несколько мест, где землетрясения с глубиной гипоцентра более 70 км происходят на континентах в небольших локализованных областях на значительном удалении от современных зон субдукции, в частности в зоне Вранча в Карпатах.

Глубокие землетрясения Вранча оказывают разрушительные воздействия на населенные пункты в эпицентральной зоне. При этом макросейсмический эффект этих землетрясений наблюдался также на аномально большом удалении от очага. Сильнейшие из известных землетрясе-

ний Вранча ощущались на расстоянии свыше 1000 км. Как правило, это землетрясения с моментной магнитудой $M_w \geq 7$. Фактически они определяют сейсмическую опасность почти всей Восточно-Европейской платформы, где локальные очаговые зоны либо отсутствуют, либо характеризуются небольшими магнитудами (обычно, менее 4). Поэтому изучение глубоких Карпатских землетрясений имеет большое значение для адекватной оценки сейсмической опасности Восточно-Европейской платформы.

Информационная обеспеченность землетрясений Вранча, естественно, существенно менялась во времени. Для периода 1000–1500 гг. основной источник сведений – древнерусские летописи. В них приводились сообщения о колебаниях земли в Киеве, Москве, Суздале, Владимире, Новгороде, Переславле. Поскольку данных из эпицентральной зоны в то время не было, отнесение зем-

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0002333721060053 для авторизованных пользователей.

летрясений в каталогах к зоне Вранча опиралось на не высказанную в явном виде гипотезу об отсутствии локальных очагов землетрясений на Русской равнине [Tatevossian, Albin, 2010]. В дальнейшем ситуация изменилась и идентификация глубокофокусных землетрясений Вранча основывалась на сведениях о макросейсмическом эффекте в эпицентральной и дальней зонах.

Следующие почти 250 лет (1500–1750 гг.) глубокофокусные Карпатские землетрясения идентифицировались по макросейсмическим проявлениям на расстояниях до 500 км (Киев). То, что сведений из более далеких населенных пунктов не было, скорее всего, связано с условиями регистрации и обеспечения сохранности таких сведений в населенных пунктах на Русской равнине [Tatevossian, 2004]. Первое землетрясение, для которого есть информация о сотрясениях как в ближней, так и дальней зонах², это сейсмическое событие 1738 г. В каталоге [Новый каталог..., 1977]³ радиус изосейсты 4 балла равен 800 км (по двум пунктам).

С 1800-х годов параметры сильнейших глубоких землетрясений зоны Вранча определялись по совокупности информации из ближней и дальней зоны. Значения параметров могут несколько различаться в разных каталогах, но глубокие землетрясения Карпат идентифицируются однозначно. Наиболее сильными сейсмическими событиями в первой половине XIX в. являются землетрясения 1802 г. и 1838 г. Их параметры представлены в Новом каталоге; с небольшими изменениями они переносились в последующие каталоги [Shebalin et al., 1998].

Сведения о макросейсмическом эффекте глубоких Карпатских землетрясений XIX в. можно обнаружить также в современных публикациях (например, [Никонов, 2013; Татевосян, Мокрушина, 2004; Друмя и др., 2009; Степаненко, Карданец, 2013; Constantin et al., 2009; 2010; Rogozea et al., 2014]). Некоторые публикации рассматривали в основном максимальные эффекты в эпицентральных областях, другие — интересовались проявлением землетрясения на территории отдельных стран: Румынии, Молдавии, Венгрии, Украины, часто в связи с сейсмическим районированием этих стран.

В некоторых современных публикациях полагают, что макросейсмическая информация о Карпатских землетрясениях XIX века уже собрана и обобщена в основных описательных каталогах. По дальней и ближней зоне — это каталог Мушкетова и Орлова [Мушкетов, Орлов, 1893], по ближней зоне — каталог Рэтли [Réthly, 1952], по “про-

межуточной” зоне — каталог Ласка [Laska, 1902; Евсеев, 1961]. Поэтому внимание уделяется переоценке интенсивности сотрясений в населенных пунктах на основании уже известных описаний и уточнению параметров землетрясений. При этом не учитывается, что указанные компиляции иногда переписывают информацию не из оригинальных источников, что может стать причиной значительных искажений, особенно, в связи с тем, что такое переписывание часто связано с переводами с одного языка на другой. В итоге возникает разрыв между исходной информацией и ее интерпретацией. В целом перечисленные выше компиляции следует признать достаточно надежными. Тем не менее, проверки некоторых записей в них, проведенные как авторами настоящей публикации, так и другими исследователями, выявили неточности в ссылках, искажение информации в основном из-за сокращения оригинальных текстов, хотя именно детали описаний помогают правильно оценить природу наблюдавшихся эффектов и их интенсивность [Stucchi et., 2012]. Использование оригинальных источников информации рекомендовалось в крупных проектах по ревизии исторической сейсмичности уже с середины 1990-х годов [Stucchi, 1993; Albin, Moroni, 1994], но эта рекомендация не всегда соблюдается.

Мы исходим из того, что хотя сильнейшие глубокие Карпатские землетрясения исследованы достаточно полно и детально, не вся существующая информация исчерпана. Поиск ранее неизвестных первоисточников может обнаружить новые сведения о макросейсмическом эффекте и, соответственно, привести к более надежным и точным определениям параметров землетрясений.

Для оценки сейсмической опасности необходимы сведения о сейсмическом источнике и характере затухания колебаний от источника до той области, для которой оценивается опасность. Если сейсмическую опасность определять в терминах макросейсмической интенсивности, то очаг полностью описывается положением гипоцентра и магнитудой. Специфической особенностью глубоких Карпатских землетрясений является то, что их очаги сосредоточены в небольшой пространственной области, положение которой известно достаточно точно (табл. 1, рис. 1). Соответственно в качестве неизвестного параметра остается магнитуда землетрясения.

Объектом исследования в настоящей статье является глубокое Карпатское землетрясение 1838 г. на основании оригинальных описаний из первоисточников. Мы сознательно не пошли по пути включения в один набор исходных данных принципиально разнотипной информации. В нашем собрании исходных данных есть только сведения из оригинальных источников, которые можно предъявить в качестве обоснования оценок балльности в каждом населенном пункте

² В настоящей статье под дальней зоной понимаются эпицентральной расстояния свыше 500 км.

³ Далее, Новый каталог.

Таблица 1. Землетрясения с глубиной $H \geq 70$ км [International..., 2020]

Год	Мес.	День	Час	Мин	Сек	Шир., °	Дол., °	Глубина, км	M_w
1929	11	1	6	57	24.7	45.815	26.585	155	5.79
1934	3	29	20	6	50.22	45.861	26.624	105	6.72
1940	10	22	6	37	1.06	45.59	26.383	130	6.63
1940	11	10	1	39	11.12	45.72	26.426	150	7.74
1945	9	7	15	48	26.41	45.734	26.606	85.9	6.70
1977	3	4	19	21	57.16	45.916	26.665	91.4	7.47
1986	8	30	21	28	36.96	45.584	26.377	135.9	7.21
1990	5	30	10	40	7.34	45.796	26.624	90.3	6.93
1990	5	31	0	17	49.58	45.802	26.727	90.2	6.28
2004	10	27	20	34	37.01	45.782	26.644	96.5	5.79
2016	9	23	23	11	20.44	45.765	26.557	95.3	5.71
2016	12	27	23	20	56.3	45.750	26.496	98	5.61

(табл. 2)⁴. Конечно, наши оценки могут быть, в некоторых случаях, ошибочными. Но всегда можно привести оригинальные описания, на которые они опираются: всегда есть возможность соотнести бальность с эффектом.

Принятое решение по составлению исходных данных создает уникальную возможность проверить, можно ли получить достаточно точную оценку магнитуды исторического землетрясения при отсутствии сведений из эпицентральной зоны. Это чрезвычайно важно с методической точки зрения. Ведь в случае возникновения очага землетрясения в море, сведения из эпицентральной зоны отсутствуют по определению. Так, макросейсмическая база данных, собранная для Лиссабонского землетрясения 1755 г. включает более 1214 населенных пунктов [Martinez Solares, Rodriguez, 2002]. Это уникальная коллекция по числу пунктов. При этом эпицентр находится в океане, более чем в 100 км от ближайшего участка побережья. При колоссальном объеме информации, данных из эпицентральной зоны нет и не может быть.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Землетрясение произошло вечером 11 января (23 января н.ст.) 1838 г. Макросейсмические сведения собраны в табл. 2⁴. В таблицу включены не все известные нам сведения. Например, нет большого смысла приводить описание макросейсмического эффекта в Бухаресте из газеты С.-Петербур-

бургские Ведомости, № 31, 8 фев. 1838 г. “11 числа января месяца, вечером в 8 ч 56 мин, в Бухаресте было землетрясение, столь сильное, что многие здания частью разрушились и частью значительно повреждены; стены огромной ограды монастыря Св. Георгия, находящегося в центре города, с трех сторон обвалились, и как вышина их составляла более 8 сажень, то они своим падением во многих местах совершенно разрушили противоположные дома и лавки.... Сотрясение продолжалось от 50 до 70 с. Печи, столь необходимые при продолжающихся здесь сильных морозах, везде почти разрушились, и падение труб сделало проломы во многих не слишком прочных крышах...”, когда есть много более детальные и полные описания в румынских источниках (хотя конкретно это сообщение ранее не использовалось). В таблице приведены только сведения, которые существенно дополняют известную ранее информацию и уточняют картину пространственного распределения макросейсмического эффекта.

Оценка интенсивности в баллах проведена экспертно. Несмотря на присущую такому методу субъективность, это основной метод, который применяется по отношению к анализу макросейсмической информации исторических землетрясений.

Таблица 2⁴ отсортирована по убыванию бальности. Иногда в одном источнике приведены сведения о нескольких пунктах, иногда об одном и том же пункте данные приводятся в нескольких источниках. Причем, они могут как дублировать друг друга, так и приводить независимую информацию. Все это отражено в таблице⁴. Современное название пункта дано в скобках. Координаты

⁴ См. доп. материал к данной статье.

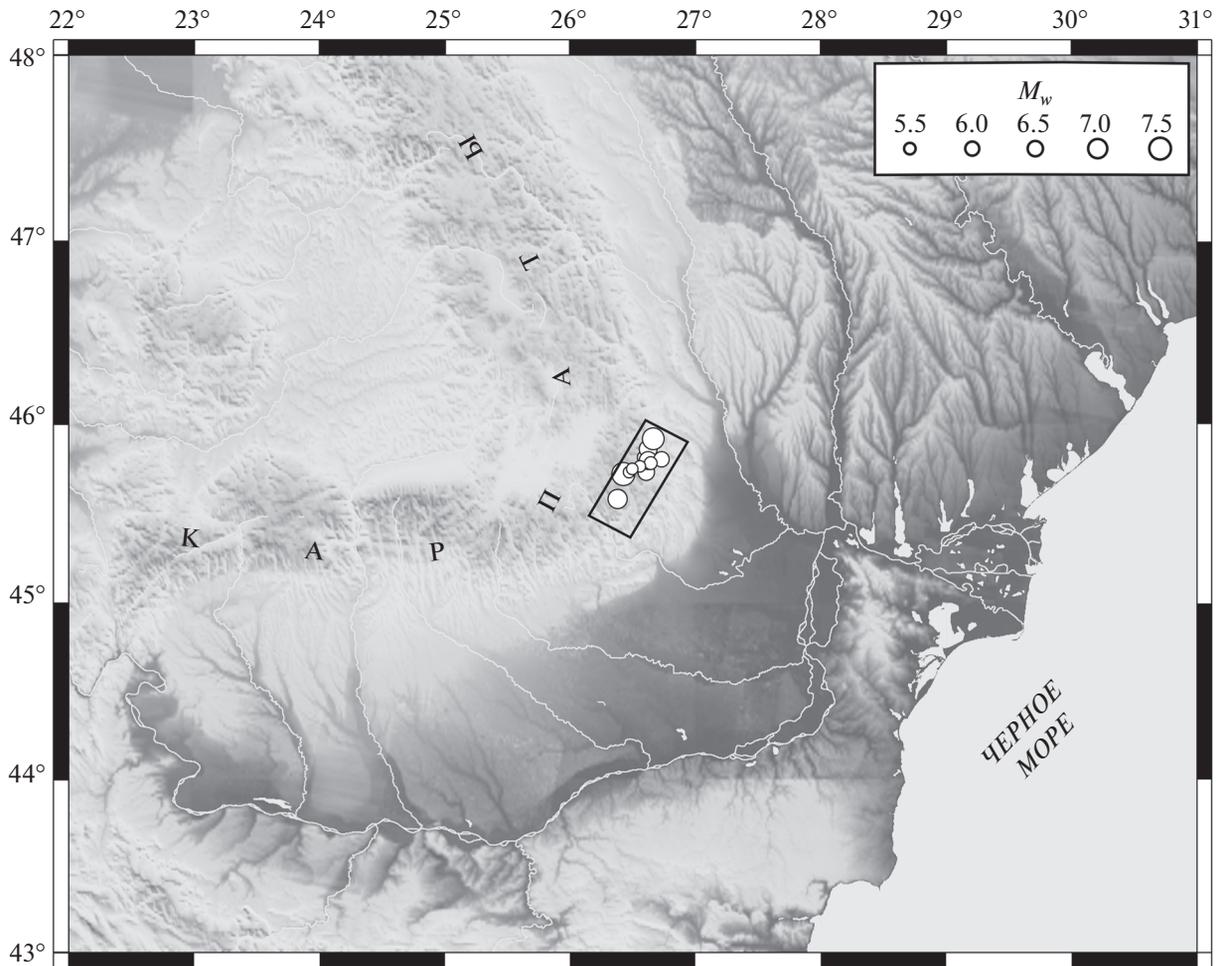


Рис. 1. Эпицентры глубоких землетрясений Карпат по данным табл. 1. Прямоугольник очерчивает область Вранча.

даны в градусах с долями северной широты и восточной долготы; интенсивность – в баллах шкалы MSK64.

Обеспеченность оценок интенсивности в различных пунктах несопоставима. Есть пункты, которые упоминаются в общем списке, без конкретного описания; есть пункты, сведения из которых фактически соответствуют современным стандартам макросейсмического обследования. В частности, для Николаева есть полный отчет по зданиям (табл. 3).

Все пункты табл. 2⁴ показаны на рис. 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТУДЫ

Для определения магнитуды традиционно используются карты изосейст; по их радиусам оценивают магнитуду. Эта методика была разработана еще в середине 1970-х годов [Шебалин, 1974]. Поскольку положение очаговой зоны землетрясений зоны Вранча известно заранее, в статье [Татевосян, Мокрушина, 2004] предлагалось маг-

нитуду исторического землетрясения определять сопоставляя интенсивность сотрясений в различных населенных пунктах от исторического и современного землетрясения с известной инструментальной магнитудой. С применением этого подхода была предложена оценка магнитуды землетрясения 1802 г. $M_w = 7.9$ (верхний предел оценки). В Новом каталоге приводилось значение магнитуды землетрясения 1802 г. $M = 7.4 \pm 0.5$.

В настоящей статье предлагается использовать иной подход, основанный на минимизации невязок между расчетными и наблюдаемыми интенсивностями сотрясений.

Рассмотрим уравнение макросейсмического поля в форме Шебалина [Шебалин, 1974]:

$$I = bM - v \lg(\sqrt{R^2 + H^2}) + c, \quad (1)$$

где: I – интенсивность в баллах шкалы MSK64; M – магнитуда землетрясения; R – эпицентральный расстояние в км; H – глубина гипоцентра в км; b , v , c – константы. Для исследуемого события приняты коэффициенты $b = 1.5$, $v = 3.5$ и $c = 3.6$ [She-

Таблица 3. Ведомость о повреждениях происшедших в казенных зданиях Николаевского Порта, от бывшего землетрясения 11 числа Генваря в 9 ч 14 мин пополудни (К рапорту Главного Командира – РГАВМФ: фонд № 243, опись 1–2 ед. хранения № 4227)

№ Именованние домов	Какие именно произошли повреждения
1. В доме Главного Командира.	В пристройках к корпусу здания и флигелях каменных есть небольшие в стенах разселины над окнами и дверьми.
2. В доме Перелешина.	В стенах над некоторыми окнами и дверьми, а равно в печах и дымовых трубах, оказались небольшие отвесные трещины.
3. В доме Поджиевском.	То же
4. В доме Общего Собрания.	В наружных сенах есть небольшие трещины над окнами, а во внутренних над дверьми и отверстиями в залах; печи с трубами потрескались, и в верхнем этаже во флигелях, печи, на половых балках основанные, несколько от стен уклонились.
5. В здании Штаба Черноморского флота и портов.	В поперечных внутренних простенках видно в отвесном направлении довольно трещин; над окнами оказались разселины и тронуло печи и дымовые трубы.
6. В Адмиралтейской Соборной церкви.	Над полуденными и северными дверьми, посредине арок, оказались небольшие трещины.
7. В здании Штурманскою ротом занимаемом.	Повреждение состоит более в стене, выходящей на улицу, и в углу здания, прилежащего к Адмиралтейству, где в 3-х спальных каморах, по потолкам приметен уклон стен; над некоторыми окнами и дверьми есть также небольшие трещины; в печах и дымовых трубах везде почти есть трещины
8. В здании Артиллерийским училищем занимаемом.	В печах и трубах есть разселины, которые всюду почти видны над окнами и дверьми, а в арках полукруглых окон, оне больше; в мезонине же, на самом своде, трещины небольшие, но по концам свода боковые стены примыкающих пристроек отделились; на фронтоне, с наружной стороны, осыпалась закладка из прежней закрытой трещины, и тем показывает уклон боковых пристроек в обе стороны.
9. В здании старую Экспедициею именуемом.	В верхнем этаже печь с трубою у поперечной западной стены немного осела; во внутренних двух поперечных простенках и над некоторыми окнами и дверьми, есть небольшие вертикальные трещины.
10. В здании Морскою Госпиталю занимаемом.	Над некоторыми окнами и дверьми видны небольшие трещины; у Офицерского Лазарета одна приделка сеней немного отстала, печи и трубы потрескались.
11. В мачтовом и шлюпочном сараях.	В перемычках над дверным отверстием, соединяющим шлюпочный с мачтовым сараем, тронуло с места камни и дало выше разселины; а с наружной набережной стороны, около 2-й большой арки, стена во всю высоту и по карнизу треснула, но из внутри сего не приметно.
12. В двух 3-х этажных казармах, на Адмиралтейской площади.	В флигелях, примыкающих к Главному корпусу казарм, внутренние стены к сеням, в коих устроены лестницы, по средине дали небольшие трещины; в одной казарме в третьем этаже сделавшаяся в отвесном направлении разселина под штукатуркою обнаруживает что некоторые камни треснули донизу. Небольшие трещины есть также в некоторых местах над дверьми и в поперечных внутренних сенах, обеих казарм по наружности же кое-где над окнами.
13. В одноэтажных казармах нижними чинами занимаемыми.	Над окнами, дверьми и печами оказались трещины.
14. В морском остроге.	Заметные изнутри в стенах маловажные трещины, а также в печах и трубах. В винтелаторе или проводнике воздуха в духовые печи, устроенном во внутреннем дворе, часть фундамента несколько осела.

Примечание. Незначительные трещины есть и в других каменных зданиях, но внутренних трещин больше, — и при всякой из них штукатурка отстала, а по потолкам около карнизов, местами осыпалась.
Подлинную подписал: Правитель Канцелярии 5-го класса Мазаракий.

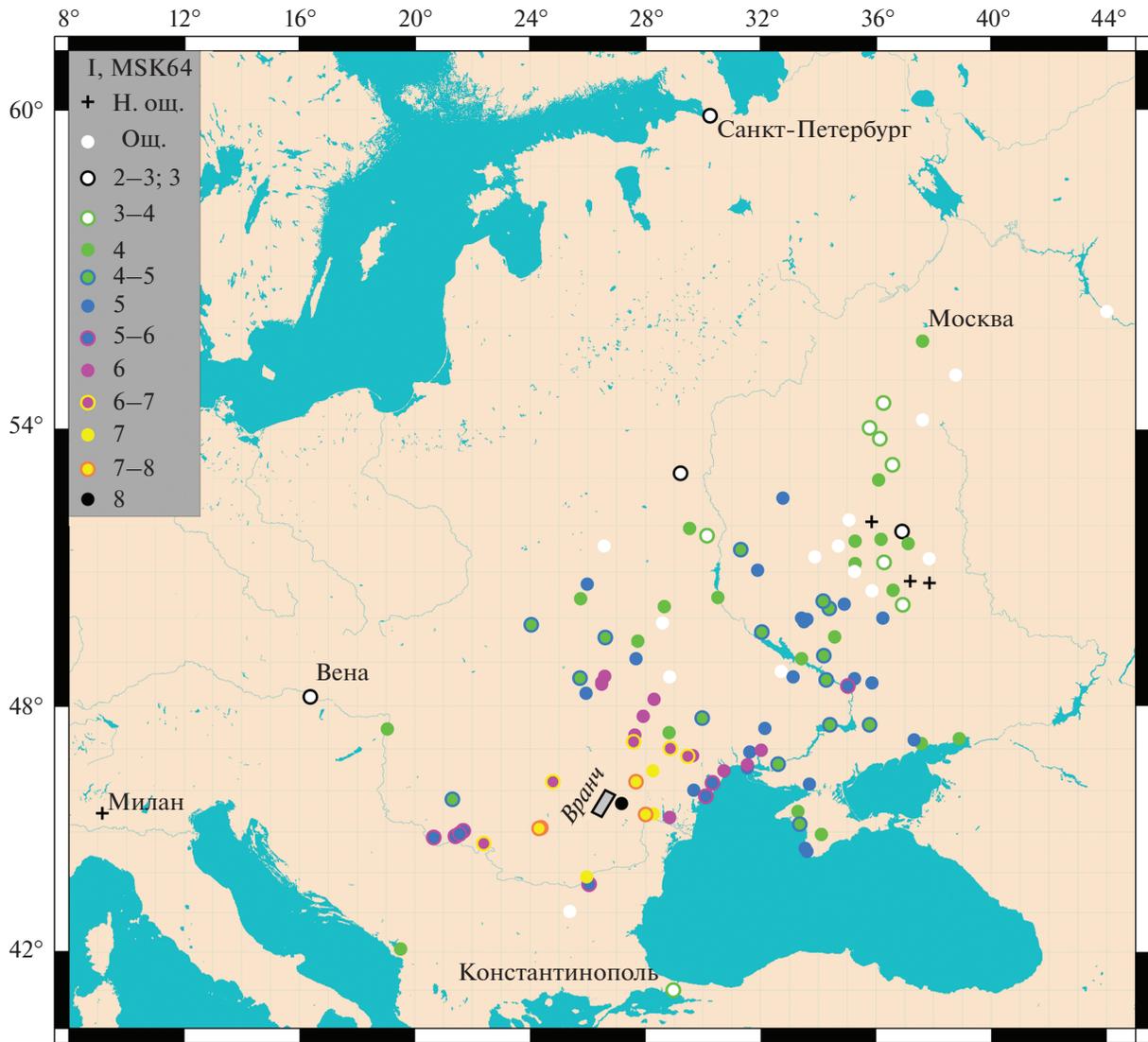


Рис. 2. Макросейсмический эффект глубокого Карпатского землетрясения 1838 г.

balin et al., 1998]. Данные значения характерны для событий сейсмоактивной зоны Вранча. Поскольку в основе расчетов лежат уравнения макросейсмического поля, то полученная в итоге магнитуда является макросейсмической.

Запишем уравнение (1) в эпицентре ($R = 0$ км):

$$I_0 = bM - v \lg(\sqrt{H^2}) + c. \quad (2)$$

Отнимем (1) от (2), корень вынесем из логарифма, окончательно:

$$I_0 - I = \left(\frac{v}{2}\right) \lg\left(1 + \left(\frac{R}{H}\right)^2\right). \quad (3)$$

Выразим интенсивность в каждом из населённых пунктов из уравнения (3)

$$I_j = I_0 - \left(\frac{v}{2}\right) \lg\left(1 + \left(\frac{R_j}{H}\right)^2\right). \quad (4)$$

Соотношение (4) показывает расчетное значение интенсивности для j -ого пункта. Обозначим наблюдаемые интенсивности в населенных пунктах как $I_{obs.j}$. Будем рассчитывать невязку, по формуле:

$$\Delta = \sum_{j=1}^N |I_{obs.j} - I_j| \rightarrow \min, \quad (5)$$

где: N – количество населённых пунктов. В самом деле, $I_j = f(I_0, R, H)$, а $R = f(\varphi_0, \lambda_0)$, где φ_0, λ_0 – широта, долгота эпицентра землетрясения; таким образом, $\Delta = f(\varphi_0, \lambda_0, I_0, H)$. Эпицентральное расстояние R рассчитывается как произведение среднего радиуса Земли на угловое расстояние,

определяемое по теореме косинусов для сферического треугольника. Координаты населенных пунктов не указаны в функциональных зависимостях, т.к. являются константами. Поскольку в отличие от эпицентральной интенсивности в каталогах землетрясений именно магнитуда приводится в качестве стандартной характеристики (она же лежит в основе оценок сейсмической опасности), перепишем (2) так, чтобы решить ее относительно M :

$$M = (I_0 + v \lg H - c)/b. \quad (6)$$

Согласно табл. 2 (см. доп. материал) максимальное наблюдавшееся сотрясение в населенных пунктах составляет 8 баллов. Примем эту величину в качестве минимальной оценки эпицентральной интенсивности, при этом сверху ограничим ее 9 баллами. Для сетки точек внутри зоны Вранча, взятых с интервалом в 1 км по широте и долготе рассчитаем значения невязки (5). Глубину будем варьировать от 80 до 200 км с шагом 10 км. Интенсивность будем перебирать с шагом 0.1. Окончательно имеем значение невязки Δ для каждой из возможных пар точек (I_0 , H). Согласно расчетам Δ варьирует в интервале от 51.08 до 55.37. Для каждой пары точек будем выбирать оптимальное (наименьшее) из значений Δ . Перебирая по всей зоне, оконтуренной прямоугольником на рис. 1, получаем оптимальную пару значений $I_0 = 8$ баллов и глубина $H = 80$ км, что соответствует магнитуде $M = 7.4$. Если поделить минимальное значение невязки Δ на общее количество точек с известной магнитудой, получим грубую оценку расхождения между расчетными и наблюдаемыми баллами в населенном пункте менее 0.5, хотя отдельные отклонения могут быть и больше. Погрешность (стандартное отклонение) оценки магнитуды определим согласно [Митин, Русаков, 2004]:

$$S_M = \frac{\partial M}{\partial I_0} S_{I_0}, \quad (7.1)$$

$$S_M = \frac{1}{b} S_{I_0}, \quad (7.2)$$

где S_M и S_{I_0} – стандартные отклонения магнитуды и эпицентральной интенсивности соответственно.

Если принять минимальное значение отклонений оценки интенсивности $\Delta = 51.08$ на 100 точек, то из (7.2) для магнитуды погрешность определения составит 0.34. Окончательно примем осторожную оценку погрешности определения магнитуды 0.4, соответственно магнитуде $M = 7.4 \pm 0.4$.

Отметим, что в нашем подходе минимизируется сумма отклонений расчетных и наблюдаемых значений интенсивности в отдельных населенных пунктах. В широко известном методе [Bakun, Wentworth, 1997; Bakun, Scotti, 2006], который

применялся, в частности, при составлении Европейского каталога SHEEC [Stucchi et al., 2012], вычисляются среднеквадратичные отклонения магнитуд для пробного эпицентра, задаваемого по равномерной сетке с некоторым шагом. Так как именно интенсивность оценивается на основании макросейсмических данных, предлагаемый в настоящей статье метод определения положения гипоцентра и магнитуды землетрясения, на наш взгляд, наиболее ясный и прямой.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Сравним полученную оценку магнитуды землетрясения 1838 г. с оценками других авторов, а также с магнитудами других глубоких Карпатских землетрясений. В Новом каталоге для землетрясения 1838 г. приведена магнитуда 6.9 (глубина 150 км). Это же значение осталось неизменным и в каталоге [Shebalin et al., 1998]. В каталоге [Специализированный..., 1995] магнитуда равна 7.0. По сравнению с магнитудой для Карпатского землетрясения 1802 г. в тех же каталогах (в Новом каталоге 7.4, в каталоге [Shebalin et al., 1998] – 7.3) она меньше на 0.5 единиц. При этом глубина гипоцентра обоих землетрясений равна 150 км. На наш взгляд магнитуда землетрясения 1838 г. явно недооценена. Основную причину мы видим в том, что не были собраны сведения о ее ощутимости на больших расстояниях (некоторые пункты в Белоруссии, а также Москва, Санкт-Петербург и некоторые другие). Получается довольно неожиданный результат: для адекватной оценки магнитуды исторического землетрясения важнее иметь представление о максимальных расстояниях, на которых оно ощущалось, чем картину разрушительных последствий в эпицентральной зоне. Заметим, что полученная оценка магнитуды для сейсмического события 1838 г. не является чем-то экстраординарным и невероятным: инструментальная магнитуда землетрясения 1940 г. $M_w = 7.7$, а 1977 г. $M_w = 7.5$ [International..., 2020].

Формально ограничением предлагаемого метода является то, что перебор осуществляется в пространственных рамках зоны глубоких землетрясений Вранча (рис. 1). Мы заранее определили область, в которой может находиться эпицентр (в пределах приблизительно 200 на 50 км). Соответственно, практическое применение метода в других случаях может оказаться неэффективным. Но на самом деле есть ситуации, когда для коровых землетрясений эпицентр тоже известен “заранее”, поскольку наблюдались поверхностные разрывы (в литературе на английском surface faulting), либо многочисленные вторичные сейсмодислокации [Michetti et al., 2007]. Это наиболее сильные землетрясения, существенные для оценки сейсмической опасности. Поэтому метод может применяться во многих случаях.

Независимо от того, какой метод оценки магнитуды применен в данной работе, или будет разработан в будущем, важнейшим результатом публикации является коллекция макросейсмической информации (табл. 2, см. доп. материалы).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках тематики госзадания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Российского государственного архива Военно-Морского Флота г. Санкт-Петербурга, Российской национальной библиотеки г. Санкт-Петербурга и Российской государственной библиотеки города Москвы за неоценимую помощь в поиске источников информации. Выражаем искреннюю признательность Паоле Альбини из Национального института геофизики и вулканологии в Милане (INGV – Milano) за помощь в разыскании итальянских газет.

Авторы также признательны рецензентам за ценные замечания и поддержку работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Алексеев И.В., Карданец В.Ю. Атлас карт интенсивности землетрясений Молдовы (XVIII–XXI вв.). Кишинев. 2009. 155 с.

Евсеев С.В. Землетрясения Украины. Киев. 1961. 76 с.

Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. Изд. 2-е. М.: Физический факультет МГУ. 2004. 44 с.

Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. Записки ИРГО. СПб. 1893. Т. 26. 582 с.

Никонов А.А. Новый этап познания сейсмичности восточно-Европейской платформы и ее обрамления // Докл. РАН. 2013. Т. 450. № 4. С. 465–469.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. 1977. М.: Наука. 536 с.

Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен по 1995 г. / В.И. Уломов, Н.В. Кондорская.

[http://socrates.wdcd.ru.scetac⁵](http://socrates.wdcd.ru.scetac<sup>5</sup)

Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю. Карпатское землетрясение 23 января 1838 г. (Макросейсмический каталог) // Бюллетень Института геологии и сейсмологии АНМ. 2013. № 1. С. 96–116.

Татевосян Р.Э., Мокрушина Н.Г. Использование современного сейсмического события для оценки магнитуды исторического землетрясения: Глубокое Карпатское землетрясение 26 октября 1802 г. // Физика Земли. 2004. № 6. С. 14–25.

Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М. 1974. 53 с.

Albini P., Moroni A. (Editors). Materials of CEC Project Review of Historical Seismicity in Europe. CNR. Milano. 1994. V. 2. 254 p.

Bakun W.H., Scotti O. Regional intensity attenuation models for France and the estimation of magnitude and location of historical earthquakes // Geophys. J. Int. 2006. V. 164. P. 596–610.

Bakun W.H., Wentworth C. M. Estimating earthquake location and magnitude from seismic intensity data // Bulletin of the Seismological Society of America. 1997. V. 87. № 6. P. 1502–1521.

Constantin A.P., Pantea A., Stoica R. Vrancea (Romania) subcrustal earthquakes: historical sources and macroseismic intensity assessment // Romanian Reports in Physics. 2010. V. 56. № 5–6. 2010. P. 813–826.

Constantin A.P., Pantea A., Stoica R., Amarandei C., Stefan S. New data about historical earthquakes occurred on the Romanian territory // Romanian Reports in Physics. 2009. V. 54. № 1–2. P. 239–248.

International Seismological Centre. ISC-GEM Earthquake Catalogue. 2020.

<https://doi.org/10.31905/d808b825>

Laska W. Die Erdbeben Polens. Mitteilungen der Erdbeben-Commission der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Wien. 1902. V. VIII. 36 p.

Martinez-Solares J.M., Rodriguez J.M. Catálogo sísmico de la Península Ibérica (880 a. C.-1900). Madrid. 2002. 253 p.

Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audermard F., Azuma T., Glade J., Comerci V., Gurpinar A., McCalpin J., Mohammadioun B., Morner N.A., Ota Y., Rogozhin E. Intensity scale ESI 2007. Memoire descrittive della carta geologica d'Italia / Guerrieri L., Vittori E. 2007. V. LXXIV. 53 p.

Réthly A. A Kárpátmedenček Földrenqesei 455-1918. Akad. Kiado. Budapest. 1952. 512p.

Rogozea M., Marvureanu G.H., Radulian M., Toma D. Re-evaluation of the macroseismic effects of the 23.01.1838 Vrancea earthquake // Romanian Reports in Physics. 2014. V. 66. № 2. P. 520–538.

Shebalin N.V., Leydecker G., Mokrushina N.G., Tatevossian R.E., Erteleva O.O., Vassiliev V.Yu. Earthquake Catalogue for Central and Southeastern Europe 342 BC-1990 AD – Final Report to Contract ETNU-CT 93-0087. 1998.

Stucchi M. (editor). 1993. Materials of CEC Project Review of Historical Seismicity in Europe. CNR. Milano. 1993. V. 1. 258 p.

Stucchi M., Rovida A., Gomez Capera A.A., Alexandre P., Camelbeeck T., Demircioglu P., Gasperini M.B., Kouskouna V., Musson R.M.W., Radulian M., Sesetyan K., Vilanova S., Baumont D., Bungum H., Fäh D., Lenhardt W., Makropoulos K., Martinez Solares J.M., Scotti O., Živčić M., Albini P., Baillo J., Papaioannou C., Tatevossian R., Locati M., Meletti C., Viganò D., Giardini D. The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899 // JOSE. 2012. <https://doi.org/10.1007/s10950-012-9335-2>

Tatevossian R. History of earthquake studies in Russia // Annals of Geophysics. 2004. V. 47. № 2–3. P. 811–830.

Tatevossian R., Albini P. Information background of 11th–15th centuries earthquakes located by the current catalogues in Vrancea (Romania). Natural Hazards. 2010. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9448-2>

⁵ Файл скачан в 2005 г.

1838 Deep Carpathian Earthquake

N. G. Mokrushina^{a,*}, R. E. Tatevossian^{a,}, and R. N. Vakarchuk^{a,***}**

^aSchmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia

**e-mail: nina305@inbox.ru*

***e-mail: ruben@ifz.ru*

****e-mail: roman@ifz.ru*

Deep earthquakes occur in subduction zones – they play a key role in the global tectonic model. There are only a few places on the Earth where deep-focus seismicity is observed on the continents in small localized areas at a considerable distance from the present-day subduction zones, in particular in the Vrancea region of the Carpathians. The strongest deep Vrancea earthquakes are felt at a distance of over 1000 km. They essentially define the seismic hazard for the East European platform, where either there are no local focal zones or these zones have small magnitudes. Therefore, studying deep Carpathian earthquakes is very important for adequate assessment of seismic hazard for the East European platform. We assume that although the strongest deep Carpathian earthquakes have been studied quite fully and thoroughly, not all existing information has been exhausted. The search for previously unknown primary sources may reveal new information about the macroseismic effect and, consequently, lead to more reliable and accurate earthquake parameter evaluations. This article examines the 1838 deep Carpathian earthquake using the original descriptions from primary sources. The earthquake magnitude has been determined by means of a new approach based on minimizing the discrepancies between the calculated and observed shaking intensities at all localities. It is shown that the magnitude of the 1838 earthquake is underestimated in the published catalogs by about 0.5 unit. We believe that the main reason is that the previously used macroseismic data in the far-field zone are not sufficiently complete.

Keywords: Historical earthquakes, macroseismicity, macroseismic field equation, deep Carpathian earthquakes