

УДК 550.5

ОЦЕНКА ЛОКАЛЬНЫХ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПО МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ФЕОДОСИИ

Королев В.А., Скляр А.М.

*Отдел сейсмологии Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, г. Симферополь,
Российская Федерация*

E-mail: korolev_igf@mail.ru

Предложен метод оценки локальных вариаций сейсмической интенсивности по результатам макросейсмических исследований взрывного воздействия. Приведена схема сейсмического зонирования территории города Феодосии, использованная при разработке карты сейсмического микрорайонирования.

Ключевые слова: макросейсмика, изосейсты, сейсмическая интенсивность, приращение балла, сейсмическое микрорайонирование.

ВВЕДЕНИЕ

В сейсмическом микрорайонировании (СМР) важнейшее значение имеют макросейсмические исследования, результаты которых определяют базовые критерии зонирования изучаемой территории на участки с различным приращением сейсмической интенсивности. В условиях отсутствия сильных сейсмических событий использование макросейсмики слабых и умеренных воздействий несомненно повышает качество работ по СМР. Для этого в последнее время созданы некоторые предпосылки: разработан и успешно апробирован статистический метод определения сейсмической интенсивности на базе модернизированной сейсмической шкалы типа MSK [1, 2, 3], доказано соответствие распределений сейсмической интенсивности при сильных и ощутимых землетрясениях [7, 8]. Главная задача макросейсмических исследований для целей СМР состоит в оценке локальных вариаций сейсмической интенсивности. Макросейсмика взрывных воздействий для этой цели использована впервые.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

24 апреля 1979 г. в акватории Феодосийского залива Черного моря произошел мощнейший самопроизвольный взрыв боезаряда времен Великой Отечественной войны. По данным технических служб Черноморского Флота координаты взрывного источника составили: $\varphi = 45^{\circ}01.7'$; $\lambda = 35^{\circ}24.5'$. Сотрясения от взрыва ощущались практически всеми жителями Феодосии. В отдельных зданиях вблизи порта наблюдались легкие повреждения. Интенсивность толчков оценивалась от 3 до 5 баллов по стандартной шкале.

В первые дни после события нами было организовано детальное макросейсмическое обследование массового характера. Обследование проведено методом прямого опроса жителей по специально разработанным маршрутам,

достаточно равномерно охватывающим территорию города. В сборе макросейсмической информации активное участие принимали авторы настоящей статьи, Литвинов О.В., Пехтерев В.А., Пехтерева Е.Г. и др.

Отсутствие достаточного опыта макросейсмических исследований в сочетании со слабой методической базой не позволили в то время получить какие-либо значимые результаты. Выполнено лишь построение детализированной схемы изосейст (Рис. 1), на основании которой была сделана попытка на качественном уровне сопоставить характерные особенности макросейсмического поля (конфигурацию изосейст, зоны аномальной интенсивности и пр.) с грунтовыми условиями.

Стимулом к новому обращению к материалам обследования воздействий от морского взрыва послужило начало комплексных исследований по созданию качественно новой детальной карты сейсмического микрорайонирования города Феодосии. За более чем тридцатилетний период времени на рассматриваемой территории не произошло ни одного ощутимого землетрясения. Между тем многолетний опыт работ по сейсмическому микрорайонированию показал, что наиболее достоверное зонирование территории на участки с разным приращением сейсмической интенсивности получается при использовании результатов макросейсмических исследований. К тому же ряд собственных методических разработок позволяет выполнить процедуру оценки локальных вариаций сейсмической интенсивности достаточно корректно.

В качестве базового макросейсмического объекта, играющего роль индикатора сейсмического воздействия, взят «человек, находящийся на первом этаже здания в спокойном состоянии». Степень реакции объекта на сейсмическое воздействие оценивалась в соответствии с градациями шкалы *MMSK-84* [1].

Из общего массива данных отобрано 626 опросов по реакции людей, находившихся во время взрыва преимущественно в одноэтажных зданиях или на первых этажах многоэтажных зданий. Поскольку человек в данном случае реагирует на колебание здания, то физическим объектом является здание. Общее количество обследованных зданий – 530. Таким образом, было получено достаточно представительное множество однородных данных в виде степеней реакции, нанесенных на карту обследованной части города, т. е. некоторое макросейсмическое поле.

Анализ таких полей традиционными для нас методами тренд-анализа [2, 3] (скользящее осреднение, разностные оценки осредненных значений в фиксированных ячейках) в данном случае неприемлем из-за несоизмеримых эпицентральных расстояний и линейных размеров изучаемого участка города (15% критерий). К тому же макросейсмическое поле поверхностных взрывов сильно искажено вследствие анизотропии среды и из-за пестроты инженерно-геологического строения территории. Выход из этого положения состоит, по нашему мнению, в использовании ранее апробированного нами подхода, основанного на оценке приращения балла относительно так называемой фоновой интенсивности, оцененной в пределах одинаковых ячеек, на которые разбивается изучаемая территория [4]. При анализе макросейсмических полей Вранчских землетрясений этот прием оказался достаточно эффективным [5].

минимальных размеров выделенных участков с типичными инженерно-геологическими условиями. Оптимальный размер ячейки в плане составил 500×500 м. Фоновая интенсивность (I) рассчитывалась для центра ячейки по уравнению макросейсмического поля Н.В. Шебалина [6] по формуле:

$$I = 1.5M - v \lg r + 3,$$

где M – магнитуда взрыва, v – эффективное затухание интенсивности, r – расстояние от эпицентра взрыва до центра ячейки.

Определение магнитуды взрыва представляло отдельную задачу. В архиве были найдены и проанализированы записи взрыва, полученные на сейсмостанциях «Феодосия», «Алушта», «Ялта» и «Симферополь». Определение магнитуды было выполнено Свидловой В.А. различными способами. Усредненное значение составило $M = 2.8$.

Эффективное затухание оценивалось в различных направлениях от эпицентра к каждому из центров площадок по формуле Блейка [6]:

$$I_i - I_k = v \lg (r_k / r_i),$$

где r_i и r_k – эпицентральные расстояния до изосейст с соответствующим баллом I_k и I_i в данном направлении.

Детализированные изосейсты генерализованы и представлены в виде выпуклых кривых с максимально возможным приближением к правильной форме (Рис. 1). Затухания рассчитывались как средние значений затуханий для каждой пар изосейст 5–4, 4–3, 3–5 баллов. Полученные значения v изменялись от 3.5 до 5.5

Фактическая интенсивность в ячейке определялась по среднему значению степени реакции объектов, расположенных в ее пределах, используя переходные соотношения шкалы *MMSK-84* [1]. Вариации рассчитывались как разности между фоновой и фактической интенсивностями, а затем округлялись до целого балла.

Локальные вариации сейсмической интенсивности, выраженные в баллах используемой шкалы, представлены на рисунке 2. Большая часть территории города отнесена к зоне с нулевым приращением балла (I_0). Зоны повышения интенсивности на один балл тяготеют к участкам распространения обводненных песчано-глинистых отложений.

Необходимо отметить, что в макросейсмике соблюдается принцип автомодельности [7, 8], что позволяет уверенно экстраполировать полученные результаты в область сильных движений.

Таким образом, выполненные исследования позволили обоснованно определить схему сейсмического зонирования территории Феодосии: $I_0 + 1$ балл. Этот результат использовался как базовый при разработке новой карты сейсмического микрорайонирования г. Феодосии.

**Локальные вариации интенсивности
сотрясений на территории г. Феодосии**

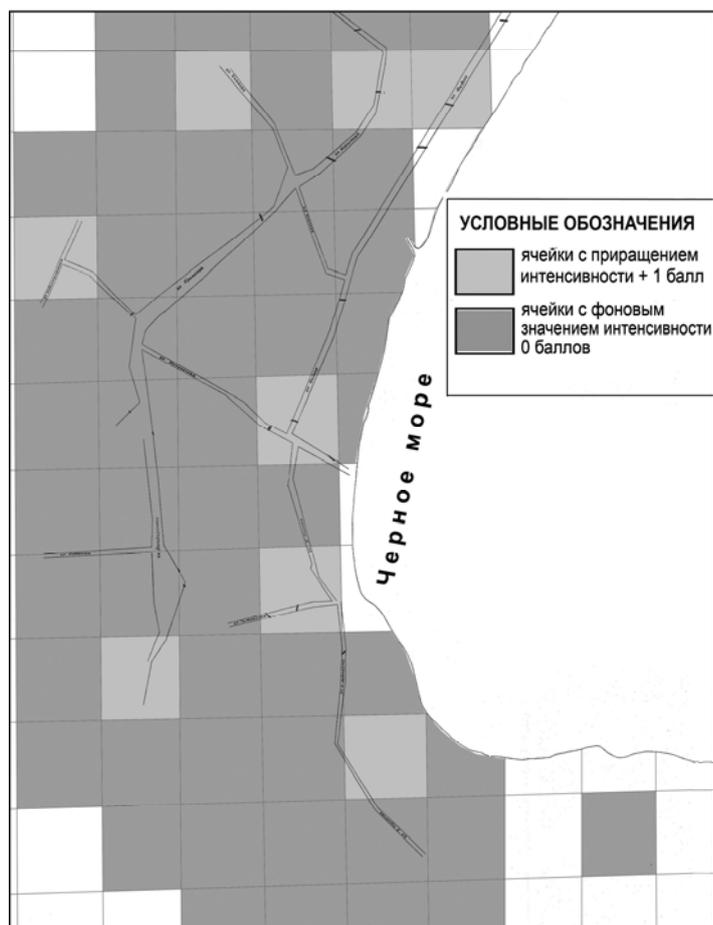


Рис. 2. Карта-схема распределения локальных вариаций интенсивности сотрясений на территории г. Феодосии.

ВЫВОДЫ

1. Впервые предложен метод оценки локальных вариаций сейсмической интенсивности по результатам анализа макросейсмических данных взрывного воздействия.
2. Определена схема зонирования территории Феодосии, как двухзвенная, с преобладающими участками нулевого приращения балла и немногочисленными участками приращения сейсмической интенсивности в один *балл*.
3. Схема зонирования заложила основу сейсмического микрорайонирования города.

Список литературы

1. Ершов И.А. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов. Прогноз сейсмических воздействий / И.А. Ершов, Н.В. Шебалин // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 25. – М.: Наука, 1984. – С. 78–96.
2. Королев В.А. Анализ макросейсмического эффекта землетрясения 13 ноября 1981 года в г. Измаиле. Макросейсмические и инструментальные исследования сильных землетрясений / В.А. Королев, А.М. Скляр, В.С. Князева // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 26. – М.: Наука, 1985. – С. 51–57.
3. Королев В.А. Макросейсмика Крымских землетрясений 1927 года и сейсмическое микрорайонирование / В.А. Королев, А.М. Скляр, В.С. Князева // Геофизический журнал, Т. 30, №5. – 2008. – С. 115–123.
4. Королев В.А. Параметры уравнения поля сейсмических интенсивностей сильных подкорковых землетрясений зоны Вранча для территории Украины / В.А. Королев, М.А. Лазаренко // Геофизический журнал. – 2003. – Т. 25. № 6. – С. 106–112.
5. Лазаренко М.А. Оценка сейсмической опасности на территории Украины от землетрясений Вранча / М.А. Лазаренко, В.А. Королев // Геофизический журнал. – 2004. – Т. 26, № 3. – С. 102–110.
6. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование территории СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 95–111.
7. Скляр А.М. Макросейсмика слабых и сильных землетрясений в задачах сейсмического микрорайонирования / А.М. Скляр, В.А. Королев, В.С. Князева // Тезисы докладов IV международной конференции «Геофизический мониторинг опасных геофизических процессов и экологического состояния среды». – Киев, 2003. – С. 49–51.
8. Королев В.А. О возможности прогноза локальных вариаций сейсмической интенсивности при сильных землетрясениях по макросейсмике ощутимых / В.А. Королев, А.М. Скляр, В.С. Князева // Сейсмологический бюллетень Украины за 2003 год. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2005. – С. 119–123.

**ESTIMATION OF LOCAL VARIATIONS OF SEISMIC INTENSITY BY
MACROSEISMIC DATA OF EXPLOSIVE IMPACTS ON THE EXAMPLE OF
THE TOWN OF FEODOSIYA**

Korolyov V.A, Sklyar A.M.

*Seismology Department of S.I. Subbotin Geophysics Institute UNAS, Simferopol, Republic of Crimea,
Russia*

E-mail: seismosilver@mail.ru

The work is devoted to the final stage of determining seismic hazard: seismic micro zoning. The most important aspect of this problem, consisting in the evaluation of local variations of seismic intensity in the study area and in determining the zoning scheme has been considered. For these purposes macro seismic explosive effect was used for the first time.

A spontaneous explosion of the warhead of the great Patriotic war (magnitude 2.8) occurred on 24 April 1979 in the area of Feodosia Bay of the Black sea. The shocks from the explosion were felt by almost all inhabitants of Feodosiya. Minor damage to buildings was observed in separate buildings near the port.

A preliminary assessment of the intensity of the shocks was 3 to 5 points by the standard scale. As a result of mass survey of the effects of the explosive impact on the territory of the city the response of 626 similar objects-indicators was received. The analysis of macro seismic data allowed us to estimate local variations of area on the territory of the city as an increment of the actual intensity of the shocks as compared to its so-called background value rounded to the nearest whole point. (The City map of concussions to its so-called background value is presented in the form of a raster with equal cells of the square form. The background intensity was calculated for the center cell by using the well-known equation of the macro seismic field by N.V. Shabalin with a variable coefficient of effective attenuation dependent on the azimuth directions from the epicenter of the explosion to the center of the cell.

The actual intensity in the cell was determined by the average degree of the macro seismic response of the objects located within it, using the transitional ratio of the used scale. Thus, the prevailing part of the territory of the city belongs to the area with zero increment points (I0). Few cells with increase in the intensity by one point are concentrated in the areas of distribution of sandy-clay deposits. The performed studies allowed to determine the reasonable scheme of seismic zoning of the territory of Feodosia as two-unit one: I0 + 1 point.

The model provided a reliable basis for the seismic micro zoning of Feodosiya and can be used for other areas of the South-Eastern coast of Crimea in similar soil conditions.

Keywords: micro seismicity, isoseists, seismic intensity, the increment of points, seismic micro zoning.

References

1. Ershov I.A. Problema konstrukcii shkaly intensivnosti zemletryasenij s pozicij sejsmologov. Prognoz sejsmicheskikh vozdeystvij / I.A. Ershov, N.V. Shebalin // *Voprosy inzhenernoj sejsmologii*. Vyp. 25. – M.: Nauka, 1984. – S. 78–96.
2. Korolev V.A. Analiz makrosejsmicheskogo ehffekta zemletryaseniya 13 noyabrya 1981 goda v g. Izmaile. Makrosejsmicheskie i instrumental'nye issledovaniya sil'nyh zemletryasenij / V.A. Korolev, A.M. Sklyar, V.S. Knyazeva // *Voprosy inzhenernoj sejsmologii*. Vyp. 26. – M.: Nauka, 1985. – S. 51–57.
3. Korolev V.A. Makrosejsmika Krymskikh zemletryasenij 1927 goda i sejsmicheskoe mikrorajonirovanie / V.A. Korolev, A.M. Sklyar, V.S. Knyazeva // *Geofizicheskij zhurnal*, T. 30, №5. – 2008. – S. 115–123.
4. Korolev V.A. Parametry uravneniya polya sejsmicheskikh intensivnostej sil'nyh podkorovyh zemletryasenij zony Vrancha dlya territorii Ukrainy / V.A. Korolev, M.A. Lazarenko // *Geofizicheskij zhurnal*. – 2003. – T. 25. № 6. – S. 106–112.
5. Lazarenko M.A. Ocenka sejsmicheskoy opasnosti na territorii Ukrainy ot zemletryasenij Vrancha / M.A. Lazarenko, V.A. Korolev // *Geofizicheskij zhurnal*. – 2004. – T. 26, № 3. – S. 102–110.
6. Shebalin N.V. Metody ispol'zovaniya inzhenerno-sejsmologicheskikh dannyh pri sejsmicheskom rajonirovanii // *Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR*. – M.: Nauka, 1968. – S. 95–111.
7. Sklyar A.M. Makrosejsmika slabyh i sil'nyh zemletryasenij v zadachah sejsmicheskogo mikrorajonirovaniya / A.M. Sklyar, V.A. Korolev, V.S. Knyazeva // *Tezisy dokladov IV mezhdunarodnoj konferencii «Geofizicheskij monitoring opasnyh geofizicheskikh processov i ehkologicheskogo sostoyaniya sredy»*. – Kiev, 2003. – S. 49–51.
8. Korolev V.A. O vozmozhnosti prognoza lokal'nyh variacij sejsmicheskoy intensivnosti pri sil'nyh zemletryasenyah po makrosejsmike oshchutimyh / V.A. Korolev, A.M. Sklyar, V.S. Knyazeva // *Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2003 god*. – Sevastopol': NPC «EHkosi-Gidrofizika», 2005. – S. 119–123.