

ВИКТОР М. ФРЕМД, НИКОЛАЙ В. ШЕБАЛИН\*

## СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ БАЛКАН В ЗОНАХ ДЛИТЕЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МОЛЧАНИЯ

### АННОТАЦИЯ

Зоны длительного сейсмического молчания, в которых затем возникают разрушительные землетрясения, особенно опасны для сохранившихся до настоящего времени исторических памятников. Приведены примеры сейсмических катастроф, возникавших в областях длительного затишья.

Унификация параметров землетрясений позволяет применить единые методы сопоставления их с геолого-геофизической обстановкой и прогнозировать на этой основе зоны возникновения будущих землетрясений. Для территории Балкан такой прогноз был дан советскими авторами в 1975 г. в работе, выполненной по контракту с ЮНЕСКО.

На карте зон возникновения ожидаемых землетрясений Балкан показан ряд участков, где уровень ожидаемых землетрясений значительно выше уровня известных землетрясений прошлого. Один из таких участков — Черногорское Приморье, где сейсмическая опасность практически не учитывалась при строительстве.

15 апреля 1979 г. в Черногорском Приморье произошло разрушительное землетрясение интенсивностью до 9 баллов. Магнитуда этого землетрясения с высокой точностью совпала с прогнозом, данным картой ожидаемых землетрясений Балкан ( $M=7$ ).

Наиболее полное изучение эпицентральной зоны землетрясения 15 апреля 1979 г. было проведено экспедицией Академии Наук СССР. Рассмотрены основные результаты работ экспедиции.

---

\* Институт физики Земли АН СССР, Москва.

Традиционные методы сейсмического районирования, начиная с классических работ Зиберга, в качестве одной из основных исходных посылок используют сведения об известных сильных землетрясениях данного района. Однако сильные землетрясения не обязательно возникают в местах, где они уже известны в прошлом. Ярким примером тому являются Газлийские землетрясения 8 апреля и 17 мая 1976 г. (Аптекман и др., 1978) интенсивностью в эпицентре соответственно 9 и 10 баллов, происшедшие в зоне, где до этого землетрясения сильнее 5 баллов известны не были. Катастрофическое 9-балльное землетрясение 15 апреля 1979 г. в Черногорском Приморье также произошло в зоне длительного сейсмического молчания.

Уверенное прогнозирование зон возникновения будущих землетрясений требует полного анализа сейсмической истории района. Такой анализ невозможен без унификации параметров известных землетрясений. Унифицированные каталоги землетрясений за длительные промежутки времени позволяют объективно сопоставить параметры этих землетрясений с геолого-геофизической обстановкой и на этой основе прогнозировать зоны возникновения будущих землетрясений. Для территории Балкан унифицированный каталог составлен пока лишь для XX в. (Catalogue, 1974).

Первый прогноз зон возникновения будущих землетрясений на территории Балкан был дан группой советских авторов в работе, выполненной в 1975 г. по контракту с ЮНЕСКО (Shebalin et al., 1976). На рис. 1 показана приведенная в этой работе карта зон возникновения ожидаемых землетрясений Балкан. На карте показан ряд участков, где магнитуды ожидаемых землетрясений значительно выше магнитуд известных землетрясений прошлого. В такой зоне, в частности, находилось и Черногорское Приморье, где прогнозировались землетрясения с магнитудой  $M=7$ .

Кажущееся несоответствие магнитуд известных в прошлом и прогнозируемых землетрясений давало повод для упреков в завышении сейсмической опасности некоторых районов и, в том числе, Черногорского Приморья, Болгарии и др. Прогнозируемая сейсмическая опасность в Черногорском Приморье практически не учитывалась при осуществлении широкой программы рекреационно-туристского строительства.

15 апреля 1979 г. здесь произошло катастрофическое землетрясение с магнитудой около  $M=7$ , при котором было разрушено большое количество новых сооружений на Черногорском побережье Адриатического моря от Ульцина до Котора.

Необходимо отметить, что хорошо подтвердился и прогноз максимальных ожидаемых интенсивностей колебаний (Shebalin et al., 1976) для периода 500 лет (рис. 2). В то же время данный группой авторов (Algermissen et al., 1976) в рамках того же контракта с ЮНЕСКО прогноз ожидаемых в течение 25 лет максимальных ускорений (рис. 3) оказался сильно заниженным. Прог-

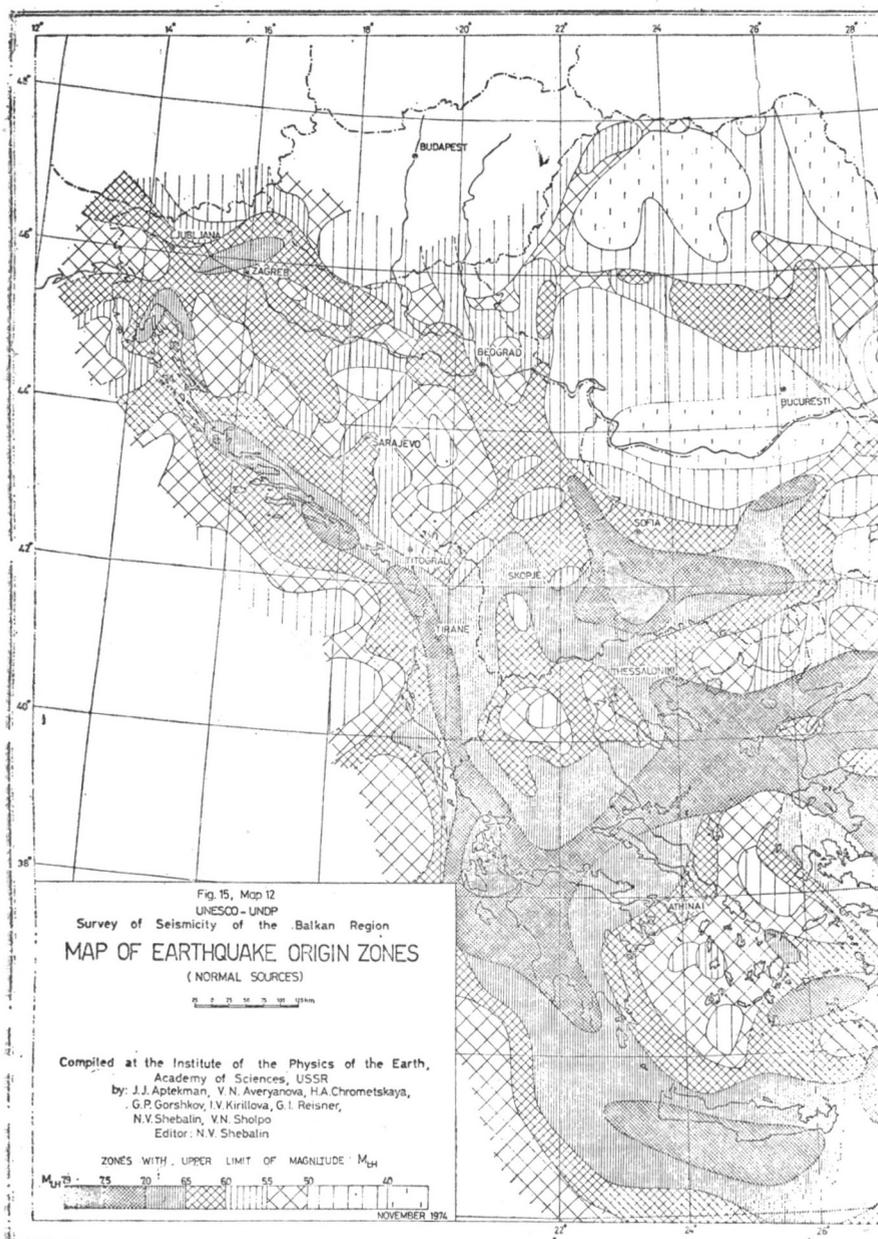


Рис. 1. Карта зон возникновения ожидаемых землетрясений Балкан из работы (Shebalin et al., 1976)

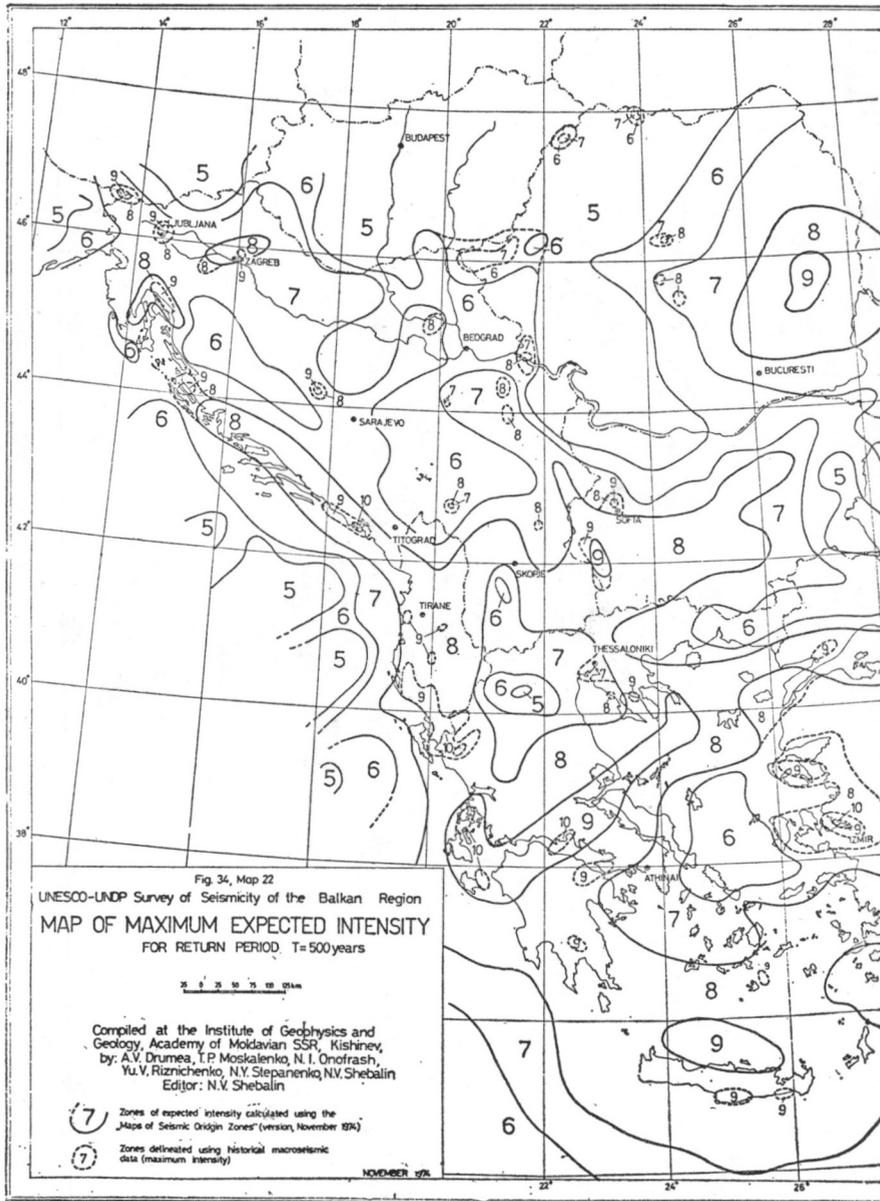


Рис. 2. Карта зон максимальных ожидаемых интенсивностей землетрясений Балкан из работы (Shebalin et al., 1976)

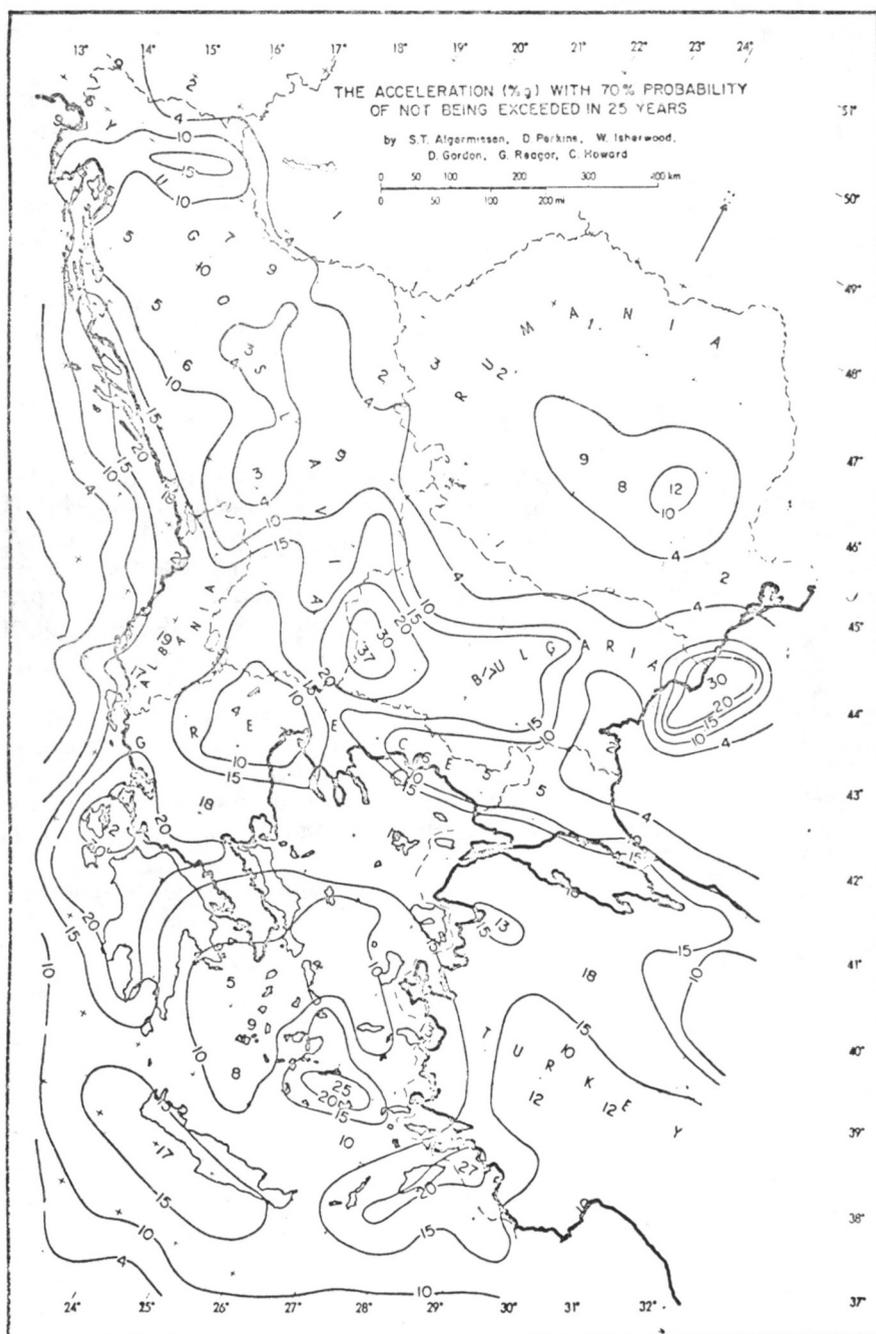


Рис. 3. Карта ожидаемых максимальных ускорений колебаний для землетрясений Балкан в течение 25 лет из работы (Algermissen et al., 1976)

нозировавшиеся с вероятностью 70% максимальные ускорения 0,2 g при землетрясении 15 апреля 1979 г. были превышены более чем в 2 раза и составили около 0,45 g.

При Черногорском землетрясении 15 апреля 1979 г. были разрушены и повреждены также многие исторические памятники, для которых зоны длительного сейсмического затишья особенно опасны. Интересным примером разрушения древних памятников в зоне длительного сейсмического молчания может служить и ситуация в Северной Ливии. Здесь, после длительного (около 1800 лет) затишья, 19 апреля 1935 г. произошло 9-балльное землетрясение с магнитудой  $M=7$ , I. В результате в пустынной холмистой местности были сильно повреждены древнеримские памятники эпохи Септимия Севера (видимо, не известные Гудчайлду).

В эпицентральной зоне землетрясения 15 апреля 1979 г. были проведены подробные сейсмологические исследования. В 1979 г. там работали сейсмологи Югославии, ГДР и СССР. Советская экспедиция регистрировала афтершоки с июня по сентябрь 1979 г. на временных станциях Петровац, Будва и Вирпазар, оснащенных специальной аппаратурой для эпицентральных наблюдений. Проводилась сводная обработка материалов этих трех станций и югославских временных станций Добра Вода (Бар) и Ульцин.

За три месяца указанная сеть сейсмических станций зарегистрировала более 300 повторных толчков землетрясения 15 апреля 1979 г. Для 150 из них, имевших энергетические классы  $K \geq 6$ , составлен каталог. Карта эпицентров этих толчков показана на рис. 4. На рис. 5 показаны разрезы по линиям АБ, ВГ и ДЕ карты рис. 4. Было зарегистрировано около 20 ощутимых толчков интенсивностью до 6 баллов.

Очаги афтершоков отчетливо группируются в двух узлах, по видимому, близких к краям разрыва в очаге основного толчка 15 апреля 1979 г.

Изучение сейсмического режима перед землетрясением 15 апреля 1979 г., подробное обследование эпицентральной области этого землетрясения и наблюдения за афтершоками показали, что прогноз, данный картой ожидаемых очагов землетрясений Балкан в отношении района Черногорского Приморья, оправдался с высокой точностью.

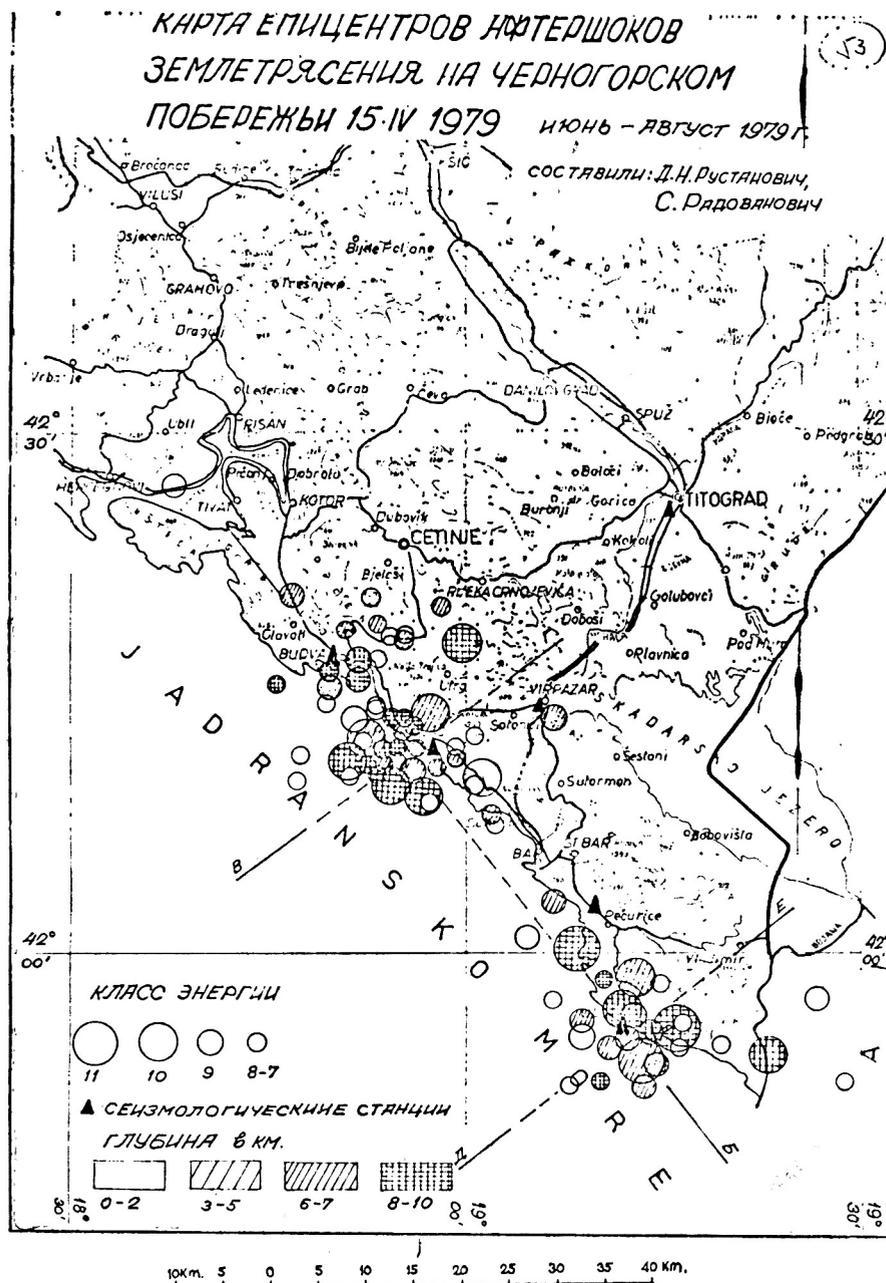


Рис. 4. Карта эпицентров афтершоков землетрясения 15 апреля 1979 г. за июнь-сентябрь 1979 г. с  $K \geq 7$ . Составили С. Радованович и Д. Н. Рустанович

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аптекман Ж. Я., Грайзер В. М., Плетнев К. Г., Рустанович Д. Н., Шебалин Н. В., Штейнберг В. В. Некоторые данные о процессах в эпицентральной зоне Газлийских землетрясений 1976 г. В кн. „Эпицентральной зона землетрясений“ (Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 19). „Наука“, М., 1978.
2. Catalogue of earthquakes, part I, 1901—1970. In »Survey of seismicity of the Balkan region, Catalogues of earthquakes«, Skopje, 1974.
3. Shebalin N. V., Reisner G. I., Drumea A. V., Aptekman J. Y., Sholpo V. N., Stepanenko N. Y., Zacharova A. I. Earthquake origin zones and distribution of maximum expected seismic intensity for the Balkan region. Proc. of the seminar on seismic zoning maps. V. II. UNESCO, Skopje, 1976.
4. Algermissen S. T., Perkins D. M., Isherwood W., Gordon D., Reagor G., Howard C. Seismic risk evaluation of the Balkan region. Proc. of the seminar on seismic zoning maps. V. II. UNESCO, Skopje, 1976.

V. M. FREMD, N. V. SHEBALIN

STRONG BALKAN EARTHQUAKES IN ZONES OF  
PROTRACTED SEISMIC INACTIVITY

Summary

Strong earthquakes do not always occur in regions famous for remarkable historical events. So-called »seismic gaps«, regions silent for long time, bear danger for the historical monuments preserved to nowadays. There are many examples when historical monuments were significantly damaged or destroyed during strong earthquakes in the regions of protracted »seismic gaps« (Garni, Armenia, 1676; Crimea, 1927; Zangezur, Caucasus, 1931; Gazli, Middle Asia, 1976; and many others).

Catalogues standardizing strong historical earthquakes (since possibly early times) are essential and compulsory tools for the analysis of seismic history. Standardization of earthquake parameters permits us to use most efficient techniques in geological and geophysical correlations to delineate latent seismic origin zones. For the Balkan region such a catalogue was compiled for the XXth century only (UNESCO, Skopje, 1974).

The first attempt to delineate expected earthquake origin zones in the region was done in the paper presented by the group of Soviet specialists (UNESCO's sponsorship, 1975; N. V. Shebalin, editor). Further development of new principles of prognostic seismic zoning was realized in Bulgaria in 1979—80; this work resulted, in the compilation of a new seismic zoning map for this country.

The map of expected earthquake origin zones for the Balkan region point out some places, where the expected future seismicity level was estimated to be remarkably higher than that in the past. Such discrepancy has given some ground to doubt the Map's reliability and to talk about overstated seismic danger. The Montenegrin Coast is one of such places where, against all obvious demonstrations, no seismic danger was taken into consideration when touristic and resort development program has been under

realization, A destructive earthquake occurred just there on April 15, 1977. Its epicentral zone was studied by the field party of the Institute of Physics of the Earth, Ac. Sc. USSR, Moscow. Comparison of this earthquake parameters with the expected magnitude, indicated on the map is impressive. It shows that the long-term earthquake prediction given on the Balkan map of expected earthquake origin zones was realized with high accuracy there.

Viktor M. FREMD  
Nikolaj V. ŠEBALIN

### SNAŽNI ZEMLJOTRESI NA BALKANU U ZONAMA DUGOTRAJNOG SEIZMIČKOG MIROVANJA

#### Re z i m e

Snažni zemljotresi ne javljaju se obavezno u mjestima gdje su se i ranije javljali. Zone dugotrajnog seizmičkog mirovanja, u kojima se kasnije javljaju razorni zemljotresi, osobito su kritične za do našeg vremena sačuvane istorijske spomenike. Navedeni su primjeri niza seizmičkih katastrofa koje su se desile upravo u oblastima dugotrajnog seizmičkog zatišja.

Radi potpunije analize seizmičke istorije neophodna je izrada unificiranih kataloga zemljotresa za duže vremenske periode. Unifikacija parametara zemljotresa omogućava primjenu jedinstvenih metoda njihovog upoređivanja sa geološko-geofizičkim stanjem i na osnovu toga prognoziranje zona javljanja budućih zemljotresa. Za teritoriju Balkana takav katalog urađen je zasada samo za XX vijek.

Prvu prognozu zona javljanja budućih zemljotresa na teritoriji Balkana dala je grupa sovjetskih autora u svom radu ostvarenom 1975. godine, po ugovoru sa UNESKO-om. Dalji razvitak novih principa prognostičkog seizmičkog rajoniranja bio je ostvaren izradom najnovije karte seizmičkog rajoniranja Bugarske.

Na karti zona javljanja očekivanih zemljotresa na Balkanu pokazan je niz sektora, gdje je nivo očekivanih zemljotresa znatno viši od nivoa zemljotresa u prošlosti. Ta prividna nesaglasnost davala je povoda za sumnju u opravdanost isticanja seizmičke opasnosti. Jedan od takvih sektora bilo je Crnogorsko primorje, gdje seizmička opasnost praktično nije uzimana u obzir prilikom izrade programa rekreativno-turističkog graditeljstva.

15. aprila 1979. godine ovdje se desio razoran zemljotres. Najpotpunije ispitivanje njegove epicentralne zone obavila je ekspedicija IFZ AN SSSR. Jedan od punktova instrumentalnog posmatranja bila je Budva. Dokazano je da je prognoza data na karti očekivanih zemljotresnih žarišta na Balkanu, u odnosu na ovo područje, bila opravdana visokom tačnošću.

