

## АБСТРАКТ

Ведущей проблемой современной сейсмологии является оценка сейсмической опасности конкретных территорий, т. е. прогноз для этих территорий параметров возможных в них разрушительных землетрясений: местоположения, типа и размера сейсмических очагов, магнитуд и частоты повторения землетрясений, особенностей их проявления на земной поверхности, природы повторных толчков, характеристик сейсмического режима. Базу для успешного решения этой проблемы составляют четкие, экспериментально установленные понятия: очаг землетрясения, сейсмогенная зона, закономерности генерации землетрясений. В сейсмологической литературе нередко встречаются представления об очаге землетрясения и сейсмогенных зонах, не обоснованные экспериментально, не учитывающие закономерности генерации землетрясений. В действительности же накопленные к настоящему времени в мире результаты многосторонних исследований землетрясений разного типа и масштаба, происшедших в разных геологических регионах, образуют необходимую экспериментальную базу для четкого определения понятий очага землетрясения, сейсмогенной зоны, установления ведущих закономерностей сейсмогенеза. На основе этой базы в статье формулируется понятие очага землетрясения; анализируются возможные в разных геологических структурах предельные размеры сейсмических очагов и соответствующие им максимальные значения магнитуд землетрясений; рассматривается отличие реального сейсмического очага от математической его модели; выясняется природа форшоков и афтершоков; определяются понятие сейсмогенной зоны и принцип ее строения; формулируется концептуальная схема закономерностей сейсмогенеза, справедливая для любых геологических регионов.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из ведущих проблем современной сейсмологии является оценка сейсмической опасности конкретных территорий, т. е. прогноз следующих параметров возможных в них землетрясений: местоположения и размера сейсмических очагов, их типа, магнитуды возможных в этих очагах землетрясений, частоты их повторения, особенностей проявления землетрясений на земной поверхности, природы повторных толчков, характеристик сейсмического режима. Необходимой базой для успешного решения этой проблемы должны быть надежно установленные по экспериментальным данным и физически понятные сущность очага землетрясения; генетическая связь его параметров с геологическими параметрами; природа форшоков и афтершоков; ведущие закономерности, управляющие процессом возникновения землетрясений. Без выяснения перечисленных вопросов не может быть успешного разрешения проблемы оценки сейсмической опасности. В исследованиях необходимо четко разделять твердо установленные экспериментальные факты и разного рода гипотезы или неоднозначные интерпретации результатов наблюдений. Важнейшим элементом в исследованиях по прогнозу землетрясений является экспериментально обоснованное понятие очага землетрясения.

Невозможно осуществить достоверный прогноз землетрясений и их параметров на базе априори принятых, экспериментально не обоснованных представлений о генезисе землетрясений, вроде существования неких ослабленных зон или линейментов неизвестного происхождения, лавинно-неустойчивого трещинообразования, взаимодействия неких блоков в условиях напряженного состояния неизвестного происхождения и т. п. Подобные экспериментально не обоснованные представления о землетрясениях нередко встречаются в сейсмологической литературе. Сейсмический процесс в таких представлениях оказывается хаотическим и не подчиняется каким-либо закономерностям. При этом в сейсмологических публикациях часто используются разного рода умозрительные представления об очаге землетрясения без экспериментального обоснования.

Не может быть успешной оценка сейсмической опасности, базирующаяся на сейсмостатистических данных. Ярким свидетельством этого является просчет японских сейсмологов в вероятностной оценке сейсмической опасности территории Японии. Согласно этой

оценке [Kagan, Jackson, 2013], сейсмически не опасным было признано Тихоокеанское побережье центральной части острова Хонсю, где 11.03.2011 г. произошло разрушительное цунамигенное землетрясение Тохоку. Аналогичный просчет в вероятностной оценке сейсмической опасности содержится в работе [Kagan, Jackson, 1994]: после публикации названной статьи два разрушительных землетрясения с магнитудами около 7,5 произошли в 1995 г. на Сахалине и в районе Кобе, в Японии, в областях, не причисленных в статье к сейсмически опасным областям.

Совокупность всех накопленных к настоящему времени в мире результатов разносторонних исследований землетрясений позволяет составить четкое, физически понятное представление об очаге землетрясения и его генетической природе. Понятие очага землетрясения является краеугольным камнем в успешном решении проблемы оценки сейсмической опасности и прогнозе землетрясений. Цель данной статьи — рассмотреть и сформулировать основанные на экспериментальных данных представления об очаге землетрясения и его физической природе; генетических связях параметров очага с параметрами геологических структур и с параметрами порождаемых ими землетрясений; природе форшоков и афтершоков; сущности сейсмогенных зон; закономерностях сейсмогенеза. Основной базой для написания статьи явился большой объем экспериментальных данных по результатам целенаправленных детальных исследований: 1) пространственно-временных характеристик сейсмогенеза в конкретных, протяженных сейсмогенных зонах, связанных единством тектонического процесса, океанических и континентальных; 2) генетических связей геологических и сейсмических параметров для коровых землетрясений с магнитудами  $M \geq 6$ , происшедших в течение XX в. в геологически разных районах Северной Евразии и прилегающих к ней территориях. При анализе результатов перечисленных исследований учитывались опубликованные в сейсмологической литературе у нас и за рубежом результаты исследования геологических и сейсмических характеристик крупных землетрясений из разных районов мира.

Исследованными океаническими сейсмогенными зонами являются островные дуги: Курило-Камчатская (наиболее детально исследована), Алеутская, Андаман-Суматринская. Среди континентальных исследованы сейсмогенные зоны: Северо-Анатолийская и Восточно-Анатолийская, связанные с одноименными крупнейшими

сдвиговыми разломами; Копетдага; северо-восточного и южного склонов Большого Кавказа; массива Лут в Иране. Исследование сейсмогенных зон включало: анализ данных о геологическом строении зон; разбор и анализ проявления долговременной сейсмичности, включая сведения о крупных исторических землетрясениях; детальный анализ развития во времени и пространстве форшоков и афтершоков крупных землетрясений XX–XXI вв.; определение и анализ механизмов очагов главных толчков, их форшоков и афтершоков, с обоснованием точности определения их параметров; анализ макросейсмических проявлений крупнейших землетрясений, современных и исторического прошлого; выяснение связей сейсмических и геологических параметров; выяснение закономерностей генезиса землетрясений в зонах.

Перечень статей с результатами исследований, на которых базируется данная статья, представлен в списке литературы.

## ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

**Очаг землетрясения — основные характеристики.** Четко сформулированное и экспериментально обоснованное понятие очага землетрясения имеет кардинальное значение при решении проблемы сейсмической опасности. Совокупность всех имеющихся у нас и за рубежом результатов разносторонних исследований землетрясений (геологических, макросейсмических, инструментально-сейсмических) позволяет уверенно определять физическую природу очага землетрясения: очаг землетрясения — участок активного разрыва, динамическое смещение горных масс по которому приводит к излучению сейсмических волн. В соответствии с этим теоретической моделью очага землетрясения принята площадка сдвига.

Активные разрывы закладываются и формируются в пограничных зонах разнонаправленных тектонических движений, которые являются зонами концентрации сдвиговых напряжений (см., например, [Саваренкий, Кирнос, 1955; Григорьев и др., 1979]). Формирование разрыва занимает длительный период времени, в ходе которого в зоне концентрации сдвиговых напряжений происходит постепенное разрушение сплошности геологической среды с образованием прослойки «перетертых» пород. Последние выполняют роль смазки при осуществлении динамических смещений по разрыву больших участков горных масс. Длительность периода формирования разрыва, по-видимому, исчисляется сотнями тысяч или даже миллионами лет. Например, возраст активного Северо-Анатолийского разрыва в Турции оценивается разными геологами от 4 до 10 миллионов лет. Часть этого времени занял процесс формирования Северо-Анатолийского разрыва как поверхности скольжения, по которой затем могло осуществляться динамическое смещение больших масс горных пород при землетрясениях. В условиях больших (до 3–10 кбар) всесторонних давлений в земной коре внезапное хрупкое разрушение горных пород невозможно на глубинах более 4 километров [Ogovan, 1960]. Отражением процесса постепенного формирования активных геологических разрывов, возможно, являются рои землетрясений [Kasahara, 1970; Matsuda, 1967]. Так, в пределах молодого Андаманского моря характерной чертой сейсмичности является возникновение роев землетрясений в тех или иных участках морского дна [Балакина, Москвина, 2012].