



***RESULTS OF RESEARCHES
ON THE INTERNATIONAL GEOPHYSICAL PROJECTS***

**RESEARCH
OF SEISMICITY
IN SEISMIC ZONES
OF LESS ACTIVITY**

(CENTRAL CUBA)



**PUBLISHING HOUSE «NAUKA»
MOSCOW 1983**

УДК 550.348

Л. Альварес, А.А. Годзиковская, Т.Г. Раутман

СЕЙСМИЧНОСТЬ И СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КУБЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

До начала XX века имеются только исторические сведения о землетрясениях на Кубе. С 1906 г. наряду с историческими данными появляются и инструментальные, число последних и их доля быстро растет в связи с развитием инструментальных сейсмологических наблюдений. Большинство инструментальных данных по землетрясениям самой Кубы (территории острова и прилегающей к Ориенте части желоба Кайман-Бартлетт) было получено в результате работы сейсмических станций Сороа и главным образом Рио-Карпинтеро (начиная с 1969 г.), а также станций "Земля" (в 1974–1975 гг.). В 1978 г. были установлены временные сейсмические станции в Центральной Кубе, вблизи Сьенфуэгоса.

Имеющиеся данные чрезвычайно разнородны и содержатся в различных источниках. Представительность этих данных, сроки наблюдения, точность координат и особенности магнитудной классификации крайне различны. При составлении регионального каталога вначале был выполнен тщательный анализ всех имеющихся источников, оценены расхождения и в необходимых случаях подсчитаны поправки. Вслед за тем в до-

полнение к инструментальным определениям были выполнены оценки глубины очага по макросейсмическим данным. Для оценки магнитуды по историческим данным было выполнено исследование соотношения между балльностью I_0 и магнитудами M_L и m_p .

Источники

Краткая характеристика источников приводится ниже.

1. Ощутимые землетрясения Кубы, 1978. Каталог составлен Л. Альваресом, А.А. Годзиковской, Т.Г. Раутиан и др. на основании частично опубликованных, частично существующих в виде рукописей сводок кубинских сейсмологов.

Большинство данных из предыдущих рукописных сводок было проверено по первоисточникам, а там, где первоисточники были недоступны, — по работам авторов, собравших первичные сведения. Многие землетрясения были выявлены впервые при просмотре первоисточников исторических сведений, главным образом местных газет. При такой проверке удалось исправить некоторые ошибки авторов.

Каталог нельзя считать полным и окончательным: наверняка существовали землетрясения, пока еще не найденные. Для многих землетрясений установлен только год, но неизвестны даты и время суток. Возможно, поэтому некоторые землетрясения, упомянутые в каталоге [1] как отдельные, в действительности являются одним землетрясением, ощущавшимся в разных пунктах.

2. Ощутимые землетрясения Ямайки, 1977 [Tomblin, Robson, 1977]. Этот капитальный труд содержит множество сведений об ощутимых землетрясениях прошлого, главным образом Ямайки. Из него заимствованы все данные, относящиеся к землетрясениям, ощущавшимся на Кубе. Что касается Ямайки, Гаити (в тексте — Эспаньола) и Пуэрто-Рико, то для этой зоны взяты только сравнительно сильные землетрясения, которые хотя бы в одном пункте ощущались с силой VI или более баллов (для Ямайки — также несколько землетрясений, ощущавшихся на всем острове с силой не ниже V баллов).

В отдельных случаях в [2] приводятся и инструментальные сведения о координатах очага и магнитудах, почерпнутые авторами из различных надежных источников. В Приложениях 1, 2 эти данные приводятся со ссылкой на [2].

Заметим, что число землетрясений, отмечаемых каталогом [2] как ощутимые, за последние годы заметно снизилось. По-видимому, это отражает главным образом общую тенденцию снижения внимания к данным об ощутимости землетрясений в связи с развитием инструментальной сейсмологии и повышением престижа "объективной" инструментальной информации. Следует, однако, иметь в виду, что исторические сведения могут преувеличивать силу сотрясений по чисто психологическим мотивам. Например, во многих случаях первоисточники характеризуют как "самое сильное за последние годы" сравнительно умеренные (пяти-шестибалльные (и даже четырехбалльные) землетрясения. Правда, возможно, ямайская сейсмогенная зона испытывает в последнее столетие относительное затишье.

3. Альварес, Менендес, 1969. В статье приводятся некоторые, весьма неравноценные, сведения о землетрясениях Кубы. Для части из них указаны дата, время, положение эпицентра и балльность, для других — только время, относительно некоторых вообще нет данных, необходимых для включения землетрясения в каталог: дан лишь перечень пунктов, в которых отмечались ощутимые сотрясения от различных недатированных землетрясений (эти данные не могли быть использованы).

4. Альварес и др., 1973. Из этой статьи взяты некоторые землетрясения, в том числе те, для которых неизвестен балл, а известен только год возникновения.

5. Альварес, Бунз, 1977. В статье приводится сводка сильнейших землетрясений рассматриваемого района. Авторы этой статьи в ряде случаев провели пересопределение магнитуды по макросейсмическим данным, в других случаях — по длительности записи. Эти определения использованы без пересмотра. Исключениями являются

два землетрясения: 1899 и 1900 гг. Их магнитуды, по данным Б. Гутенберга [Gutenberg, 1956], равны соответственно 7,8 и 7,9. В каталоге [2] без комментариев приводятся их координаты, согласно которым первое произошло на Ямайке, второе — на северном берегу желоба Кайман (20° с.ш. и 80° з.д.). Между тем у Б. Гутенберга указывается, что точность этих эпицентров относится к классу F , что означает возможную погрешность $\pm 20^\circ$ (!), и отмечается, что макросейсмических данных для этих землетрясений не имеется. В каталоге [2] первое землетрясение упоминается, однако сила его на всем острове не превышала IV баллов, второе же землетрясение вообще не упомянуто. С полным основанием следует считать, что либо магнитуды не верны (во всяком случае, для первого из них), либо очаги расположены сравнительно далеко от эпицентров, указанных Б. Гутенбергом (второе более вероятно). Поэтому в каталоге только упомянуты даты этих землетрясений и не приводятся их координаты и магнитуды; эти землетрясения не учитываются при дальнейшем анализе сейсмичности и повторяемости землетрясений в изучаемом нами регионе.

6. Г у т е н б е р г, Р и х т е р, 1954 [Gutenberg, Richter, 1954]. Эта работа является главным источником инструментальных сведений о землетрясениях 1906–1952 гг. В каталоге приводятся данные о координатах и магнитудах землетрясений. Часть землетрясений отнесена к магнитудному классу d ; принято считать, что этот класс относится к интервалу $5,3 < M < 5,9$. В наших Приложениях сохранено обозначение Б. Гутенберга (d), а при подсчете повторяемости принималось, что магнитуда таких землетрясений $M = 5,6$.

7. S y k e s, E w i n g, 1965. В этой работе приводится список эпицентров землетрясений, координаты которых были пересмотрены и уточнены. По мнению авторов, погрешность координат не превышала 10 км. Так как кучность эпицентров на карте достаточно высока, эта оценка погрешности не кажется нам заниженной. Статья охватывает срок наблюдений 1950–1964 гг. Для значительной части землетрясений (около половины) не определена магнитуда. Данные этой работы мы считали наиболее надежными и брали за основу. Из других источников за этот срок брались только дополнительные данные.

8. R o t h e, 1969. Сводка Дж. Ротэ в значительной мере перекрывается списком землетрясений [7], лишь одно землетрясение из [8] оказалось дополняющим данные Л. Сайкса и М. Юинга. За 1965 г. основным источником является сводка Дж. Ротэ.

9. Б ю л л е т е н и ISS и ISC [ISS, 1965–1968, ISC, 1968–1974]. Эти источники дают сведения за 1965–1974 гг. В случае несовпадения с данными других источников за этот период предпочтение оказывалось данным этих бюллетеней. Исключение составляли случаи, когда координаты, приведенные в бюллетенях, были в резком противоречии с данными станции Рио-Карпинтеро или макросейсмическими сведениями.

10. Б ю л л е т е н ь NEIS [Preliminary..., 1975–1977]. Этот источник использовался в основном за 1975–1977 гг.

11. Б ю л л е т е н ь USCGS [Seismol. Bull. USCGS, 1965–1974]. Этот источник использовался ограниченно, в случаях, если его данные (особенно по магнитудам землетрясений) дополняли другие источники. Если сведения о координатах землетрясений из [11] имелись параллельно с данными и других источников, которые считались менее надежными, то предпочтение отдавалось данным [11]. Магнитудные определения из [11] использовались для выявления систематических отличий между m_{PV} и m_{UWI} и для определения поправок.

12. Б ю л л е т е н ь Р и о-К а р п и н т е р о. Высокочувствительная короткопериодная станция Рио-Карпинтеро начала регулярно работать с октября 1968 г., и первое время основное внимание уделялось местным землетрясениям с расстояниями не более 100–150 км. Была разработана методика определения гипоцентров (координат эпицентра и глубины) по одной станции с помощью определения инструментальных углов выхода и азимутов и разности фаз $S-P$. В 1973 г. сотрудниками Института геофизики и астрономии Кубы У. Альваресом и Л. Менендесом и сотрудниками ИФЗ Т.Г. Раутиан и

В.И. Мячкиным была проведена обработка данных этой станции за весь период ее работы — с октября 1968 г. по январь 1973 г. — и составлен Бюллетень станции. Обработка данных по этой методике продолжалась, и к 1978 г. Л. Альваресом, А.А. Годзиковской и Т.Г. Раутиан составлен Бюллетень станции за 1973—1976 гг.

В ходе выполнения настоящей работы заново пересмотрены все сейсмограммы этой станции за 1968—1977 гг., в результате чего выявлены землетрясения с очагами в пределах жёлоба Кайман, Ориенте и в Западном Гаити, а также определены эпицентры многих землетрясений, для которых ранее были определены только гипоцентральные расстояния и энергетические классы. Частично это было сделано за счет определения азимутов по вторым и даже более поздним экстремумам. В других случаях, когда этого сделать не удавалось, но эпицентральные расстояния были малы (до 40 км), таким землетрясениям были условно приписаны координаты $19,8$ или $19,9^\circ$ с.ш. и $75,8$ — 76° з.д., а глубина очага — 30 км, что соответствует средним глубинам очага этой зоны. В таких случаях координаты в Приложениях 1, 2 взяты в скобки. Данные этой станции за 1978 г. обработаны не полностью: выявлены землетрясения только из района Кайман.

Бюллетень станции Рио-Карпинтеро содержит данные о землетрясениях, начиная с энергетического класса $K = 6,7$ (для наиболее близких к станции эпицентров). Из них для Приложений взяты землетрясения с $K \geq 9$, для которых можно было определить азимут. Для района Кайман и Западного Гаити азимуты, а значит, и эпицентры можно было определять, начиная с $K = 9,5$, и почти со 100%-ной надежностью, начиная с $K = 10$.

13. Б ю л л е т е н ь С о р о а (составлен Л. Альваресом, А.А. Годзиковской, Т.Г. Раутиан в 1978 г.). Сейсмическая станция Сороа (SOR) была оборудована только длиннопериодной установкой и нацелена на регистрацию телесеизмических сигналов. Лишь в марте 1978 г. там была установлена короткопериодная аппаратура. Это обстоятельство, а также низкий уровень сейсмической активности этой зоны в настоящее время привели к тому, что данных этого источника очень мало: практически это несколько единичных слабых землетрясений.

14. Б ю л л е т е н ь С ь е н ф у э г о с (1978). Сейсмические станции, установленные в районе Сьенфуэгоса, не регистрировали местных землетрясений, однако мы использовали данные этих станций для определения некоторых землетрясений Карибского района. Координаты определялись на основе азимутов и с помощью годографа Джеффриса-Буллена.

15. Б ю л л е т е н ь К у б а — Я м а й к а (1978). Бюллетень составили А.А. Годзиковская и Т.Г. Раутиан на основании данных станций Рио-Карпинтеро (данные брались из бюллетеня этой станции или из сейсмограмм), Сороа, станций района Сьенфуэгос, а также Ямайки (STN, NOJ, PPJ), которые брались из бюллетеней UWI [16—18].

Этот бюллетень содержит весьма отрывочные сведения, так как он составлялся главным образом для проверки надежности эпицентров, приведенных в [18].

При совместном определении эпицентров по данным нескольких станций использовался годограф Джеффриса-Буллена для 33 км (если очаг был в море) и для 0 км (если очаг был на территории Кубы).

16. Б ю л л е т е н ь UWI-1 (Тринидад) [Prelim. Seismol. Bull., 1976—1977]. В нашем распоряжении были бюллетени этого центра только за февраль-март 1976 г. и январь-сентябрь 1977 г. Определения эпицентров ведутся этим центром на основании данных только станций Карибского региона (см. ниже). Станции эти сконцентрированы главным образом на востоке, на Малых Антильских островах и на юге. Данные станций Ямайки и Кубы обычно не используются из-за недостаточно налаженного обмена информацией. На Гаити станций нет совсем. В тех случаях, когда в [16] приводились данные для района Кубы и Ямайки, они часто резко расходились с данными [12] и потому не использовались. Однако для землетрясений восточной части изучаемого нами района (Пуэрто-Рико и Доминиканской республики) эпицентры

сравнительно хорошо совпадали с определениями [11], поэтому для восточной части региона данные этого источника использовались как одни из основных.

Данные магнитудных определений этого источника сильно отличались от определений m_{PV} в [9–11]. Поэтому в Приложениях 1, 2 приводятся исправленные значения магнитуд из [16] и [17].

17. Б ю л л е т е н ь UWI-2 (Тринидад) [Seismol. Bull. Seismol. Res..., 1967–1969]. В значительной мере он перекрывается данными [9–11], однако довольно много было землетрясений, которые отмечались только здесь (как правило, сравнительно слабые). В тех случаях, когда данные этого бюллетеня были единственным источником сведений о магнитудах, мы включали в наш каталог исправленные значения магнитуд. Если имелись определения магнитуд и другими источниками, мы осредняли эти значения и исправленные значения магнитуд из [17]. Исправленные значения в каталоге в скобках.

18. Б ю л л е т е н ь UWI-3 (Ямайка) [Seismol. Bull. Seismol. Res..., 1969–1970]. В нашем распоряжении имелся этот бюллетень за довольно краткий интервал времени: с октября 1969 г. по июнь 1970 г. В нем содержатся сведения главным образом о землетрясениях Ямайки, Ориенте, Каймана, Западного Гаити, причем не только координаты и магнитуда, но и времена вступлений волн P и S на станциях. Совместное рассмотрение данных [18] и [12] показало, что в ряде случаев эпицентры определяются неверно из-за крайней близости трех станций Ямайки друг к другу и неучета азимутов. Поэтому приведенные в [18] координаты использовались только, если эпицентр находился на самой Ямайке или в непосредственной близости от нее; в других случаях бюллетень использовался как источник первичных данных для переопределения совместно с данными [12]. Результаты содержатся в [15].

19. Б ю л л е т е н ь М е к с и к о [Informacion sismica..., 1976–1977]. Этот источник содержит сведения главным образом о землетрясениях п-ова Юкатан и основан на данных мексиканских сейсмостанций, расположенных в этом районе. Однако в нем содержатся некоторые данные о землетрясениях других зон изучаемого нами региона (Доминиканской республики), включенные в Приложения 1, 2.

20. Щ е р б а к о в а и д р., 1977 (по материалам экспедиционных работ ВНИИГеофизика). Для 186 из 400 землетрясений определены эпицентры. В ходе настоящей работы эти данные критически рассмотрены с привлечением записи [12] и с учетом расположения каждого полученного в этой работе эпицентра относительно расположения сети станций в этот период. Как и следовало ожидать, эпицентры, расположенные далеко от станций, в ряде случаев были определены с большими ошибками, тогда как при расположении эпицентров вблизи профиля станций "Земля" различия в определениях станций [12] составляют всего несколько сотых градуса.

В Приложениях 1, 2 использованы данные о тех землетрясениях из [20], которые расположены близко от станции "Земля" и которые могут поэтому считаться надежными, даже если для них и не было данных станции [12]. Это главным образом эпицентры в районе Эсмеральда, Тринидад и Санкти-Спиритус, а также в районе островов Коко и Гардинес. Большинство эпицентров относится к районам жёлоба Кайман: от 79° до 73° . Использовались только землетрясения с $K \geq 9$, для которых имелись данные [12] и для которых, следовательно, имелась возможность переопределения эпицентров по совместным данным.

Глубины очагов по инструментальным данным

Материалы мировой сети станций в этом районе не слишком надежны. Часто при сопоставлении оценок глубин, которые были сделаны разными службами, оказывается, что значения глубины для одного и того же землетрясения сильно различаются. Представление о глубинах очагов во впадине Кайман можно получить, пользуясь оценками глубины землетрясений жёлоба Кайман вблизи Ориенте по данным станции Рио-Карпинтеро. По материалам наблюдений этой станции за 1969–1972 гг. Л. Менендесом, У. Альваресом, В.И. Мячкиным и Т.Г. Раутиан были определены эпицентры и глубины

очагов всех землетрясений с достаточно надежными амплитудами первых вступлений по методу изохрон и углов подхода сейсмической радиации [Раутиан и др., см. наст. сб.]. В работе [Alvarez, 1975] приведен вертикальный разрез через гипоцентральною зону вдоль простираия желоба. Глубины здесь лежат между 20 и 50 км. Около Гуантанамо отмечается участок больших глубин (до 90 км). Этот участок приурочен к усложнению линейной структуры северного борта желоба и с предположительно существующим здесь поперечным разломом. Возможно, появление здесь землетрясений с глубинами 60–90 км указывает на компоненту поддвига [Ушаков и др., 1979] в общем сдвиговом характере движений по разлому.

Землетрясения, имеющие на записях Рио-Карпинтеро угол подхода с вертикалью около $45-48^\circ$, как правило, приурочены собственно к территории острова. Точных определений глубин по углам подхода луча в этом случае сделать нельзя. Однако форма записи первых вступлений характерна для поверхностных землетрясений.

В Приложениях 1, 2 содержатся сведения о нескольких землетрясениях с инструментальными глубинами около 70–90 км в других частях желоба Кайман, в частности около поперечного рифта. По-видимому, глубины 20–50 км (местами до 70–90 км) являются характерными для желоба Кайман.

Глубины очагов по макросейсмическим данным

Полученные в статье Альвареса и др. (см. наст. сб.) локальные характеристики макросейсмического поля могут быть использованы для определения глубин очагов, типичных для сильных землетрясений каждого из исследуемых районов Центральной Кубы. Такие определения могут быть сделаны двумя способами [Шебалин, 1968]: по соотношению магнитуды M и балльности I в эпицентре h_{IM} и по затуханию балльности с расстоянием h_I . Применяемые для этой цели уравнения макросейсмического поля имеют вид

$$I_0 = bM - \nu \lg h_{IM} + c, \quad (1)$$

$$I_0 - I_i = \nu \lg \sqrt{1 + \Delta_i^2/h_I^2}, \quad (2)$$

где Δ_i — среднее расстояние, соответствующее I_i . Значения коэффициентов b , c и ν следует уточнять отдельно для каждого региона, но при отсутствии достаточных данных могут быть приняты среднемировые значения.

Формула (1) была использована для оценки глубины очага в тех немногих случаях, когда одновременно известны I_0 и M .

При этом использованы среднемировые значения коэффициентов в выражении (1): $b = 1,5$; $\nu = 3,5$; $c = 3,0$. Результаты приведены в табл. 1. В случаях, когда была известна лишь магнитуда m или энергетический класс K , они переводились в M по соотношениям

$$m_{PV} = 1,84 + 0,67 M, \quad (3)$$

$$K = 6,7 + 1,5 M. \quad (4)$$

Для определения глубины очагов по формуле (2) необходимо использование карт изосейст. Чтобы избежать больших ошибок, связанных с недостаточностью макросейсмических сведений, в данном случае для определения средней глубины очагов по зонам были использованы обобщенные изосейсты, составленные для этих зон.

Результаты представлены в табл. 2. Здесь $\delta I = I_0 - I_i$, r_i — средний радиус обобщенной изосейсты с номером i , ν — коэффициент затухания в формуле (2). В графе h_{IM} — средние значения глубины очагов по районам из табл. 1.

Совместное рассмотрение средних значения \bar{h}_I , \bar{h}_{IM} и приведенных инструментальных оценок h_{II} (табл. 2) приводит к окончательным оценкам типичных глубин очага по отдельным районам: Центральная Куба — 15 км, Западная Куба — 10 км, Ориенте — 20–50 км, Гаити — 25 км.

Таблица 1

Опорные землетрясения для установления соотношений между M , K и I_0

Дата	Район	I_0 , баллы	M	mpv	K	h_{DM} , км
04.VIII 1946	Ганти	X	8,1	—	—	28
14.I 1907	Ямайка	VIII–IX	6,6	—	—	18
06.X 1911	Ганти	VIII	7,0	—	—	36
03.II 1932	Куба, Сантьяго-де-Куба	VIII	6,7	—	—	28
03.VIII 1914	Ямайка	VII	6	—	—	26
19.II 1976	Куба, Пилон	VII	5,9	5,3	—	23
14.VII 1939	Куба, Ремедьос	(VII)	(5,6?)	—	—	(18)
25.V 1969	Ямайка	V–VI	5,1	—	—	28
08.IV 1974	Куба, Эсмеральда	VI	—	4,1	—	4
11.X 1968	Куба, пров. Ориенте	V	—	4,3	12,5	12
13.V 1951	То же	IV	—	4,0	—	12
28.III 1971	Ямайка	IV	—	3,9	—	11
26.VIII 1971	Куба, Хатибонико	IV	—	3,9	10,1?	11
11.XI 1970	Куба, Санти-Спиритус	IV	—	(3,15)	9,7	5
26.III 1971	Ямайка	IV	—	3,6	—	7
16.X 1970	Куба, Баня-Онда	III	—	(2,95)	9,2	6
11.X 1918	Ганти	VIII–IX	7,5	—	—	40
31.V 1953	"	VIII	6,9	—	—	32
11.VI 1971	"	VII–VIII	6,4	—	—	26
03.XI 1966	"	VII–VIII	6,2	—	—	22

Таблица 2

Определение средней глубины очага землетрясений Кубы и Ганти по размерам обобщенных изосейст

Район	Число случаев	Средние радиусы обобщенных изосейст r_p , км					
		$\delta I=0$	1	2	3	4	
Центральная Куба	2	9	20	31	53	—	—
Западная Куба	1	10	25	52	85	135	(280)
Ориенте, Куба	3	62	100	135	205	230	360
Ганти	12	(25)	58	110	260	—	—

Таблица 2 (окончание)

Район	Средняя глубина очагов, км				
	\bar{v}	\bar{h}_I	\bar{h}_{DM}	\bar{h}_H	\bar{h}
Центральная Куба	4,8	10	13	(10–20)	15
Западная Куба	4,1	12	(6)	(10–20)	10
Ориенте, Куба	7,2	60	(20)	20–50	20–50
Ганти	3,1	21	31	—	25

Корреляция балльности в эпицентре I_0 и магнитуды

Для оценки параметров сейсмического режима за возможно более длительный период наблюдений большое значение имеют сведения об исторических землетрясениях. Основные данные о сильнейших сейсмических событиях региона относятся к XVIII и XIX вв., а частично и к XVI и XVII. Естественно, что для этих землетрясений с большей или меньшей достоверностью могут быть оценены лишь макросейсмические параметры, например максимальный балл в эпицентральной зоне I_0 . Чтобы использовать эти землетрясения при анализе сейсмичности, необходимо получить региональные соотношения между максимальным баллом и магнитудой. Для этого использованы землетрясения, для которых была инструментально определена магнитуда M (или m) и у которых имеется сравнительно хорошее определение максимального балла (см. табл. 1).

Эпицентры этих землетрясений расположены либо на суше, либо в море, но достаточно близко к берегу, так что можно считать наблюдавшийся максимальный балл соответствующим эпицентральной зоне.

Глубина очагов этих землетрясений была определена по формуле (1).

Графики корреляции I_0 с магнитудой M (для сильных землетрясений) и m_{PV} (для более слабых) приведены на рис. 1. Связь I_0 и M имеет вид ломаной линии с точкой перелома вблизи $M = 5,6$. Для более сильных землетрясений (район Ориенте, Гаити, Ямайки)

$$I_0 = 1,17 M + 0,1, \quad (6)$$

а для более слабых

$$I_0 = 1,75 M - 3,2. \quad (7)$$

Связь максимальной балльности с магнитудой m имеет вид

$$I_0 = 1,85 m - 2,5. \quad (8)$$

Приложения 1, 2

Полный каталог землетрясений Кубы и северной части Карибского кольца (Л. Альварес, Т. Чуй, 1978) содержит данные примерно о 1600 землетрясениях 1551–1977 гг. в области между 64 и 88° з.д. и 14 и 25° с.ш. В настоящей статье представлены две важнейшие выборки данных этого каталога (Приложения 1, 2 к наст. статье). В Приложении 1 приведены данные о 156 сильнейших землетрясениях исследуемого региона ($M \geq 5,5$), в Приложении 2 — о всех известных землетрясениях Центральной Кубы.

При исследовании землетрясений, включенных в эти выборки, изложенная выше методика была использована для унификации магнитуд и других характеристик всех

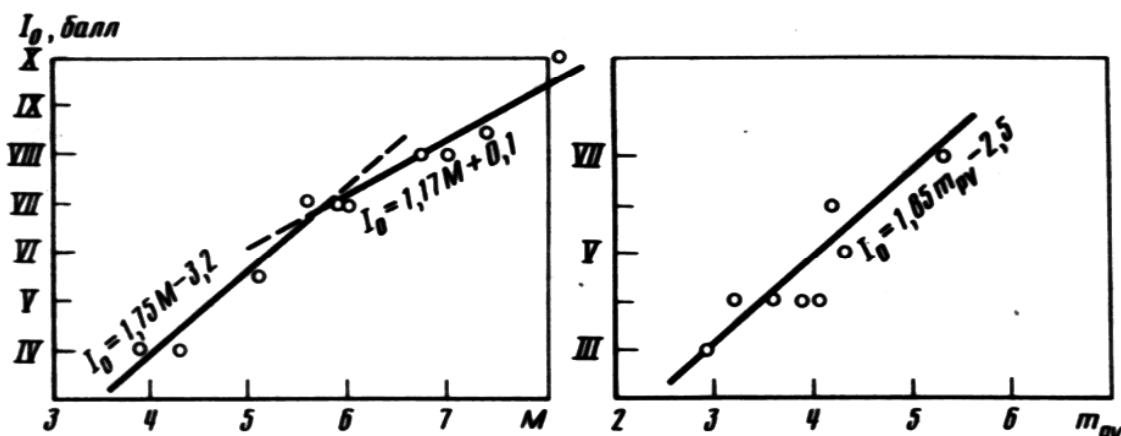


Рис. 1. Корреляция максимального балла в эпицентральной зоне магнитудой землетрясения M и m_{PV}

известных землетрясений в единой системе параметров. Для взаимного пересчета параметров землетрясений, о которых имелись только исторические (макросейсмические) или только инструментальные данные, использовались полученные выше корреляционные соотношения.

Координаты эпицентра определялись по картам изосейст как координаты точки, лежащей в центре зоны максимальных сотрясений. Если землетрясение было слабым и в исторических данных был указан только один пункт, в котором ощущалось сотрясение, то землетрясению приписывались координаты этого пункта. Оценка магнитуд таких землетрясений выполнялась на основании корреляционной зависимости между максимальным баллом I_0 и магнитудами M и m : при $M \geq 5,6$ — по формуле (6), при $3 < m < 5,6$ и $M \leq 5,5$ — по формулам (7) и (8).

Координаты и магнитуды, оцененные таким способом, заключались в скобки. В тех случаях, когда оценка магнитуд исторических землетрясений не выполнялась заново, а взята из других источников, скобки не ставились. Для некоторых землетрясений инструментальные данные о координатах и магнитудах взяты из каталога [2], который являлся одним из главных источников исторических и макросейсмических данных. Во всех случаях, когда в качестве источников о землетрясениях использовались сводки предыдущих исследователей, в Приложениях 1, 2 даны ссылки на эти сводки (без ссылок на первоисточники).

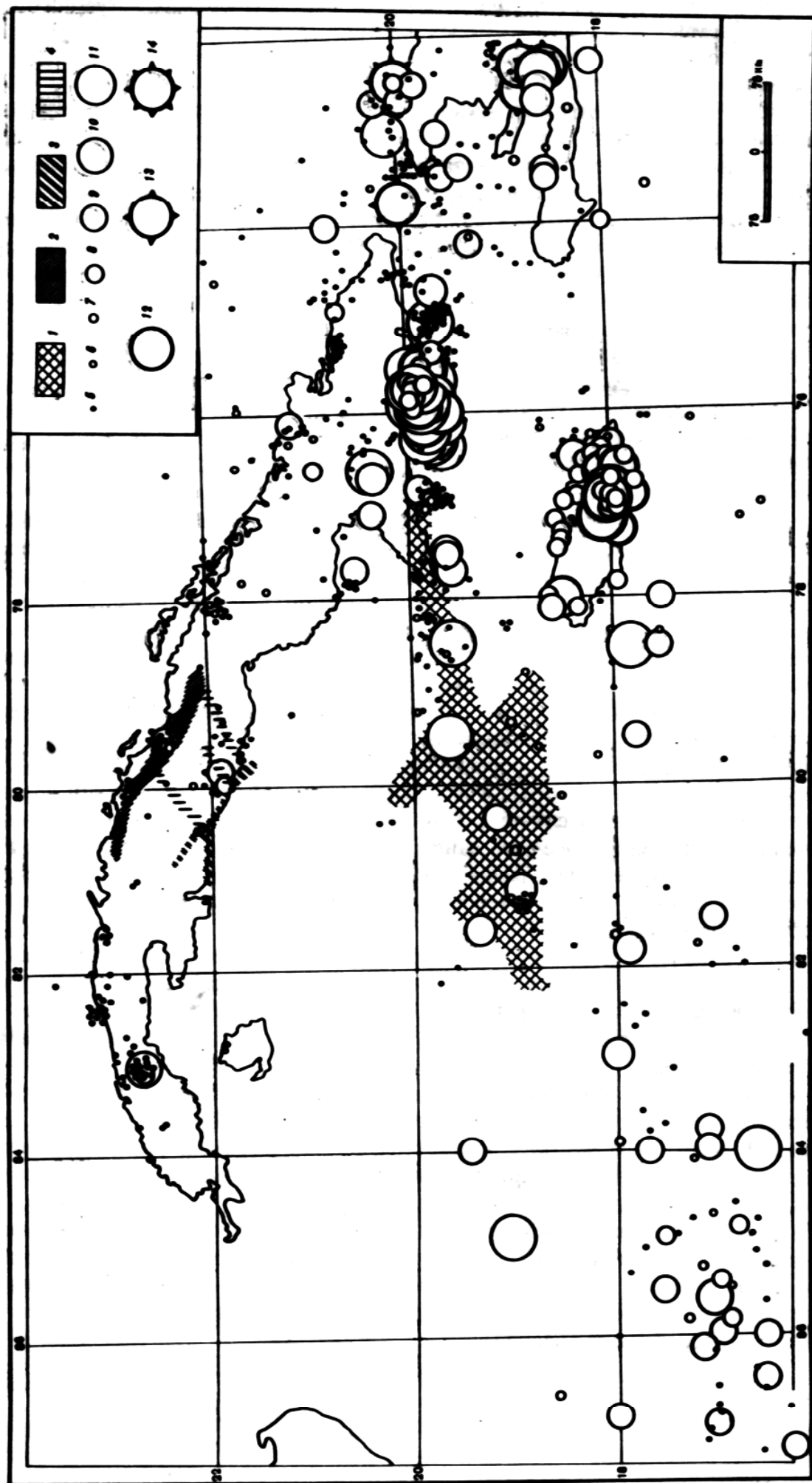
Ссылки на источники приводятся для каждого землетрясения, упомянутого в каталоге. Если один источник дает инструментальные, а другой — макросейсмические данные, в столбце "источник" даются ссылки на оба источника. Если инструментальные сведения о координатах землетрясений имелись в нескольких источниках, приводились, как правило, сведения тех из них, которые считались более надежными. В частности, данные [9] и [7] считались более надежными, чем бюллетени [8, 10], а эти последние — более надежными, чем бюллетени [16–18]. Для землетрясений восточной части Кубы и Ямайки иногда имелись данные станции Рио-Карпинтеро и станции Ямайки. В этих случаях использовались данные [15].

Часто оказывалось, что координаты землетрясений приходилось брать из одного источника (более надежного), а магнитуду — из другого, поскольку первый источник ее не приводил. В этом случае в Приложениях также указаны оба источника. В Приложениях приведены отдельно данные о магнитудах M и m . Когда данные о магнитуде одного и того же типа у разных источников не совпадали, землетрясению приписывалось осредненное значение магнитуды, которое записано в соответствующей графе (M или m) в скобках.

Если обработка землетрясений производилась по сейсмограммам заново, определения M или K проводились следующим образом. Для слабых местных землетрясений энергетический класс определялся по номограмме Раутиан. Для более сильных — использовалась сейсмическая кодa и определения велись по номограммам рис. 6 и 7 из работы [Раутиан, см. наст. сб.].

Номограмма рис. 7 применялась для оценки K , когда максимальные амплитуды относительно сильных местных землетрясений были нечитаемы на записи. В результате оценки K имеют все местные землетрясения. Номограмма рис. 6 для определения M по длиннопериодной кодe применялась при определении M для ряда землетрясений Ямайки и Гаити последних лет.

В результате выполненной работы получены унифицированные сведения о землетрясениях за достаточно большой период времени. Это дает возможность на следующем этапе работы перейти к исследованию особенностей пространственно-временного распределения землетрясений, что, в свою очередь, является основой для расчетов параметров сейсмической опасности.



Пространственное распределение сейсмичности

На карте (рис. 2) выделяется основная полоса эпицентров. Между 17° и 20° с.ш. она протягивается строго широтно, к западу от Кубы — в направлении запад-юго-запад. Вблизи 82° з.д. отмечается переход сейсмичности с северного борта впадины Кайман на ее южный борт. Этот переход совпадает с положением поперечного рифта [Holcombe *et al.*, 1973]. К югу от этой полосы землетрясений практически нет. К северу от нее имеются эпицентры землетрясений, главным образом слабых, в пределах территории Кубы и севернее, в Багамском проливе.

Рассмотрим распределение эпицентров на самой Кубе (рис. 2). В пределах западной Кубы эпицентры землетрясений концентрируются вблизи Сан-Кристобалья — это форшоки и афтершоки восьмибалльного землетрясения 1880 г. Кроме того, есть несколько эпицентров, расположенных к востоку от Сан-Кристобалья, примерно на меридиане Гаваны, и приуроченных к поднятию Сьерра-Розарио и поднятиям с многочисленными разломами, идущими вдоль северной части острова между Гаваной и Матансасом.

Большое число эпицентров располагается в Центральной Кубе. Большинство из них лежит вдоль северного побережья этой части страны, от Ранчо-Велос до Ягуахай. Далее к востоку имеются эпицентры в районе Веласко, Эсмеральда, Нуэвитас, Ольгин, Хибара, в окрестности бухты Нипе (Маяри, Никеро) и в пределах бывшей провинции Ориенте: Сагуа-де-Танамо, Моа, Баракоса. Возможно, что часть макросейсмических эпицентров этой северной полосы в действительности локализована в море, в пределах Багамского пролива. Инструментальные данные во всяком случае показывают, что таких эпицентров довольно много и непосредственно вблизи побережья, и на расстояниях 100–150 км.

Южная половина острова в сейсмическом отношении менее активна. Здесь эпицентры имеются только в пределах поднятия Сьерра-дель-Эскамбрай (Тринидад, Санкти-Спиритус, Хатибонико) и вблизи Санта-Крус-дель-Сур, а также в пределах акватории залива Гуаканаябо. Кроме того, имеются два инструментальных эпицентра, приуроченных к цепочке островов Хардинес-де-ла-Рейна, маркирующих границу шельфа.

Большинство эпицентров Ориенте относится к северному борту глубоководного желоба, протянувшегося вдоль южного побережья Ориенте. Однако и севернее этой полосы имеются инструментальные эпицентры. Известны также исторические сильные землетрясения в районе Баямо, на границе между поднятием Сьерра-Мазстра и депрессией Кауто.

Временной ход сейсмического процесса трудно проследить. Инструментальные данные со сравнительно равномерной представительностью имеются только для района Ориенте за время работы сейсмической станции Рио-Карпинтеро. Имеющиеся макросейсмические данные собственно Кубы, и особенно интересующего нас ее Центрального района, менее надежны. Временной ход сейсмичности тем не менее должен быть рассмотрен, так как его характеристики важны для экстраполяции повторяемости землетрясений в сторону больших магнитуд.

Для района Ориенте (той его части, которая относится к желобу Кайман и расположена южнее 20° с.ш.) построен пространственно-временной график (рис. 3), где вдоль оси абсцисс отложена пространственная координата (долгота), а вдоль оси ординат — время. Размерами кружков показаны энергетические классы землетрясений. Бросается в глаза тенденция к группированию землетрясений и возникновению роев. Особенно выделяются рой землетрясений вблизи Гуантанамо в 1972 г.,

Рис. 2. Расположение очагов сильных землетрясений Центральной Кубы и центральной части желоба Кайман по геологическим данным

Зоны по категориям: 1 — первой категории, в пределах которой возможно возникновение очагов землетрясений с $M = 8,0$; 2 — второй, 7,0; 3 — третьей, 6,5; 4 — четвертой, 6,0; эпицентры землетрясений: 5 — $M < 3,9$; 6 — $4,2 \pm 0,2$; 7 — 4,7; 8 — 5,2; 9 — 5,7; 10 — 6,2; 11 — 6,7; 12 — 7,2; 13 — 7,7; 14 — $8,2 \pm 0,2$

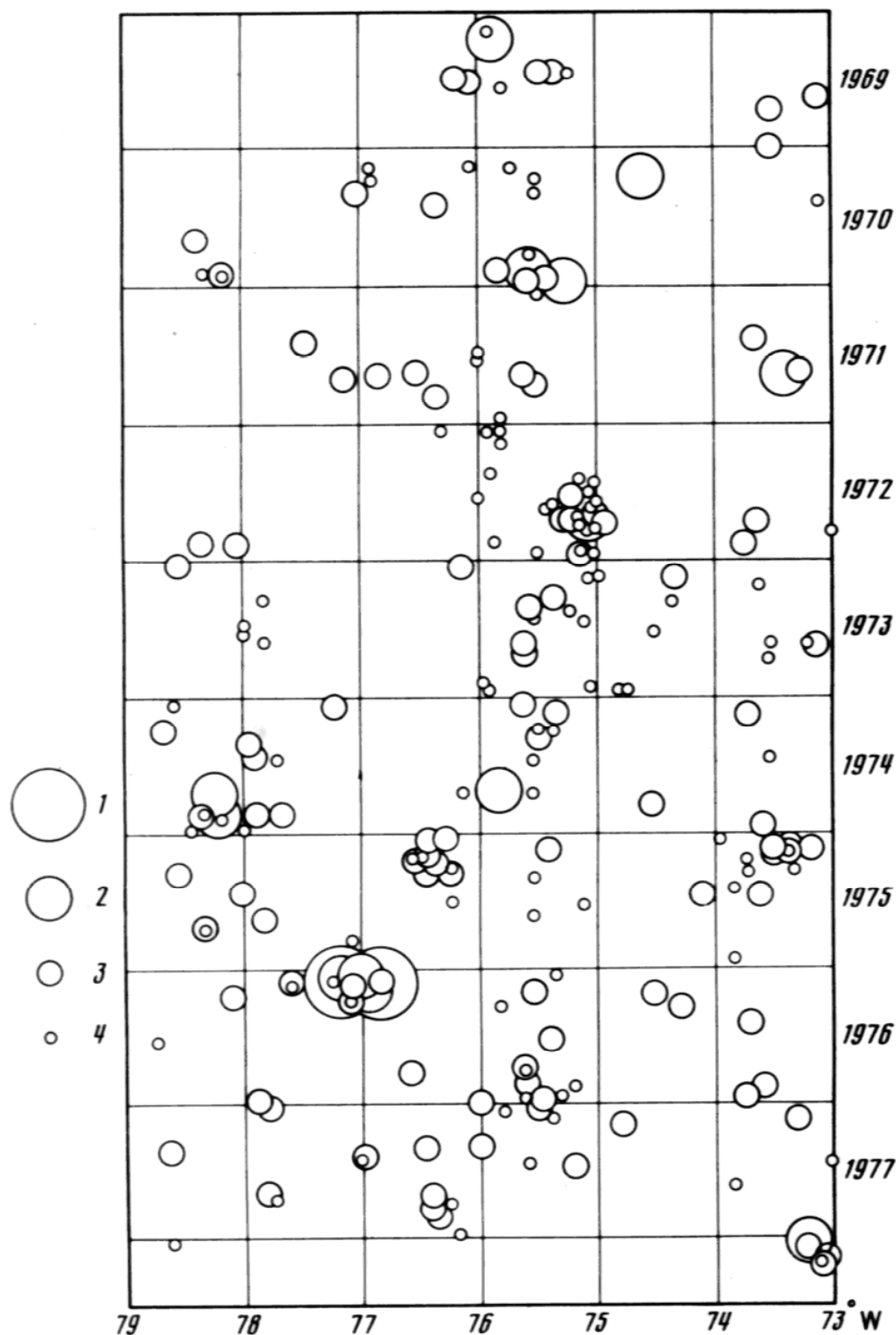


Рис. 3. Пространственно-временное распределение землетрясений района Ориенте
1 — $K > 13,5$; 2 — $11,8-13,4$; 3 — $10,2-11,8$; 4 — < 10

афтершоки Пилонского землетрясения в 1976 г. Часто группы землетрясений состоят из нескольких (3–5) землетрясений примерно одинакового энергетического класса: $K = 9$ или $K = 10 \div 11$. Отчетливо видно трехлетнее затишье перед Пилонским землетрясением 1976 г. ($M = 6$). Однако похожие затишья иногда и не заканчиваются сильными землетрясениями: так, после более чем двухлетнего затишья 1970–1972 гг. между 74 и 75° з.д. возникли три сравнительно слабых землетрясения (между $K = 9,5$ и $K = 10,9$). Зона вблизи Гуантанамо (75° з.д.) после затишья 1969–1971 гг. активизировалась в виде продолжительного роя многочисленных слабых землетрясений с $K = 7 \div 11$. Постоянно действующим в течение всего времени наблюдений является участок, лежащий вблизи Сантьяго-де-Куба, между 75 и 76° з.д. На этом участке

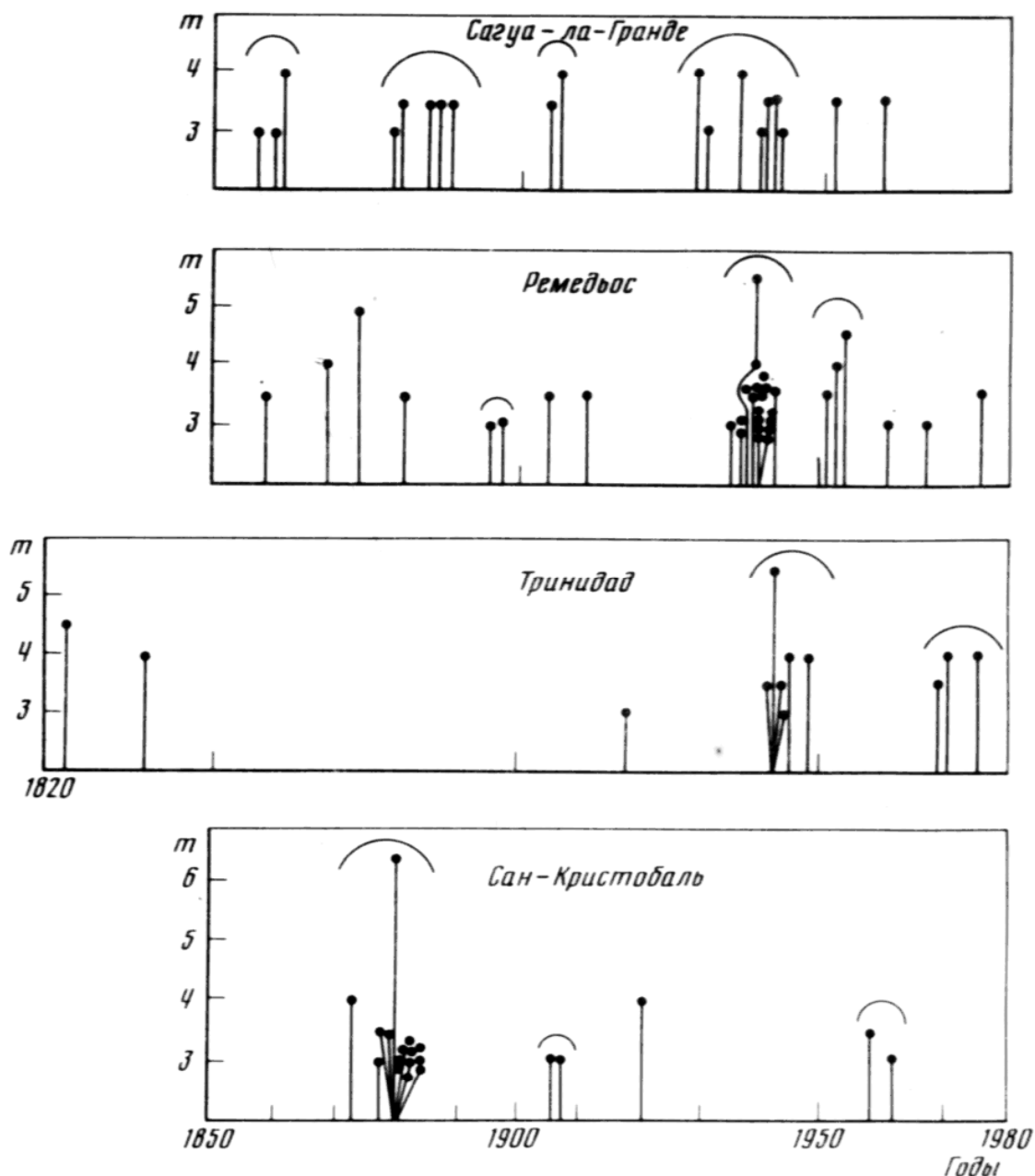


Рис. 4. Временной ход сейсмического процесса в Центральной и Западной Кубе

нарушена линейность трансформного разлома, и северный склон глубоководной впадины образует в плане "ступень", огибающую подводную коническую гору, видимо, вулкан, принадлежащий к вулканической островной дуге Кайман—Сьерра-Маэстра эоценового возраста [Хаин, 1979]. Эта ступень препятствует движениям типа левостороннего сдвига по главному трансформному разлому. Второй постоянно действующий участок лежит между 73 и 74° з.д., т.е. уже вне Кубы, между нею и Гаити, и в северо-западной оконечности Гаити.

Можно ожидать, что аналогичная тенденция к группированию и образованию роев землетрясений проявляется и в области более сильных землетрясений во всем желобе Кайман, в частности в той его части, лежащей напротив Кубы, которая может генерировать сильные землетрясения, существенные для района Сьенфуэгос.

Рассмотрение временного хода сейсмического процесса на самой Кубе также указывает на склонность к активизации в течение одних периодов и к затишьям — в течение других периодов. Это видно и из того факта, что в течение инструментальных наблюдений в феврале—сентябре 1978 г. не было зарегистрировано ни одного землетрясения не только вблизи Сьенфуэгоса, но и в соседних с ним зонах Тринидад—

Санкти-Спиритус и Сагуа-ла-Гранде—Ягуахай [Раутиан и др., 1983], в то же время при работе в этом районе со станцией "Земля" в 1974—1975 гг. удалось зарегистрировать сравнительно много землетрясений.

Разумеется, трудно быть уверенным в том, что представительность во времени макросейсмических данных о землетрясениях постоянна. Однако если все же рассмотреть ход активности во времени для таких участков, как Сан-Кристобаль, Сагуа-ла-Гранде, Кайбарьен, Тринидад, то оказывается, что и здесь наблюдаются периоды активизации, предшествующие сильным землетрясениям и следующие за ними, и периоды сравнительно длительных затиший (рис. 4). Из графика видно, что имеют место периоды активизации длительностью от 1—2 до 10—15 лет, разделяемые промежутками от 10 до 40 лет.

Отметим характерную черту сильных землетрясений на Кубе: практически все сильные землетрясения начинаются с активизации в течение какого-то времени (от нескольких месяцев до 4—5 лет). Это означает, что возникновение в зоне затишья ощутимого землетрясения повышает вероятность возникновения здесь более сильного толчка.

Повторяемость землетрясений в Центральной Кубе и в районе Кайман

Рассмотрим графики повторяемости, построенные порознь для отдельных эпицентральных зон Центральной Кубы и для совокупности всех землетрясений этого района (рис. 5). Исходные данные для построения графиков приведены в табл. 3.

Существенным моментом при построении графиков является время, в течение которого считается, что землетрясения определенной магнитуды являются представительными. Принято, что для $m = 5 \div 5,5$ период представительности равен 300 годам,

Таблица 3

Исходные данные для расчета повторяемости землетрясений
Центральной Кубы

Район	M	n	T , лет	\bar{n}	\bar{n}_Σ	I , балл
Сьенфуэгос	3,5	1	130	0,0078	0,0078	IV
	3,0	1	100	0,01	0,018	III
Тринидад-Хатибонико	5,5	1	600	0,0067	0,0067	VII
	5	0	300	0	0,0067	VI
	4,5	1	130	0,0078	0,0145	V—VI
	4	5	130	0,0385	0,053	V
	3,5	3	130	0,023	0,076	IV
	3	2	100	0,02	0,096	III
	3	2	100	0,02	0,096	III
Ремедьос	5,5	1	600	0,0067	0,0067	VII
	5	1	300	0,0067	0,0134	VI
	4,5	1	130	0,0078	0,021	V—VI
	4	3	130	0,023	0,044	V
	3,5	12	130	0,092	0,136	IV
	3	16	100	0,16	0,296	III
Сагуа-ла-Гранде	4	4	130	0,031	0,031	V
	3,5	9	130	0,069	0,100	IV
	3	6	100	0,06	0,16	III
	3	6	100	0,06	0,16	III
Центральная Куба (в целом)	5,5	2	600	0,0133	0,0133	VII
	5	1	300	0,0078	0,021	VI
	4,5	3	130	0,023	0,046	V—VI
	4	11	130	0,085	0,131	V
	3,5	26	130	0,208	0,339	IV
	3	28	100	0,28	0,62	III

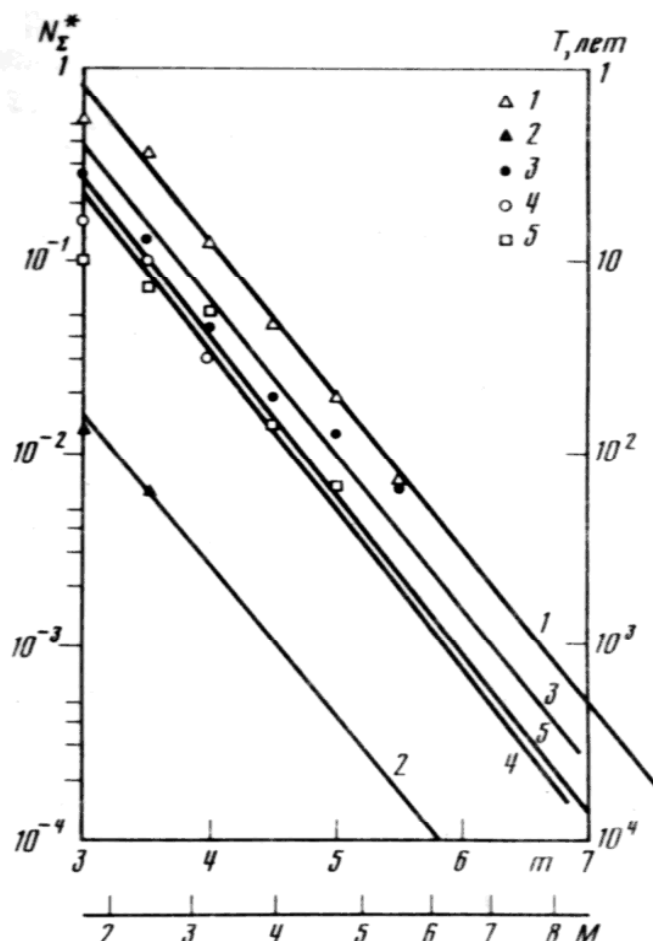


Рис. 5. Кумулятивные графики повторяемости землетрясений Центральной Кубы

1 — Центральная Куба в целом; 2 — Сьенфуэгос; 3 — Ремедьос; 4 — Сагуа-ла-Гранде; 5 — Тринидад

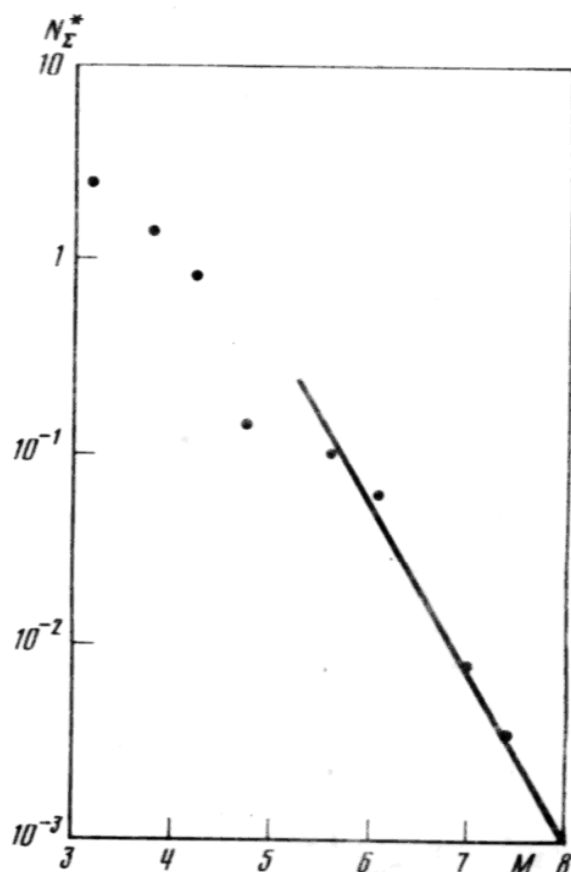


Рис. 6. График повторяемости землетрясений района Кайман от 78 до 83° з.д., построенный по данным табл. 4

для $m = 3,5 \div 4,5$ — 130 годам и для $m = 3$ — 100 годам. При таком предположении на суммарном графике по всем данным этого района наклон графика повторяемости оказывается равным 0,8. Недостаток данных не позволяет определять наклоны для отдельных эпицентральных зон, и наклон принят постоянным во всем районе. Повторяемость нормирована к 1 году и относится ко всей площади зон. Значения параметра a в выражениях типа $\lg N_{\Sigma}^* = a - 0,8 (m - 5)$ характеризуют относительную активность отдельных зон следующим образом (см. ниже):

Центральная Куба (в целом)	1,7
Ремедьос	2,1
Сагуа-ла-Гранде	2,25
Тринидад	2,2
Сьенфуэгос	3,7

Таким образом, по имеющимся данным, обработанным с формальным применением методики повторяемости, получается, что район Сьенфуэгос в настоящее время характеризуется существенно более низкой активностью: в 15 раз слабее, чем Тринидад или Сагуа-ла-Гранде и в 20 раз меньше, чем Ремедьос. Разумеется, эти оценки весьма приблизительны. Возможно, что два исторических землетрясения, ощущавшиеся в Сьенфуэгосе с силой 3 и 4 балла, возникли в действительности не здесь, а где-либо в районе Сьерра-дель-Эскамбра. Однако не исключено, что, наоборот, здесь имели место землетрясения, данные о которых не сохранились.

График повторяемости землетрясений района Кайман в пределах от 78 до 83° з.д.

Исходные данные для графика повторяемости района Кайман

M	N	T , лет	N^*	N_{Σ}^*
7,4	1	130–260	0,0078	0,0078
7,0	1	130–260	0,0078	0,0156
6,1	3	70	0,043	0,059
5,6	2	50	0,04	0,099
4,7	(1)	(22)	(0,0455)	(0,145)
4,2	16	22	0,73	0,87
3,7	4	9	0,445	1,315
3,2	8	9	0,89	2,20
2,7	9	9	1,00	3,20

представлен на рис. 6. Исходные данные приведены в табл. 4. Здесь приведены числа N землетрясений в интервалах $\Delta M = 0,5$, интервалы времени T , которые считаются представительными для каждого магнитудного интервала, значения N^* (нормированной к 1000 км^2 и к одному году повторяемости) и значения N_{Σ}^* кумулятивной повторяемости, по которой и построен график рис. 6.

График по этим объединенным данным аппроксимируется выражением $\lg N_{\Sigma}^* = a - b(M - 5)$, где $b = 0,87$ и $a = -0,4$.

Проведенный анализ завершает независимую часть сейсмологических исследований. Дальнейшие оценки сейсмической опасности должны выполняться на основе совместного анализа сейсмологических и геологических данных.

ABSTRACT

Sources of macroseismic (mostly historical) and instrumental information on the earthquakes of the region have been analysed, a system of standardized parameters and methods of estimating them has been worked out. Arizing from this, a catalog of large earthquakes that occurred in Cuba and in the northern part of the Caribbean Seismic Ring has been compiled, as well as a regional earthquake catalog for Central Cuba. These catalogs have been used to obtain the chief characteristics of the seismic régime: parameters of seismic activity and return periods of earthquakes.

Сильные землетрясения Кубы и северной части Карибского сейсмического кольца ($M > 5,5$)

Год	Дата	Время*, ч.мин.с.	Район	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	h , км	M	m	I_0	Источники
1551	-	-	Куба, Баямо	(20,4	76,6)	-	(6,5)	-	VIII	[1]
1564	20.IV	-	Гаити	-	-	-	7,5	-	IX	[2, 5]
1578	05.V	-	Сантьяго-де-Куба	(19,9	76)	-	6,5-7	-	VIII	[5, 1]
1624	-	-	Куба, Баямо	(20,4	76,6)	-	(6,0)	-	VII	[1]
1667	-	-	Ямайка	(18	76-78)	-	(7)	-	VIII	[2]
1673	-	-	Гаити	(19	70)	-	7	-	VIII	[5]
1675	11.II	-	Сантьяго-де-Куба	(19,9	76)	-	(7)	-	VIII	[1]
1678	11.II	9.30	То же	(19,9	76)	-	(6,5-7)	-	VIII	[1, 5]
1684	-	-	Гаити	(19	70)	-	7,5	-	IX	[5]
1687	17.II	8.	Ямайка	(18	77)	-	(7,5)	-	IX-X	[2]
1688	01.III	-	Ямайка, Порт-Ройал	(17,8	76,8)	-	6	-	VII	[2, 5]
1691	-	-	Гаити, Асуа	(18	70)	-	7,5	-	IX-X	[2, 5]
1692	07.VI	11.40	Ямайка, Порт-Ройал	(17,8	76,8)	-	7,5	-	IX-X	[2, 3, 5]
1701	09.XI	-	Гаити, Леоган	(18,5	72,5)	-	(6)	-	VII	[2]
1751	18.X	-	Гаити, Санто-Доминго	(18	70,5)	-	(7)	-	VIII	[2]
1751	15.IX	15.	Гаити, Порт-о-Пренс	(18,5	72,5)	-	(7,5)	-	IX	[2]
1751	21.XI	8.	То же	(18,5	72,5)	-	(7,5)	-	IX-X	[2]
1760	11.VII	-	Сантьяго-де-Куба	(19,9	75,8)	-	(7)	-	VIII	[1, 2, 5]
1762	-	-	То же	(19,8	76)	-	(6)	-	VII	[1]
1766	11.VI	23.45	„	(19,8	75,8)	-	(7-7,5)	-	IX	[1-3]
1770	03.VI	19.45	Гаити, Порт-о-Пренс	(18,5	72,5)	-	7,5	-	IX-X	[2, 5]
1771	03.IX	8.	Ямайка, Кингстон	(17,8	76,7)	-	6,5	-	VII-VIII	[2, 5]
1771	03.X	-	Гаити, Санто-Доминго	(18,5	70)	-	(7)	-	VIII	[2]
1771	04.X	-	То же	(18,5	70)	-	(7)	-	VIII	[2]
1783	-	-	Гаити, Сантьяго-де-лос-Кабальерос	(19,8	70,5)	-	(7)	-	VIII	[2]
1812	11.XI	5.50	Ямайка, Кингстон	(18	77)	-	7	-	VIII-XI	[2, 5]
1826	18.IX	3.30	Сантьяго-де-Куба	(19,8	75,5)	-	6,5-7	-	VIII	[3, 5]
1830	14.IV	18.30	Гаити, Санто-Доминго	(18	70)	-	(7)	-	VIII	[2]
1837	02.VIII	-	Пуэрто-Рико, Сан-Хуан	(18,5	66)	-	(7)	-	VIII	[2]
1839	05.XI	-	Ямайка, Монтего-Бей	(18,5	78)	-	(6)	-	VII	[2]

* До 1914 г. — местное время, с 1915 г. — среднее григорианское время.

Приложение 1 (продолжение)

Год	Дата	Время*, ч.мин.с.	Район	$\varphi^{\circ} N$	$\lambda^{\circ} W$	h , км	M	m	I_0	Источники
1842	07.V	17.30	Гаити, Кап-Аитьен	20	72,5)	-	8,0	-	X	[2, 3, 5]
1842	07.V	24.	То же	(20	72,5)	-	(6)	-	VII	[2]
1842	08.V	24.	"	(20	72,5)	-	(6)	-	VII	[2]
1842	07.VII	-	Сантьяго-де-Куба	(19,8	75,6)	-	(6)	-	VII x	[2]
1843	07.III	-	между Ямайкой и вост. Кубой	(19,5	78)	-	(6,75)	-	(VIII)	[2]
1844	16.IV	9.20	Пуэрто-Рико, Сан-Хуан	(18,5	66)	-	(6)	-	VII	[2]
1852	07.VII	6.30	Кайман	(19,5	79,5)	-	(> 7)	-	-	[1, 2, 5]
1852	20.VIII	8.30	Сантьяго-де-Куба	(19,9	76)	-	7-7,5	-	IX	[1, 2, 5]
1852	21.VIII	3.30	То же	(19,9	76)	-	(6,5-7)	-	VIII	[2]
1852	21.VIII	9.00	"	(19,9	76)	-	(6,5-7)	-	VIII	[2]
1852	22.VIII	-	"	(19,9	76)	-	(6)	-	VII x	[2]
1852	26.XI	3.10	"	(19,9	75,8)	-	(6,5-7)	-	VIII	[1, 2]
1852	28.XI	16.20	"	(19,9	75,8)	-	(6)	-	VII x	[1]
1858	28.I	16.45	(На Ямайке ощущалось в течение 30 с)	(19,9	75,8)	-	(> 6)	-	(на Ям. VI)	[2]
1860	08.IV	-	Гаити	(19	70)	-	7	-	VIII	[5]
1867	12.XI	01.20	Ямайка	(18	77)	-	(6)	-	VII	[2]
1880	22.I	23.10	Куба, Сан-Кристобаль	(22,8	83)	10	(6,5)	-	VIII	[1, 3, 5]
1882	XII	-	Сантьяго-де-Куба	(19,5	75,3)	-	6,75	-	VIII	[3]
1887	23.IX	6.55	Гаити, Сан-Николас	(19,5	73,8)	-	7,5	-	IX	[2, 5]
1897	29.XII	6.45	Гаити	(19,8	70,5)	-	7,5	-	VIII	[2, 5]
1903	22.IX	2.40	Сантьяго-де-Куба	(19,8	76)	-	(6)	-	VII x	[1]
1905	13.X	16.23	Куба, пров. Ориенте	(19,5	77,5)	-	(6)	-	($> VI$)	[1]
1905	14.X	10.45	То же	(19,5	77,5)	-	(5,5)	-	($> V$)	[2]
1905	15.X	17.45	"	(19,5	77,5)	-	(6)	-	($> VI$)	[2]
1906	27.II	13.40	(Кайман? Джорджтаун)	(19	81,5)	-	(6)	-	VII	[2]
1906	22.VI	1.40	Сантьяго-де-Куба	(19,9	75,8)	-	(6)	-	VII x	[2]
1907	14.I	15.29	Ямайка	17,9	76,0	30	6,6	-	XIII-IX	[2, 3, 5]
1910	01.I	11.02	Гондурас	16,5	84,0	60	7,1	-	-	[5, 6]
1910	11.V	-	Доминиканская республика	(18,0	70,5)	-	(6)	-	VII	[2]
1911	06.X	5.16	Гаити	19,0	70,5	э/к	7	-	VIII	[5, 6]
1912	09.IV	-	-	19	85	-	7,3	-	-	[5]
1912	12.VI	12.30	Гондурас	17	89	-	6,8	-	-	[6]

Приложение 1 (продолжение)

Год	Дата	Время, ч.мин.с.	Район	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	h, км	M	m	I_0	Источники
1914	28.II	Рано утром	Куба, Хибара	21,2	76,1	-	(5,5)	-	(> VI)	[1, 2]
1914	03.VIII	11.25	Ямайка (восточная часть)	(18,5)	76,5	3/к	6	-	VII	[2, 6]
1914	24.XII	23.50	Сантьяго-де-Куба	(19,6)	76,1	-	(6)	-	VII	[1, 2]
1915	11.X	19.33.50	Пуэрто-Рико	(19)	67)	-	6,7	-	-	[2, 6]
1916	24.IV	08.26	То же	(18,5)	68)	100	7	-	-	[2, 5, 6]
1917	20.II	19.30	Кайман	19,5	78,5	3/к	7,4	-	(> VI)	[2, 6]
1917	27.VII	01.01	Между Гаити и Пуэрто-Рико	19	67,5	50	7,0	-	(> V)	[5, 6]
1918	11.X	14.14.30	Пуэрто-Рико	18,5	67,5	3/к	7,5	-	VIII	[2, 5, 6]
1918	25.X	04.43	Пуэрто-Рико, Маягуэс	(18,5)	67,5)	-	(6)	-	VII	[2]
1919	06.IX	09.29.49	Пуэрто-Рико	19,5	64,5	-	6,2	-	-	[6]
1920	10.II	22.07.15	То же	18	67,5	-	6,5	-	-	[6]
1922	18.XII	12.35.03	"	19	67	-	6,2	-	VI	[2, 6]
1923	15.III	06.03.12	"	20	68	-	-	-	-	[6]
1923	03.XI	08.37.46	Гаити	19,5	73,5	-	6	-	-	[6]
1924	30.I	20.54.48	Куба, пров. Ориенте	20	77,5	-	-	-	-	[2, 6]
1924	27.V	19.43.45	Гаити	18,5	72,5	-	(6)	-	VII	[2]
1925	14.VI	22.38.16	Гондурас	18	83	90	6,5	-	-	[6]
1926	24.III	05.41.21	Доминиканская республика	16,5	69,5	-	-	-	-	[6]
1926	03.VIII	11.20	Куба, Мансанильо	(20,3)	77,1)	-	(6)	-	VII	[1, 2]
1927	02.VIII	00.51.46	Пуэрто-Рико	19	64,5	-	6,5	-	-	[6]
1930	17.I	11.00	Сантьяго-де-Куба	19,8	75,5	-	(6)	-	VII	[1]
1930	25.VI	12.06.20	Пуэрто-Рико	19	64	-	6,2	-	-	[6]
1931	16.I	16.52.03	Гондурас	15,8	85	-	-	-	-	[6]
1931	27.VII	07.16.15	То же	17,5	85,5	-	-	-	-	[6]
1932	03.II	16.15.55	Куба, пров. Ориенте	19,9	75,9	-	6,75	-	VIII	[1, 2]
1932	06.VI	11.49.55	То же	19,5	76,5	-	6	-	VI	[2, 6]
1932	06.VII	15.07.04	Гаити	19,3	73,4	-	-	-	-	[2, 6]
1933	18.II	19.45.43	Гондурас	16,5	86	60	-	-	-	[6]
1933	12.III	02.25.52	То же	16,5	86,5	-	-	-	-	[6]
1933	18.III	23.32.50	"	17	86	-	-	-	-	[6]
1933	10.VI	11.26.59	"	17,2	86,2	-	-	-	-	[6]
1933	21.VII	07.29.05	Пуэрто-Рико	19	68,5	100	5,7	-	-	[6]
1934	10.VII	01.02.01	Кайман	19	80,5	-	-	-	-	[6]
1935	26.III	21.32.18	Гондурас	17,5	84	-	-	-	-	[6]

Год	Дата	Время, ч.мин.с.	Район	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	h, км	M	m	I_0	Источники
1935	15.IX	04.01.35	Пуэрто-Рико	19	65	-	-	-	-	[6]
1936	27.IV	06.31.35	Гондурас	17	87	-	-	-	-	[6]
1938	10.XI	15.23.30	Багамский пролив	20,7	74	-	-	-	-	[6]
1939	05.III	05.11.52	Атлантический океан (север Гаити)	23	70	-	-	-	-	[6]
1939	07.III	11.20.49	Пуэрто-Рико	18	67	-	-	-	-	[6]
1939	07.III	22.10.43	"	18	67	-	-	-	-	[6]
1939	12.VI	04.05.09	"	20,5	66	-	-	-	-	[6]
1939	15.VIII	03.52.35	Куба, Ремедьос	22,5	79,5	-	-	-	VII	[1, 2, 6]
1939	07.XI	15.43.57	Гаити	18	72,5	-	-	-	-	[6]
1939	24.XII	18.53.57	Доминиканская республика	18	68	-	-	-	-	[2, 6]
1940	30.VII	16.05.26	Куба, пров. Ориенте	19,3	75,2	-	-	-	-	[6]
1940	10.XI	20.40.21	Гондурас	17	84	-	-	-	-	[6]
1941	23.III	09.90.27	То же	17	83,7	-	-	-	-	[6]
1941	07.IV	23.29.17	Ямайка	17,8	78,5	-	7,1	-	-	[2, 5, 6]
1941	08.IV	10.06.26	То же	17,5	78,5	-	-	-	-	[6]
1941	24.IV	07.04.17	"	17,5	78	-	-	-	-	[2, 6]
1942	9.III	10.19.46	Гаити	19,5	73	-	-	-	-	[6]
1942	5.VII	23.16.10	То же	19,5	70	50	-	-	-	[6]
1943	19.IV	01.19.15	Кайман	17	81,5	-	-	-	-	[6]
1943	15.VII	07.25	Ямайка, Сомертон	(18)	77	-	(6)	-	VII	[2]
1943	29.VII	01.02.30	К северу от Пуэрто-Рико	19,2	67,7	-	6,5	-	-	[2, 6]
1943	29.VII	03.02.16	К северу от Пуэрто-Рико	19,2	67,5	3/к	7,75	-	(> VI-VII)	[2, 5, 6]
1943	29.VII	21.50	Куба, Сьерра-дель-Эскамбрай	(21,9)	79,9)	-	(5,5)	-	(VII)	[1]
1943	08.VIII	00.38.43	Доминиканская республика	19	68	-	-	-	-	[6]
1943	15.VIII	00.13.15	То же	19	68,2	-	-	-	-	[6]
1944	09.VIII	00.15.30	Пуэрто-Рико	18,5	67	-	-	-	-	[6]
1945	22.I	07.47.53	Доминиканская республика	19,5	70,5	-	6	-	-	[2, 6]
1946	25.III	08.47.42	Куба, Гуантанамо	19,7	74,7	-	6	-	-	[2, 6]
1946	04.VIII	17.51.05	Доминиканская республика	19,2	67,5	3/к	8,1	-	X	[2, 5]
1946	08.VIII	13.28.28	То же	19,5	69,5	3/к	7,6	-	VIII	[2, 5, 6]
1946	04.X	14.45.26	"	18,7	68,5	50	7	-	-	[2, 6]
1947	06.VIII	15.02	Сантьяго-де-Куба	19,8	75,3	-	(5,6)	-	VI-VIII	[1]
1947	07.VIII	00.40.20	То же	19,8	75,2	50	6,7	-	(> VII)	[1, 3, 6]

Приложение 1 (окончание)

Год	Дата	Время: ч.мин.с.	Район	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	h, км	M	m	I_0	Источники
1948	21.IV	20.22.02	Доминиканская республика	19,2	69,2	40	7,3	-	-	[2, 5]
1952	14.V	21.11.41,2	Гондурас	16,73	86,16	40	5,8	-	-	[7]
1952	28.X	04.29.56,4	Гаянти	18,51	73,52	24	5,9	-	-	[7]
1953	25.I	19.47.57	То же	18,5	74,4	э/к	5,7	-	-	[2, 7]
1953	31.V	19.58.35,4	Гаянти	19,68	70,50	0	6,9	-	-	[5, 7]
1954	13.I	00.26	Гондурас	14,00	86,25	100	5,75	-	-	-
1954	10.XII	13.00.36,2	Кайман	17,79	81,85	80	6,2	-	-	[7]
1955	13.V	03.29.56,1	Пуэрто-Рико	19,28	64,38	0	5,9	-	-	[7, 8]
1956	09.VII	09.56.13,7	Гаянти	20,1	72,98	54	6,6	-	-	[7, 8]
1957	02.III	00.27.32	Ямайка	18,35	78,11	0	6,5	-	VIII	[2, 7]
1957	12.IX	00.28.02,2	Гондурас	16,95	85,60	12	6,0	-	-	[7]
1959	27.I	00.20.24,7	Доминиканская республика	18,03	68,63	94	6,0	-	-	[7, 8]
1961	16.V	17.57.21,0	Гондурас	16,1	87,3	117	-	-	-	[8]
1961	03.VIII	03.08.06,0	Пуэрто-Рико	18,49	66,42	131	5,6	-	-	[8]
1961	16.XI	08.19.53,8	Доминиканская республика	18,49	68,92	146	5,9	-	-	[7, 8]
1962	08.I	01.00.23,2	То же	18,40	70,46	33	6,5	-	VII	[7, 8]
1962	20.IV	05.47.51,1	Гаянти	20,50	72,13	0	6,8	-	VII	[7]
1962	25.VII	04.37.42,9	Кайман	18,9	81,19	0	6,0	-	-	[7]
1964	18.I	22.36.17,6	Доминиканская республика	18,8	69,4	95	5,8	5,4	-	[7-9]
1964	22.XII	08.01.12,6	То же	18,4	68,8	115	6,0	5,5	-	[7-9]
1965	06.IX	04.59.41,5	Пуэрто-Рико	18,6	67,6	33	-	5,7	-	[9]
1965	16.X	09.20.01	Ямайка	18,5	78,0	-	-	5,8	VI	[2]
1970	07.I	07.56.11	Карибское море	15,9	69,7	-	5,7	5,9	-	[9]
1971	13.IX	04.18.01,5	Доминиканская республика	17,95	69,73	42	-	5,7	-	[9]
1972	19.IX	01.36.48,1	Гаянти	19,55	70,22	0	6,0	5,8	-	[9, 10]
1976	19.II	13.59.59,8	Куба, Пилон	19,88	76,88	20	6,0	5,3	VII	[1, 10, 12]
1976	04.II	09.01.43,4	Гватемала	15,32	89,1	5	7,5	-	-	[10]

Землетрясения центральной части Кубы (ощутимые и инструментальные)

Год	Дата	Время*, ч.мин.	Район очага	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	M	m	I_0	K	Источник
1824	05.I	3.30	Тринидад	(21,8	80,0)	-	(4,5)	VI	-	[1]
1838	-	-	Тринидад	(21,8	80)	-	(4)	V	-	[1]
1843	30.VIII	-	Сьенфуэгос	(22,0	80,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1852	07.VII	9.30	Сантя-Клара	(22,4	80)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1857	07.VII	-	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,1)	-	(3)	III	-	[1]
1857	07.III	7.00	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1861	27.V	-	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,1)	-	(3)	III	-	[1]
1861	27.VI	-	То же	(22,8	80,1)	-	(4)	V	-	[1]
1868	01.V	-	Сулуэга	(22,4	79,6)	-	(4)	(> IV)	-	[1]
1873	11.VIII	22.00	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(5)	VI	-	[1]
1880	24.I	14.25	Ранчо-Велос	(22,9	80,4)	-	(3)	III	-	[1]
1880	11.VI	20.00	Гуадалупе	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1880	-	-	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,1)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1886	-	-	То же	(22,8	80,1)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1886	03.IX	-	Исабела-де-Сагуа	(22,9	80,0)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1889	11.IV	20.50	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,1)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1896	23.IV	20.30	Кайбарьен	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1896	25.IV	-	То же	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1905	06.V	-	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1906	15.I	-	Манакас	(22,6	80,4)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1906	05.VI	00.30	Ранчо-Велос	(22,9	80,4)	-	(4)	V	-	[1]
1912	06.V	-	Вуэльтас	(22,5	79,7)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1914	-	-	Сьенфуэгос	(22,2	80,4)	-	(3)	III	-	[1]
1918	-	-	Тринидад	(21,8	80,0)	-	(3)	III	-	[1]
1927	-	-	Перико	(22,75	81)	-	(3)	III	-	[1]
1928	05.VI	-	То же	(22,75	81)	-	(3)	III	-	[1]
1931	01.X	-	Ранчо-Велос	(22,9	80,4)	-	(4)	V	-	[1]
1932	-	-	Коралинс	(23,0	80,6)	-	(3)	III	-	[1]
1936	19.XII	10.30	Ягуахай	(22,3	79,3)	-	(3)	(III)	-	[1]
1937	01.I	11.00	То же	(22,3	79,3)	-	(3)	III	-	[1]

* Время по местному.

Приложение 2 (продолжение)

Год	Дата	Время, ч. мин.	Район очага	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	M	m	I_0	K	Источники
1937	07.I.1909.I?	-	Ягуахай	(22,3	79,3)	-	(3)	III	-	[1]
1937	14.V	-	Сагуа-ла-Гранде	(22,9	80,3)	-	(4)	V	-	[1]
1938	30.VI	-	Кайбарьен	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1938	XI	-	Ягуахай	(22,3	79,3)	-	(3)	III	-	[1]
1939	01.I	9.00	То же	(22,3	79,3)	-	(3)	III	-	[1]
1939	13.I	Утром	Ягуахай и Кайбарьен	(22,4	79,3)	-	(4)	IV	-	[1]
1939	15.II	-	Ягуахай	(22,3	79,3)	-	(3)	III	-	[1]
1939	V	-	Ремедьос	(22,5	79,3)	-	(3)	III	-	[1]
1939	14.VIII	23.52	То же	(22,5	79,5)	-	(5,5)	VII	-	[1, 2, 6]
1939	17.VIII	Вечером	Кайбарьен	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1939	19.VIII	Утром	Камахуани	(22,5	79,75)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1939	19.VIII	8.00	То же	(22,5	79,75)	-	(3)	III	-	[1]
1939	01.IX	14.45	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1939	02.IX	12.15	То же	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1939	07.X	5.20	Кайбарьен	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1939	07.IX	5.30	То же	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1940	05.IV	-	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1940	11.XI	17.00	Ягуахай	(22,3	79,3)	-	(3)	III	-	[1]
1941	23.IV	15.16	Сагуа-ла-Гранде	(22,9	80,4)	-	(3)	III	-	[1]
1941	24.IV	Вечером	То же	(22,9	80,4)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1942	09.III	13.10	Исабела-де-Сагуа	(23	80)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1942	11.IV	00.40	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1942	04.VI	-	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,0)	-	(3)	III	-	[1]
1943	23.VII	-	Топес-де-Кальенте	(22,2	80,0)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1943	29.VII	21.50	Сьерре-дель-Эскамбрай	(21,9	79,9)	-	(5,5)	VII	-	[1]
1943	30.VII	21.00	Манникарагуа	(22,1	80,0)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1943	30.VII	22.15	Фоменто	(22,1	79,8)	-	(3)	III	-	[1]
1945	27.X	-	Санкти-Спиритус	(22,0	79,5)	-	(4)	V	-	[1]
1949	19.VI	-	Топес-де-Кальенте	(21,9	80)	-	(4)	V	-	[1]
1951	12.I.15.I?	6.00	Ремедьос	(22,5	79,5)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1951	03.II	-	Кайбарьен	(22,5	79,5)	-	(4)	(> IV)	-	[1]
1952	03.II	2.30	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,1)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1953	01.I	6.20	Ремедьос	(22,7	79,5)	-	(4,5)	(> IV)	-	[1]
1953	01.I	18.10	Сентраль-де-Родондо	(22,06	78,73)	-	(3)	III-IV	-	[1]

Приложение 2 (окончание)

Год	Дата	Время, ч. мин.	Район очага	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}W$	M	m	I_0	K	Источники
1960	18.VII	08.35	Ремецбос	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1960	25.V	21.00	Сагуа-ла-Гранде	(22,8	80,0)	-	(3,5)	IV	-	[1]
1967	28.VIII	Вечерюм	Ремецбос	(22,5	79,5)	-	(3)	III	-	[1]
1970	11.XI	10.27	Санкти-Спиритус	(21,9	79,5)	-	(3,5)	IV	9,7	[1, 12]
1971	26.VII	-	Хатибонико	(21,9	79,1)	4,3	3,9	IV	10,1	[1, 12]
1974	17.V	02.08	Хардинес-де-ла-Рейна	21,17	79,25	-	-	-	10,4	[12, 20]
1974	28.V	6.46	Коко	22,47	78,5	-	-	-	-	[20]
1974	19.VI	17.48	Тунас-де-Саа	21,6	79,6	-	-	-	-	[20]
1974	21.VI	16.06	Санкти-Спиритус	21,85	79,35	-	-	-	-	[20]
1974	27.VI	17.22	То жи	21,85	79,3	-	-	-	-	[20]
1974	29.VI	17.32	Тунас-де-Саа	21,65	79,7	-	-	-	-	[20]
1974	30.VI	15.39	То жи	21,65	79,65	-	-	-	-	[20]
1974	02.VII	14.23	"	21,55	79,5	-	-	-	-	[20]
1974	VIII	16.39	Хардинес-де-ла-Рейна	20,6	78,65	-	-	-	-	[20]
1974	07.IX	17.10	Тринидад	21,8	79,95	-	-	-	-	[20]
1974	09.IX	15.54	Санкти-Спиритус	21,75	79,5	-	-	-	-	[20]
1974	09.X	15.16	Тунас-де-Саа	21,7	79,5	-	-	-	-	[20]
1976	19.X	21.04	Сулуэта	22,4	79,6	-	(3,5)	IV	-	[1]
1976	23.X	21.15	Фелисидад	22,15	80,0	-	(4,5)	V-VI	-	[1]