

ГЛАВА 4 ВЕХИ-КАТАСТРОФЫ

Проблемы сейсмичности являются одними из важнейших в науках о Земле – они имеют прямой выход на строение Земли, прогноз катастрофических геофизических явлений, включая землетрясения, извержения вулканов и цунами. Сейсмичность, вулканизм, цунами и другие геофизические явления – самая животрепещущая тема средств массовой информации. Достаточно вспомнить последнее Суматринское землетрясение 24 декабря 2004 г., ставшее своеобразным современным «эталонном» отношения общественности к природным катастрофам.

По-видимому, впервые наиболее выпукло социальный аспект важности взаимосвязи «геофизические явления – общество» на сейсмологическом материале был раскрыт в книге известного японского ученого Т. Рикитакэ «Предсказание землетрясений» (Рикитакэ, 1979). В этой книге автор «увязал» образование государственных институтов Японии геофизического профиля с конкретными сильными землетрясениями. Впоследствии эта тема на мировом, японском, российском и камчатском материалах получила дальнейшее развитие в наших предыдущих книгах «Землетрясение будет завтра» (Викулин, Семенец, Широков, 1989) и «К землетрясению без риска» (Викулин, Дроздюк, Семенец, Широков, 1997), а также в сборнике (Проблемы..., 2000). Сейсмические и другие геофизические катастрофические события последних лет вынуждают нас вновь с использованием нового материала продолжить рассмотрение этой важной темы в более широком аспекте.

Остановимся на наиболее значимых геофизических «мгновениях» нашей планеты. Проследим за оставленными ими следами, которые часто являлись «перепаживающими» всю Землю «бороздами», формирующими лицо планеты и «регулирующими» саму ее жизнь.

Планетарные геофизические «мгновения»

Цепочку «памятных» для планеты катастрофических геофизических событий естественно начать с максимально возможного на нашей планете уровня – планетарного, затрагивающего как всю Землю в целом, так и все проживающее на ней человечество.

Тихоокеанское огненное кольцо. Начало современной (в геологическом смысле) сейсмической, да и, вероятно, геофизической истории планеты можно связать с образованием и последующим быстрым разрушением гигантской по размерам возвышенности Дарвина на поверхности Земли.

Поднятие Дарвина впервые было выделено Г.У. Менардом (Менард, 1996) и, по его данным, представляло собой обширное – длиной до 10 тыс. км и шириной около 4 тыс. км – возвышение в центре Тихого океана. Предполагается, что 100 млн лет назад оно уже возвышалось над окружающим его дном не менее чем на 2–3 км и имело объемом более 20 млн км³. Достаточно быстрое, в геологическом смысле – мгновенное разрушение поднятия Дарвина, согласно гипотезе И.В. Мелекесцева, по-видимому, произошло в конце мела – начале палеоцена 70–60 млн лет назад. Оно сопровождалось гигантскими массовыми базальтовыми излияниями на дне океана, оттоком большого количества магматического вещества под азиатский и американский материков и значительными изменениями уровня (регрессиями) Мирового океана. Преобладавшее на периферии Тихого океана сжатие должно было смениться растяжением, что и способствовало возникновению здесь многочисленных зон разломов, по которым на поверхность Земли стали поступать огромные объемы вулканических продуктов. В результате по всей окраине Тихого океана резко активизировались зоны спрединга – области активного взаимодействия Тихоокеанской океанической плиты и окружающих ее материковых плит.

Все эти процессы в конечном итоге привели к образованию Тихоокеанского подвижного пояса, представляющего собой в настоящее время узкую тектоническую область, проходящую по границе сочленения Тихого океана и окружающих его континентов и опоясывающую весь земной шар в меридиональном направлении (Викулин, Мелекесцев, 1997). Согласно данным японского ученого А. Такеучи (Takeuchi, 1985, 1986), российского ученого А. Маслова (Маслов, 1996) и других (Jackson, Shaw, Bargar, 1975) с середины олигоцена (около 30 млн лет назад) по настоящее время в пределах Тихоокеанского кольца имели место пять перестроек поля напряжений, которые характеризовались изменениями его величины и ориентации. Периодам 30–23, 16–13, 6–0 млн лет отвечает субширотное (имеющее «почти широтную» ориентацию) сжатие; периодам 22–17, 12–7 млн лет – субширотное растяжение. Получена кривая угловых колебаний вектора скорости Тихоокеанской плиты. Показано, что вектор движения Тихоокеанской плиты, определяемый простиранием Гавайской вулканической цепи (составляющим примерно 70° с направлением на север), испытывает периодические повороты по часовой стрелке и против нее. В результате Тихоокеанская плита совершает знакопеременные вращательные движения с центром в Гавайской горячей точке. Амплитуда угла вращения составляет примерно 10°, что на радиусе, соединяющем о. Гонолулу с Тихоокеанским подвижным поясом, равносильно смещениям до нескольких сотен километров (Маслов, 1996).

Сейчас эта область характеризуется чрезвычайно высокой тектонической активностью: в пределах пояса сосредоточено более 2/3 всех действующих вулканов, выделяется более 4/5 всей сейсмической энергии и происходят практически все сильнейшие землетрясения планеты. Показана волновая природа этих планетарных процессов, с наибольшей очевидностью проявляющаяся в миграции, и очагов землетрясений и извержений вулканов вдоль Тихоокеанского огненного кольца.

Как видим, в результате катастрофических явлений, произошедших примерно 60–70 млн лет назад, Тихоокеанский пояс со временем стал представлять собой хорошо организованную структуру планетарного масштаба. По мнению доктора наук А. Маслова (Маслов, 1996), появление такой «организованной» структуры у огненного кольца стало возможным именно благодаря вращению Земли, ее «блоковому» (Пейве, 1961) строению, имеющему определенную иерархию (Садовский, 2004), и сильно нелинейным свойствам (Лукьянов, 1999; Островский, 2005; Садовский, 2004). Более того, исследования последних десятилетий показали, что любые попытки доказательства значительного влияния ротационного режима Земли на протекающие в ее недрах интенсивные геодинамические (сейсмические, вулканические, тектонические и другие) процессы в рамках моделей непрерывных (не блоковых, не иерархических, не геофизических) сред обречены на неудачу.

Тихоокеанский подвижный пояс в настоящее время представляет собой зону наиболее активной человеческой деятельности. Здесь находятся крупнейшие города Дальнего Востока России, Китая, Японии и других стран Тихоокеанского бассейна, важнейшие коммуникации, плотины, атомные электростанции, хранилища химических и радиоактивных веществ, другие объекты, аварии на которых могут привести к тяжелым бедствиям и составить серьезную угрозу для выживания человечества. В связи с этим особую актуальность и социальную значимость приобретает проблема разработки научных основ предсказания стихийных катастроф применительно к Тихоокеанскому подвижному поясу. Одной из важнейших задач этой проблемы является построение *ротационных* моделей тектонических (сейсмических, вулканических, цунами и др.) процессов.

Атлантида, Всемирный потоп и последующие события. Следующим «знаковым» для жителей Земли событием стал примерно 3500 лет тому назад взрыв острова-вулкана Санторин в южной части архипелага Киклады в Эгейском море, находящегося в 110 км к северу от острова Крит. В настоящее время остров-вулкан Санторин – это достаточно активный, часто извергающийся вулканический центр, представленный лавовым вулка-

ном и несколькими куполами, расположенными в кальдере, имеющей 14 км в поперечнике и образовавшейся в результате взрыва 3500 лет назад (Гущенко, 1979, с. 10).

Кульминационное извержение вулкана Санторин в 1500 г. до н. э. принято считать в последние годы причиной гибели *минойской цивилизации* (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 169–171). Согласно гипотезе доктора наук И.В. Мелекесцева (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский), с этим извержением связана гибель легендарной Атлантиды.

В древнегреческом предании, сохранившемся у Платона (428/427 гг. до н. э. – 348/347 гг. до н. э.), некогда существовавший огромный остров в Атлантическом океане к западу от Гибралтара, плодородный и густонаселенный, в результате землетрясения опустился на дно. Вопросы о существовании Атлантиды и причинах ее гибели остаются в науке в настоящее время спорными (Советский..., 1985, с. 87).

Великое извержение вулкана началось сравнительно спокойно, на что указывает тонкий слой выпавшего из воздуха пепла. На этом слое лежат два пласта мощностью до 60 м, сложенные в основном пеплом с крупными кусками пемзы, структура которых напоминает структуру отложений, образованных ударными волнами.

Уничтожение древней цивилизации явилось, как думают ученые, результатом выпадения пепла и следами прохождения ударной волны, мощность которой превосходила мощность ударных волн, зарегистрированных при самых мощных термоядерных взрывах на поверхности Земли и в ее атмосфере, а также результатом одного или нескольких цунами, сопровождавших обрушение кальдеры. На острове Тира, расположенном на удалении примерно 40–50 км от острова Санторин, были погребены крупные минойские города – их развалины сохранились под слоями пепла и пемзы. Однако людей в этих городах во время катастрофы уже не было (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 169–171). По-видимому, они успели эвакуироваться, почувствовав угрозу после начавшихся сильных землетрясений и извержений, и погибли в море в результате последовавшего сильного цунами или уже на берегу в результате интенсивного пеплопада и воздействия мощной ударной волны от взрыва вулкана. В ближайших к вулкану районах Крита пепел и небольшие комья пемзы, выпавшие из воздуха, образовали слой толщиной 15 см – достаточный, чтобы серьезно повредить фруктовые деревья, уничтожить урожай, траву и тем самым вызвать массовую гибель травоядных животных. Едва ли можно сомневаться в том, что возникли крупные цунами, которые явно могли опустошить северное побережье Крита на несколько десятков метров выше уровня моря. Возможно, они вызвали наводнение на прибрежных низменностях значительной части восточного Средиземноморья.

Легендарное наводнение Девкалиона – Ноя. Это наводнение древних греков (Всемирный потоп) некоторыми исследователями гипотетически отождествляется именно с крупными цунами, сопровождавшими взрыв вулкана Санторин 3500 лет назад (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 169–171).

В результате экспедиции 2006 г. на остров Магадаскар, в которой участвовал с российской стороны доктор наук В.К. Гусяков (Институт вычислительной математики и геофизики Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск), обнаружен еще один возможный «кандидат» на Всемирный потоп – гигантское доисторическое цунами, произошедшее в Индийском океане около 2800 тыс. лет до н. э. (Гусяков, 2006). При высоте до 90 м волны цунами прошли вглубь суши острова Магадаскар на 45 км, уничтожая все на своем пути. Источником такого цунами мог быть взрыв, приведший к образованию подводного кратера диаметром 29 км в глубоководной части Индийского океана, в 1500 км к юго-востоку от Магадаскара. Результатов этой большой комплексной работы с нетерпением ожидает доктор Брюс Массе из Лос-Аламоса (США), выдвинувший гипотезу об импактной природе Великого потопы, вызванного, по его мнению, падением кометы примерно в 2800 г. до н. э. где-то в юго-западной части Индийского океана (Гусяков, 2006).

Для понимания степени и масштаба реальной угрозы всему живому, возникающей при «климатоизменяющих» катастрофах типа взрыва вулкана Санторин в 1500 г. до н. э., достаточно проанализировать хорошо изученные современные сильнейшие извержения и «умножить» их последствия на соответствующий коэффициент, величина которого составляет 10–100. К числу таких извержений, происшедших сравнительно недавно и потому хорошо изученных, можно отнести следующие вулканические извержения, приведенные в порядке увеличения их интенсивности: Сарычева (1946 г., остров Матуа, Центральные Курильские острова), Безымянный (1956 г., Камчатка), Тамбора (1815 г.) и Кракатау (1883 г.). Два последних находятся в Индонезии.

Вулкан Сарычева расположен в центральной части Курильских островов – на острове Матуа, протяженность которого не превышает 9 км. Вулкан является достаточно активным. Точно известны даты его многих последних извержений, происшедших в 1760, 1878–1879, 1928, 1930, 1946, 1954, 1960, 1965, 1976 и 1989 гг. (Гущенко, 1979, с. 30). В конце августа – начале сентября 1946 г. вулкан был обследован известным российским геологом и вулканологом Г.С. Горшковым, который никаких следов предстоящего извержения не обнаружил. В 2 часа ночи с 12 на 13 ноября 1946 г. раздался оглушительный взрыв, в результате которого на огромную высоту была выброшена большая масса пепла, вулканических бомб и столб пламени. После серии сильных взрывов и излияния лавы из главного вершинного кратера около 13 часов того же дня на западном склоне вулкана появилась трещина, из которой началось излияние ряда паразитных кратеров. Извержение сопровождалось сильными атмосферными электрическими разрядами в радиусе 2–3 км от кратера. Пепел от извержения выпал в г. Петропавловске-Камчатском, расположенном в 670 км от вулкана. Благодаря благоприятной штормовой обстановке уже вечером 13 ноября пограничникам удалось оперативно, без паники, обеспечить эвакуацию населения двух поселков, расположенных на острове. В ходе эвакуации пришлось отстреливать обезумевших от извержения и сопровождавших его явлений домашних животных (Смышляев, 2006).

Сведений об извержении вулкана Безымянный (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 165–167; Гущенко, 1979, с. 22) не было, и он считался потухшим. Начиная с 29 сентября 1955 г. начались землетрясения, частота которых постепенно увеличивалась вплоть до 22 октября, когда на сейсмической станции в поселке Ключи, расположенном в 24 км от вулкана, было зарегистрировано около 1300 толчков. В этот день начались слабые и умеренные взрывы. К 9 ноября в Ключах отложился слой пепла толщиной 6 мм. В середине ноября извержение усилилось, было выброшено облако пепла на высоту 5 км. 17 ноября было так темно, что в Ключах пришлось зажигать свет в домах, а машины ходили с включенными фарами. Но в конце ноября извержение резко ослабло, и активность вулкана сохранялась на низком уровне до марта 1956 г.

30 марта 1956 г. в 17 часов 11 минут неожиданно началась кульминация, которая закончилась через 15 минут. Сначала произошел ужасающей силы взрыв, в результате которого вулкан «выстрелил» плотную черную струю на восток под углом 30–45° к горизонту, быстро достигнув высоты более 30 км, а через 15 минут другой взрыв выбросил тучу пепла уже на высоту 43 км. Мощность каждого из этих взрывов, по подсчетам И.В. Мелекесцева, была эквивалентна мощности взрывной волны 10-мегатонного взрыва, произведенного на поверхности Земли. В Ключах наступила непроглядная тьма, и в течение следующих 3,5 часов там отложился слой пепла толщиной 20 мм. Наблюдательный пункт вулканологов, находящийся в 10 км от вулкана, был полностью уничтожен. На расстоянии 24 км от вулкана деревья диаметром до 25 см были срезаны под корень. На расстоянии 30 км от вулкана была полностью содрана кора на обращенной к вулкану стороне деревьев, сухие стволы загорелись, а толщина слоя пепла составляла 25 см. На расстоянии 10 км к востоку от вулкана толщина слоя выпавшего пепла составляла 50 см.

Отложения раскаленных лавин покрыли площадь 60 км² слоем толщиной до 50 м. Когда тучи рассеялись, оказалось, что вершина горы исчезла.

После катастрофического извержения в 1956 г. вулкан Безымянный находится в стадии практически непрерывного извержения. Одно из его последних сильных извержений, которое внесло значительные изменения в расписание движения воздушных судов над Камчаткой, отмечено в конце 2006 – начале 2007 гг.

Как и Безымянный, вулкан Тамбора (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 167, 168; Гущенко, 1979, с. 66) считался потухшим. В 1812 г. в его кратере начались слабые эксплозии, а в апреле 1815 г. грандиозные взрывы выбросили пепел на высоту 20 км. Обломки пемзы размером до 13 см падали на расстоянии 40 км от вулкана. У его подножья толщина слоя пепла достигала 1,5 м. На острове Ломбок (150 км к западу от вулкана) и в районе Бима (90 км к востоку) толщина этого слоя доходила до 50 см. Общий объем выбросов составил около 100 км³. На всей территории Сумбавы и Ломбока посевы были почти полностью уничтожены, в несколько меньшей степени – на островах Флорес и Бали. На Ламбоке от голода и болезней погибло около 44 тыс. человек, а на Сумбаве умерло 48 тыс. человек – частично от голода, а частично в результате самих вулканических явлений. Таким образом, общее количество жертв в результате извержения Тамбора в 1815 г. превысило 100 тыс. человек.

Площадь вулкана составляет около 1400 км², диаметр кальдеры после взрыва – 6 км, ее глубина – 600–700 м, диаметр образовавшегося нового кратера – 100 м. Абсолютная высота вулкана до взрыва 1815 г. – около 4000 м. После катастрофического извержения в 1812 г. отмечено несколько более слабых извержений вулкана Тамбора, произошедших в 1819 и между 1847 и 1913 гг.

Вулкан Кракатау (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 168, 169; Гущенко, 1979, с. 61) извергался неоднократно. Его извержения отмечены в 416, 1680–1681, 1883–1884, 1927–1947, 1949–1950, 1953, 1958–1960, 1972–1973 гг. После сейсмической «подготовки» и нескольких достаточно слабых извержений, начавшихся в мае 1883 г., 26 августа начался катаклизм, который, в сущности, завершился уже к 28 августа. Он состоял из серии гигантских взрывов, сильнейший из которых утром 27 августа был слышен на расстоянии до 4800 км. Пепел был выброшен в стратосферу на высоту 80 км. В радиусе 150 км воздушной волной были разбиты все окна. На близлежащих островах Ланг и Фарлатен 15-метровый слой выпавшего из воздуха пепла (и пемзы) был перекрыт 60-метровым слоем отложений палящих лавин. Большие куски плавающей пемзы загродили пролив. Всего было выброшено около 16 км³ пепла и пемзы, и значительной толщины слой пепла покрыл площадь более 750 тыс. км². Тонкий пепел распространился по всему земному шару. Сами острова Кракатау были необитаемы, но в соседних районах Явы и Суматры в результате этого извержения погибли (главным образом утонули во время цунами) 36 тыс. человек.

Вулкан Кракатау представляет собой группу вулканических островов, составляющих край кальдеры диаметром около 7 км. Прежний (до взрыва в 1883 г.) центральный конус высотой 2000 м был разрушен, оставив кальдеру, окруженную тремя островами. На восточном краю кальдеры находится вулкан Раката. После пароксизмального взрыва 1883 г. исчезли вулканы Перватан, Данан и половина Ракаты. В результате извержения 1927 г. образовался новый остров – Анак Кракатау.

Извержению вулкана Санторин в 1500 г. до н. э. (Болт, Хорн, Макдоналд и др., 1978, с. 169–171; Гущенко, 1979, с. 10), как считают ученые, в полной мере были присущи все последствия описанных выше современных извержений, в значительной степени (в 10–1000 раз) превышающие их по энергии, интенсивности и, следовательно, по возможной социальной значимости. Общий объем выброшенных при взрыве Санторина продуктов извержения, по оценкам И.В. Мелекесцева (Новейший..., 2005, с. 53, 54), составил 25–30 км³, что привело к покрытию слоем пепла толщиной 1 см и более (в среднем 10–15 см) площади около 0,2–0,3 млн км² (прямоугольник со сторонами 500 × 500 км).

Таким образом, число «прямых» потерь в результате катастрофического взрыва вулкана-острова Санторин и предварявших и сопровождавших его многочисленных

сильных землетрясений, более слабых извержений, сильных и слабых цунами в наше время могло составить не менее 1–2 млн человек. Учтем более слабую в то время (около 3,5 тыс. лет тому назад) защищенность людей, а также всех растений и животных как продуктов питания человека, от внешних обстоятельств. В первую очередь это следует отнести к практически полной незащищенности дыхательных путей живых существ от попадания в них мелких пепловых частичек, представляющих собою, по сути, дробленое стекло с острыми краями и потому вызывающих отек легких и неминуемую смерть. Таким образом, общее число жертв санторинской (1500 г. до н. э.) катастрофы могло достигнуть 10–20 млн человек.

3–4 тыс. лет тому назад на всей планете проживало не более 50–100 млн человек. Поэтому в 1500 г. до н. э. при взрыве острова-вулкана Санторин, расположенного в центре в то время самого благоприятного для развития жизни мира, гибель минойской цивилизации в рамках представлений нашего времени – в масштабе конца XX – начала XXI вв. можно интерпретировать как *гибель большого государства* или, возможно, *нескольких рядом расположенных государств*. По классификации российского ученого-геофизика Н.В. Шебалина, такая катастрофа по VI-балльной системе соответствует II категории – «Континентальное бедствие», расположенной между I категорией – «Всемирное бедствие» и III категорией – «Национальное бедствие» (Шебалин, 1997, с. 502–517).

Помпеи, Геркуланум, предыдущие и возможные последующие события. «Землетрясения продолжались 16 лет, завершившись знаменитым извержением» вулкана Везувий, «которое 29.08.79 г. погребло г. Помпеи» (Гир, Шах, 1988, с. 193), частично разрушило и засыпало пеплом г. Геркуланум и привело к гибели не менее 12 тыс. человек (Искусство..., 2004).

Город Помпеи возник в V в. до н. э. на берегу Тирренского моря на лавовом плато, расположенном на южном склоне вулкана Везувий. В IV в. до н. э. начинается его разрастание. В результате его удачного географического расположения Помпеи вступают во II в. до н. э. в период бурного экономического расцвета. В результате раскопок, начатых в 1748 г., к настоящему времени полностью открыт античный город с остатками городских стен (V–IV вв. до н. э.), форумов (VI и II вв. до н. э.), храмов, палестр (школ), театров, терм (бань), рынков, жилых домов и вилл (III в. до н. э. – I в. н. э.) с многочисленными красочными мозаиками и великолепными фресками, выполненными, несомненно, выдающимися художниками. К их числу относятся многочисленные высокохудожественные произведения, являющиеся шедеврами поистине мирового уровня (например, мозаичная картина, представляющая битву Александра Великого (Македонского) с Дарием, и фреска, изображающая свадьбу Марса и Венеры), хранящиеся в Национальном музее в Неаполе. В районе частных вилл выделяется дом Фавна, роскошью и размерами соперничавший с царскими дворцами эллинского Востока (Искусство..., 2004).

На автора, побывавшего Италии в 2005 г., античные Помпеи произвели впечатление культурного процветающего самодостаточного города, прочно связанного торговыми путями с другими мировыми культурными и торговыми центрами планеты того времени, например Самаркандом, в который жители Помпеи поставляли вино и оливковое масло.

Во второй половине I в. н. э. в г. Помпеи проживало 12 тыс. человек. Именно роскошь и великолепие этого большого и процветающего города, видимые «невооруженным глазом» даже через 17 веков (только публичных домов в городе насчитывалось 25), и воодушевили Карла Брюллова, посетившего раскопки Помпеи в конце 20-х гг. XIX в., на создание в 1830–1833 гг. одной из лучших его картин «Последний день Помпеи». В настоящее время античный г. Помпеи, расположенный рядом с современным городом с таким же названием и с населением примерно в два раза большим, практически полностью раскопан и в значительной степени восстановлен в первоначальном виде.

Город Геркуланум, который располагался недалеко от Помпеи на восточном склоне вулкана Везувий, рядом с современным Неаполем, также полностью раскопан. Он был частично разрушен и засыпан пеплом извержения 79 г. В ходе раскопок были также

обнаружены великолепные жилые кварталы, термы, театр, форум и другие достопримечательности (Советский..., 1985, с. 294).

Приведенные данные позволяют сделать вполне определенные выводы о причинах фактического исчезновения с лица Земли двух благоухающих в роскоши городов, жители одного из которых полностью погибли.

Извержение произошло в полдень, в разгар рабочего дня. Все жители Помпеи – гончары, пекари, торговцы, проститутки, воины, знатные люди и другие – были заняты своими обычными каждодневными делами. В результате извержения они были застигнуты врасплох и умерли мгновенно от ядовитых газов гигантской палящей тучи, внезапно обрушившейся на город (Грицак, 2004). Их окаменевшие тела в естественных позах были обнаружены в результате раскопок, проведенных почти через 17 веков. Сами же города сразу после этого были засыпаны многометровым слоем пепла, местами достигавшим несколько десятков метров. Продукты направленного взрыва извержения и дувший при этом ветер создали условия, при которых наибольший слой пепла отложился именно на южном склоне вулкана, тем самым полностью засыпав г. Помпеи и лишь частично г. Геркуланум, расположенный на восточном склоне вулкана.

Согласно сохранившемуся преданию, услышанному автором из уст гида, проводившего экскурсию в античный г. Помпеи, на помощь жителям, проживавшим вблизи извергавшегося Везувия, спешил римский писатель и ученый Плиний Старший (Plinius Major, 23 или 24–79 гг.) во главе специально снаряженной морской экспедиции. Но помощь опоздала – г. Помпеи исчез с лица Земли, а руководитель экспедиции – 55-летний автор 37-томной «Естественной истории» погиб, изучая извержение Везувия в 79 г.

Вероятно, значительная, но продолжительная по времени (16 лет!) сейсмическая подготовка «успокоила» жителей Помпеи и Геркуланума. Они «свыклись» и с частыми сильными землетрясениями, и с беспокойной жизнью вулкана, не приняли во внимание, по-видимому, все же имевшие место предвестники большой катастрофы и не покинули город, как это успели сделать, например, жители минойских городов за 15 столетий до них и жители о. Матуа через 19 веков после них. В настоящее время районы античных городов Помпеи и Геркуланум, по сути, являются пригородами гигантского многомиллионного мегаполиса Неаполя. И катастрофа, аналогичная взрыву вулкана Везувий в 79 г., случись она неожиданно сейчас, неизбежно унесет миллионы человеческих жизней.

Впрочем, имеется и другая точка зрения, согласно которой достаточно богатые жители Помпеи покинули город. В нем остались только их слуги для присмотра за домами (Грицак, 2004).

Извержение 79 г. было не единственным сильным извержением вулкана Везувий. Примерно 3780 лет назад имело место более сильное извержение этого вулкана – его называют авелинским, или «первыми Помпеями». Как установили ученые, во время авелинского извержения выброс расплавленной породы и вулканического пепла в стратосферу происходил со скоростью 100 тыс. т в секунду на высоту 35 км – это примерно в три раза выше, чем полет современного пассажирского самолета. Даже на расстоянии 15 км от вулкана воздух был настолько горяч, что закипала вода. Недавно удалось установить, что извержение 1780 г. до н. э. разрушило большую часть территории теперешнего Неаполя (Везувий..., 2007). Но и это еще не предел.

Извержения Везувия типа 79 г. и 3780 г. до н. э. являлись следствием весьма «недавней» (в геологическом смысле) катастрофы, происшедшей примерно в этом же месте. Имеющиеся данные показывают, что в результате извержения расположенных, как и Везувий, к западу от Неаполя Флегрейских полей, происшедшего около 33 тыс. лет тому назад, было выброшено около 100 км³ пирокластики. Пепел этого извержения толщиной в несколько сантиметров был обнаружен на расстоянии 1500 км от места взрыва вблизи гг. Пенза – Тамбов – Харьков – Ростов-на-Дону. Общая площадь, покрытая пеплом толщиной 1 см и более, составила 2,5–3 млн км (Новейший..., 2005, с. 46–55).

Согласно построениям И.В. Мелекесцева события, связанные с извержением Флегрейских полей, схематично можно представить следующим образом. В конце верхнего плейстоцена, вероятнее всего около 35 тыс. лет назад, в районе современного Неаполитанского залива произошла резкая активизация тектонических процессов, приведшая к коренной перестройке его геологического строения и рельефа. В результате в этом месте образовалось сопровождавшееся сильнейшими землетрясениями «мини-поднятия Дарвина» – куполообразная возвышенность площадью в сотни квадратных километров, разбитая густой сетью разрывных сейсмовулканотектонических нарушений. Через многочисленные трещины и жерла было излито огромное количество ювенильной пироклаستيку. Часть этого материала пошла на формирование вблизи эруптивных центров пирокластических покровов объемом до 200 км³, а часть (объемом около 150 км³) в виде тефры унесена далеко за их пределы, в том числе и на территорию юго-западной части бывшего СССР. Впоследствии на месте главных эруптивных центров возникли вулканы Везувий и уникальное вулканическое образование Флегрейских полей с многочисленными (около 40) кратерами и кальдерами обрушения размером до 3 × 4,5 км.

Полученные данные и проведенные оценки показывают следующее. По своим параметрам (массам как ювенильного материала порядка 10¹² т, выделившейся в виде паров воды порядка 10⁹ т, суммарной энергии – до 10²⁸ эрг) катастрофическое извержение Флегрейских полей относится к типичному климатообразующему явлению. Такое извержение по своим последствиям в 20–25 раз превосходило описанное выше извержение Кракатау 1883 г.

Извержение Флегрейских полей не было в то время единственным подобным извержением. В позднем плейстоцене происходили сопоставимые с ним по масштабу или даже превышающие его однотипные (т. е. с образованием в каждом случае «мини-возвышенностей» Дарвина) климатообразующие извержения в других вулканических областях земного шара: на Камчатке, в Японии, Индонезии, Центральной Америке и др. Вполне вероятно, что именно такого рода климатообразующие катастрофические извержения глобального позднеплейстоценового (30–40 тыс. лет назад) пароксизма эксплозивного (взрывного) вулканизма и послужили одной из причин похолодания климата Земли и, как следствие, последующей экспансии ледников с максимумом 18–20 тыс. лет назад (Новейший..., 2005, с. 46–55). Согласно классификации Н.В. Шебалина климатообразующая катастрофа такого масштаба, как и катастрофа, связанная с образованием современного Тихоокеанского огненного кольца, может быть отнесена к максимально возможной на нашей планете I категории – «Всемирное бедствие» (Шебалин, 1997, с. 502–517).

Обобщая все имеющиеся данные, приходим к выводу, что наиболее сильные извержения Везувия (в тыс. чел): 33 (извержение Флегрейских полей); 25; 22,5; 17; 15; 11,4; 8; 3,8 (авелинское извержение) – имели место почти 2 тыс. лет назад (извержение, которое привело к гибели Помпеи и Геркуланума). Такие катаклизмы, как показывают приведенные данные, случаются каждые две тысячи лет (Везувий..., 2007). Когда же следующее?

Как видим, все без исключения достаточно масштабные катастрофы «наследуют» заложенные в основы их механизмов ротационные процессы планетарного масштаба. Именно такие ротационные процессы в конечном итоге приводят к интенсивным тектоническим явлениям, проявляющимся в том числе в виде разрушительных землетрясений, катастрофических извержений вулканов и опустошительных цунами.

Землетрясения, из-за которых переносились столицы. К катастрофическим землетрясениям относятся землетрясения 854 – 1319 гг. на Кавказе, в результате которых неоднократно переносилась столица Армении и погибли десятки тысяч человек (Никонов, 1989).

Средневековые армянские историки сообщают, что древняя столица Двин разрушалась «страшными землетрясениями» в 854, 858, 863, 869 и 893 годах. Последнее землетрясение считается сильнейшим – оно до основания разрушило древнюю столицу Армении. И как ни прекрасна была древняя столица Армении Двин, которая находилась в

великолепной Араратской долине, но после катастрофы 893 г. столицу пришлось перенести в г. Ани, расположенный на Карском плоскогорье, в долине р. Ахурян (ныне Турция). Пережив огромные потери, набеги полчищ Чингисхана, город уже не выдержал разрушительного землетрясения 1319 г. Значительная часть жителей отправилась на поиски новых земель. Тогда-то и были основаны армянские колонии в Крыму, Приазовье и Прикарпатье, а новой столицей Армении стал город Ереван. Отметим, что древний Ани располагался менее чем в 40 км от нынешнего Ленинакана. Приведенные данные собраны А.А. Никоновым (Никонов, 1989).

8 декабря 1988 г. на территории Армении случилась новая катастрофа – вблизи г. Спитак произошло очень сильное землетрясение (Землетрясения..., 1989). При этом был полностью разрушен г. Спитак и близкорасположенные населенные пункты. Из 30 тыс. жителей города погибли 12 тыс. человек. Сильно пострадал г. Ленинакан. Из 927 зданий города были разрушены и подлежали сносу около 40%, при этом оказались разрушенными практически все каркасно-панельные здания. Из 280 тыс. жителей города погибли почти 14 тыс. человек. В меньшей степени пострадал еще один крупный город Армении – 220-тысячный Кировакан. Общее число погибших при Спитакском землетрясении, по официальным сообщениям, составило около 25 тыс. человек.

Как видим, история повторилась. За ошибку ученых и строителей, которые не смогли дать правильную оценку последствиям прошлых катастроф на территории Армении, пришлось заплатить дорогой ценой. Гнетущее впечатление, запомнившееся на всю жизнь, произвело на нас тяжелое психическое состояние людей, с которыми мы встречались в эпицентральной зоне землетрясения.

Главный урок Спитакской трагедии, по-видимому, можно сформулировать словами российского ученого-сейсмолога Н. В. Шебалина, одного из ведущих российских сейсмологов: «Эта катастрофа потрясла не только всю толщу земной коры, но и всю толщу нашего общества. Рухнуло все, что прогнило: неоправданно оптимистическая схема сейсмического районирования Армении и намеренно удешевленные конструкции многоэтажных зданий, зарегулированная система гражданской обороны и беспомощная система местной администрации. И сколько бы ни митинговали люди, никуда не деться от факта, что десятки тысяч армян убиты теми, кто украл цемент и тем самым сделал бетон рассыпчатой трухой, теми, кто не заварил должным образом арматурные стыки, из-за чего железобетонные панели из опор превратились в надгробия. Свой крест, свою вину будем нести и мы, члены редакционной коллегии Карты общего сейсмического районирования СССР (ОСР-78), допустившие то, что на Кавказе были приняты заниженные оценки сейсмической опасности» (Викулин, Дроздюк, Семенец и др., 1997, с. 27, 28).

Вообще, по мнению доктора наук А.А. Никонова (Никонов, 1989), с Двинскими землетрясениями IX в. еще много неясного. С точностью, не превышающей 20 км, они помещаются в одну эпицентральною область и называются Двинскими только потому, что древние авторы упоминали единственный пункт, подвергшийся разрушению, – Двин. Не потому ли, что он был столицей? Но при сильных землетрясениях разрушения в Двине могли происходить и в случае, если эпицентр располагался в десятках километров. Тогда и основные параметры землетрясений, включая интенсивность и энергию (магнитуду), окажутся более высокими.

Несовпадение эпицентров Двинских землетрясений (или части из них) представляется вполне вероятным еще и потому, что изучение подобных событий более близкого времени почти не дает примеров такого скопления последовательных разрушительных землетрясений в одном месте. А вот цепочки мигрирующих очагов землетрясений хорошо известны. Тогда ничто не мешает допустить, что эпицентр одного или нескольких разрушительных землетрясений IX в. мог оказаться на месте Еревана. Этих данных вполне достаточно, чтобы не строить в 50 км от этого места атомную электростанцию, что было сделано за 20 лет до Спитакского землетрясения. Однако и этот шанс использования исторических данных для правильной оценки сейсмичности Армении был упущен.

Как видим, в случае Спитакского землетрясения мы не только не учли уроков прошлых трагедий на территории Армении и других стран, но усугубили их неподготовленностью общества противостоять грозной природной стихии, возведением в ранг закона наших недостаточных знаний о природе и просто преступной халатностью в строительстве.

Характерные движения грунта при землетрясении. Одной из отличительных особенностей Спитакской катастрофы являются крутильные колебания поверхности грунта, наблюдаемые при землетрясении. Данные о таких движениях собраны Г.И. Аносовым, Т.Г. Константиновой и И.Ф. Делеменем (Аносов, Константинова, Делемень, 2004). Такое движение грунта проявилось в Спитаке в виде многочисленных поворотов со сдвигом и поддвигом архитектурных памятников и надгробных камней, а также в виде поворота и сдвига верхней части часовни при хорошем качестве цементного раствора. Крутильное движение проявилось в наклонах зданий в противоположные стороны, в наклонах и разворотах зданий, сдвигах поперечных стен в вертикальной плоскости относительно друг друга. Во многих случаях наблюдалась вращательная деформация торцевых частей зданий вокруг горизонтальной оси. При этом нередко деформации происходили вокруг оси, соответствующей средней части здания. Такого рода повреждения наблюдались, кроме Спитака, в городах Ленинакан, Кировакан, Степанован, а также во многих поселках Армении, расположенных вокруг эпицентральной зоны Спитакского землетрясения.

Механизм возникновения вращательных колебаний мало изучен. Тем не менее уже сейчас можно сделать вывод о том, что выделяется несколько типов вращательных деформаций в системе «здание – основание». Такие движения можно разделить на качательные (в вертикальной плоскости) и крутильные (в горизонтальной плоскости) вращательные деформации. Кроме того, следует различать вращательные колебания и вращательные неупругие деформации. Последние могут быть индуцированы сейсмическими крутильными колебаниями. Согласно данным К.В. Егупова аналогичные движения наблюдались и при землетрясении в Турции 27 июня 1998 г. (Аносов, Константинова, Делемень, 2004).

Такие движения могут быть связаны с визуально видимыми «горбами» земной поверхности, которые распространялись из очагов сильнейших землетрясений 1923 г. (Япония), 1960 г. (Чили), 1959 г. (Камчатка), 1985 г. (Мексика) (Викулин, 2005). Согласно оценкам американского ученого-сейсмолога С. Ломниц такие движения должны соответствовать гравитационным сейсмическим волнам крутильной поляризации. Аналогом подобного движения являются волны, распространяющиеся вдоль поверхности океана после сильных землетрясений, – цунами.

Инструментально-крутильные упругие колебания были зарегистрированы совсем недавно при землетрясении Chi-Chi (Чи-Чи) на Тайване в 1999 г. (Викулин, 2005) сейсмологами М. Такео (Takeo, 1998) и Б. Хуангом (Huang, 2001). Такая «поздняя» регистрация крутильных сейсмических колебаний связана со следующими обстоятельствами. Во-первых, в рамках классической теории упругости в «обычном» (однородном, не блоковом) твердом теле таких колебаний не должно быть вовсе. Поэтому факт регистрации крутильных колебаний в земной коре при землетрясениях подтверждает вывод о блоковом (иерархическом) строении земной коры. Во-вторых, только совсем недавно были преодолены конструктивные трудности, связанные с регистрацией крутильных колебаний в твердом теле. По этим причинам регистрация упругих волн крутильной поляризации в настоящее время возможна пока в единичных специальных случаях (Аносов, Константинова, Делемень, 2004).

Пространственный расчет реально существующего пятиэтажного здания в Петропавловске-Камчатском, выполненный главным конструктором Института «Камчатгражданпроект» В.Н. Дроздюком, показал, что учет крутильных колебаний приводит к значительному увеличению сейсмической нагрузки на торцевые рамы, которая более чем в два раза превышает нагрузку на рамы, расположенные в середине здания (Дроздюк, 2004).

Эти расчеты подтверждаются наблюдаемыми разрушениями, имевшими место при некоторых сильных землетрясениях, в том числе при тех, о которых говорилось выше – в Спитаке в 1988 г. и Турции в 1998 г. (Болт, 1981; Землетрясения..., 1989), а также в других странах (Европейская..., 1996; Клячко, 1999; Неймар, 1899, с. 32–329).

Как видим, учет крутильных колебаний имеет большое значение для расчета реальной сейсмостойкости зданий и сооружений. На практике это вынуждает ученых и конструкторов идти «вразрез» с общепринятыми в настоящее время представлениями классической теории упругости, разрабатывать новые, на первый взгляд «экзотические» и нереальные модели геофизической среды и в рамках таких моделей проводить необходимые расчеты с целью уменьшения материального ущерба и сохранения человеческих жизней.

Китай – самая сейсмоопасная страна. Сильнейшее по количеству жертв – 830 тыс. человек! – за всю историю человечества землетрясение в Шэнси случилось 23.01.1556 г. Землетрясение произошло ночью в густонаселенном районе вокруг Сианя. В результате его образовались оползни на склонах холмов, сложенных мягкими породами, что и привело к большому числу жертв, так как многие люди обитали в пещерах (Гир, Шах, 1988).

Приведенная оценка количества жертв при землетрясении 1556 г. в Шэнси представляется, на первый взгляд, маловероятной. По имеющимся оценкам, в то время на нашей планете проживало около 500 млн человек. Из этого количества людей, по видимому, не более 10–20%, или 50–100 млн человек, могли проживать в Китае. В таком случае при землетрясении в Шэнси погибло около 1–2% населения всей страны.

Катастрофа 1556 г. в Шэнси по количеству человеческих жертв является абсолютным «лидером» среди всех известных нам природных катастроф в течение всей истории человечества. Возникает естественный вопрос: «А не является ли это число завышенным?» Трагедия, повторившаяся в Китае через 420 лет, отвечает на этот вопрос однозначно: «Нет, не является».

Катастрофические землетрясения для Китая не редкость. Перечислим землетрясения, жертвами которых в этой стране стали десятки и сотни тысяч человек (цифры даны в тыс. чел.): 27.09.1290 г. – залив Бохайвань (100); 17.09.1303 г. – Шэнси (15); 23.01.1556 г., Шэнси (830); 25.10.1622 г. (12); 21.07.1654 г. (десятки тыс.); 22.09.1679 г. (десятки тысяч); 18.05.1695 г., Шэнси (30); 19.06.1718 г. (40); 03.01.1739 г., Нинся (50); 23.10.1815 г. (13); 12.09.1850 г., Сычуан (21); 01.07.1879 г. (десятки тысяч); 13.02.1918 г., Гуандун (10); 16.12.1920 г., Ганьсу, массовые обрушения густонаселенных пещерных селений (190); 23.05.1927 г., Ганьсу (41); 11.08.1931 г. (10); 26.12.1932 г., Ганьсу (70); 05.01.1970 г. (16); 11.05.1974 г., Юньнань (20).

Замыкает эту цепочку трагических событий в Китае Таньшанское землетрясение, произошедшее 21.07.1976 г. Крупнейший индустриальный центр Китая – город Таньшань, в котором проживало несколько миллионов человек, оказался *полностью* разрушенным. В результате землетрясения, по официальным данным, погибло 243 тыс. человек (Гир, Шах, 1988), по неофициальным оценкам иностранных (не японских) специалистов – 650 тыс. человек при числе пострадавших до 780 тыс. человек (Болт, 1981, с. 173, 174). Известны публикации, в которых сообщалось *до одного миллиона погибших* (Вокруг..., 2007).

В середине 70-х гг. прошлого века, по данным средств массовой информации, Китай, в котором тогда уже проживало более 1 млрд человек, переживал значительные экономические и социальные трудности, в том числе сообщалось и о *массовой* гибели людей в результате голода. Страна была «закрыта» и практически не посещалась иностранцами. Поэтому опубликованные в некоторых мировых изданиях сведения о количестве жертв при Таньшанском землетрясении – до 1 млн человек – могут быть вполне близкими к действительности. Это косвенно подтверждает и «неофициальную» оценку числа жертв и пострадавших при Таньшанском землетрясении, и невероятную, на первый взгляд, оценку количества жертв при землетрясении 1556 г. в Шэнси.

Таким образом, можно принять, что во втором тысячелетии в Китае в результате только землетрясений погибло 2,5 – 3 млн человек.

Сравнительный анализ китайских сейсмических катастроф, в особенности двух из них, произошедших более чем через четыре столетия – в 1556 и 1976 гг., свидетельствует, что показателем развитости общества является не просто вид, архитектура или красота жилища людей, а степень их сейсмозащищенности. Именно сейсмостойкость зданий и сооружений, рассматриваемая совместно с их архитектурой и удобствами для проживания и работы людей, в современном обществе является показателем его цивилизованности. 12 мая 2008 г. в провинции Сычуань произошло катастрофическое землетрясение, в результате которого, по предварительным данным, погибли десятки тысяч человек.

Б.Б. Голицын как основоположник современной сейсмологии. Становление современной сейсмологии как науки – и наблюдательной, и теоретической – было предопределено важными событиями, произошедшими на рубеже XIX – XX вв., которые в первую очередь связаны с именем русского ученого-сейсмолога Б.Б. Голицына. Этим событиям на рубеже веков предшествовали многие столетия и тысячелетия, в течение которых человек не просто ощущал землетрясения и переживал приступы панического животного страха, но сначала научился классифицировать последствия этого стихийного бедствия, затем – количественно регистрировать сейсмические волны и в конце концов приступил к изучению природы их излучающих очагов и строения планеты.

По мнению некоторых ученых, только древнеримское общество с его склонностью ко всяческой упорядоченности и классификации оставило нам следы системного подхода к описанию землетрясений (Шебалин, 2003, с. 63–64). Восточные деспотии такой мелочью, как разрушительные землетрясения, попросту пренебрегали. Бюрократический Китай накапливал сведения о разрушительных землетрясениях чуть ли не с 3000 г. до н. э., но не предпринял никаких попыток хоть как-то упорядочить эти сведения.

Особое место в истории макросеймики занимают легендарные или полуполулегендарные сообщения о землетрясениях, сопровождавших некоторые ключевые моменты библейской истории. Достоинно серьезного внимания то обстоятельство, что в арабских источниках эти события описаны иногда более подробно, чем в самой Библии и у западных ее комментаторов. По-видимому, следует с бóльшим вниманием и ответственностью отнестись к фактам библейской истории.

В Европе первые сообщения о землетрясениях относятся еще к IX–X вв., однако серьезный рост общественного интереса к землетрясениям происходит в конце XIV или в начале XV вв.

Следует отметить, что и до появления классификаций землетрясений люди изобретали способы защиты зданий и сооружений от их разрушительных воздействий. На это указывают, например, средневековые храмы Сванетии в Грузии (и в других сейсмоопасных государствах), построенные с использованием антисейсмических приемов. В качестве одного из них на Кавказе, по данным А.А. Никонова, использовались пироны – свинцовые бруски (Никонов, 1989).

Шкалы балльности (Медведев, 1968; Шебалин, 2003, с. 83–93). Вопрос о классификации землетрясений, основанный на информации об их интенсивности, является наиболее старым в сейсмологии. Еще в античной литературе, а также в литературе эпохи Возрождения и русских летописях при описании сейсмических катастроф интенсивность землетрясений характеризовалась самыми различными способами. Только начиная с XVII в. начинают предприниматься последовательные попытки унификации способов классификации землетрясений по их интенсивности. Способ деления землетрясений на четыре типа был предложен в 1757 г. М.В. Ломоносовым (Ломоносов, 1986).

В конце XVIII и в XIX вв. для классификации землетрясений появляется большое число разных описательных шкал, составлявшихся в процессе изучения последствий землетрясений: шкалы Д. Пигнаторо (1783), Д. Брукса (1811), П. Эгена (1828), П. Мак-

фарлана (1839), А. Петермана (1856), Р. Маллета (1858), Р. Вильямсона (1870) и др. В 1883 г. М. Росси (Италия) и Ф. Форель (Швейцария) совместно составили 10-балльную шкалу, которая получила распространение в конце XIX и начале XX вв. в ряде европейских стран. В 1900 г. в Японии Ф. Омори предложил 7-балльную шкалу, в которой каждому баллу была приписана величина максимального ускорения почвы. В 1904 г. А. Конкани предлагает величину максимальных ускорений почвы для шкалы Д. Меркали, представление которой в печати состоялось в 1897 г. Кроме того, 12-балльная шкала Меркали – Конкани была рассмотрена на II сейсмологическом конгрессе в Страсбурге. Позже А. Зиберг, внося в описательную часть шкалы Меркали уточнения и поправки, дал более подробные, чем у Меркали, описания характерных последствий землетрясений.

Почему в качестве меры интенсивности ощущаемых при землетрясении колебаний предлагается ускорение, физически ясно: зная ускорение, можно найти в соответствии со вторым законом Ньютона и величину силы, действующей на сооружение или его некую часть с известной массой, и, как следствие, рассчитать возможные последствия воздействия землетрясения на это сооружение, разработать соответствующие инженерные решения и способы защиты зданий от повреждений и разрушений.

Исправленная шкала, названная шкалой Меркали – Конкани – Зиберга (MKS), была рассмотрена Международной ассоциацией сейсмологии в 1917 г. В настоящее время в ряде европейских стран пользуются этой шкалой. Позже, в 1931 г., американскими учеными Г. Вудом и Ф. Ньюманом была предложена 12-балльная шкала, применяемая до настоящего времени. Эта шкала в американской литературе обычно называется модифицированной шкалой Меркали (ММ).

В Японии в 1920 г. Ф. Омори ввел усовершенствования в составленную им ранее шкалу. В 1932 г. для каждого балла этой шкалы М. Ишимото предложил величины ускорений колебаний почвы. Более поздняя редакция этой шкалы как 10-балльная шкала Японского метеорологического общества (Japan Meteorology Agency, JMA) была предложена в 1950 г.

В 1931 г. в СССР была утверждена в качестве стандарта 12-балльная шкала ОСТ ВКС-4537. Эта шкала была очень близка к шкале Меркали – Конкани – Зиберга. В 1952 г. в СССР в Институте физики Земли (ИФЗ АН СССР) С.В. Медведевым была составлена новая 12-балльная сейсмическая шкала, принятая затем в качестве стандарта (ГОСТ 6249–52). Принципы этой шкалы были использованы при построении шкалы сейсмической интенсивности MSK-64.

В Китае в 1956 г. была составлена Се Юй-шоу и принята Академией наук Китая 12-балльная сейсмическая шкала, по своему построению и содержанию сходная со шкалой ИФЗ АН СССР. Различием является то, что китайская шкала построена с учетом конструктивных и планировочных особенностей зданий и сооружений в Китае.

Сейсмическая шкала MSK-64 (шкала С.В. Медведева (Москва), В. Шпонхойера (Sponheuer, Иена) и В. Карника (Karnik, Прага), версия 1964 г.) представляет собой усовершенствование и развитие шкал Меркали – Конкани – Зиберга, ММ, ИФЗ АН СССР и других близких шкал. Она составлена на основании материалов полевого изучения последствий землетрясений и анализа литературных данных.

Для характеристики интенсивности землетрясений в шкале MSK-64 используется несколько признаков. Главным признаком является степень повреждения зданий и сооружений. Кроме того, применяются и такие признаки, как остаточные явления в грунтах, изменение режима грунтовых вод (уровень воды в колодцах), ощущение колебаний и др.

В основах действующих в настоящее время в разных странах сейсмических шкалах баллы совпадают, т. е. шкалы являются параллельными. Исключение составляет лишь японская 10-балльная шкала. Однако шкалы различаются между собой по степени детальности описания последствий землетрясений и отражают строительные, а также грунтовые особенности, присущие постройкам в разных странах.

В настоящее время шкалы продолжают совершенствоваться (Европейская..., 1996; Сильные..., 1975; Шерман, Бержинский, Павленов и др., 2003). Например, при землетрясениях в Японии и на Дальнем Востоке России выделяется, как правило, большее количество энергии, чем при землетрясениях в Европе. Следовательно, наиболее сильные японские и дальневосточные российские землетрясения являются и более продолжительными – до 2-3 минут и более. Например, Большое Камчатское землетрясение 4.11. 1952 г. длилось в течение трех интенсивных фаз, каждая продолжительностью по 5 минут, как и землетрясение 17.10.1737 г., которое «с четверть часа продолжалось волнами так сильно, что многие камчатские юрты обвалились и балаганы попадали» (Крашенинников, 1755, с. 171, 172). Сравним это землетрясение с европейскими землетрясениями, у которых фаза наиболее интенсивных колебаний продолжается до 10–20 секунд, а колебания наибольшей интенсивности при Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. продолжались 15 секунд (Землетрясения..., 1989). Более продолжительные по времени нагрузки накладывают и более жесткие требования к применяемым способам усиления зданий и сооружений, в основном к их конструктивным стыковочным узлам.

Весь длинный ряд шкал макросейсмической интенсивности позволяет выделить две основные идеи, владевшие умами составителей шкал: обособить по возможности одну градацию от другой и распределить весь интервал явлений, известных составителю шкалы или используемых им, более или менее поровну между заданным числом градаций. В этом смысле исследователи интуитивно стремились к тому, чтобы их шкала была как можно ближе к идеальной, строго равномерной шкале интервалов. Ни первое, ни второе условие полностью соблюсти не удалось никому (Шебалин, 2003, с. 83).

Появление классификаций сейсмических событий сделало возможным переход на следующий этап сейсмологических исследований – составление *каталогов землетрясений*, содержащих информацию о координатах гипоцентров и интенсивностях сотрясений в очагах землетрясений, что, в принципе, и отличает каталоги землетрясений от существовавших ранее *списков сотрясений* в тех или иных местах. Переход на такой уровень описания сейсмичности с развитием инструментальной сейсмологии позволил в дальнейшем для каждого землетрясения определить величину упругой энергии, выделяемую в его очаге.

Инструментальные наблюдения (Артемов, 2003, с. 179–185; Оноприенко, 2002). Как уже отмечалось выше, страной, в наибольшей степени страдающей от землетрясений, является Китай, каталог землетрясений которого включает данные о сейсмических событиях последних нескольких тысяч лет. Видимо, именно по такой «сейсмической» причине в Китае во время правления династии Хань в 132 г. в Сиане был изобретен Чжан Хэном *первый в мировой практике сейсмический прибор* – сейсмоскоп, позволяющий определять направление на очаг землетрясения. На марке Китайской Народной Республики с портретом Чжан Хэна изобретатель представлен как ученый-астроном, который занимался прогнозом погоды и землетрясений. С тех пор сейсмология и метеорология сотрудничают самым тесным образом. Полностью созданный Чжан Хэном прибор реконструирован и находится в Лондоне в Геологическом музее (Викулин, Дроздук, Семенец и др., 1997).

Во второй половине XIX в., предположительно около 1880 г., появились первые соответствующие современному определению сейсмографы, позволяющие регистрировать колебания поверхности грунта при землетрясениях. К сожалению, правильно определять амплитудно-частотные характеристики таких приборов и, как следствие, количественно измерять параметры зарегистрированных сейсмических волн научились несколько позже. Тем не менее уже первые полученные сейсмограммы качественно правильно воссоздавали представления о волновой природе сейсмического поля вокруг очага землетрясения (Викулин, Семенец, Широков, 1989).

В начале 1889 г. геодезист Ребер-Пашниц установил в подвале Потсдамской обсерватории горизонтальные маятники, чтобы следить за периодическими колебаниями отвесной линии под влиянием лунно-солнечного притяжения. 18 апреля 1889 г. на плавной кривой, которую воспроизводил маятник, появились сильные колебания, длившиеся в

течение 1,5–2 часов. Была высказана гипотеза, согласно которой указанные колебания были вызваны проходящими упругими волнами, возникшими в земной коре в результате землетрясения, происшедшего в Японии на удалении около 9000 км от обсерватории. Эта гипотеза достаточно быстро нашла свое подтверждение. Тем самым была доказана возможность регистрации землетрясений на больших расстояниях. Стало очевидным, что для записи землетрясений и изучения процессов, протекающих в их очагах, необходимо создавать сети сейсмических станций (Онопrienко, 2002).

Создание сети сейсмических станций, охватывающих весь земной шар, началось в конце XIX в. В 1896–1898 гг. первая такая сеть сейсмических станций, оснащенных сейсмографами системы Милна, была создана в Японии (Викулин, Дроздук, Семенец и др., 1997; Викулин, Семенец, Широков, 1989).

В конце XIX – начале XX вв. при активном и непосредственном участии Б.Б. Голицына в России также начинается создание сети сейсмических станций (первые сейсмические станции в России начали свою работу в Морской астрономической обсерватории в Николаеве в 1892 г., в Харьковской и Юрьевской астрономических обсерваториях при университетах в 1893 г.).

Особенно актуальной в то время была задача создания достаточно чувствительной сейсмической станции для записи удаленных землетрясений. Существовавшие в то время типы сейсмических приборов (сейсмографы систем Вихерта, Милна, Вицентини и др.) не решали этой задачи. Например, для того чтобы исключить влияние трения пишущего пера на бумагу, наиболее совершенные в то время приборы Вихерта с механической регистрацией при увеличении около 100–200 раз требовали только маятников с массой порядка 1,5 тонны. Дальнейшее увеличение прибора могло быть достигнуто только путем соответствующего увеличения массы маятника, что значительно снижало технические возможности использования таких приборов в массовом порядке при создании сети станций.

Уже в 1902 г. Б.Б. Голицын разработал основные принципы конструирования необходимых для регистрации землетрясений приборов и предложил использовать гальванометрический метод регистрации с электродинамическим преобразованием перемещений маятника в электрические токи. Гальванометрический метод позволяет получать большее разнообразие в частотных характеристиках приборов по сравнению с прямыми методами (оптическим или механическим) и, следовательно, решать более широкий круг задач. При этом достигается значительно большее увеличение и легкое его регулирование путем введения в электрический контур маятника – гальванометра специальных «загрубляющих» сопротивлений. С помощью гальванометрического метода оказалось возможным отделить место наблюдения от места регистрации и тем самым устанавливать приемную аппаратуру (маятники) в наиболее спокойных местах, а регистрирующую аппаратуру – в наиболее удобном месте. Кроме того, приборы Б.Б. Голицына имели ряд других важных технических преимуществ, что позволило осуществлять регистрацию удаленных землетрясений в крупных городах, таких как Москва, Иркутск, Ташкент и др. В результате Б.Б. Голицыну удалось создать и длиннопериодный вертикальный сейсмограф, что ранее не удавалось никому. С помощью этого сейсмографа стало возможным определить не только расстояние до очага землетрясения, но и направление, в котором этот очаг расположен, и таким образом вычислить его географические координаты по данным одной лишь станции.

Результаты этой большой работы позволили Б.Б. Голицыну выступить на Манчестерском съезде Международной сейсмологической ассоциации в 1911 г. с серией докладов: «Новая организация сейсмической службы в России», «Об определении положения эпицентра землетрясения по наблюдениям одной сейсмической станции», «О вертикальном сейсмографе с гальванометрической регистрацией», «О результатах наблюдений с вертикальным сейсмографом и об определении угла выхода сейсмической радиации», «О рациональной динамической шкале для оценки макросейсмических дви-

жений». Ученые всего мира сразу оценили преимущества приборов системы Б.Б. Голицына. В результате все главнейшие сейсмические станции во всех частях света очень быстро были оборудованы сейсмографами его системы.

В 1915 г. начинается своя регистрация самая восточная в России сейсмическая станция второго класса в г. Петропавловске-Камчатском. В этом году в мире насчитывалось 60 сейсмических станций, а в России, составляющей одну шестую часть суши, их было 12 – каждая пятая. Как видим, в начале XX в. ведущая и по значению, и по масштабам роль инструментальных сейсмологических наблюдений в мире принадлежала именно России (Викулин, Семенец, Широков, 1989).

Гальванометрический способ регистрации, предложенный Б.Б. Голицыным, оказался долгожителем в геофизическом приборостроении, и развитие сейсмометрии в мире в XX в. проходило под «знаменем» идей физика-сейсмолога Б.Б. Голицына.

В последующем региональные сети сейсмических станций неуклонно расширялись и совершенствовались, постепенно объединяясь в единую мировую сеть сейсмических станций. Появилось большое количество самых разнообразных приборов, позволяющих проводить запись сейсмических сигналов в большом амплитудно-частотном и динамическом диапазонах. В настоящее время сейсмические сигналы регистрируются в гигантском динамическом диапазоне, превышающем 140 децибел и позволяющем «перекрыть» практически весь амплитудно-частотный диапазон упругих колебаний – от «тепловых» шумов до собственных колебаний планеты.

Завершение создания мировой сети сейсмических станций позволило Б. Гутенбергу в 1945 г. ввести в рутинную практику сейсмометрических измерений магнитуду землетрясения – количественно определяемую величину упругой энергии, выделяемой в его очаге (Викулин, 2003, с. 6, 7). С введением магнитуды завершается количественное определение очага землетрясения. Для его описания используются такие параметры, как время в очаге, координаты гипоцентра, магнитуда, которые полностью определяют процесс землетрясения как физического явления.

Введение энергетической характеристики землетрясения завершило описание географии планетарной сейсмичности, что позволило ввести концепцию *сейсмических поясов*, узкими зонами простирающимися вдоль всей поверхности планеты на многие тысячи и десятки тысяч километров.

Развитие наблюдательной сейсмометрии в конце XX в. привело к обнаружению принципиально нового вида упругих колебаний *крутильной поляризации*, излучаемых из очагов сильных землетрясений. Упругие сейсмические колебания такой поляризации начали регистрироваться практически одновременно российскими и японскими учеными (Халчанский, 1998; Huang, 2001; Takeo, 1998).

Теоретическая сейсмология (Онопrienko, 2002). Достигнутые Б.Б. Голицыным успехи в области инструментальной сейсмометрии, практическим результатом которой явилось создание сети сейсмических станций на гигантской по масштабам территории России, предопределили и его громадный вклад в область теоретической сейсмологии.

Диапазон научных интересов Б.Б. Голицына, как первого из первых, был широк. Им решались следующие задачи: физическая природа сейсмических волн и траектория их распространения внутри Земли; внутреннее строение Земли; определение координат эпицентра землетрясения по одной станции; сейсмическая дисперсия; поляризация упругих волн; угол выхода сейсмической радиации; деформации почвы в эпицентре; динамическая шкала ускорений частиц почвы; микросейсмические пульсации; сейсмическая разведка, прогноз землетрясений. Разработав теорию упругости и методы регистрации и интерпретации сейсмических наблюдений, основы теории распространения упругих колебаний и применения этой теории для изучения землетрясений и строения земного шара, он тем самым заложил основы *теоретической сейсмологии*.

Б.Б. Голицыным был создан оригинальный метод изучения внутреннего строения Земли по наблюдениям над углами выхода сейсмического луча. Эта задача была им реше-

на после установки на сейсмических станциях первого класса вертикального сейсмографа с гальванометрической регистрацией. Границы раздела внутри Земли, выявленные Б.Б. Голицыным по углам выхода, не утратили своего значения по истечении многих десятилетий. Такова, например, обнаруженная Б.Б. Голицыным в 1913–1915 гг. граница на глубине 492 км, с которой связывают залегание слоя с повышенным градиентом скорости.

«Лекции по сейсмометрии» (Голицын, 1960), прочитанные и написанные, так сказать, по случаю подготовки научных кадров для сейсмических станций, оказались главным трудом Б.Б. Голицына, переведенным за рубежом и широко использовавшимся на протяжении более полувека. Для науки XX в. с ее стремительным развитием это, безусловно, рекорд. Несмотря на то что в 1912 г. развитие сейсмологии, основанной на точном наблюдательном материале, только начиналось, идеи Б.Б. Голицына не утратили своего значения спустя десятилетия. Он правильно предвидел значение некоторых исследований, которые при нем только начинались, а часть их еще не решена до сих пор.

Б.Б. Голицын задолго до постановки и проведения сейсмогеологических исследований указывал на роль современных геологических дифференциальных движений. Землетрясения, полагал он, приурочиваются к областям значительных медленных деформаций. К такой категории движений он относил, например, медленные поднятия и опускания материков или вообще медленные относительные смещения одних масс горных пород по отношению к другим.

Одним из первых Б.Б. Голицын указал на необходимость решения проблемы прогноза землетрясений. Он считал также целесообразным осуществление наблюдений над изменениями упругих модулей среды предполагаемого очага возможного землетрясения и над изменением режима источников подземных вод в сейсмоактивных зонах, что могло бы способствовать выявлению предвестников землетрясений. Впоследствии эти мысли были взяты на вооружение при прогнозах землетрясений.

Б.Б. Голицын указывал на необходимость использовать при построении макросейсмических изосейст (изолиний) исключительно инструментальные данные. Эта задача спустя десятилетия приобрела огромное значение, стала важнейшим практическим направлением сейсмологии, результаты которого применяются при сейсмическом районировании и разработке способов сейсмостойкого строительства. Вопрос об инструментальных наблюдениях над разрушительными колебаниями при землетрясениях продолжает оставаться весьма актуальным и еще далек от своего эффективного разрешения.

Исключительное значение для дальнейшего развития разведочной геофизики имели предвидения Б.Б. Голицына о возможности создания метода сейсмической разведки геологических структур и глубинного сейсмического зондирования.

Результаты, полученные Б.Б. Голицыным в области сейсмологии, сразу получили мировое признание в научном сообществе. Более того, несомненно и то, что именно с именем Б.Б. Голицына связаны *все успехи сейсмологии XX в.*: предложенный гальванометрический способ с электродинамическим преобразованием для регистрации землетрясений и, как результат, заложенные им основы теоретической сейсмологии.

Уже первые результаты исследования сейсмичности позволили достаточно убедительно подтвердить замеченное ранее рядом исследователей ее свойство *миграции*, т. е. закономерного перемещения во времени и пространстве сейсмического пояса (Рихтер, 1963; Тараканов, 1961; Mogi, 1968). В 1975 г. Ш.А. Губерман выдвигает идею о *волновой природе миграции землетрясений* (Губерман, 1975).

Было отмечено, что наиболее сильные землетрясения часто имеют тенденцию группироваться в эпохи, в течение которых они практически одновременно наблюдаются на всей поверхности Земли и при этом редко происходят в интервалах времени между ними (Могги, 1988; Мушкетов, Орлов, 1893; Тамразян, 1962). Для всех сейсмоактивных регионов Земли было показано свойство группировки землетрясений по величине их сейсмической энергии (Викулин, 1992а, 2003).

Существование таких явлений группировки землетрясений и их миграции позволяет предположить наличие между их очагами вполне определенной связи, по сути, взаимодействия (Кузнецова, 1974), физика которого определяется свойствами пространственно-временного и энергетического распределения землетрясений (Викулин, 2003).

Приведенные данные указывают на то, что *совокупность землетрясений*, рассматриваемая в пространстве и времени с учетом взаимодействия между их очагами, может рассматриваться как вполне определенный *физический процесс планетарного масштаба* (Викулин, 2003).

Прогноз землетрясения возможен. Приведенные выше данные показывают: в течение второго тысячелетия в Китае от землетрясений погибло наибольшее количество человек – около 2,5–3 миллионов. Видимо, поэтому китайцы первыми изобрели сейсмоскоп и в реальном времени предсказали Ханченгское землетрясение 04.02.1975 г.

Согласно данным научных работ (Болт, 1981; Соболев, 1993) район вокруг Ханченга в провинции Ляонин на северо-востоке Китая находился под пристальным вниманием сейсмологов, поскольку некоторые признаки указывали на то, что в ближайшем будущем здесь может произойти сильное землетрясение. Были установлены приборы для регистрации наклонов земной поверхности, флуктуаций магнитного поля, изменений электрического сопротивления грунтов и изменений содержания хлора и радона в подземных водах. Анализировались и другие предвестники землетрясений – сейсмические (форшоки, рои), а также странные запахи, туман, повышение температуры почвы и свечение. Население просили отмечать изменения уровня воды в колодцах и сообщать о любых странностях в поведении животных. В районе разлома Чинжоу в провинции Ляонин земная поверхность стала подниматься в 20 раз быстрее обычного: за 9 месяцев высота местности увеличилась примерно на 2,5 мм. Были замечены аномальные флуктуации геомагнитного поля, а также изменения высотных отметок вдоль побережья Ляодунского полуострова. В январе 1975 г. люди были предупреждены о возможном землетрясении и получили инструкции о том, как надо вести себя в случае землетрясения.

С учетом всех этих событий общая тревога была объявлена 2 февраля 1975 г. в 14 часов. Были мобилизованы спасательные средства, закрыты магазины и учреждения, больные вынесены из клиник во временные укрытия, большинство жителей выведено из домов. Вечером в 19 часов 30 минут, т. е. через 5,5 часов после объявления общей тревоги, произошло катастрофическое землетрясение, в результате которого сильно пострадал г. Ханченг со стотысячным населением. Были разрушены сотни домов, фабрики, но поскольку все жители находились вне зданий, то число жертв было небольшим – около 1000 человек.

В 1976 г. в Китае вслед за Ханченгским землетрясением были последовательно предсказаны еще три. Перед каждым из них ученые выдавали долгосрочный прогноз, основанный на изучении и анализе предвестников землетрясений. Оперативный прогноз для каждого из этих землетрясений был сделан своевременно и составлял от нескольких часов до нескольких дней. В каждом случае принимались меры безопасности, а однажды была даже проведена массовая эвакуация населения. Казалось бы, что проблема прогноза землетрясений практически решена. Но прогноз катастрофического Таньшанского землетрясения 21.07.1976 г., несмотря на наличие явных предвестников, тем не менее не был сделан. В результате, как отмечено выше, целиком был разрушен многомиллионный промышленный г. Таньшань и погибли сотни тысяч человек.

По мнению известного японского ученого-сейсмолога К. Моги (Моги, 1988), среди специалистов существуют разные мнения о возможности прогноза землетрясений в ближайшем обозримом будущем, и эти мнения меняются со временем. Иногда преобладает крайний пессимизм, иногда – крайний оптимизм. Пессимизм в основном связан с принципиальной невозможностью в рамках физики разрушения предсказать с более или менее близкой к нуждам практики точностью время образования трещины в материале, находящемся под нагрузкой. Большая неопределенность такого предсказания связана как с большим количеством факторов, от которых зависит процесс разрушения, так и с

достаточно низкой точностью, с которой мы можем количественно определять характеризующие эти факторы параметры.

Возникающий же время от времени оптимизм в решении прогноза землетрясений связан, как правило, с высокой точностью определения того или иного предвестника землетрясения, которая со временем по непонятным причинам начинает изменяться. Так было, например, с отношением скоростей продольных и поперечных волн, относительная величина которого, по данным советских ученых в начале 60-х гг. XX в., перед землетрясением уменьшалась на большое для предвестников значение (10–15%). Землетрясение происходило, когда это значение возвращалось к «нормальному» значению, равному 1,73. Повторение этого результата учеными многих «сейсмоопасных» стран, в первую очередь учеными Японии и США, привело к созданию новой модели процессов в очаге землетрясения – дилатантно-диффузионной модели, в рамках которой нашло свое количественное объяснение изменение со временем некоторых предвестников землетрясения. На волне такого оптимизма и произошло предсказанное Ханченгское землетрясение в Китае. Как видим, вследствие благоприятной «атмосферы» появление «новой теории» привело к совершенно безудержному оптимизму по отношению к возможности прогноза землетрясений. Однако когда скорость сейсмических волн, возбужденных взрывами, стали измерять многократно и с большой точностью, то выяснилось, что больших изменений скорости, о которых сообщалось по наблюдениям естественных землетрясений, не происходит.

Весьма пессимистическое отношение к разрешимости проблемы прогноза землетрясений появилось в последнее время в США. Одной из причин стало то, что перед землетрясением в районе Койоте-Лейк в центральной части Калифорнии 6 августа 1979 г. не было отмечено никаких предвестников, хотя в этом многомиллионном районе американскими учеными проводился большой комплекс дорогостоящих исследований по данной проблеме.

Несколько другой точки зрения на проблему прогноза землетрясения придерживается российский ученый, член-корреспондент РАН Г.А. Соболев (Соболев, 1993). Он убежден, что даже на настоящем уровне наших знаний прогноз землетрясения возможен с определенной вероятностью. Более надежен сейчас среднесрочный прогноз с заблаговременностью в несколько лет или месяцев. Значительно большие трудности предстоит преодолеть для того, чтобы сделать краткосрочный прогноз за несколько суток или часов до землетрясения. Тем не менее разрушительное, но без жертв, спрогнозированное Ханченгское землетрясение 04.02.1975 г. является путеводной вехой, позволяющей надеяться на успешное в дальнейшем осуществление предсказания всех сильных землетрясений.

В настоящее время на многих полигонах мира осуществляется прогноз землетрясений в реальном времени. Случаев удачного прогноза можно привести достаточно много. Некоторые из них рассмотрены в наших предыдущих книгах (Викулин, Дроздюк, Семенец и др., 1997; Викулин, Семенец, Широков, 1989), а также в работе (Завьялов, 2006; Соболев, 1993).

География землетрясений и «цена» их прогноза. Из приведенных выше данных сейсмические «рейтинги» стран могут быть расставлены следующим образом. Самой сейсмоопасной страной является Китай, в котором произошло три землетрясения с числом жертв более 100 тыс. человек при общей численности жертв при землетрясениях второго тысячелетия 2,5–3 млн. человек. Следующей страной является Индия, где число жертв превышает 100 тыс. человек в результате трех землетрясений (в 893, 1737 и 1876 гг.) при общем числе жертв во втором тысячелетии около 800 тыс. человек. В Японии такие землетрясения наблюдались дважды: в 1730 и 1923 гг. при общем количестве жертв около 0,5 млн человек. По одному разу такие землетрясения наблюдались в Сирии в 1138 г., в Италии в 1908 г. (землетрясение в Мессине), в бывшем СССР в 1948 г. (землетрясение в Ашхабаде), в Индонезии в 2004 г. (землетрясение на о. Суматра). В Эквадоре и Колумбии при землетрясении и цунами 16.08.1868 г. погибло 70 тыс. человек. В Малой Азии (Силиджия) при землетрясении в 1268 г. погибло 60 тыс. человек. В Португалии в ре-

зультате сильнейшего землетрясения и последовавшего за ним катастрофического цунами 1 ноября 1755 г. погибло 30–70 тыс. человек (Болт, 1981; Гир, Шах, 1988; Клячко, 1999). Сами португальцы количество жертв оценивают в 40 тыс. человек (Португалия, 2006б).

Природная катастрофа в Индийском океане 26 декабря 2004 г. причинила многомиллиардный материальный ущерб и унесла более 300 тыс. человеческих жизней. Она потрясла не только районы своего прямого воздействия на территориях и акваториях Юго-Восточной Азии, но и весь цивилизованный мир, заставив по-новому взглянуть на проблему опасности страшных «прихотей» природы для населения планеты.

Комментарии специалистов, опубликованные и в СМИ, и в научной печати, оставили впечатление отрывочности и недосказанности прежде всего относительно закономерности произошедшего события именно для данного места и, что еще более важно, возможности его прогнозирования. Декабрьская трагедия 2004 г. свидетельствует: разработанные в XX в. методы долгосрочного, среднесрочного и краткосрочного прогноза так и не смогли обеспечить решение задачи безопасности цивилизованного общества начала XXI в. даже в минимально необходимом объеме. Настало время кардинально изменить стратегию подхода к изучению и прогнозу катастрофических явлений, как эндогенных, так и экзогенных, регулярно потрясающих нашу планету.

Как видим, география землетрясений обширна, цена его прогноза внушительна. Действительно, к сказанному выше можно добавить следующее. Землетрясения составляют 13% от общего числа природных катастроф, происшедших в мире во второй половине XX в., занимая третье место среди всех природных катастроф по количеству жертв. По данным Национального центра информации о землетрясениях (США), в течение XX в. людские потери от землетрясений составили 1,4 млн человек. Только в Турции, по данным сейсмологической обсерватории Кандилии Университета Богазичи, в течение XX в. погибли 81 952 человека (в среднем 820 человек в год) и было разрушено и повреждено 558 279 строений (Завьялов, 2006). Проблеме числа жертв при землетрясениях посвящено большое количество литературы (Писаренко, Родкин, 2003; Шебалин, 1997, 2003).

Землетрясения и другие стихийные бедствия и их последствия, как и войны, уже стали вполне «обычной» и неотъемлемой частью жизни человечества, пронизывающей все ее стороны: культуру, науку, политику и все социальные сферы. Решение такой всеобъемлющей и всезатрагивающей проблемы, как прогноз стихийного бедствия, возможно лишь при «комплексном» использовании всех без исключения достижений человеческого общества, в первую очередь науки, включая и такие, на первый взгляд, «экзотические» направления, как ротационные, вихревые и волновые.

Оптимизм 60–70 гг. прошлого века относительно возможности решить проблему прогноза землетрясений, как отмечалось выше, сменился в конце 80-х – начале 90-х гг. глубоким пессимизмом. Почему это произошло?

К концу 60-х гг. прошлого века уже были разработаны теоретические модели землетрясения: теория лавинно-неустойчивого трещинообразования – в нашей стране и теория дилатации – за рубежом. Они описывали основные стороны процесса и давали качественное объяснение большинству известных предвестников землетрясений. Казалось бы, для надежного предсказания землетрясений осталось решить чисто технические задачи: повысить плотность сейсмических станций и оснастить их хорошими приборами. При этом предполагалось получить «количественную» привязку предвестников к конкретным землетрясениям.

Однако эксперименты, проведенные как у нас, так и на рубежных сейсмологических полигонах, показали, что распределение предвестников представляет собой мозаичную картину. Иными словами, увеличение плотности наблюдательной сети (повышение точности наблюдений) привело не к локализации предвестников в пространстве и во времени, а к их «размыванию».

Полученный результат имеет, на наш взгляд, фундаментальное значение. Предвестники существуют – это факт. Но связаны они не с конкретными землетрясениями, как предполагалось, а с их совокупностями, т. е. с некоторым общим физическим процессом планетарного масштаба, завершающимся иногда землетрясениями, иногда извержениями вулканов, иногда тайфунами и наводнениями.

Сейсмические вехи

Земля как планета

(Викулин, Дроздюк, Семенец и др., 1997; Оноприенко, 2002; Проблемы..., 2000; Соболев, 1993; Шебалин, 2003)

100–70 млн лет назад в юго-западной части Тихого океана произошло разрушение возвышенности Дарвина. При этом имели место массовые излияния базальтов гигантских объемов, которые сопровождалась вдоль всей окраины океана многочисленными (непрерывными) извержениями вулканов, сильнейшими землетрясениями и катастрофическими цунами. Это была катастрофа планетарного масштаба. В результате сформировалась окраина, в пределах которой начался современный тектонический процесс.

3600 лет назад произошел взрыв вулкана Санторин в Эгейском море, сопровождавшийся многочисленными сильными землетрясениями и цунами. По мнению многих ученых, эти явления привели к гибели минойской цивилизации – число погибших, по нашим оценкам, составило около 10 млн человек. Некоторые ученые с этим событием связывают гибель Атлантиды.

132 г. Китайский астроном Чжан Хэн создал первый в мире сейсмический прибор, способный определять направление на очаг землетрясения.

854–893, 1319 гг. Серия катастрофических землетрясений сопровождалась многочисленными жертвами и большими разрушениями, что привело к изменению мест расположения столицы Армении (Двин, Ани, Ереван).

IX–X вв. Появились первые сообщения о землетрясениях в Европе.

XI в. Крупнейшее научное достижение макросеймики этого периода: арабские ученые установили, что сейсмические проявления в разных, порой достаточно удаленных друг от друга местах могут относиться к одному и тому же землетрясению.

10 мая 1230 г., 7 часов утра. Сильные сотрясения «по всей Земле в один час» ощущались в Киеве, Переславле, Новгороде, Суздале, Владимире-Суздальском и других местах. Автор Лаврентьевской летописи, в которой было приведено сообщение о землетрясении в этих городах, по сути, повторил открытие арабских ученых.

XIV–XV вв. Серия сильных землетрясений, захвативших многие области в Европе, – Виллах (Австрия), 1348 г.; Базель (Швейцария), 1390 г.; Восточные Пиренеи, 1427 г., – привела к серьезному росту общественного интереса к землетрясениям в Европе.

XV–XVI вв. Появление первых специализированных трактатов о землетрясениях.

23 января 1556 г. Сильнейшее по количеству жертв за всю историю человечества землетрясение в Шэнси (Китай), в результате которого погибло около 830 тыс. человек.

01 ноября 1755 г. Землетрясение и цунами в Лиссабоне, при котором погибло 30–70 тыс. человек, привело к новому росту общественного интереса в Европе к проблемам сейсмологии. Сами португальцы число жертв оценивают в 40 тыс. человек. Начиная с этого времени многочисленные упоминания о землетрясениях обнаруживаются в самых различных архивах стран Южной и Центральной Европы.

Первая половина XIX в. Сложился определенный стереотип «хорошего» каталога землетрясений, который отличает достаточно четкое описание основных событий и явлений при землетрясении, более или менее аккуратная пространственная привязка событий и ссылки на первоисточники сообщений.

Вторая половина XIX в. К этому времени накопился огромный объем макросейсмических данных, что и привело к созданию первых макросейсмических шкал М. Росси (1875) и Ф. Фореля (1881). Созданы первые в современном понимании сейсмографы.

18 апреля 1889 г. С помощью горизонтальных маятников, следящих за периодическими колебаниями отвесной линии под влиянием лунно-солнечного притяжения, геодезист Ребер-Паншиц зарегистрировал в Потсдамской обсерватории сейсмические волны, пришедшие от землетрясения в Японии, на удалении около 9000 км. Тем самым была доказана возможность регистрации землетрясений на больших расстояниях и стало очевидно, что для записи землетрясений и изучения процессов, протекающих в их очагах, необходимо создавать сети сейсмических станций.

1896–1898 гг. Создана первая сеть сейсмических станций в Японии, оснащенных сейсмографами Милна.

1902 г. Б.Б. Голицыным разработан гальванометрический метод регистрации землетрясений с электродинамическим преобразованием перемещений маятника в электрические токи, определивший направление развития сейсмометрии в мире.

25 января 1906 г. Сильнейшее землетрясение, разрушившее Сан-Франциско (США). Анализ последствий этого землетрясения позволил Ф. Рейду в 1910–1911 гг. сформулировать положения, которые впоследствии были положены в основу теории очага землетрясения.

18 февраля 1911 г. Сильнейшее землетрясение на Памире. Анализ сейсмограммы этого землетрясения, полученной на сейсмической станции Пулково (вблизи г. Санкт-Петербурга), позволил Б.Б. Голицыну в 1915 г. предложить способ определения величины сейсмической энергии, выделяющейся в очагах землетрясений.

1911 г. Состоялся съезд Международной сейсмологической ассоциации в г. Манчестер (Англия), на котором Б.Б. Голицын выступил с *серией* докладов: «Новая организация сейсмической службы в России», «Об определении положения эпицентра землетрясения по наблюдениям одной сейсмической станции», «О вертикальном сейсмографе с гальванометрической регистрацией», «О результатах наблюдений с вертикальным сейсмографом и об определении угла выхода сейсмической радиации», «О рациональной динамической шкале для оценки макросейсмических движений», которые, по сути, обозначили основные направления развития всей мировой сейсмологии в XX в.

1912 г. «Лекции по сейсмометрии» Б.Б. Голицына, прочитанные и написанные по случаю подготовки научных сейсмологических кадров, переведенные и опубликованные во многих странах, оказали решающее влияние на становление и развитие мировой сейсмологии в XX в.

Первая половина XX в. Завершение создания мировой сети сейсмических станций позволило в 1945 г. Б. Гутенбергу ввести в рутинную практику сейсмометрических исследований определение магнитуды землетрясения.

60–70-е гг. Во многих странах создаются геофизические полигоны с целью изучения физики очага землетрясения и его прогноза.

04 февраля 1975 г. Произошло сильное землетрясение, разрушившее г. Ханченг (Китай). Этому землетрясению предшествовал достаточно длительный процесс изучения и анализа предвестников землетрясений. Впервые в мировой практике оно было предсказано, что позволило избежать больших человеческих жертв.

27 июля 1976 г. Произошло сильное землетрясение, разрушившее многомиллионный промышленный г. Таньшань. Число жертв составило около 650 тыс. человек. Это землетрясение, происшедшее в соседней (по отношению к Ханченгскому землетрясению 1975 г.) провинции Китая, которому также предшествовал длительный этап изучения предвестников землетрясений, тем не менее не было предсказано.

24 декабря 2004 г. Землетрясение Суматра в Индонезии и возникновение цунами привели к гибели более 300 тыс. человек в Индонезии, Индии, Таиланде и Австралии.

Резюме. Несомненно, тот гигантский прогресс, который имел место в науке и технике в течение последних веков, в том числе в сейсмологии и сейсмостойком строительстве, тем не менее оказался недостаточным для построения надежных схем прогноза сейсмических бедствий и разработки методов защиты от них. Требуются новые, более действенные усилия мирового научно-технического сообщества, которые, вне всякого сомнения, должны быть объединены единой планетарной программой исследований стихийных бедствий.

Япония

(Викулин, Викулина, 1989; Викулин, Дроздюк, Семенец и др., 1997; Проблемы..., 2000; Рикитакэ, 1979; Шебалин, 2003)

27 ноября 684 г. Произошло первое сильное землетрясение, сведения о котором содержатся в известном каталоге японских землетрясений, составленном Ф. Омори: «Сильное землетрясение в префектурах (с запада на восток) Эхиме, Коти, Токусима, Вакаяма, Нара, Миэ, Айти и Сидзуска. Особенно сильными землетрясения были в префектуре Коти. Возникло цунами, которое было наиболее интенсивным на побережье префектуры Коти. Около 12 км² земли ушло под воду вместе с двумя деревнями. Где это произошло, неизвестно, но, возможно, на побережье залива Тоса, в районе бухты Урадо».

Из приведенного описания видно, что область, затронутая землетрясением, простирается не менее чем на 600–700 км.

22 февраля 1880 г. Достаточно слабое ($M = 5,4$, повреждены дымовые трубы) землетрясение в Йокогаме послужило, тем не менее, толчком к созданию *сейсмологического общества в Японии*.

28 октября 1891 г. Сильное ($M = 8,4$) Нобийское землетрясение, унесшее жизни 7273 человек и разрушившее 142 177 зданий, стимулировало образование *Императорского комитета по изучению землетрясений*.

01 сентября 1923 г. Катастрофическое ($M = 8,2$) землетрясение в Канто. Горизонтальные перемещения при землетрясении в районе Токио достигали 2 м и более, интенсивность колебаний грунта доходила до 8–9 баллов по японской шкале JMA. Разрушена и сожжена столица Японии – г. Токио, погибло 142 807 человек, ранено 104 000 человек, сгорело около 600 000 зданий. Через два года после этого землетрясения правительство Японии учредило *Сейсмологический институт при университете г. Токио*.

20–60-е гг. Произошла серия сильнейших землетрясений в Японии, сопровождавшихся многочисленными жертвами и большим материальным ущербом.

7 марта 1927 г. В результате землетрясения в Танго погибло 3017 человек, разрушено и сожжено 15 594 дома.

1944–1945 гг. Землетрясения Тонанкай и Микава унесли жизнь 2959 человек, разрушили 46 950 домов, цунами смыло 3059 строений.

21 декабря 1946 Землетрясение Нанкай, в результате которого погибло 1443 человека, разрушено и смыто цунами 4049 домов и строений.

04 марта 1952 г. Землетрясение вблизи о. Хоккайдо, в результате которого погибло 33 человека, смыто цунами 92 человека, разрушено 615 домов.

16 июня 1964 г. Землетрясение разрушило г. Ниигата.

Эти катастрофы привели к тому, что в начале 60-х гг. была разработана общенациональная программа исследований по прогнозу землетрясений. В 1963 г. создается подкомитет по предсказанию землетрясений. Наконец, в 1964 г. правительство принимает решение о финансировании долгосрочной программы работ по поиску предвестников землетрясений.

16 мая 1978 г. Сильное ($M = 7,8$) землетрясение Токати-оки, в результате которого значительно пострадала северная часть Японии. На правительственном уровне было предложено сконцентрировать больше усилий на проблеме прогноза землетрясений. Общество требует не исследований по предсказанию землетрясений, а реальных прогнозов, где это возможно. *Для обработки данных по предвестникам создано три общенациональных центра.*

17 июня 1973 г. Сильное ($M = 7,9$) землетрясение с очагом на Южных Курилах (т. е. фактически в России), в результате которого на севере о. Хоккайдо были небольшие жертвы и незначительные разрушения. Тем не менее в Японии *создается новая программа*, включающая оснащение аппаратурой нового типа. *Расходуются значительные средства на обучение населения действиям при сильных землетрясениях.*

17 января 1995 г. Сильное ($M = 7,2$) землетрясение в Кобэ. Погибло более 5300 человек, ранено 27 тыс. человек, лишились крова 300 тыс. человек, разрушено 11 тыс. домов.

Японское правительство отказалось от международной помощи. Это было сделано не только из гордости, но и от сознания того, что созданная на государственном уровне мощная система по ликвидации последствий от стихийных бедствий сработает четко и быстро. Действительно, в очень короткое время были восстановлены все поврежденные транспортные магистрали и морской порт, крупнейший не только в Японии, но и в мире. Факты свидетельствуют – Кобэ выстоял.

Сейсмические «достопримечательности» и прогноз (Япония) (Викулин, 1992а, 2003; Викулин, Викулина, 1989)

В пределах желоба Нанкай в 684–1946 гг. произошло 15 землетрясений с $M \geq 7,9$, расположение очагов которых обнаруживает ряд характерных особенностей (рис. 28), а именно:

1. Сейсмофокальный объем можно разбить на три зоны, границы которых фиксированы во времени. Размеры зон примерно равны по протяженности и составляют 270 ± 30 км.

2. Очаги землетрясений объединяются в цепочки, в пределах которых они мигрируют из одной зоны в другую в направлении с северо-востока на юго-запад. При этом в пределах одной миграционной цепочки очаги землетрясений захватывают две или три зоны.

3. Интервалы времени между землетрясениями в миграционной цепочке изменяются в пределах от нуля (в случае землетрясений 1605 и 1707 гг., представленных двумя практически одновременными толчками с очагами, расположенными в соседних зонах) до одного дня (23 и 24.12.1854 г.), 3–4 лет (1096 и 1099 гг.) и 23 лет (1923, 1944 и 1946 гг.).

4. Повторяемости землетрясений в пределах каждой из зон близки и в среднем равны одному такому событию в течение $T_1 = 128 \pm 44$ г.

5. В пределах каждой из зон очаги землетрясений мигрируют в сторону береговой линии. Значения скоростей миграции для каждой зоны близки друг другу, составляя в среднем $V_1 = 0,17 \pm 0,04$ км/год.

Выявленные особенности пространственно-временного распределения очагов землетрясений с $M \geq 7,9$ позволили построить прогноз для желоба Нанкай. Этим прогнозом определяется не только вероятный временной интервал следующих таких землетрясений (2070 ± 40 лет), но и их макросейсмический эффект, который по шкале MSK-64 должен быть на $1,0 \pm 0,5$ балла больше, чем при последних сильнейших землетрясениях 1923, 1944 и 1946 гг.

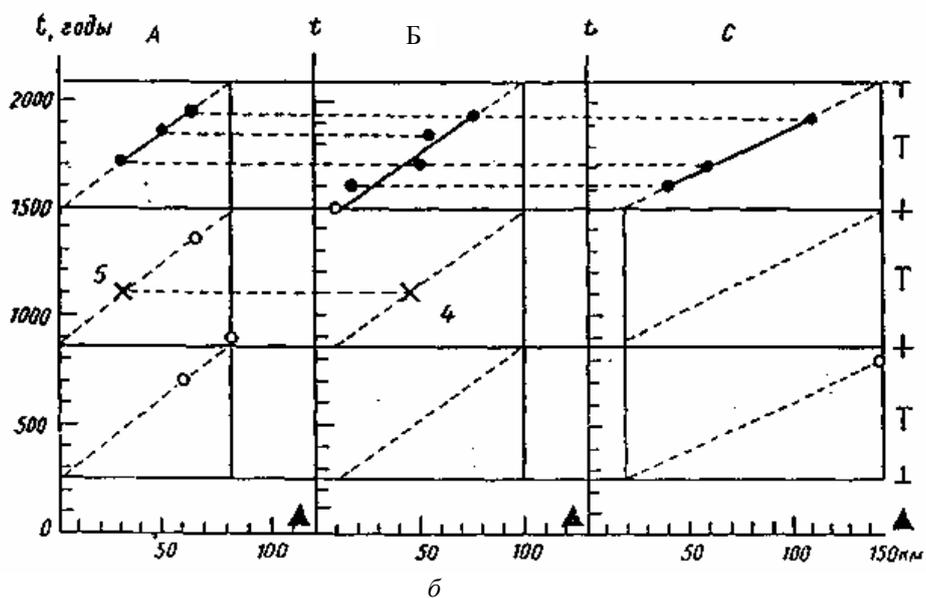
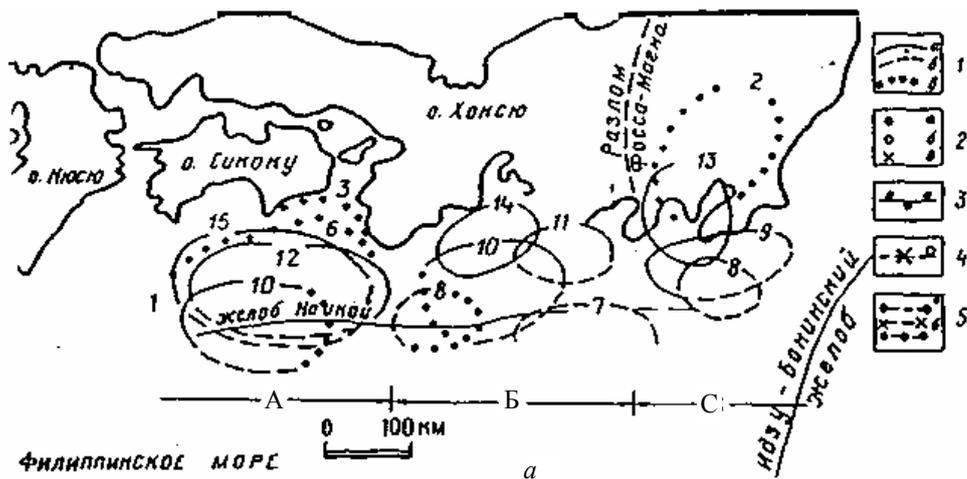


Рис. 28. Расположение очаговых областей землетрясений 684–1946 гг. с $M \geq 7,9$ в районе желоба Нанкай (а) и их пространственно-временная карта (б) (Викулин, 2003): 1 – участки границ очаговых областей землетрясений; 2 – значения, определяющие величину расстояния от оси желоба до ближайших к берегу участков очаговых областей землетрясений; 3 – миграционные цепочки, рассчитанные для каждой из трех зон (А, Б, С) методом наименьших квадратов и объединяющие очаговые области землетрясений 1605–1946 гг.; 4 – такие же цепочки, продолженные в интервале времени 648–1498 гг.; 5 – пары и тройки землетрясений (цифры 1–15 обозначают следующие землетрясения: 1 – 27.11.684 г., $M = 8,0-8,4$; 2 – 818 г., $M = 7,9$; 3 – 26.08.887 г., $M = 8,6$; 4 – 21.02.1099 г., $M = 8,0$; 5 – 17.12.1096 г., $M = 8,4$; 6 – 03.08.1361 г., $M = 8,4$; 7 – 20.09.1498 г., $M = 8,6$; 8 – 31.01.1605 г., $M = 7,9$; 9 – 31.12.1703 г., $M = 8,2$; 10 – 28.10.1707 г., $M = 8,4$; 11 – 23.12.1854 г., $M = 8,4$; 12 – 24.12.1854 г., $M = 8,4$; 13 – 01.09.1923 г., $M = 8,2$; 14 – 07.12.1944 г., $M = 8,0$; 15 – 21.12.1946 г., $M = 8,0$)

В частности, для столицы Японии г. Токио ближайшее землетрясений с $M \geq 7,9$ по этому прогнозу ожидается в 2051 ± 44 г. При этом город, как и при предыдущем землетрясении Канто в 1923 г., будет фактически располагаться в очаговой области прогнозируемого землетрясения, что определит колебания при землетрясении интенсивностью 9–10 баллов по шкале MSK-64 или до 8–9 баллов по принятой в Японии шкале JMA. По-видимому, наиболее близким аналогом по расположению прогнозируемого для района г. Токио сильнейшего землетрясения может являться землетрясение 818 г. ($M = 7,9$), описание которого, согласно каталогу Ф. Олюри, гласит: «Сильное землетрясение в префектурах Токио, Сайтама, Ибараки, Гимма, Тотиги. Цунами в заливе Сагами».

Россия

(Викулин, Семенец, Широков, 1989; Ломоносов, 1986; Медведев, 1968; Новый..., 1977; Оноприенко, 2002; Проблемы..., 2000; Шебалин, 2003; Уломов, Шумилина, 1998)

2000 г. до н. э. В это время на территории бывшего СССР произошли первые землетрясения, отмеченные в Новом каталоге землетрясений: землетрясение в Западной Туркмении с $M = 7,1$, сильно разрушившее г. Ак-Тепе, и землетрясение в Прибайкалье с $M = 7,2$, выявленное и датированное по сейсмодислокации во второй половине XX в.

1757 г. В августе этого года выходит в свет работа М.В. Ломоносова, в которой автор высказал свои взгляды на геологические процессы и попытался дать объяснение причинам землетрясений, предложив одну из первых в мире их классификацию по четырём типам.

08 июня 1887 г. Произошло сильное ($M = 7,3$) землетрясение, полностью разрушившее г. Верный (Средняя Азия). Основной толчок в течение 5 минут сопровождался 5-балльным форшоком, что вынудило многих спящих уже жителей покинуть дома и тем самым спастись. Это землетрясение было тщательно обследовано геологом И.В. Мушкетовым (1850–1902), по предложению и председательством которого в этом же году в Императорском русском географическом обществе создается *Сейсмическая комиссия*. В 1890 г. она разрабатывает *программу наблюдений за землетрясениями*.

1892–1893 гг. Сначала в Морской астрономической обсерватории г. Николаева (1982), а затем в Харьковской и Юрьевской астрономических обсерваториях (1893) при университетах *начинают работу первые три сейсмические станции в России*.

1893 г. Под редакцией И.В. Мушкетова был издан «Каталог землетрясений Российской империи» (авторы И.В. Мушкетов, А.П. Орлов), который содержал перечень и описание землетрясений в России и сопредельных государствах с древнейших времен. Каталог содержит сведения о 2574 землетрясениях и широко используется сейсмологами вплоть до наших дней.

04 февраля 1898 г. В Петербургской академии наук состоялось первое заседание Комиссии по организации наблюдений над сейсмическими явлениями, на котором присутствовали представители Академии наук Русского географического общества, Главной физической обсерватории и Военно-топографического отдела.

Комиссия признала необходимым:

1) учредить при Академии наук для руководства сейсмическими наблюдениями в России постоянную сейсмическую комиссию при участии российских университетов, Русского географического общества, Военно-топографического отдела Главного штаба и Главного гидрографического управления;

2) для выбора аппаратуры для сейсмических станций произвести сравнительные испытания существующей аппаратуры;

3) организовать сейсмические наблюдения в Иркутске и Тифлисе.

На следующем заседании комиссии было предложено организовать сейсмические наблюдения во Владивостоке, Хабаровске, Томске, Омске, Екатеринбурге, Верном, а при Тифлисской, Ташкентской и Иркутской обсерваториях – *сеть пунктов*, оборудованных простейшими сейсмоскопами.

25 января 1900 г. В России создается Постоянная центральная сейсмическая комиссия (ПЦСК), в работе которой самое активное участие принимает *физик* Б.Б. Голицын (1862–1916). Центральное бюро ПЦСК, возглавляемое Б.Б. Голицыным, начинает реализовывать проект организации сейсмической службы, инициатором и вдохновителем которой он сам и являлся.

1910 г. Б.Б. Голицын добивается ассигнования на оборудование сейсмических станций и утверждения *постоянного бюджета* ПЦСК. Кроме того, отпускаются значительные средства на изготовление сейсмографов системы Голицына для станций первого и второго классов и на строительство специальных павильонов на сейсмических

станциях. Для станций первого класса изготавливается семь комплектов горизонтальных и вертикальных сейсмографов с магнитным затуханием и гальванометрической регистрацией системы Голицына. Для сейсмических станций второго класса Б.Б. Голицыным разрабатываются тяжелые маятники с механической регистрацией. Станции снабжаются превосходными регистрирующими аппаратами и вспомогательным оборудованием для определения постоянных. Приобретаются контактные маятниковые часы высокого качества. Производится строительство специальных зданий и павильонов для установки аппаратуры на Центральной сейсмической станции в Пулково, а также на станциях в Баку, Иркутске, Ташкенте, Тифлисе, Екатеринбурге, Кабанске, Самарканде, Боржоми, Оше, Пятигорске и других местах.

1911 г. Для подготовки научного персонала станций Б.Б. Голицын в 1911 г. впервые прочел свои знаменитые «Лекции по сейсмометрии».

20-е гг. Восстановление сейсмической службы в СССР после революционных «преобразований» возглавил ученик Б.Б. Голицына профессор П.М. Никифоров (1884–1944), руководитель сейсмического отдела Физико-математического института АН СССР.

22 октября 1926 г. Произошло землетрясение в Ленинакане. В 44 селах пострадало 6018 хозяйств, было полностью разрушено 4246 домов, полуразрушено – 985, частично разрушено – 739. В селах погибло 355, ранено 387 человек, а в Ленинакане погибло 15 и ранено 100 человек. Были полностью разрушены 12 деревень и 15 пострадали частично. В Ленинакане остались без крова 57 000, а в селах – 93 750 жителей. Результаты проведенного обследования показали, что в Ленинакане разрушены полностью 40% домов, частично – 35%, легко – 25%.

1927 г. Создается Геофизический институт Академии наук СССР (ныне Институт физики Земли Российской АН – ИФЗ РАН). Первым директором института стал О.Ю. Шмидт. До настоящего времени все работы по регистрации землетрясений в России проводятся под научным руководством Института физики земли РАН.

1938 г. Г.С. Горшковым разработана первая карта общего сейсмического районирования территории СССР. В последующем такие карты совершенствовались в 1963, 1978 и 1997 гг.

05 октября 1948 г. Произошло землетрясение, полностью разрушившее г. Ашхабад и рядом расположенные населенные пункты. В результате землетрясения погибло около 100 тыс. человек. На изучение последствий этого землетрясения уехали практически все сейсмологи Геофизического института.

Это землетрясение послужило началом *качественного* (скачкообразного) изменения отношения государства к работам по изучению землетрясений. В России и республиках бывшего СССР начался заметный подъем сейсмологических исследований. Начало процесса, как это было и раньше во многих странах, связано именно с тяжелейшими, катастрофическими последствиями Ашхабадского землетрясения.

1949 г. После Ашхабадского землетрясения были отпущены значительные средства на развитие сети сейсмических станций бывшего СССР и на научные исследования по сейсмологии как в Москве, так и во многих периферийных научных центрах. В результате в Средней Азии (в городах Гарм и Талгар), а впоследствии и в других сейсмоактивных регионах России создаются комплексные сейсмологические экспедиции для изучения землетрясений.

Удивительным образом этот период совпал с рядом крупных научных событий, из которых можно выделить три: создание Ч. Рихтером и Б. Гутенбергом в США и внедрение в отечественную сейсмологическую практику шкалы магнитуд; разработка С.В. Медведевым шкалы макросейсмической интенсивности первого поколения; открытие связи между магнитудой и макросейсмическими характеристиками очага землетрясения, выполненное почти одновременно рядом ученых.

04 ноября 1952 г. Произошло катастрофическое ($M = 8,5$) Камчатское землетрясение. Цунами смыт г. Северо-Курильск. Погибло около 3000 человек. Все данные по этому землетрясению были рассекречены только в канун 50-летней годовщины этой трагедии – в самом начале XXI в.

Землетрясение обратило внимание правительства СССР и на проблемы сейсмо- и цунами-опасности Дальнего Востока. В результате в конце 50-х – начале 60-х гг. на Дальнем Востоке были созданы региональные сети сейсмических станций, а впоследствии в крупных городах Дальнего Востока – Южно-Сахалинске, Владивостоке, Хабаровске, Петропавловске-Камчатском, Магадане и других были созданы научно-исследовательские институты, которые в настоящее время объединены в рамках Дальневосточного отделения РАН. Это привело к созданию на Дальнем Востоке России мощного научного центра, способного самостоятельно решать крупные научно-исследовательские проблемы.

1957 г. Создается Сибирское отделение АН СССР. Начинается ускоренное развитие науки на Дальнем Востоке СССР.

08 декабря 1988 г. Сильное ($M = 7,2$) землетрясение в Армении, разрушившее г. Спитак. Пострадали города Ленинакан, Кировакан, Степанован. Погибло около 25 тыс. жителей. Это землетрясение, очаг которого был удален «всего» на 100–200 км от очагов разрушительных землетрясений 854–1319 гг., завершает пока цепочку катастроф в Армении и в полной мере отражает недоучет их влияния.

Восстановительные работы, в организации которых приняли активное участие все союзные республики, начались быстро. Но разваливающийся СССР уже не смог, а может быть, и не хотел обеспечить тот достаточно высокий уровень восстановительных работ, который имел место при предыдущих сейсмических катастрофах в 1948 г. в Ашхабаде, в 1952 г. – на Курильских островах и Камчатке, в 1966 г. – в Ташкенте.

После Спитакского землетрясения Правительством СССР принято решение о создании Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (ФССН). Создание этой структуры во многом способствовало сохранению сейсмологических наблюдений на территории России в период развала СССР и в течение «трудных» 90-х гг. прошлого века.

1991–2004 гг. *08 марта 1991 г.* произошло Хаилинское ($M = 7,0$) 8-балльное землетрясение, вообще говоря, не очень сильное, без жертв и особых разрушений, но происшедшее в *асейсмичном* районе, в котором согласно действующей на тот момент карты Общего сейсмического районирования (ОСР) 1978 г. «допускались» сотрясения не более 5 баллов. Три балла – это *очень большая ошибка карты ОСР-78*.

По инициативе администрации Корякского автономного округа (КАО), на территории которого произошло это землетрясение, в течение ряда лет проводились комплексные исследования. Главным итогом проведенных работ явилась разработка принципиально новой методики сейсмического районирования.

1997 г. В результате комплексных исследований, выполненных под общим руководством ИФЗ РАН в 1991–1997 гг. по проблеме «Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии» в рамках государственной научно-технической программы «Глобальные изменения природной среды и климата», построен с использованием принципиально новых подходов комплект новых карт ОСР, разграничивающих зоны разной балльности для фиксированных интервалов времени $t = 50, 100, 1000$ лет с 90%-ной вероятностью непревышения (или 10%-ной вероятностью превышения) расчетной интенсивности. В основе карт ОСР-97 была заложена методика, предложенная и отработанная на Хаилинском землетрясении 1991 г.

2004 г. Авторский коллектив карт ОСР-1997 был удостоен Государственной премии России.

1994 г. Вместо Единой сети сейсмических наблюдений СССР была образована Геофизическая служба РАН, в которую по Постановлению Президиума РАН от

31 мая 1994 г. № 107 были включены сейсмические станции европейской части России, Сибири и Дальнего Востока.

4 декабря 1994 г. Произошло Шикотанское ($M = 8,0$) землетрясение. Имелись человеческие жертвы и разрушения зданий в населенных пунктах на Южных Курильских островах.

В рамках Министерства по чрезвычайным ситуациям для ликвидации последствий стихийных бедствий создана служба быстрого реагирования.

28 мая 1995 г. Землетрясение ($M = 7,0$), сопровождавшееся сотрясениями до 9–10 баллов, практически полностью разрушило г. Нефтегорск на о. Сахалин. Из 3197 человек, проживавших в этом городе на момент землетрясения, 2068 человек (около 70%) погибли.

Уже через сутки после землетрясения в спасательных работах было задействовано 13 самолетов, 11 вертолетов и 66 единиц наземной техники. Всего в спасательных работах было задействовано 25 самолетов и 24 вертолета. На четвертые сутки количество техники составляло 267 единиц. Сразу после землетрясения к спасательным работам приступили 500 человек, число спасателей быстро увеличивалось. Кроме оперативной группы МЧС, личного состава Министерства обороны и специалистов гражданской обороны России к работе было привлечено 27 поисково-спасательных отрядов, оперативно прибывших из более чем 10 областей России, включая и такой отдаленный от Сахалина регион, как Урал. Всего в работах по ликвидации последствий землетрясения приняли участие более 1500 человек. Благодаря усилиям спасателей были извлечены из завалов в общей сложности 2364 человека, из которых 406 остались живы.

Служба быстрого реагирования была создана в сжатые сроки и оперативно, что позволило спасти жизни нескольких сотен людей. В последующие годы эта служба хорошо проявила себя при различных стихийных бедствиях, происходивших как на территории нашей страны, так и за рубежом.

Конец 90-х гг. Японская и сахалинская трагедии (катастрофические землетрясения 1995 г. в Кобэ и Нефтегорске) привели к объединению усилий японских и дальневосточных российских ученых в исследованиях природы землетрясений, проводимых в рамках совместной российско-японской программы «Исследования сейсмотектоники региона Охотоморской плиты».

21 апреля 2006 г. Олюторское ($M = 8,0$) землетрясение на территории КАО сопровождалось 9-балльными сотрясениями и значительными разрушениями. Это первое разрушительное землетрясение в «новой» России. На ликвидацию последствий государством были выделены большие средства. В результате два поселка – Тиличики и Корф – по соображениям высокой сейсмо- и цунами-опасности были «закрыты». Начато строительство нового поселка. Зону бедствия в 2006 г. посетил первый заместитель Председателя Правительства России Д.А. Медведев.

Олюторское землетрясение подтвердило справедливость новой карты ОСР-97 для территории КАО.

Камчатка

(Викулин, Дроздюк, Семенец и др., 1997; Викулин, Семенец, Широков, 1989; Гущенко, 1979; Новейший ..., 2005; Предварительный ..., 1968; Проблемы ..., 2000)

1696 г. В результате похода, предпринятого В. Атласовым из Анадырского острога, Камчатка была присоединена к России.

1697–1698 гг. Произошло первое отмеченное людьми извержение вулкана Ключевского на Камчатке: «Из горы, подобной сенному стогу, днем идет дым, а ночью искры и зарево».

1727–1731 гг. Наблюдаются землетрясения и извержения Ключевской сопки: «Вулкан сей горел постоянно, при чем земля беспрерывно колебалась».

1737–1742 гг. Природная катастрофа на Камчатке сопровождалась сильными извержениями многих вулканов и серией сильнейших ($M \approx 8$ и более) землетрясений.

1737 г. Лето – сентябрь. Началась катастрофа летом двумя сильными извержениями Авачинского и Ключевского вулканов, которые сопровождались ощутимыми землетрясениями, и следующим образом были описаны С.П. Крашенинниковым: «Самое страшное ея (Авачи) возгорание в 1737 г. ... в летнее время, ..., а окончилось извержением великой тучи пеплу, которым околежащие места на вершок (4,5 см – **А.В.**) покрыты были», «Сей ужасный пожар (Ключевской сопки. – **Авт.**) начался сентября 25 числа и продолжался с неделю с такой свирепостью, что жители, которые близко горы на рыбном промысле были, ежечасно к смерти готовились, ожидая кончины. Вся гора оказалась раскаленным камнем. Пламя, которое внутри ея сквозь расщелины было видно, устремлялось иногда вниз, как огненные реки, с ужасным шумом. В горе слышан был гром, треск и будто сильными мехами раздувание, от которого все ближние места дрожали... Конец пожара был обыкновенный, то есть извержение множества пеплу, из которого, однако ж, немного на землю пало, для того, что всю тучу унесло в море» (Крашенинников, 1775).

13 октября. Произошло, по-видимому, самое сильное ($M \approx 9,0$) из всех камчатских землетрясений, сведения о которых сохранились людьми: «Октября 6 числа пополудни в третьем часу началось и с четверть часа продолжалось волнами так сильно, что многие камчатские юрты обвалились и балаганы попадали... Перед каждым трясением слышен был под землею страшный шум и стенание..., в некоторых местах луга холмами и поля морскими заливами сделались... А продолжалось оно до самой весны 1738 году» (Крашенинников, 1775).

О сильнейших деформациях береговой зоны тихоокеанского побережья Камчатки в районе г. Петропавловска-Камчатского, обусловленных этим землетрясением, свидетельствуют и другие результаты. Так, по данным И.В. Мелекесцева, прибрежная полоса Авачинского залива Тихого океана к северо-востоку от города (35-километровый Халактырский пляж) была поднята на 4 м, дельта и низовье долины р. Авача – на 2–3 м.

Это землетрясение сопровождалось самым мощным за все историческое время на Камчатке цунами с высотой заплеска более 60 м: «Учинился на море ужасный шум и волнение, и вдруг взлилось на берега воды в вышину сажени на три (одна сажень равна 2, 14 м. – **Авт.**)... Потом вторично земля всколебалась, воды прибыло против прежнего, но при отливии столь далеко она взбежала, что море видеть невозможно было. В то время усмотрены в проливе на морском дне между первым и вторым Курильским островом каменные горы, которые до того никогда не виданы. ... С четверть часа после того спустя последовали валы ужасного и несравненного трясения, а при том взлилось воды на берег в вышину сажен на 30. ... От сего наводнения тамошние жители совсем разорились, а многие бедственно скончали живот свой» (Крашенинников, 1775).

4 ноября случилось землетрясение в Камчатском заливе: «Октября 23 дня часах в 7 пополудни началось в Нижнем остроге (располагавшемся в 40 км от устья р. Камчатка. – **Авт.**) трясение земли, которое было волнистое, и три вала прошли невдолге один после другого так сильно, что едва хоромы не попадали, а печи в избах и балаганах падали и колокола звонили. Оное трясение с перемежкой продолжалось до весны 1738 года, только легко» (Крашенинников, 1775).

17 декабря. В море, южнее мыса Лопатка, произошло сильное ($M = 7,5$) землетрясение, сопровождавшееся, возможно, цунами.

8–24 (и позже) декабря 1740 г. Произошло предварявшееся и сопровождавшееся сильными ощутимыми землетрясениями многоцентровое извержение в виде серии шлаковых конусов на склоне вулкана Плоский Толбачик типа трещинного извержения 1975–1976 гг., но более скромное по масштабам.

1737–1742 гг. По данным тефрохронологических и геолого-вулканических исследований, проведенных И.В. Мелекесцевым и его сотрудниками, предполагается, что в это время произошли сильные извержения вулканов Мутновский и Горелый.

1741 г., февраль. Произошло сильное землетрясение на о. Медном.

18 февраля 1742 г. Сильное землетрясение на островах Беринга и Медном сопровождалось двумя ощутимыми афтершоками: «Сотрясения земли были настолько сильными, что подпорки нашего подземелья подломились» (Стеллер, 1999).

1742 г. Г.В. Стеллером отмечены извержения вулканов Камбальный, Кошелевский (на юге Камчатки) и Кроноцкий.

18 ноября 1742 г. Сильное ($M = 7,5$) землетрясение с очагом против о. Парамушир сопровождалось цунами.

Как видим, в течение 1737–1742 гг. сильные извержения и сильнейшие землетрясения происходили вдоль всей Восточной сейсмовулканической зоны Северных Курильских островов и Камчатки общей протяженностью около 900 км. Сильно извергались или находились в стадии повышенной активности как минимум 15 вулканов вдоль всей зоны. Суммарный объем продуктов извержений только пяти изученных вулканов (Авачинский, Ключевской, Плоский Толбачик с Толбачинской зоной шлаковых конусов, Мутновский и Горелый) составил более 1 км^3 лавы. В это же время С.П. Крашенинниковым была отмечена и исключительно высокая деятельность гидротерм на Южной и Восточной Камчатке. Сейсмически активными были по очереди то южное (13.10.1737 г., 17.12.1737 г., 18.11.1742 г.), то северное (4.11.1737 г., 1740–1741–18.02.1742 г.) окончания зоны. Такое «согласованное» во времени и пространстве поведение сейсмической и вулканической активности показывает, что в 1737–1742 гг. интенсивные тектонические движения захватили одновременно всю 900-километровую зону – от Северных Курил до Камчатского залива и Командорских островов.

1914–1915 гг. Сейсмическая станция в Петропавловске-Камчатском была организована очень оперативно.

18 февраля 1914 г. От председателя Постоянной центральной сейсмологической комиссии Б.Б. Голицына в адрес губернатора Камчатской области отправляется письмо: «Стремясь к всестороннему изучению сейсмических явлений, сейсмическая комиссия при Академии наук остановила свое внимание на Камчатке – единственной области в России, на которой и поныне не утасла еще вулканическая деятельность, сопряженная с землетрясениями своеобразного характера ... Сейсмическую станцию 2-го разряда предполагается учредить на Камчатке скорее в Петропавловске как центре культурной жизни. Сейсмическая станция, снабженная необходимым ассортиментом самопишущих приборов, должна иметь небольшое уединенное помещение ... вдали от усиленного движения и езды ... участок земли мерою до 100 квадратных сажень... Для наблюдения за приборами наблюдатель должен ежедневно в заранее выбранный час посещать помещение станции ... а также периодически отсылать в Петербург сейсмограммы с записями землетрясений».

1914 г., июнь. В соответствии с рекомендациями Б.Б. Голицына представительная комиссия для организации сейсмостанции выбирает участок земли на окраине Петропавловска, в 100 м к северо-востоку от радиостанции (ныне железобетонное строение, расположенное по ул. Радиосвязи между домами № 9 и 14).

1915 г., май. Из Петербурга прибыли приборы для устройства сейсмостанции. Согласно описи, составленной первым наблюдателем станции А.А. Пуриным, узнаем: «2 сейсмографа со штативами – 440 руб., 2 регистрационных аппарата с двумя запасными барабанами – 440 руб., контактные часы фирмы «Штрассер-Родэ» – 260 руб., 1500 листов бумаги (на два года) – 27 руб., 3 элемента лекланше с запасом нашатыря и цинков – 7 руб., 3 фунта звонковой проволоки – 2 руб. 70 коп. ... 16 ящиков (68 пудов)».

18 июля 1915 г. Начало работы сейсмостанции – в Петербург отправлена первая сводка о записи землетрясения: «18 июля 01 ч 33 мин в продолжение часа сейсмографы описывали колебание почвы, максимальное отклонение на канале север – юг 24 мм».

Именно идея создания сети сейсмических станций «прорубило окно» из столицы России на ее окраины.

30 января 1917 г. Произошло землетрясение с интенсивностью до 8 баллов на о. Беринга. Впервые на Камчатке получена инструментальная запись сильного землетрясения и собраны макросейсмические данные.

Летом этого года А.А. Пуриным (1887–1952) в Петропавловске издается брошюра о землетрясениях Камчатки, в которой описаны собранные им последствия сильного январского землетрясения и высказаны соображения о том, что «если не предсказывать, то, по крайней мере, наметить пределы времени, между которыми следует ожидать наступление крупной катастрофы, можно и теперь».

1918 г. А.А. Пурин просит Совет народных депутатов Петропавловска выделить спирт, который требовался для растворения канифоли и закрепления сейсмограмм, и получает отказ, вследствие чего передает сейсмостанцию Асаевичу.

1919–1929 гг. Работу сейсмостанции пытается поддерживать П.Т. Новограбленов (14.08.1892–1937 г.) – первый камчадал с высшим образованием (в 1918 г. окончил Томский учительский институт), первый краевед Камчатки. Им подробно описаны последствия сильных камчатских землетрясений и цунами в 1923 г. Но наладить постоянную работу станции ему не удается.

П.Т. Новограбленовым составлены первые достаточно подробные каталоги вулканов и горячих источников Камчатки.

Судьба первых наблюдателей сейсмической станции в Петропавловске-Камчатском трагична. А.А. Пурин, как первый демократически избранный руководитель Камчатки (председатель Областного комитета в 1917–1919 гг.), с возвращением в Петропавловск «красных» в 1922 г. был интернирован в Японию. Впоследствии он проживал в Чехии и Шанхае, был арестован в Китае и 17.06.1952 г. передан в УМГБ по Хабаровскому краю. Умер 10.08.1952 г. в тюремной больнице г. Хабаровска. Посмертно реабилитирован. П.Т. Новограбленов в 1919–1922 гг. – гласный Петропавловской городской думы. В 20–30-х гг. в Петропавловске неоднократно арестовывался и в 1937 г. был репрессирован (фактически утоплен в бухте Бабия). В 1956 г. посмертно реабилитирован.

Вот так причудливо переплелись судьбы первых сейсмологов Камчатки с революционными событиями в России.

1935 г. В Ключах открывается Камчатская вулканологическая станция лаборатории вулканологии АН СССР. Ее создатель – академик А.Н. Заварицкий (1884–1952), первый начальник – профессор В.И. Влодавец (15.07.1883–27.01.1993 г.). Начинается систематическое изучение вулканов Камчатки, в первую очередь Ключевской группы вулканов.

40-е гг. Начало новой эпохи сейсмологических исследований на Камчатке.

29 декабря 1946 г. По инициативе Б.И. Пийпа (1906–1966) начинает работу станция в пос. Ключи. Ценнейшие данные были получены на этой станции во время катастрофического извержения вулкана Безымянный в 1955–1956 гг.

1958 г. Открывается станция в п. Козыревск.

1960 г. Начинает работать сейсмическая станция Апахончич – завершается создание сети за слежением активности Ключевской группы вулканов.

1951 г. Оснащенная новыми современными приборами, возобновляет свою работу сейсмическая станция в Петропавловске-Камчатском как опорная станция Единой сети сейсмических наблюдений СССР.

17–30 ноября 1952 г. Б.И. Пийпом и А.Е. Святловским (07.09.1912 г. – 25.08.1998 г.) на гидрографическом судне проведено обследование последствий цунами на Северных Курилах – Южной Камчатке после катастрофического ($M = 8,5$) Камчатского землетрясения 04.11.1952 г. Хроника происходящих на Камчатке и Северных Курилах событий, последовавших за этими землетрясением и цунами, достаточно подробно описана в очерке А. Смышляева «Ночь океана. Хроника тихоокеанского цунами 1952 года», ко-

торый опубликован в его книге «Время красной рыбы», вышедшей в свет в 2003 г. Число погибших составило 3 – 5 тыс. человек. Смыт ряд населенных пунктов на Северных Курилах и Камчатке.

Конец 50 – начало 60-х гг. Становление науки на Камчатке.

1958 г. С целью слежения за гидротермальным месторождением в пос. Паужетка начинает работу сейсмическая станция.

04 мая 1959 г. Произошло сильное ($M = 7,6$) землетрясение с очагом в Кроноцком заливе, на побережье которого оно ощущалось как 9-балльное. Сотрясения в Петропавловске-Камчатском достигали 8 баллов. Сильный ($M = 7,0$) афтершок этого землетрясения, происшедший 18 июня, разрушил бетонные строения в пос. Жупаново.

1959 г. Постановлением Президиума АН СССР были созданы Камчатская комплексная экспедиция Совета по изучению производительных сил АН СССР и Камчатская геолого-геофизическая обсерватория СО АН СССР, в которой проводились сейсмологические исследования. Начальником экспедиции и директором обсерватории стал Б.И. Пийп.

1961 г., ноябрь. На Камчатке начинает работу региональная сеть, состоящая из 15 сейсмических станций. Регистрация и обработка параметров землетрясений проводится под руководством С.А. Федотова, будущего академика, и П.И. Токарева.

Построена карта сейсмического микрорайонирования г. Петропавловска-Камчатского.

1962 г. Образование Института вулканологии АН СССР на базе Камчатской комплексной экспедиции и Камчатской геолого-геофизической обсерватории.

1963–1965 гг. На материале землетрясений Курило-Камчатской зоны и Северо-Восточной Японии С.А. Федотовым разработана долгосрочная схема прогноза мест расположения очагов сильнейших курило-камчатских землетрясений, которая впоследствии была применена и к другим участкам окраины Тихого океана.

1971 г. Происходят два сильных землетрясения, значительно «потрясших» Камчатку.

24 ноября. Землетрясение ($M = 7,2$) на глубине 100 км прямо под городом, что вызвало 7–8-балльные колебания. Землетрясение повредило многие дома, несколько человек погибло.

15 декабря. Сильное ($M = 7,8$) землетрясение в Усть-Камчатке. Повреждены некоторые дома.

1975 г. Выходит в свет книга «Сильные камчатские землетрясения 1971 года», в которой опубликованы результаты изучения последствий сильных землетрясений в 1971 г.

1986 г. Данные детальных сейсмологических исследований и результаты обследования сильных землетрясений 1971 г. предопределили распоряжение Совмина СССР о заблаговременном укреплении зданий и сооружений г. Петропавловска-Камчатского и области, которое впоследствии (1995 г.) переросло в федеральную программу «Сейсмозащита».

1979 г., июнь. Выделение из Института вулканологии лаборатории сейсмологических исследований в самостоятельное подразделение – Опытно-методическую сейсмологическую партию (ОМСП) Института вулканологии (с 1994 г. – ОМСП ГС РАН). Начало качественного изменения уровня сейсмологических наблюдений на Камчатке.

Конец 80 – начало 90-х гг. Обобщение данных по миграции землетрясений позволило А.В. Викулину привнести временной аспект в разработанную в начале 60-х гг. С.А. Федотовым методику прогноза мест сильнейших землетрясений. В результате разработана долгосрочная методика прогноза мест и времени сильнейших землетрясений северо-западной части Тихого океана. Последующие сильнейшие землетрясения региона происходили в соответствии с этой долгосрочной пространственно-временной схемой прогноза.

После Спитакского (1988 г.) землетрясения и начавшихся в стране перемен резко изменилось отношение к работам по сейсмоусилению. В начале 90-х гг. в Петропавловске-Камчатском благодаря усилиям камчатских ученых впервые в нашей стране проводится паспортизация всех зданий и сооружений города и начинаются работы по их массовому сейсмоусилению. Такая «благоприятная» для города ситуация была создана усилиями администрации области и важными результатами, полученными в сейсмологии и сейсмостойком строительстве сотрудниками научно-технических учреждений города.

18 марта 1991 г. Произошло Хаилинское ($M = 7,0$) землетрясение, которое в 5-балльном по карте ОСР-78 районе сопровождалось 8-балльными сотрясениями. Незначительные повреждения зданий и сооружений.

По инициативе администрации Корякского автономного округа, на территории которого произошло это землетрясение, в течение ряда лет проводились комплексные исследования Камчатской опытно-методической партией Геофизической службы РАН (руководитель А.В. Викулин). Было показано, что территория КАО является зоной повышенной опасности, в пределах которой возможны сильные землетрясения, катастрофические цунами, размывы берегов в устьях рек и песчаных кос, по амплитуде достигающие многих и многих метров. В работах приняли участие камчатские ученые (КОМСП ГС РАН, ИВ ДВО РАН, ИВГиГ ДВО РАН), ученые из Москвы (МГУ, ИФЗ РАН) и Новосибирска (ВЦ СО РАН), а также ученые из Японии и Норвегии.

Одним из основных итогов проведенных работ явилась разработка принципиально новой методики сейсмического районирования, которая и была использована при составлении новой для территории всей России карты ОСР-1997. За составление этой карты коллектив ее авторов в 2004 г. был удостоен Государственной премии России.

21 апреля 2006 г. Произошло Олюторское ($M = 8,0$) 9-балльное землетрясение, в результате которого сильно пострадали поселки Тилички, Корф и Хаилино.

Сейсмические «достопримечательности» и прогноз (Камчатка – Курильские острова)

(Викулин, 1992а, 2003; Викулин, Викулина, 1989;
Викулин, Дроздук, Семенец и др., 1997; Проблемы ..., 2000)

Полученные сейсмологические данные и проведенные исследования позволяют построить для Камчатки и Курильских островов схемы долгосрочного прогноза землетрясений:

1. Карты сейсмического районирования Камчатки. На рис. 29 приведены все карты сейсмического районирования территории Камчатки, построенные в 1938, 1963, 1978 и 1997 гг. Видно, что для района г. Петропавловска-Камчатского за эти годы балльность изменялась следующим образом. В 1938 г. она составляла 8 баллов, ближе к 7; в 1963 г. – тоже 8 баллов, но гораздо ближе к 9; в 1978 г. – 9 баллов, и в 1997 г. расчетная балльность составила уже 9,52 балла, или 10 баллов. Как видим, по мере накопления данных и степени изученности территории можно принять, что сотрясаемость территории г. Петропавловска-Камчатского в 30 – 90-х гг. XX в. увеличивалась в среднем на один балл в 20 лет. Предел ли это? Данные, приведенные в работе (Викулин, Мелекесцев, 1989), позволяют предположить отрицательный ответ.

2. Положение очагов сильнейших ($M \geq 7,6$) северо-курильских и камчатских землетрясений, происшедших в XX в., показывает, что сейсмофокальная зона, как и для района желоба Нанкай, может быть разбита на 9 блоков (рис. 30).

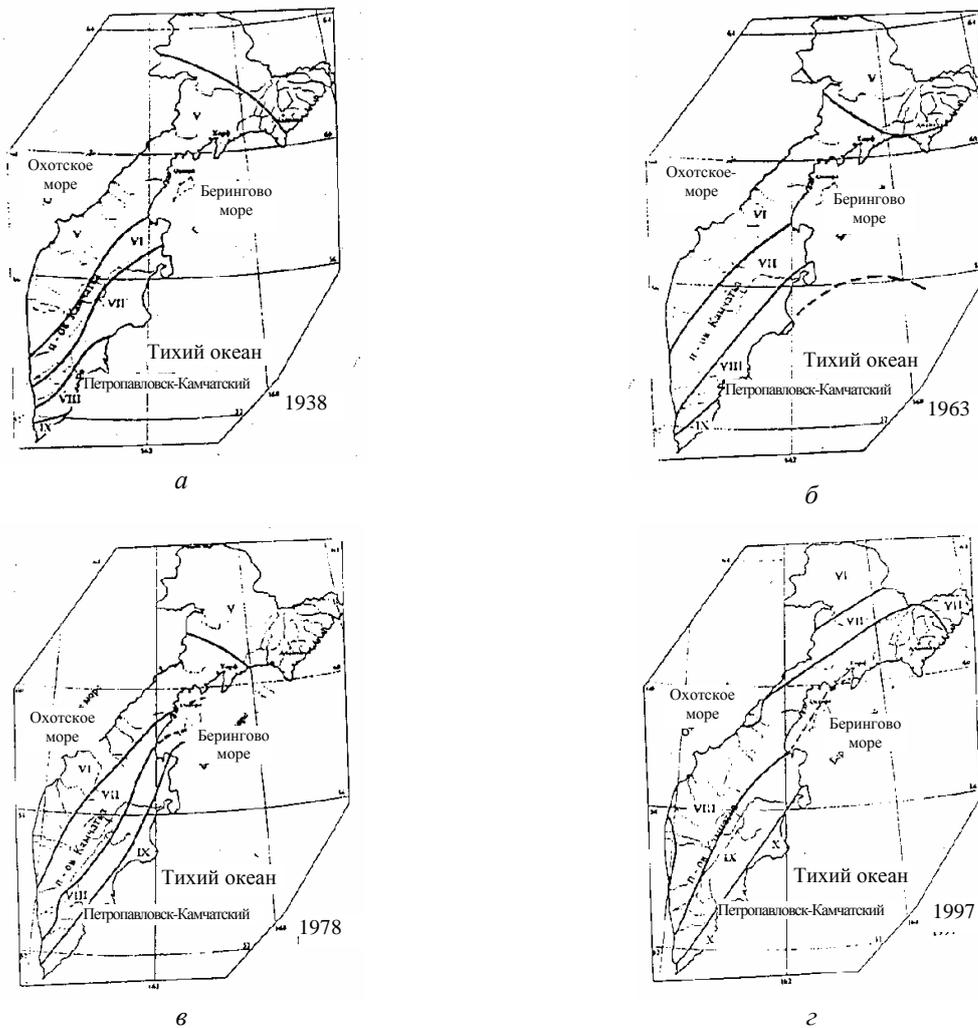


Рис. 29. Карты общего сейсмического районирования Камчатки в 1938 (а), 1963 (б), 1978 (в) и 1997 (г) гг. (Проблемы ..., 2000)

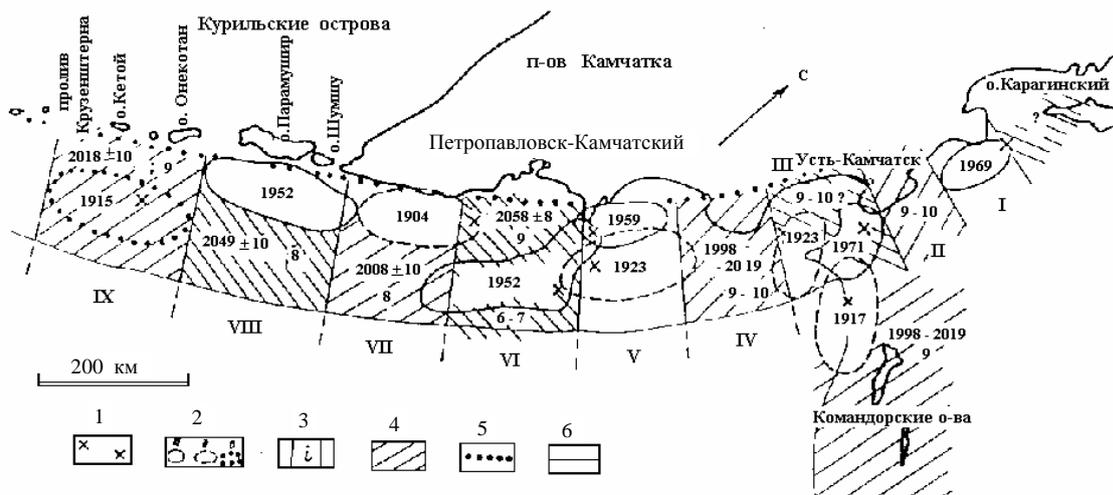


Рис. 30. Блочное строение сейсмофокальной зоны и прогнозная карта расположения очагов сильнейших камчатских и северокурильских землетрясений в будущем: 1 – эпицентры сильнейших землетрясений; 2 – границы очаговых областей сильнейших землетрясений XX в. (цифра обозначает год сильнейшего землетрясения); 3 – границы между блоками сейсмофокальной зоны ($i = I - IX$); 4 – места вероятного расположения очагов сильнейших землетрясений в будущем (цифрами обозначены год ожидаемого землетрясения, временной интервал и максимальное значение балльности на берегу при землетрясении); 5 – западная граница сейсмофокальной зоны; 6 – ось глубоководного желоба (Викулин, 2003)

Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г. ($M = 7,5 - 8,0$) с очагом в IV блоке подтвердило правильность построенной схемы прогноза. Следующим местом, в котором согласно построенной схеме прогноза следует ожидать расположение очага сильнейшего землетрясения, является Южно-Камчатский VII блок. Ожидаемый «тревожный» интервал времени для этого блока составляет 2008 ± 10 лет с вероятностью около 70% и 2008 ± 20 лет с вероятностью около 95%. Сотрясения в г. Петропавловске-Камчатском при этом землетрясении на средних грунтах не будут превышать 7 баллов. Более сильное землетрясение, интенсивность колебаний при котором в городе может составлять до 9 баллов, ожидается в 2058 ± 8 лет с вероятностью около 70%.

Прогноз возможен, но...

Завершая обзор, в котором были рассмотрены последние вулканические и сейсмические катастрофы планетарного и регионального масштабов, хотелось бы подвести некоторые итоги.

Главный итог, на взгляд автора, заключается в следующем. Несмотря на очевидные достижения в решении ряда важных научных (например, овладение ядерной энергией), технических (все убыстряющееся освоение космоса) и политических (договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний и меры по контролю за его выполнением) проблем человечество в целом еще не «доросло» до понимания важности предотвращения природных катастроф. Ярким примером тому служит последняя (пока) катастрофа в Юго-Восточной Азии в декабре 2004 г., когда от цунами, возникшего после одного из самых сильнейших за последнее столетие землетрясений, погибло более 300 тыс. человек. Весь мир наблюдал на экранах своих компьютеров *в реальном времени* распространение волны цунами в Индийском океане. Но осуществить какие-то *конкретные* действия по предотвращению катастрофы или хотя бы по уменьшению ее возможных последствий, пусть в небольшой части побережья, ни одно из пострадавших государств так и не смогло.

Второй пример, меньший по масштабу затронутой катастрофой территории, но существенно более масштабный по числу ее жертв – это Китай. Можно попытаться понять причины гибели 830 тыс. человек при землетрясении 1560 г. в Шэнси – они в силу тех или иных, но вполне понятных обстоятельств жили в пещерах, которые при землетрясении обвалились, похоронив большую часть погибших. Но как понять почти такое же по масштабу количество жертв при Таньшаньском землетрясении 1976 г., происшедшем через 400 лет после землетрясения в Шэнси, менее чем через год после успешного прогноза Ханченгского землетрясения 1975 г.?

Китай во все времена был самым густонаселенным государством. Наверное, поэтому жизнь человека там ничего не стоила. Например, после одного из побоищ под г. Чанпином в 20 г. до н. э. воины царства Цинь только живьем закопали 400 тыс. (!) сдавшихся в плен воинов. Но по уровню научно-технической мысли Китай всегда был впереди. Вспомним: бумага, порох, компас, шелк, фарфор, механические часы, технология горячей обработки металлов, добыча нефти и газа – все это впервые появилось именно в Китае. По-видимому, не случайным событием был и первый в мире прогноз Ханченгского землетрясения с последующей эвакуацией жителей из опасной зоны *до происшедшего землетрясения*. Так по какой шкале ценностей совместить могущество научно-технической мысли, с одной стороны, и полное пренебрежение *конкретной* человеческой жизнью – с другой?

Вывод из сказанного может быть только один – в научно-техническом плане человечество вполне «созрело» для решения проблемы прогноза землетрясений и извержений вулканов. Однако в силу политических мотивов передовые страны пока не могут объединиться для решения такой грандиозной проблемы.

Лиссабонское землетрясение

Нет, и в церкви все не так,
Все не так, ребята!

В. Высоцкий

Печально известное, происшедшее более двух с половиной веков тому назад (1 ноября 1755 г.) Лиссабонское землетрясение и его последствия, казалось бы, уже подробно описаны в многочисленных источниках и достаточно полно исследованы (Болт, 1981; Гир, Шах, 1988; Клячко, 1999; Неймар, 1899; Никонов, 2005; Рихтер, 1963).

Тем не менее данные, которые можно услышать об этом землетрясении от экскурсоводов, почерпнуть из туристических путеводителей (Испания, 2007; Португалия, 2006а, 2006б) и увидеть своими глазами, свидетельствуют о том, что последствия Лиссабонского землетрясения и его особенности изучены еще недостаточно полно.

Проведем обзор и критический анализ известных данных о Лиссабонском землетрясении, которые совместим с наблюдениями и выводами автора, полученными им в ходе туристической поездки летом 2007 г. по маршруту Барселона – Сарагоса – Саламанка – Порту – Лиссабон – Толедо – Мадрид – Барселона.

Обзор данных и их анализ. Данные, приведенные ниже, базируются в основном на опубликованных в работах (Клячко, 1999; Неймар, 1899; Никонов, 2005; Рихтер, 1963) показаниях очевидцев событий, происшедших в 1755 г.

Лиссабон. Это началось 1 ноября 1755 г. в 9 часов 50 минут, когда большая часть населения самой богатой и обширной столицы Европы (по разным оценкам, 250–500 тыс. человек) в День всех святых собралась к утренней молитве в многочисленных церквях Лиссабона.

Вдруг земля сильно заколебалась, и менее чем за минуту колебания сменились мощными толчками, которые, нарастая, следовали один за другим в течение 8 минут (Клячко, 1999, с. 17; Неймар, 1899, с. 313, 314). Капитан, оказавшийся в морском порту, наблюдал, как каменные постройки Лиссабона медленно, величественно начали качаться из стороны в сторону, «как пшеничное поле от легкого ветра», в направлении от моря в северо-восточном направлении (Никонов, 2005, с. 23, 24).

Потом все ненадолго успокоилось. Примерно через 20 минут земля опять затряслась и волновалась около 8 минут. Во время второго сильнейшего толчка, по разным источникам, произошло два процесса, «разнонаправленных» относительно невозмущенного уровня моря. По одним данным (Клячко, 1999, с. 18; Неймар, 1899, с. 314), имело место опускание в море новой лиссабонской набережной. По другим данным, море вначале отступило далеко от набережной, обнажив морское дно на несколько километров, а затем внезапно нахлынуло (Португалия, 2006а, с. 63). После этого в течение целого часа сохранялось затишье (Неймар, 1899, с. 314, 314).

В результате этих двух толчков были полностью разрушены 12 тыс. из 20 тыс. домов Лиссабона, а кроме того, еще 59 церквей, 90 монастырей, более 50 дворцов (Клячко, 1999, с. 19; Никонов, 2005, с. 25). Последние оценки у разных исследователей несколько отличаются: у одних они относятся только к Лиссабону (Никонов, 2005), у других (Клячко, 1999), по-видимому, к нескольким пострадавшим при толчках 1755 г. городам. Например, в книге (Португалия, 2006а, с. 63, 64) сообщается о 300 разрушенных дворцах и 110 церквях. Вероятно, здесь имеются в виду потери, имевшие место в пределах всей Португалии. Лиссабон же был полностью разрушен на 2/3 – это признается всеми источниками. В результате, по разным оценкам, только в Лиссабоне погибло от 30 до 60 тыс. человек, при этом из 20 тыс. духовных особ осталась в живых только половина (Клячко, 1999, с. 19; Неймар, 1899, с. 323, 324; Никонов, 2005, с. 21; Рихтер, 1963, с. 103). Сами португальцы сообщают о 40 тыс. погибших в Лиссабоне (Португалия, 2006б, с. 22).

На долю третьего мощного толчка уже почти ничего не осталось. В почве возникли многочисленные трещины. Дальнейшее очевидцы были не в силах внятно описать (Клячко, 1999, с. 19; Неймар, 1899, с. 314). По мнению крупнейшего специалиста в этой области А.А. Никонова, людям, не переживавшим сильные землетрясения в большом городе, почти невозможно представить этот «армагеддон». Боевые генералы, прошедшие войну 1941–1945 гг., признавались, увидев уничтоженный землетрясением 1948 г. Ашхабад (100 тыс. погибших), что «это совершенно ни с чем несравнимо» (Никонов, 2005, с. 24).

Частые интенсивные толчки продолжались до вечера, и через три часа относительного спокойствия, около 11 часов, во многих местах города *одновременно* показался огонь. Его невозможно было потушить. Пожар «свирепствовал» в течение 5 суток, в результате чего выгорел весь город (Клячко, 1999, с. 17; Неймар, 1899, с. 313-314; Никонов, 2005, с. 25).

В течение ноября и декабря толчки повторялись. Отдельные из них продолжали производить разрушения. Самый сильный афтершок случился 9 декабря (Клячко, 1999, с. 19 – 11 декабря). Он ощущался по всей Португалии, в Испании, Северной Ирландии, Южной Франции, Швейцарии и Южной Германии. Сейсмическая активность в районе продолжалась в течение 10 месяцев, но возобновлялась и позже, вплоть до 1762 г. (Никонов, 2005, с. 25).

Общая макросейсмическая картина, отображающая проявления Лиссабонского землетрясения в Европе и Африке, представлена на рис. 31.



Рис. 31. Область, затронутая Лиссабонским землетрясением 01.11.1755 г. в Европе и Африке (III, VIII – границы областей, в пределах которых ощущались колебания с интенсивностью 3 и 8 баллов по 12-бальной шкале) (Рихтер, 1963, с. 104)

Более детальная картина (только в Испании было обследовано 3000 населенных пунктов), построенная на основе нескольких тысяч опросных листов, не уступающая современным аналогам, представлена в работе (Никонов, 2005, с. 26, 28). Из этих достаточно подробных и детальных макросейсмических данных следует принципиальной

важности вывод, а именно: все португальское побережье протяженностью 350 км от Лиссабона (мыса Рока) до г. Фару и далее до пограничного испанского г. Аямонт подверглось сотрясениям с интенсивностью 9 баллов и более. При этом в пределах его юго-восточной 100-километровой части максимально зарегистрированные сотрясения *заведомо достигали 10 баллов*. Следовательно, в эпицентральной области они должны были соответствовать 11 баллам, если не более (Никонов, 2005, с. 28). Другими словами, разрыв, образовавшийся при землетрясении, несомненно, вышел на поверхность земной коры на морском дне и землетрясение должно было сопровождаться цунами.

Другие города и селения. В Португалии было полностью разрушено множество прибрежных городов (Португалия, 2006а, с. 32). Не менее 16 городов Португалии подверглись разрушениям в разной степени (Никонов, 2005, с. 21, 25). В г. Фару, где сотрясения достигали 10 баллов, разрушения и затопление в связи с цунами повлекли за собой гибель 3000 человек. Разрушения были в западной части Испании: в Севилье (более 8 баллов), Малаге (около 6 баллов) и др.; в Аямонте (9 баллов) и его окрестностях (до 10 баллов) погибло от цунами около 2000 человек: «из Кадикса (7 баллов) пришла весть, что и там творятся такие же (как и в Лиссабоне. – Авт.) ужасы. Два города в Европе понесут огромные убытки в торговле» (Неймар, 1899, с. 314). О подобных явлениях сообщали и с Гибралтара (6–8 баллов) – все укрепления разрушены, из Марокко (6–8 баллов) – в одной только деревушке под оползнем погибло до 8–10 тыс. человек. Жертвы в сельских местностях Португалии и Африки неизвестны.

Воздействие катастрофы на умы (Никонов, 2005, с. 21, 25, 26). Катастрофа в Лиссабоне привела в сильное возбуждение всю Европу. Свои соболезнования прислали И. Кант и Вольтер. Огромное количество брошюр, статей политических сочинений, проповедей, стихотворений наводнили литературу (Неймар 1899, с. 320; Рихтер, 1963, с. 103). Так, И. Гете называл это землетрясение «ужасным мировым событием», М.В. Ломоносов писал о «жестокой Лиссабонской судьбине». Землетрясение использовал в своем памфлете Ж.Ж. Руссо, эпизод с Лиссабонским землетрясением Вольтер вставил в свою блестящую сатирическую повесть «Кандид». Конечно, именно Лиссабонское землетрясение имеется в виду в пьесе Оливера Уэнделла Холмса «Шедевр архитектора, или Чудесная одноколка».

Наряду с французской революцией это было самое сенсационное событие XVIII в. (Неймар, 1899, с. 320). На *таком* фоне для философов и естествоиспытателей катастрофа стала поводом к смятению и уходу из «теоретического» романтизма в «более практический» прагматизм. В то время разрушенным виделся не только Лиссабон, но *вообще прошлое* (Никонов, 2005, с. 26). Немудрено, что возбужденная фантазия многих из последующих интерпретаторов происшедшей катастрофы доверяла многому, чего не было вовсе, и что все необычайные явления, приблизительно совпавшие с днем катастрофы, были поставлены в связь с грозным землетрясением (Неймар, 1899, с. 320).

Как видим, в оценке некоторых последствий катастрофы в тех реальных условиях, которые были в Европе, вполне возможны преувеличения в сторону их максимальных значений. Причиной тому, на наш взгляд, являются чисто психологические факторы, которые могут быть объяснены, с одной стороны, «слишком уж глубоким» философским отношением к катастрофе, с другой – отсутствием достаточно ясных и физически объяснимых механизмов землетрясения. По сути, об этом же пишет и А.А. Никонов в заключительном разделе своей великолепной статьи (Никонов, 2005). Вспомним: первая классификация землетрясений по четырем типам была дана М.В. Ломоносовым спустя два года после Лиссабонской катастрофы – только в августе 1757 г. в статье (Ломоносов, 1986), в которой он высказал свои взгляды на геологические процессы и попытался, весьма примитивно с современной точки зрения, дать объяснение причин землетрясений.

Именно с таких позиций, на наш взгляд, и стоит подходить к оценке некоторых параметров катастрофы, и в первую очередь к высоте цунами в Лиссабоне, которые, на наш взгляд, сильно завышены.

Высота цунами в Лиссабоне при катастрофе. Сразу отметим, что нам неизвестны данные, которые бы прямо указывали на большое значение высоты цунами в Лиссабоне. Действительно, «Лиссабонская газета» от 6 ноября 1755 г. писала: «1-е число текущего месяца останется навечно в нашей памяти из-за землетрясения и пожаров, разрушивших большую часть города...», «Среди ужасных последствий землетрясений...отметим разрушение высокой башни Томбо, где хранились государственные архивы» (Клячко, 1999, с. 17; Никонов, 2005, с. 23). Как видим, здесь ни слова не говорится о якобы страшном и разрушительном цунами.

Из описания очевидца землетрясения в Лиссабоне: «После этого (после второго толчка. – **Авт.**) целый час было затишье. В это время распространился слух (через час после сильного цунами распространился только слух? – **Авт.**), что вода в море страшно поднялась. ... Наша таможня...низверглась в море вместе с большой площадью. Многие из *трехсот* (выделено мной. – **Авт.**) кораблей, стоявших в гавани, поднялись с якорей (на них была команда, они были целыми! – **Авт.**); одни потонули, другие были уничтожены. Голландское судно было выброшено в город и стояло на суше. Но...нахлынула другая волна, подхватила корабль и, не повредив его, отнесла в море» (Неймар, 1899, с. 314).

В Лиссабоне отступление моря далеко от набережной с обнажением морского дна на несколько километров и последующего прилива к берегу повторялось трижды (Португалия, 2006а, с. 63). По данным того же источника, сильно пострадал г. Кашкайш, находящийся в 26 км к западу от Лиссабона, и почти полностью разрушен г. Сетабул (50 км к юго-востоку от Лиссабона). Как видим, сведения о цунами для этих прибрежных городов, по сути пригородов столицы, отсутствуют.

«1 ноября 1755 г. цунами Лиссабонского землетрясения достигло города около 10 часов утра через 20 минут после первого толчка. На португальском побережье (не в Лиссабоне. – **Авт.**) его высота во многих местах возросла до 20 футов, а кое-где до 50 футов (до 6 и 15 метров соответственно. – **Авт.**)» (Рихтер, 1963, с. 112). Ясно, что цунами имело такую большую высоту и гигантскую кинетическую энергию в португальском порту Фару, испанском атлантическом порту Кадиксе и Гибралтаре (Неймар, 1899, с. 314; Никонов, 2005, с. 25; Португалия, 2006а, с. 257), расположенных соответственно в 230, 350 и 450 км к юго-востоку от Лиссабона. Известно, что волна прошла через весь Атлантический океан и достигла берегов Америки (Неймар, 1899, с. 318).

Один из важных аргументов в пользу нашей точки зрения о завышенном цунами в Лиссабоне заключается в следующем. Согласно данным обстоятельной работы (Никонов, 2005, с. 24) материальные потери в г. Лиссабоне после землетрясения 1755 г. составили поистине фантастическую даже по современным меркам сумму – более 1 млрд франков золотом. Но в этой сумме никак не отражены и не выделены потери, связанные с гибелью кораблей, не говоря уже о флоте в целом: 800 млн франков – потери драгоценностей, 114 млн франков – разрушение строений и 100 млн франков – потери казны и частных лиц от гибели и повреждений имущества. Как видим, если и пострадали корабли, то, очевидно, в незначительном количестве.

Кафедральный собор в Лиссабоне, расположенный практически на берегу – на удалении от него не более 1 км, при катастрофе *совершенно* не пострадал и тем самым сохранил жизнь *всем* людям, находившимся в нем (Португалия, 2006а, с. 77). Отметим, что, по словам гида, были повреждены только входные ворота, которые при службах всегда открыты. Собор не только не пострадал после первого сильного толчка – в нем была *возобновлена* служба. В случае же большого цунами жертвы в соборе были бы неизбежны в результате его затопления, да и сам собор должен был в результате подмыва просесть хотя бы на один из своих углов.

Наконец, Лиссабон расположен в 17 км от Атлантического океана на правом берегу р. Тежу, ширина которой в районе города составляет также около 17 км. Река образует обширную просторную бухту, значительно более широкую, чем, например,

Авачинская бухта, на берегу которой расположен г. Петропавловск-Камчатский. В Лиссабоне просто не могло быть значительного по высоте цунами от очага, расположенного в океане: из очевидных соображений следует, что высокая волна не может зайти в бухту, не разрушившись ввиду достаточно узкого устья реки. Для геофизика, видевшего как расположение Лиссабона, так и конфигурацию бухты своими глазами, это совершенно очевидно. Например, при Большом Камчатском землетрясении 04.11.1952 г. ($M_S = 8,5$, $M_W = 9,0$) при высоте цунами в акватории Авачинского залива до 10 м и более высота волны в бухте не превышала 1–2 м (Соловьев, 1978, с. 74–77). Она не обладала большой кинетической энергией и имела характер медленной волны-подтопления (Викулин, Дроздук, Семенец и др., 1997). Данные очевидцев подтверждают, что именно такие и по характеру, и по высоте волны наблюдались и в лиссабонской бухте в ноябре 1755 г.

Таким образом, несомненно, имело место совпадение во времени двух явлений: второго сильного толчка и прихода первой, достаточно малой по амплитуде и медленной волны. Данные о гигантском шестиметровом цунами (Клячко, 1999, с. 19) или первой волне высотой 12–15 м через 20 минут после первого толчка (Никонов, 2005, с. 24), которые были результатом подвижки морского дна в момент первого толчка, являются явно преувеличенными.

Относительно механизма образования как первой, так и последующих волн, приходивших на побережье лиссабонской бухты, нет единого мнения. С одной стороны, очаг землетрясения, вне всякого сомнения, генерировал мощнейшее цунами, и приведенные выше данные убедительно продемонстрировали это. С другой стороны, «безусловно, речь идет о крупном оползне прибрежного участка во время второго толчка» (Никонов, 2005, с. 24, 25). Все эти данные не дают ответа на вопрос о природе волн, наблюдавшихся в лиссабонской бухте в 1755 г., а также на вопрос: опустилась или поднялась городская набережная при землетрясении? На наш прямой вопрос относительно направления движения набережной при катастрофе гид дал четкий ответ: берег при землетрясении поднялся.

Тем не менее можно заметить следующее. Гипотеза А.А. Никонова о возникновении цунами *внутри бухты* в результате обвала одного из *ее* подводных склонов (Никонов, 2005, с. 25) не бессмысленна и требует проверки. Такая гипотеза, например, имеет место для Петропавловска-Камчатского, вблизи которого на крутых берегах Авачинской бухты на высоте 10 м найдены останки, интерпретируемые И.В. Мелекесцевым именно как следы цунами.

Процессы в очаге. Сейсмичность Португалии. Землетрясение 01.11.1755 г. было не единственным в регионе. В научной литературе содержатся сведения о сильном толчке в 1356 г., разрушительном в 1531 г. и об одном из шести толчков в 1722 г. (Клячко, 1999, с. 17, 18), ощущавшихся в течение пяти лет перед землетрясением 1755 г. Землетрясения происходили, происходят и будут происходить как на Азорских островах, расположенных к западу от Португалии, так и в соседней Испании.

На рис. 32 нанесены эпицентры всех сильных землетрясений, происшедших в XII–XXI вв. ($30^{\circ}W \leq \lambda \leq 0$, $32^{\circ}N \leq \varphi \leq 40^{\circ}N$), данные о которых содержатся в мировом каталоге. Видно, что совокупность эпицентров землетрясений, в основном определяющих сейсмичность Португалии (прямоугольный выделенный участок), является составной частью всего субширотного альпийского тектонического пояса, протягивающегося через Индонезию, Тибет, Среднюю Азию, Кавказ, Турцию, Средиземное море к Азорским островам. Выделенный на рис. 32 район, «ответственный» за сейсмичность Португалии, связан с тектонической структурой, протягивающейся в северо-восточном направлении от архипелага Мадейра в сторону Лиссабона. Данные о землетрясениях этого района приведены в табл. 4.

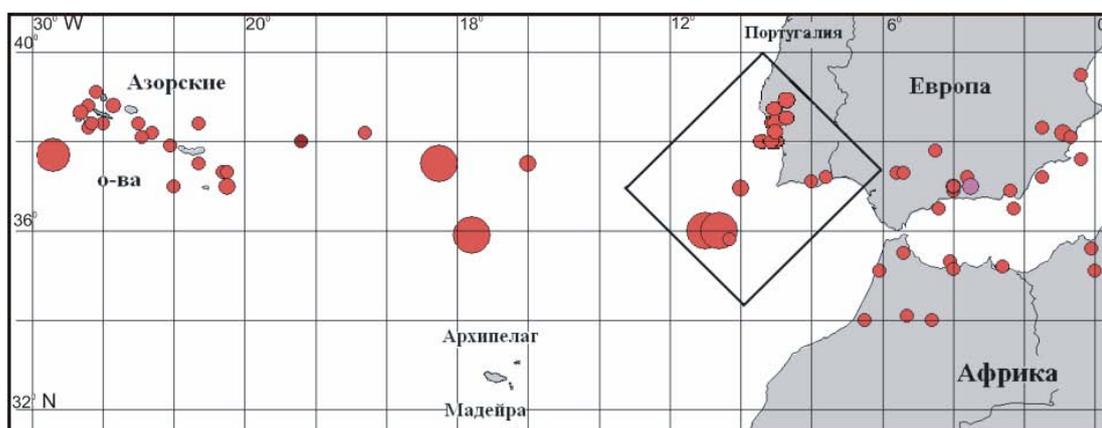


Рис. 32. Сейсмичность западного окончания ($30^{\circ}W \leq \lambda \leq 0$) субширотного альпийского тектонического пояса, простирающегося на 160° между Тихим и Атлантическим океанами, по данным мирового каталога за 2000 г. до н. э. – 2007 г. (Викулин, Водинчар, Мелекесцев и др., 2007). Нанесены эпицентры всех ($N = 83$) известных землетрясений до XIX в. включительно и с $M_S > 6$ инструментального периода наблюдений в XX – XXI вв. Эпицентры землетрясений с $M_S \geq 8$ изображены большими кружками. Квадратом выделена часть пояса, определяющая в основном сейсмичность Португалии

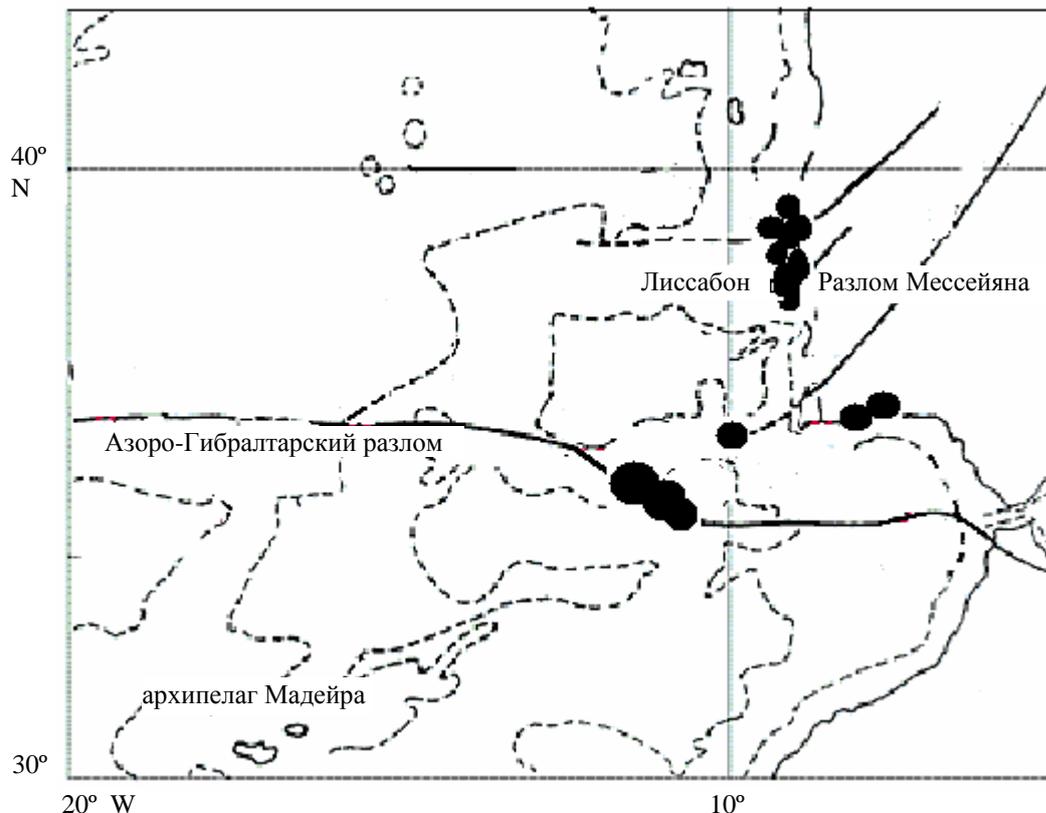
Таблица 4

Параметры определяющих сейсмичность Португалии сильных землетрясений XII–XXI вв., позаимствованные из мирового каталога (Викулин, Водинчар, Мелекесцев и др., 2007), составленного на основе списков землетрясений в ISC, NEIC и CEC

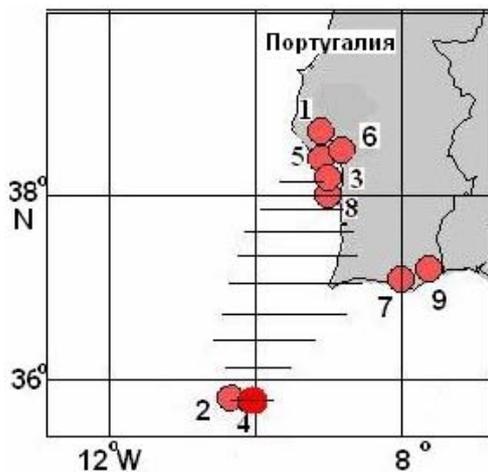
№ п/п	Годы	Месяцы	Дни	Часы	Минуты	Широта N	Долгота W	Глубина, км	Магнитуда M_S
1	1151	–	–	–	–	38,7	9,1	–	–
2	1320	12	9	–	–	36,0	10,7	–	–
3	1344	–	–	–	–	38,0	9,0	–	–
4	1356	8	24	–	–	36,0	10,7	–	–
5	1531	1	26	–	–	38,4	9,1	–	–
6	1551	1	28	–	–	38,4	9,1	–	–
7	1587	11	–	–	–	37,1	8,0	–	–
8	1597	7	28	–	–	38,0	9,0	–	–
9	1722	12	27	–	–	37,2	7,6	–	–
10	1755	11	1	9	50	36,0	11,0	–	8,4–8,9
11	1755	11	1	10	16	37,0	10,0	–	–
12	1755	11	1	11	16	38,0	9,0	–	–
13	1858	11	11	7	15	38,2	9,0	–	–
14	1858	11	11	7	30	38,5	8,8	–	–
15	1909	4	23	17	40	38,9	8,8	33	6,6
16	1969	2	28	2	40	36,0	10,6	22	8,0
17	2007	2	12	10	35	35,8	10,3	10	6,2

Положение очага Лиссабонского (1755 г.) землетрясения. Форшоки. Всего в пределах португальской структуры в течение последних девяти веков произошло 17 сильных (ощущавшихся населением) землетрясений: первое в 1151 г. в том месте, куда примерно через 100 лет «переедет» столица Португалии (Португалия, 2006б, с. 22), и последнее (пока) в феврале 2007 г. Эпицентры всех землетрясений в совокупности представлены на рис. 33, а, на котором батиметрия и положение тектонических разломов позаимствованы из работы (Никонов, 2005). Видно, что сильные землетрясения вблизи Португалии происходят в пределах тектонической структуры, которая на суше продолжается системой разломов северо-восточного простирания, а в море прослеживается до архипелага Мадейра,

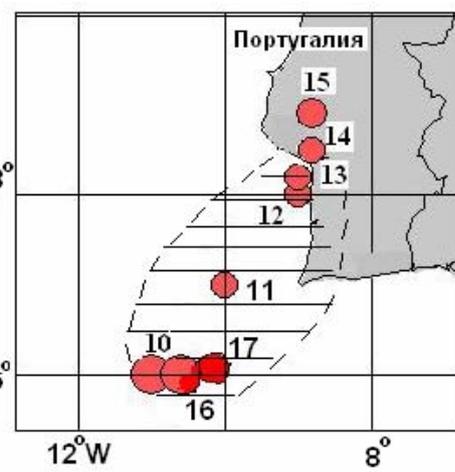
примерно под прямым углом пересекая Азоро-Гибралтарский разлом. На рис. 33, б представлены эпицентры землетрясений, произошедших в районе до Лиссабонской катастрофы в 1151–1722 гг., а и на рис. 33, в – эпицентры катастроф, произошедших в 1755 г. – 2007 гг.



а



б



в

Рис. 33. Сейсмичность Португалии по данным за XII–XXI вв. (а), до катастрофы 1755 г. (б), во время катастрофы и в последующие периоды (в). Тектонические разломы и батиметрия позаимствованы из работы (Никонов, 2005). Кружки большого (малого) диаметра отражают положение эпицентров землетрясений с $M_S \geq 8$ ($6 < M_S < 8$). Заштрихованная область обозначает положение сейсмической бреши (б) и очага Лиссабонского землетрясения 1755 г. (в).

Цифры соответствуют номерам землетрясений в табл. 4

Как можно видеть из данных, представленных на рис. 33, б, эпицентры землетрясений 1151–1722 гг. оконтурили «пустую» (заштрихованную) зону, протяженность которой составила 300–350 км. Такие «пустые» зоны – зоны сейсмического затишья, оконтурен-

ные областью с высокой сейсмичностью – К. Моги назвал сейсмическими брешами первого рода (Викулин, 2003). При этом имела место следующая закономерность в распределении «краевой» сейсмичности: толчки по очереди происходили на противоположных краях сейсмической брешы. Действительно, толчки 1151, 1344, 1531–1551–1597 гг. происходили на северо-восточном краю брешы, а толчки 1320 и 1356 гг. – на юго-западном краю. Эффект чередования краевой сейсмичности отмечен в очагах многих сильнейших землетрясений планеты (Викулин, 2003). Как видим, очаг Лиссабонского землетрясения 1 ноября 1755 г. с магнитудой $M_S = 8,4 - 8,9$ ($M_W \approx 9$) располагался в таком месте, которое сейсмотектоническим процессом «готовилось» в течение как минимум пяти веков.

Следует отметить, что анализ имеющихся данных, выполненный через четверть века, позволил сделать вывод о существовании предвестникового сейсмического затишья в течение нескольких лет перед Лиссабонской катастрофой (Никонов, 2005, с. 27).

Наиболее сильные из предварявших катастрофу 1755 г. толчков отмечены в 1356 и 1531 гг. Они в Лиссабоне сопровождались соответственно сильными колебаниями и разрушениями (Клячко, 1999, с. 17–18; Португалия, 2006а, с. 77). Это позволяет предположить, что место очага будущей катастрофы было «обозначено» уже за 250 лет до того, как она случилась. Последний сильный форшок, сопровождавшийся наиболее сильными ощутимыми колебаниями в г. Фару, произошел в 1722 г. (Португалия, 2006а, с. 257) на восточном краю области сейсмического затишья за 33 года до катастрофы.

Миграция афтершоков. Развитие сейсмического процесса в очаге Лиссабонского землетрясения отчетливо прослеживается расположением в пространстве и времени его афтершоков в 1755 г. и толчков в последующие годы (рис. 33, в). Видно, что в течение длительного времени в северо-восточном направлении происходила миграция эпицентров землетрясений. Процесс миграции проявился сразу же после главного толчка его афтершоками в 1755 г. и продолжился последующими толчками в 1858 и 1909 гг.

Скорость миграции афтершоков в 1755 г. по порядку величин достигает большой величины $V \approx 0,1$ км/с, что в соответствии с установленной в работе (Викулин, 2003; Викулин, Водинчар, Мелекесцев и др., 2007) зависимостью $V(M)$ позволяет оценить их магнитуду: $M_S = 7,5 - 8,0$. Миграция афтершоков является характерной особенностью сейсмического процесса, отражающей направление его развития в очагах сильнейших землетрясений и их размеры (Викулин, 2003, 2005). Например, многочисленные афтершоки с магнитудами $7,5 \leq M_S \leq 8,3$, инструментально зарегистрированные после Чилийского землетрясения 22.05.1960 ($M_W = 9,5$), мигрировали вдоль сейсмического пояса и определили тем самым и положение, и размеры очага главного толчка (Duda, 1963).

На миграцию афтершоков в сторону Лиссабона указывают также и многочисленные данные о сильных моретрясениях: «людей на палубе подбрасывало», «палуба сильно пострадала» (Никонов, 2005, с. 26). Они могли происходить только в случае нахождения кораблей непосредственно над образовавшимся разрывом. При эпицентре главного толчка, расположенного в 300–350 км от Лиссабона, такой силы моретрясения ощущались на кораблях, находившихся от столицы на расстояниях от 50 лье, или 220–280 км (Никонов, 2005, с. 26), до 60 миль, т. е. 100 км (Неймар, 1899, с. 314).

На основании этих данных можно предполагать, что очаг Лиссабонского ($M_S = 8,4-8,9$) землетрясения располагался в пределах заштрихованной области, «обозначенной» его двумя афтершоками, и его протяженность составила 300–350 км (рис. 33, в). Как видим, столица Португалии, ее окрестности и примыкающее к ним западное атлантическое побережье оказались расположенными в пределах краевой зоны очаговой области, что и объясняет высокую интенсивность колебаний в этом районе и, как следствие, большие разрушения от сотрясений. Большая продолжительность колебаний (до 8 минут), отмеченная при первом и втором толчках, является следствием масштабности процесса. Например, сильнейшие камчатские землетрясения 17.10.1737 г. и 04.11.1952 г. с $M_W \approx 9$, макросейсмические области которых простирались на 600–800 км, ощущались в виде трех интенсивных волн продолжительностью до 5 минут каждая. Для землетрясений Ев-

ропы такая большая продолжительность интенсивных колебаний, которая имела место при Лиссабонском землетрясении 01.11.1755 г., нехарактерна.

Об источнике цунами. Направление распространения разрыва при катастрофе 1755 г. в северо-восточном направлении объясняет имеющиеся место особенности распределения высот цунами: его малую интенсивность в направлении Лиссабона и, наоборот, высокую интенсивность в перпендикулярном направлении – как в направлении атлантического испанского побережья, так и в сторону Америки. Эти данные показывают, что причины цунами в лиссабонской бухте в ноябре 1755 г. следует увязать в соответствии с гипотезой А.А. Никонова именно с подводными обвалами в пределах ее акватории.

Нарисованная нами схема процессов в очаге Лиссабонского землетрясения в принципе отличается от схемы, построенной в работе (Никонов, 2005), в которой основные движения в очаге были связаны с движениями вдоль Азоро-Гибралтарского разлома. Для уточнения сейсмического сценария возможной будущей катастрофы в районе Лиссабона, очевидно, требуется проведение целого комплекса дополнительных исследований.

О периоде повторения катастроф в районе Лиссабона. В туристических справочниках содержатся данные о землетрясении, неизвестного в мировых каталогах и списках землетрясений. О нем упоминается в книге (Португалия, 2006а, с. 159): «В V в. на южном берегу р. Саду римляне основали рыбацкое поселение Цетобрига – современная Троя. В 412 г. его разрушило землетрясение. Спустя 1000 лет здесь находилась королевская резиденция, исчезнувшая во время катастрофы 1755 г.». Данные об этом землетрясении могут иметь принципиальное значение при количественной оценке величины сейсмической опасности.

Землетрясения, происходящие в районе Лиссабона, как уже отмечалось выше, относятся к западному окончанию субширотного альпийского сейсмического пояса. В пределах только «средиземноморского» сегмента этого пояса произошло большое количество катастроф. Из них «наибольшую известность» получили землетрясение 536 г. в Сирии и Малой Азии (120 тыс. погибших), Сицилийское землетрясение 1693 г. (60 тыс. человек), Лиссабонская катастрофа (40–70 тыс. человек) (Неймар, 1899, с. 324) и землетрясение в итальянском г. Мессина в 1908 г. (120 тыс. человек).

Для кавказского сегмента этого пояса ранее была получена оценка повторяемости сильнейших в одном месте землетрясений, которая оказалась близкой одному событию в 1000 ± 700 лет (Викулин, 1992б). Отметим, что именно такой силы землетрясения и привели к переносу столицы Армении из Ани сначала в Двин, а затем и в Ереван (Никонов, 1989). Но, к счастью, этого не произошло с Лиссабоном – нашелся такой человек, как Себастьян-Жозе ди Карвалью, маркиз и министр Помбал (1699–1782), который в той непростой ситуации не только посмел перечить португальскому королю, но и в короткий срок смог восстановить столицу (Никонов, 2005; Португалия, 2006а, с. 63, 64, 83; Португалия, 2006б, с. 22, 23) Этот факт можно назвать феноменом не только в португальской (Никонов, 2005), но и в мировой практике.

Примерно такая же по величине оценка повторяемости сильнейших землетрясений следует и из макросейсмических данных для центральной части Альпийского сейсмического пояса: «21.07.365 г. землетрясение в Александрии унесло 50 тыс. жизней и частично разрушило Фаросский маяк, причислявшийся к семи чудесам света. Этот маяк был построен в III в. до н. э., имел 180 м высоты и представлял собою гигантскую мраморную башню, на вершине которой постоянно поддерживался огонь. Впоследствии маяк сильно пострадал от землетрясения 400 г. и был окончательно «добит» землетрясением 1375 г. (т. е. примерно через 1000 лет. – Авт.). От него осталось только название фары» (Вокруг ..., 2005).

Приведенные данные позволяют предположить, что величина повторяемости сейсмических катастроф в одном месте в пределах всего западного сектора субширотного тектонического пояса составляет примерно одно событие в 1000 лет. К этим данным можно добавить то, что характерные сейсмические периоды ΔT с близкой продолжи-

тельностью выявлены при анализе каталогов землетрясений Китая ($\Delta T = 1000$ лет), Кавказа ($\Delta T = 800 - 950$ лет) и Японии ($\Delta T = 1200$ лет) (Викулин, 2003).

Для подтверждения гипотезы о характерном периоде повторения сильнейших катастроф в пределах Альпийского пояса, к западному окончанию которого относится Португалия, требуется проведение дальнейших исследований.

Приведенные на рис. 33, в данные показывают, что сейсмотектонический процесс разрядки накопленных напряжений в очаге Лиссабонского землетрясения, начавшийся 1 ноября 1755 г. около 10 часов утра, продолжался миграционной цепочкой землетрясений в северо-восточном направлении в течение более 150 лет вплоть до начала XX в. (землетрясение 23 апреля 1909 г.). Последние сильные землетрясения в португальском районе произошли в конце XX – начале XXI вв. – это землетрясения 1969 и 2007 гг. Предпоследнее из них имело большую для района магнитуду $M_S = 8$. Его эпицентр располагался вблизи главного толчка, и оно считается уменьшенным аналогом Лиссабонского землетрясения 01.11.1755 г. (Никонов, 2005, с. 28). По-видимому, можно принять, что подготовка следующей катастрофы в португальском районе, которую, как показали приведенные выше данные, можно ожидать в $1755 + 1000 = 2755 \pm 700$ г., уже началась.

Об источниках пожара в Лиссабоне и радиоактивности почвы. Вопрос о причинах быстрого, интенсивного, начавшегося во многих местах и практически одновременно пожара большого города, выгоревшего дотла, остается невыясненным. Действительно, согласно работе (Клячко, 1999, с. 17) «А. Гумбольдт в своем «Космосе» более 100 лет спустя утверждал «со слов очевидцев», что столб огня и дыма вырвался из появившейся в скале Алвидрас, что на краю города, трещины. Более поздний и очень серьезный исследователь этого землетрясения сейсмолог Франсишку Луидж Перейра де Соуза приписывал пожар «радиоактивности почвы». Попытки людей остановить пожар оказались неудачными». В работе (Клячко, 1999) данные о причинах пожара и радиоактивности почвы оцениваются как слухи.

Пожар как одна из основных причин нанесенного землетрясением ущерба, как уже цитировалось выше, рассматривается всеми очевидцами (Клячко, 1999; Неймар, 1899) и исследователями (Болт, 1981; Гир, Шах, 1988; Клячко, 1999; Неймар, 1899; Рихтер, 1963). В свете полученных данных и результатов обследования очаговых областей последних катастрофических землетрясений предположения А. Гумбольта и Ф.Л. Перейра де Соуза, на первый взгляд фантастические, тем не менее находят вполне разумное объяснение. Отметим, что не доверять выводам Ф.Л. Перейра де Соуза, собравшему и проанализировавшему все известные данные о Лиссабонской катастрофе и издавшему их в своем капитальном труде (Никонов, 2005), нет оснований.

Согласно данным, представленным в работе (Войтов, Попов, 1989), состояние проблемы заключается в следующем.

Подземные водогазоносные системы, несмотря на их кажущуюся региональную изолированность, представляют собой единое целое. Следовательно, возникающие в очаге землетрясения в ходе деформации пород трещины, сколы, разрывы неизбежно распространяются на всю систему. Достигнув поверхности Земли, они проявляются в изменении химического состава вод и газов, интенсивности источников глубинных минеральных вод. Это означает, что геохимические и гидродинамические признаки, а такие признаки были установлены и для Лиссабонского землетрясения (Никонов, 2005)), могут являться важной характеристикой происшедшей катастрофы.

Впервые связь между землетрясениями и нарушениями в «работе» глубинных источников отметил еще в 1912 г. основоположник русской сейсмологии Б.Б. Голицын. Тогда же он предсказал неизбежные газовые аномалии и изменения химического состава вод в источниках, связанных с землетрясениями. В.И. Вернадский примерно в то же время, размышляя о газовом обмене земной коры, сформулировал представления о газовых струях, существующих в геодинамически активных областях и несущих к поверх-

ности Земли и в атмосферу газы из глубин. Одним из доказательств этого предположения является радиоактивность приземного слоя атмосферы.

Существенные изменения концентрации газов отмечены в очагах многих сильных землетрясений. При этом в очагах ряда сильных Газлийских землетрясений в составе газа регулярно регистрировался водород, концентрация которого заметно увеличивалась сразу после сейсмических ударов. Зафиксирован и другой эффект – регистрация β -распада короткоживущих продуктов распада радона в зоне глубинного Северо-Ферганского тектонического разлома. Установлено, что радон мог быть вынесен из глубины только потоком других газов. Выявлено содержание радия в воде одной из скважин в зоне Предкопетдагского сейсмогенного разлома.

В очагах Ташкентского землетрясения и его афтершоков также наблюдалось заметное увеличение концентрации радона, которое, как оказалось, коррелирует с изотопным отношением урана (U^{234}/U^{238}) в минеральных водах (Ташкентское ..., 1971, с. 188, 198).

Как отмечалось выше, Лиссабон располагался в пределах очаговой области землетрясения 1755 г. и на его территории при землетрясении образовалось большое количество трещин, в том числе и достаточно глубоких. По образовавшимся трещинам из недр земли в достаточно большом количестве мог поступать горючий газ (например, водород), что может объяснить как появление *многочисленных* очагов возгорания, так и невозможность их тушения и, как следствие, выгорание города дотла. Выходящий из недр газ, как показали приведенные данные, мог выносить с собой и радиоактивные элементы, которые «осели» в породе и которые через 100 лет после землетрясения мог обнаружить Ф.Л. Перейра де Соуз.

Нарисованная картина, в рамках которой объясняются возможные причины длительного площадного пожара в Лиссабоне, подтверждается полученными в последнее время многочисленными данными о существовании большого количества геохимических предвестников Лиссабонской катастрофы. Действительно, в ряде населенных пунктов «задним числом» выявлены предвестниковые изменения температуры изливающихся вод, дебита колодцев, химического состава воды (появление у нее неприятного запаха) и др. (Никонов, 2005, с. 27). Некоторые из этих явлений были отмечены и во время катастрофы 1 ноября 1755 г. (Неймар, 1899, с. 320).

Повороты кафедрального собора в Саламанке. Новый и старый кафедральные соборы Саламанки, находясь рядом друг с другом, дают представление о самых разных архитектурных стилях – от позднего романского (XII–XIII вв.) в старом до готическо-ренессанского в новом, строительство которого, начавшись в 1513 г., продолжалось более двух веков (Испания, 2007).

Новый собор демонстрирует великолепно исполненное каменное кружево фасада и карнизы филигранной работы. В течение многих веков существования нового собора на его фасаде из более чем ста фигурок отвалились и разбились только несколько. На это обратили внимание сразу после землетрясения, случившегося 1 ноября 1755 г., что, несомненно, свидетельствует в пользу следующего утверждения: результатом откола фигурок является именно сейсмический толчок. Больше никаких внешних нарушений на фасаде, других стенах и башнях нового собора в результате землетрясения не возникло.

Внутри нового собора также создается ощущение полного душевного спокойствия и близости чего-то возвышенного, что, среди прочего, достигается «мягкостью» света, проникающего через многочисленные великолепные витражи, которые при землетрясении совершенно не пострадали. Однако по обоим торцам фасадной стены изнутри собора отчетливо видны трещины, протягивающиеся от верхней части стены вниз более на чем 10 метров, что позволяет визуально оценить ширину трещин, составляющую при высоте стены около 30 метров как минимум несколько сантиметров (возможно, до 10 см и более).

Приведенные данные позволяют охарактеризовать интенсивность колебаний в Саламанке при землетрясении 1755 г. как 7–8-балльные по 12-балльной шкале.

В то же время согласно карте сейсмического районирования Саламанка оказывается расположенной в пределах 6-балльной зоны колебаний (Никонов, 2005, с. 28). Выше уже отмечалось, что карта сейсмического районирования сотрясений, вызванных Лиссабонским землетрясением 1755 г., составлена с учетом большого количества фактического макросейсмического материала и является достаточно точным документом. Поэтому значительное расхождение между нашей оценкой и данными детального макросейсмического обследования сразу после землетрясения следует искать в некой «нестандартной» причине.

Такие значительные по величине (ширина трещин), масштабные (длина трещин) и несквозные нарушения торцов фасадной стены нового собора, на наш взгляд, разумно и достаточно просто можно объяснить только одной причиной, а именно: волны, возникшие в результате Лиссабонского землетрясения, в районе Саламанки имели в большей степени крутильную поляризацию, нежели сдвиговую, что и привело к повороту нового собора сначала в одну сторону, потом в другую относительно его фасада. Такой поляризацией волн, очевидно, легко можно объяснить и смещение с наклоном возведенной в 1163 г. башни Петуха старого собора, что можно увидеть на великолепном снимке в работе (Панченко, Семашко, 2006, с. 116). Именно поворотные колебания в совокупности с интенсивными вертикальными толчками могли привести к повреждению ворот кафедрального собора в Лиссабоне при землетрясении.

Задачи, требующие своего решения. В работе получены новые данные о Лиссабонском землетрясении 01.11.1755 г., а именно:

1. Имеющиеся данные о высоте цунами в лиссабонской бухте при катастрофе 1755 г. являются, очевидно, завышенными. Незначительное по высоте (1-2 м) цунами, несомненно, имевшее место, было вызвано скорее всего подводными обвалами, происшедшими в пределах акватории бухты. С целью уточнения возможного сценария цунами в Лиссабоне при последующих землетрясениях необходимо проведение дополнительных исследований.

2. Приведены и проанализированы новые данные о повторяемости катастроф типа Лиссабонской в пределах западного окончания альпийского сейсмотектонического пояса планеты. Сформулировано предположение о значении возможного периода повторения таких катастроф в регионе, равного одному событию в 1000 лет. С целью уточнения сейсмического сценария следующей катастрофы в пределах западного окончания Альпийского тектонического пояса требуется проведение дальнейших детальных исследований.

3. На примере кафедрального собора в Саламанке показано, что одной из возможных причин повреждений зданий и сооружений при Лиссабонском землетрясении могли являться крутильные колебания. С целью уточнения макросейсмического эффекта требуется пересмотреть имеющийся макросейсмический материал по Лиссабонской катастрофе относительно крутильных колебаний, имеющих место в различных пунктах Испании и Португалии.

Макросейсмические эффекты, связанные с крутильными колебаниями, были выявлены после многих землетрясений, происшедших как в «старые» времена, так и совсем недавно (Аносов, Константинова, Делемень, 2004). До настоящего времени существующие нормативные документы не предусматривают возможного учета крутильных колебаний при оценке макросейсмических последствий землетрясений (Дроздюк, 2004). Остановимся на этом важном вопросе подробнее.

Крутильные сейсмические колебания и их регистрация

Генерация крутильных колебаний при землетрясениях подтверждается следующими данными:

1. Наблюдались повороты памятников (рис. 34), повороты отдельных частей зданий относительно друг друга, большие деформации стен и перекрытий от кручения и другие «мистические» движения (рис. 35) (Аносов, Константинова, Делемень, 2004; Дроздюк, 2004; Клячко, 1999).



Рис. 34. Крутильные сейсмические движения, четко зафиксированные на многих кладбищенских памятниках г. Спитак при землетрясении 07.12.1988 г. (Клячко, 1999, с. 161)

2. Имели место повороты протяженных (L) блоков земной коры (рис. 36), в пределах которых располагались очаги сильных землетрясений, например землетрясения 01.09.1923 г. в Канто (Япония), $M = 8,2$, $L = 200$ км (Fujiwhara, Tsujimura, Kusamitsu, 1933).

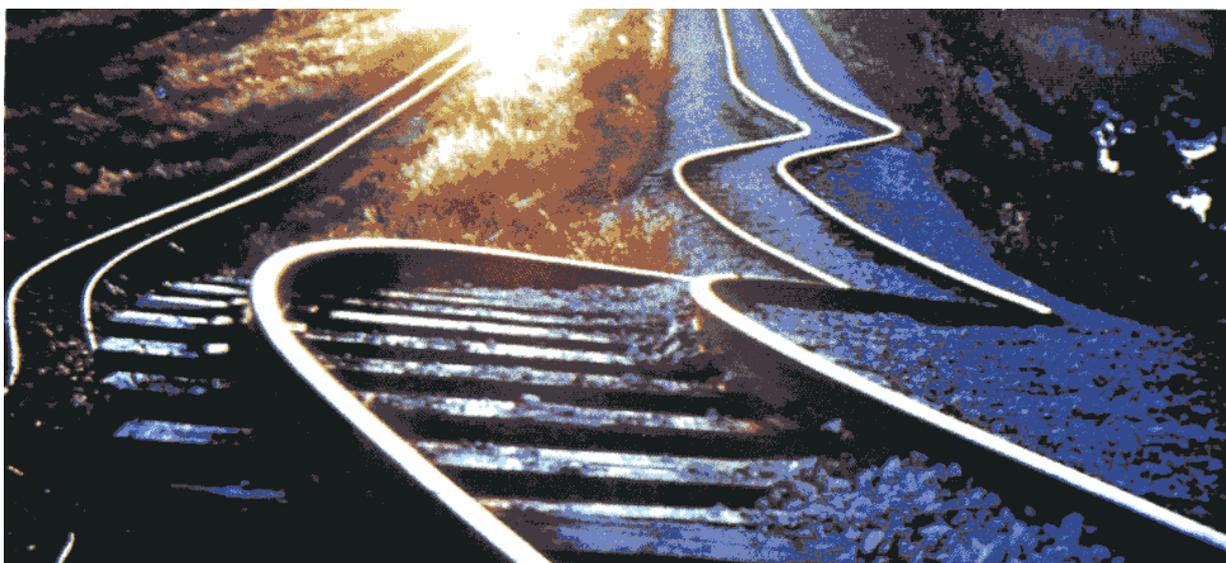


Рис. 35. «Мистика землетрясений» (выражение, принадлежащее известному советскому ученому, инженеру сейсмостойкого строительства Н.Г. Карцивадзе)

3. Наблюдалось распространение из очагов достаточно сильных землетрясений визуально видимых «горбов», или «земляных волн» (Шебалин, 2003), вдоль поверхности Земли – гравитационных сейсмических волн: Япония, 1923, $M = 8,2$ (Matuzawa, 1925); Чили, 1960, $M_w = 9,5$; Мехико, 1985, $M = 8$; Камчатка, 1959, $M = 7,6$.

4. Инструментально зарегистрированы крутильные колебания при землетрясении Chi-Chi (Тайвань, 1999, $M = 6,9$) (Huang, 2001; Takeo, 1998) и развивается их инструментальная регистрация в России (Халчанский, 1998).

В рамках ротационной волновой модели сейсмического процесса (Викулин, 2003) показано, что достаточно сильное землетрясение является результатом взаимодействия блока земной коры – очага землетрясения с тектонической волной кручения.

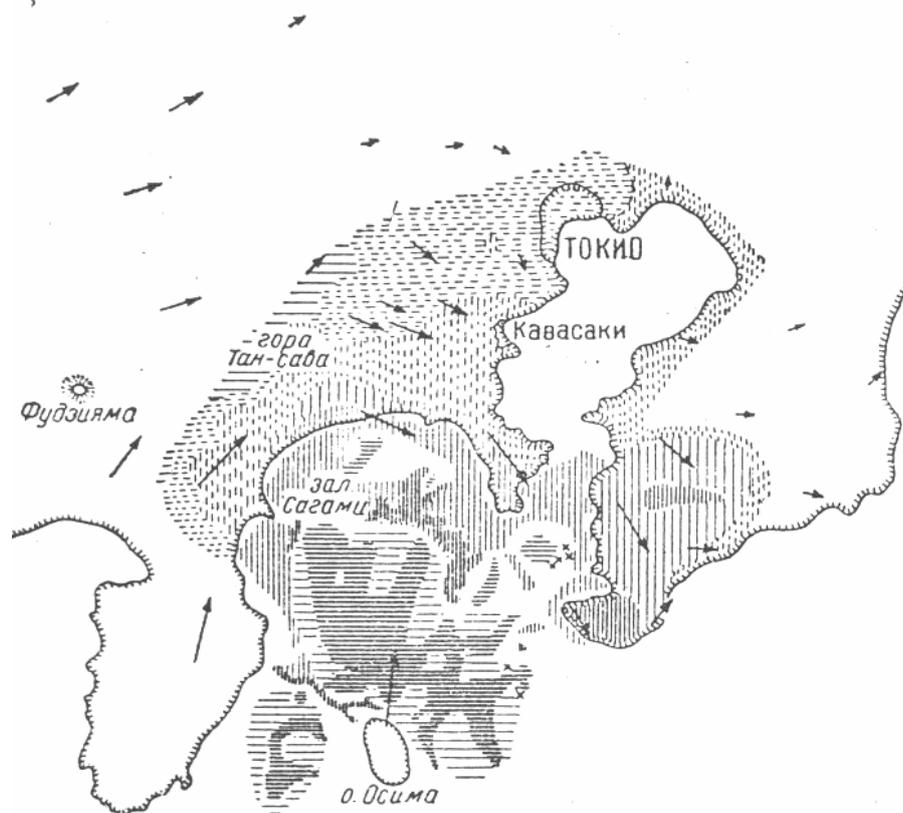


Рис. 36. Вращение земной поверхности вокруг залива Сагами (о. Хонсю, Япония) после катастрофического ($M = 8,2$) токийского землетрясения 1923 г. (вертикальные штрихи обозначают районы поднятия, горизонтальные – районы опускания; направление и величина стрелок в условном масштабе показывают направление и величину перемещения точек) (Fujiwhara, Tsujimura, Kusamitsu, 1933)

При этом в соответствии с данными гл. 3 можно сделать следующие выводы:

- в течение форшоковой стадии происходит разворот поля упругих напряжений вокруг неподвижного блока земной коры до предельного (критического) значения $42^\circ \pm 3^\circ$, что в принципе может являться доказательством отсутствия статистически значимого форшокового сейсмического предвестника;

- само землетрясение и его достаточно сильные афтершоки представляют собой результат «распада» тектонической уединенной волны (солитона) кручения на дисклинацию (круговую дислокацию) и волновые возмущения миграционного типа;

- сейсмический момент по своей сути приобретает естественное обоснование в рамках теории дислокаций: $\mathbf{M} = \mu \mathbf{bS}$, где \mathbf{b} – вектор Бюргерса (подвижки), \mathbf{S} – вектор площади дисклинации, μ – модуль сдвига.

Приведенные экспериментальные и теоретические данные убедительно указывают на то, что дальнейшее изучение физики сейсмического процесса (не только отдельного землетрясения, но и их совокупностей, рассматриваемых в реальном геофизическом пространстве и времени), невозможно без создания сети, способной регистрировать крутильные сейсмические колебания (по сути, тектонические волны), и умения с ее помощью определять параметры таких волн.

«Крутильные» эффекты проявляют себя и в более «медленных», чем сейсмические, тектонических процессах: вращении плит и блоков по геодезическим (рис. 11), светодальномерным (Давыдов, Долгих, Запольский, Копвиллем, 1988) и комплексным геолого-геофизическим данным (рис. 4–7) (Геолого-географический..., 2003; Forsyth, Uyeda, 1975), а также в геологических явлениях: поворотах блоков, плит, платформ и других образований (рис. 36).

Накопление и осмысление данных наблюдательной сети, способной регистрировать крутильные колебания в широком амплитудно-частотном диапазоне, создает хороший фундамент для осмысления с физических позиций эффектов вращения в тектонических и геологических процессах Земли и других планет.

Литература

Аносов Г.И., Константинова Т.Г., Делемень И.Ф. Некоторые сведения о крутильных деформациях при землетрясениях в связи с развитием методов сейсмического микрорайонирования и усиления зданий // Вихри в геологических процессах / Под ред. А.В. Викулина. – Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2004. – С. 246–252.

Артемов В.В. Русские ученые и изобретатели. – М.: Росмэн-Пресс, 2003. – 336 с.

Болт Б. Землетрясения: Общедоступный очерк. – М.: Мир, 1981. – 256 с.

Геологические стихии / Б.А. Болт, У.Л. Хорн, Г.А. Макдоналд, Р.Ф. Скотт. – М.: Мир, 1978. – 440 с.

Везувий. Обманчивый сон великого убийцы // National Geographic. Россия. – 2007. – № 9. – С. 120–137.

Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса // Природа. – 1992а. – № 7. – С. 11–19.

Викулин А.В. О понятии и величине сейсмического риска // Вычислительные технологии. – 1992б. – Т. 1. – № 3. – С. 118–123.

Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. – Петропавловск-Камчатский: КОМСП ГС РАН, 2003. – 150 с.

Викулин А.В. Крутильные сейсмические колебания и их регистрация // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Вып. 3 // Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты: Материалы Всерос. сов., Иркутск, 20–23 сент. 2005 г. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005. – С. 180–181.

Викулин А.В., Викулина С.А. Закономерности размещения очаговых областей сильнейших землетрясений в районе жлоба Нанкай. – Петропавловск-Камчатский: КГС ИФЗ АН СССР, 1989. – 44 с. – Препринт № 5.

Моделирование геодинамических процессов окраины Тихого океана / А.В. Викулин, Г.М. Водинчар, И.В. Мелекесцев и др. // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений: Сб. докл. IV междунар. конф., с. Паратунка Камчатской обл., 14–17 авг. 2007 г. – Петропавловск-Камчатский: ИКИРР ДВО РАН, 2007. – С. 275–280.

К землетрясению без риска / А.В. Викулин, В.Н. Дроздюк, Н.В. Семенец, В.А. Широков. – Петропавловск-Камчатский: СЭТО-СТ, 1997. – 120 с.

Викулин А.В., Мелекесцев И.В. О вероятности и повторяемости 10-балльных землетрясений в Петропавловске-Камчатском // Сейсмология и сейсмостойкое строительство на Дальнем Востоке. – Владивосток: ДальНИИС Госстроя СССР, 1989. – С. 66–67.

Викулин А.В., Мелекесцев И.В. Сейсмичность, вулканизм Тихого океана и вращение планеты // Бумарско геофизично списание. – 1997. – Т. 23. – № 1. – С. 62–68.