

Батыр Каррыев



КАТАСТРОФЫ В ПРИРОДЕ: ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Гипотезы, факты, причины, последствия

Батыр Сеидович Каррыев

Катастрофы в природе: землетрясения

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=17805209

ISBN 9785447460297

Аннотация

Книга о землетрясениях и связанных с ними явлениях природы. Рассказывается о том, почему происходят землетрясения. Приводятся малоизвестные сведения о сейсмических катастрофах прошлого и настоящего. О достижениях сейсмологии и о той роли, которую землетрясения играли и играют в истории человечества.

Содержание

Предисловие	5
Что такое землетрясение?	11
Землетрясения: Цифры и Факты	22
Почему происходят землетрясения?	27
Как изучают землетрясения?	44
Сейсмология: Цифры и Факты	67
Почему столь многочисленны жертвы землетрясений?	76
Конец ознакомительного фрагмента.	86

**Катастрофы в природе:
землетрясения
Гипотезы, факты,
причины, последствия
Батыр Сеидович Каррыев**

© Батыр Сеидович Каррыев, 2016

Создано в интеллектуальной издательской системе Ridero

Предисловие

*Рок кружит по земле, вновь посещая те места,
где давно не был. Некоторые он тревожит чаще,
некоторые – реже, но ни одного не оставляет
невредимым и безопасным навсегда.*

Луций Анней Сенека

Около 4 года до н.э. – 65 н.э.

Мир вокруг нас меняется очень быстро, и уже нет большинства угроз осложнявших жизнь наших предков. С приобретением способности строить жилища и образованием городов дикая природа перестала угрожать человеческой популяции. Однако стены и каменные своды, хорошо спасавшие от непогоды и холода, оказались неспособными противостоять другой природной угрозе – подземным ударам.

Потребовалось многие сотни лет для изобретения способов постройки устойчивых к землетрясениям зданий, однако и в наше время люди продолжают гибнуть под их обломками. Казалось бы, техника и технологии достигли уровня не мыслимого еще сто лет назад.

Мы знаем о природе вещей и силах движущих мирозданье в тысячи раз больше, чем все ученые древности вместе взятые. Тем не менее, наблюдается тревожная тенденция – потери и жертвы стихийных бедствий не уменьшаются, а растут от года к году.

Почему это происходит? Какие факторы влияют на степень защищенности людей и, что необходимо предпринять для уменьшения потерь от стихийных бедствий? Это те вопросы, на которые ищут ответ ученые, и которые все чаще задают себе люди во всём мире.

Способ преодоления всех проблем – применить знание и выбрать верную стратегию их решения. Однако всегда ли достаточно для этого умения, терпения и средств? Важно и то, способно ли то или иное сообщество осознать угрозу и использовать необходимые ресурсы для защиты людей от неё?

Современный мир не только разнолик, он всё ещё различается по уровню знаний, богатства и способам их использования. Одни сообщества с успехом решают вопросы обеспечения безопасности своих членов, в других защита от стихии находится на уровне каменного века.

Начало XXI века принесло ужасающие для цивилизованных государств цифры смертей от стихийных бедствий. Свыше тысячи в США от урагана, десятки тысяч в Иране и Пакистане от землетрясений, сотни тысяч в Юго-Восточной Азии и на Гаити от землетрясений и цунами. Почти не остается сомнений в том, что при сохранении нынешних темпов роста населения и существующей системе предупреждения последствий стихийных бедствий жертвы будут расти.

Об этом, в частности говорится в Докладе генерального секретаря ООН (2015): *«Спустя 25 лет после про-*

возглашения Международного десятилетия по уменьшению опасности стихийных бедствий и спустя 10 лет после одобрения документа „Хиогская рамочная программа действий на 2005—2015 годы: создание потенциала противодействия бедствиям на уровне государств и общин“ Генеральной Ассамблеей глобальный риск бедствий по-прежнему нарастает быстрее, чем сокращается. Экономические потери достигли уровня, составляющего в среднем от 250 до 300 млрд. долл. США в год, что оказывает крайне негативное воздействие на стабильный экономический рост в странах с низким и средним уровнем дохода и подрывает достижения в области развития в уязвимых общинах».

В 2001 году на нашей планете от землетрясений погибло 21436 человек. Сильные землетрясения происходили 65 раз. Было зарегистрировано 82 толчка с магнитудой 6,5 и выше по шкале Рихтера. В 2002—2003 годах повторились землетрясения в Афганистане, Иране и Турции. В иранском городе Бам под развалинами собственных жилищ в 2003 году погибло около сорока тысяч человек, а ущерб составил около миллиарда долларов США.

В 2004 году землетрясение и мегациунами в Юго-восточной Азии принесло смерть более чем двумстам тысячам человек. В 2005 году десятки тысяч человек погибли от землетрясения в Пакистане. В 2008 году землетрясение в Китае унесло жизни пятидесяти тысяч человек. В 2009 году по данным ООН, за последние десять лет было зарегистри-

ровано 3800 стихийных бедствий, в результате которых погибло около 780 тысяч человек, причем 60% всех жертв пришлось на землетрясения.

По данным ООН свыше 89% жертв природных катаклизмов за последние двадцать лет пришлось на страны с низким доходом на душу населения. В первую очередь это связано с качеством управления не позволяющее им в полной мере использовать достижения современной науки и техники для обеспечения безопасности своих граждан. Однако неприемлемые жертвы от стихии несут и государства с передовой экономикой. Это связано со следующим.

На протяжении большей части своей истории люди жили в сельской местности, и вело аграрный образ жизни. Сегодня человечество вступило в период стремительной урбанизации. На месте небольших поселений выросли мегагорода там, где происходили, происходят, и будут происходить сильные землетрясения.

Усложнение городской инфраструктуры, быстрое перемещение людей между городами и странами, всё большая потребность в источниках энергии и т. д. принципиально отличают современное время от прошлых веков. Несмотря на большую защищённость людей стихия начинает угрожать всё большему числу людей на планете. Ещё сто лет назад мировое население составляло около 1,5 миллиардов человек, к 2015 году оно превысило 7,3 миллиарда и обеспечить равные экономические условия жизни для всех, как и равную

защищённость от стихии становится всё сложнее.

Тем не менее, безопасное проживание вполне достижимо, поскольку наука о землетрясениях достигла того уровня, когда ее результаты могут быть применены на практике. Поиск предвестников землетрясений и создание систем их прогноза становится уже не просто актуальной, а жизненно необходимой задачей в густонаселенных регионах и там, где сосредотачивается сегодня потенциал высоких технологий, промышленного и компьютерного производства.

Человеческая цивилизация находится между Сциллой и Харибдой – необходимостью и достаточностью. Они двигают наш мир по пути прогресса, меняя одни угрозы и опасности на другие.

Жизнь с землетрясениями требует нахождения приемлемой черты между затратами на безопасность и риском потерь от них. Борьба с подземной угрозой пока еще не стала общемировой задачей, но уже сейчас можно выделить места, где существуют неприемлемые для всего человечества риски потерь от неё.

Вопросам исследования сейсмической активности планеты, методам противостояния землетрясений и их роли в судьбах людей посвящена эта книга. Она будет полезна всем тем, кто интересуется исследованиями в области наук о Земле.

Батыр Каррыев

Профессор, доктор физико-математических наук

e-mail: mweb2005@mail.ru

<https://sites.google.com/site/seismkantiana>

Что такое землетрясение?

Ради подтверждения моего мнения я мог бы злоупотребить авторитетом многих мужей, которые сообщают, что в Египте никогда не бывало землетрясений. Объясняют же они это тем, что Египет будто бы весь образовался из ила... Однако и в Египте бывают землетрясения, и на Делосе, хоть Вергилий и повелел ему стоять неподвижно...

Луций Анней Сенека

Около 4 года до н.э. – 65 н.э.

Землетрясения представляют собой подземные толчки и колебания земной поверхности. Наиболее опасные из них возникают из-за тектонических смещений и разрывов в земной коре или верхней части мантии Земли. Колебания от них в виде упругих – сейсмических волн передаются на огромные расстояния, а вблизи от очагов землетрясений они становятся причиной разрушения зданий и гибели людей.

Землетрясения и связанные с ними явления изучает специальная наука – сейсмология, которая ведет исследования по следующим основным направлениям.

1. Изучение природы землетрясений, иными словами, ищет ответ на вопрос: почему, как и где они происходят.
2. Применение знаний о землетрясениях для защиты от них путем прогноза возможных в том или ином месте сей-

смических ударов в целях строительства стойких к их воздействию конструкций и сооружений.

3. Изучение строения земных недр и разведка месторождений полезных ископаемых с использованием сейсмических волн от землетрясений и искусственных сейсмических источников.

Сейсмология исследует все явления так или иначе связанные с возникновением землетрясений. Поэтому изучение природы подземных ударов происходит на стыке многих наук – геологии, геофизики, физики, химии, биологии, истории и других.

Благодаря сейсмологии раскрыта тайна строения Земли и установлены главные границы раздела в её недрах – кора, мантия и ядро. Выяснено, что помимо данных об источнике – очагах землетрясений, сейсмические волны несут информацию о среде, через которую они распространяются. Методы сейсмологии используются для исследования строения Луны и Марса.

Сейсмология позволила понять природу землетрясений, разработать новые технологии строительства стойких к подземным ударам сооружений и многое другое. Однако первые шаги этой науки не были легкими. Потребовалось более ста лет, чтобы связать природу землетрясений с возбуждаемыми ими сейсмическими волнами и около пятидесяти лет для получения общего представления о внутреннем устройстве Земли и характере распространения в её недрах сейсмиче-

ских волн.

В XVIII веке Джон Мичелл первым предположил, что землетрясения вызываются прохождением через земную кору упругих волн. Его идея опередила время, подготовив почву для восприятия происходящих в земных недрах процессов на основе опыта. Пытаясь объяснить землетрясения в терминах ньютоновской механики, он проанализировал показания очевидцев, и опубликовал в 1760 году книгу «Предположения о причинах возникновения землетрясений и наблюдения за этим феноменом».

Митчелл совершенно верно заключил, что землетрясения это *«волны, вызванные движением пород, находящихся в милях под поверхностью земли»*. Однако его объяснение этих движений базировалось на неверном утверждении о взрывах пара, возникающих при столкновении подземных вод с подземными же пожарами. Митчелл также сделал абсолютно верный вывод о том, что, когда происходит движение пород под океаническим дном, возникает волна цунами и землетрясение.

Митчелл утверждал, что есть два типа волн, вызывающих землетрясения, и был недалек от истины. Первый из них «треморное» колебание внутри Земли, сопровождающееся волнообразными поднятиями на её поверхности. Из этого Митчелл сделал вывод, что скорость движения волны можно определить по времени ее прибытия к различным точкам на земной поверхности. Он стал первым ученым сделавшим

подобный расчет, хотя и не знал о том, что скорость сейсмических волн варьируется в зависимости от типа горных пород, через которые они проходят.



Джон Мичелл (John Michell), 1724-1793, английский священник, естествоиспытатель и геолог. Будучи одновременно теоретиком и экспериментатором он занимался астрономией, оптикой и гравитацией. Мичелл открыл волновую природу землетрясений, и осуществил ряд оригинальных исследований в области магнетизма и гравитации, предвидел возможность существования чёрных дыр. Он впервые предложил использовать для определения гравитационной постоянной крутильные весы, и построил прототип прибора для измерения массы Земли.

По свидетельствам очевидцев Лиссабонского землетрясения 1755 года Митчел оценил скорость сейсмических волн в 1930 км/ч. Он также предположил, что местоположение центра землетрясения на поверхности земли (то, что сейчас называется эпицентром) можно определить путём сопоставления данных о времени прибытия колебаний в то или иное место. Этот метод стал основой современных способов определения эпицентра, хотя Митчелл использовал неверный приём для расчета эпицентра Лиссабонского землетрясения на основе свидетельств о направлении цунами.

Новый скачок в развитии сейсмологии произошел в середине XIX века благодаря Роберту Маллету. Он в течение двух десятилетий собирал данные об исторических

землетрясениях и проводил натурные эксперименты. Маллет составил каталог мировой сейсмичности состоящий из 6831 землетрясении. По каждому из них приводились дата, местоположение, число толчков, возможное направление, продолжительности колебаний и их последствиях.

В 1858 году для изучения сильного землетрясения Маллет совершил путешествие в Неаполь. Он исследовал вызванные им разрушения и составил первую в мире изосейсмическую карту. Места со схожими разрушениями Маллет соединил линиями, и выделил зону где землетрясение проявилось с наибольшей силой. С некоторыми улучшениями этот метод используется и сегодня для картирования проявлений землетрясений на поверхности земли.

Маллет придавал большое значение направлению падения объектов и типам деформаций в зданиях. Он использовал их как индикаторы характера проявления землетрясения. На самом деле особенности деформации во многом обуславливается не только силой колебаний, но конструкцией здания. Тем не менее, карты Маллета позволяли находить эпицентры землетрясений и сравнивать масштабы разрушений.

Маллет для документирования разрушений использовал новую для своего времени технику фотографии. Доклад о своих исследованиях Маллет подготовил в двух томах для Королевского общества. В 1862 году он опубликовал статью «Великое Неаполитанское землетрясение 1857 года: основ-

ные законы наблюдательной сейсмологии».



Роберт Маллет (Robert Mallet), 1810-1881, ирландский геофизик, инженер-строитель и изобретатель. Он заложил основы современной сейсмологии, за что почётно именуется её отцом. 9 февраля 1846 года Маллет представил в Королевской ирландской академии свой доклад «О динамике землетрясений». Он ввёл в употребление слово «сейсмология» и другие широко употребляемые сегодня термины: изосейсмическая карта, эпицентр и др. Маллет впервые составил Каталог землетрясений Британской империи (1858) и осуществил ряд натуральных экспериментов по исследованию сейсмических волн. В 1854 году Маллет стал членом Королевского общества.

Несмотря на революционное значение идей Маллета почти до конца XIX века торжествовало объяснение землетрясений подземными вулканическими взрывами. Оно было сделано Александром Гумбольдтом. Как и древнегреческий историк и географ Страбон Гумбольдт рассматривал вулканы как предохранительные клапаны Земли и *«...в тех местах, где эти клапаны открыты, там напряжения вулканических сил слабее, нежели там где их нет»*.

Маллет опубликовал карты мировой сейсмической активности, впервые наглядно проиллюстрировавшие тот факт, что землетрясения концентрируются в опоясывающих Землю узких зонах. Объяснение этому факту было найдено только в XX веке.

Череда разрушительных землетрясений конца XIX и начала XX веков способствовала тому, что в странах Евро-

пы, России, США и Японии приступили к систематическим наблюдениям за землетрясениями. Были составлены первые каталоги инструментально зарегистрированных землетрясений, построены карты распределения их очагов. Это позволило установить связь между землетрясениями и трансформацией вещества на поверхности и внутри Земли. Стали понятны причины разрушения зданий, и появилась возможность не интуитивно, а на научной основе возводить инженерные сооружения в сейсмоопасных зонах.

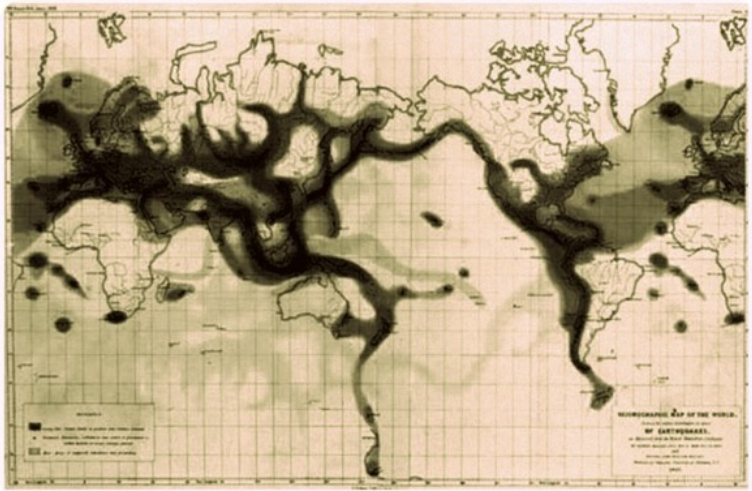
В 1899 году немецкий геофизик, сейсмолог Эмиль Вихерт предположил, что фиксируемые на сейсмограмме продольные P и поперечные S сейсмические волны имеют глубинное происхождение. Иными словами связаны с источниками в недрах Земли. Прошло еще несколько лет, и эта точка зрения получила всеобщее признание. Стала понятна общая картина возбуждения и распространения сейсмических волн в недрах планеты.

В 1906 году Вихерт истолковал промежуточные группы волн на сейсмограмме как отраженные от земной поверхности, а англичанин Диксон Олдхэм (Олгрем) по характеру распространения S -волн предположил существование у планеты внутреннего ядра. Позже оно было подразделено на внешнее «жидкое» и внутреннее «твердое» ядро.

В 1907 году немецкий геофизик и сейсмолог Карл Цепприц доказал, что изучение амплитуд сейсмических волн позволяет судить о внутреннем строении Земли.

В 1909 году хорватский геофизик и сейсмолог Андрей Мохоровичич обнаружил границу между земной корой и лежащей под ней мантией.

В 1913 году прогресс в области геологических исследований и инструментальные сейсмические данные позволили американскому сейсмологу Бено Гуттенбергу сформулировать общее представление о внутреннем строении Земли.



Карта мировой сейсмичности Роберта Маллета, 1854 год.

В 1936 году датский геофизик, сейсмолог и преподаватель Королевского общества в Лондоне Инге Леманн по данным сейсмических станций Екатеринбург и Иркутск оборудованных

дованных сейсмографами Голицына установила существование у планеты внутреннего ядра. Но только спустя пятьдесят лет американскими и французскими учеными доказано, что твердое земное ядро состоит из железа и никеля, а его диаметр составляет 2,4 тысячи километров.

В 2005 году сейсмологи из США и Канады пришли к выводу, что ядро Земли вращается быстрее, чем ее мантия и кора, делая лишний оборот вокруг своей оси примерно раз в тысячу лет.

В 2013 году ученые из Австралийского национального университета обнаружили, что ядро нашей планеты, часто рассинхронизируется с остальными частями Земли и начинает вращаться с большей или меньшей скоростью.

Самый верхний слой земного шара получил название земной коры. Она подразделяется на два основных типа: материковый и океанический. Под земной корой расположена раскалённая мантия толщиной около трех тысяч километров.

В земной коре и мантии температура повышается с глубиной. Из мантии к дневной поверхности поднимается тепловой поток, в несколько тысяч раз меньший, чем поступает от Солнца. Здесь температура недостаточна для полного расплавления ее вещества. Под материками она достигает около 700 градусов по Цельсию.

Ниже мантии залегает земное ядро с радиусом в 3470 километров. В нём температура достигает астрономических величин – до пяти тысяч градусов по Цельсию, а вещество

находится в расплавленном состоянии.

Из-за разных физических свойств материала, из которого состоит земной шар, с глубиной изменяются скорости распространения сейсмических волн. Изучение особенностей прохождения сейсмических волн вызванных землетрясениями и взрывами позволило получить представление о внутреннем строении Земли.



Эмиль Иоганн Вихерт (Johann Emil Wiechert), 1861-1928, немецкий физик, геофизик и сейсмолог. В 1897 году Вихерт установил существование ядра Земли, и был первопроходцем не только в области наук о Земле. Он много сделал для развития инструментальной сейсмологии, физики и геофизики, став основателем целой научной школы. Вихерт внёс значительный вклад в открытие электрона, в физику катодных лучей. Вихерт и Альфред-Мари Лиенаром открыли зависимость потенциалов электромагнитного поля (потенциалы Лиенара-Вихерта).

В сейсмологии многое взаимосвязано. Так, изучая места возникновения землетрясений, ученые выяснили внутреннее строение Земли, а затем то, что ее недра находятся в непрерывном движении. Изучение характера этих движений привело к пониманию процесса трансформации вещества внутри и на поверхности планеты. Это позволило построить модели для объяснения характера протекающих в её недрах физико-химических процессов. В свою очередь они привели к пониманию причин сейсмической активности

планеты.

Сейсмология изучает землетрясения и их связь с процессами, происходящими внутри Земли. Методы и данные сейсмологии используются для исследования её внутреннего строения, производства оценок сейсмической опасности в том или ином месте, поиска месторождений полезных ископаемых.

Значительный вклад в сейсмологию внесли Д. Митчелл, Р. Маллет, Дж. Милн и Х. Джефрис (Великобритания), Б.Б.Голицын (Россия), Э. Вихерт и Б. Гуттенберг (Германия), К. Буллен (Австралия), Ф. Омори, А. Имамура и К. Вадати (Япония), А. Мохоровичич (Югославия), Б. Гуттенберг, Ч. Рихтер (США), Ю. Ризниченко (СССР) и многие другие.

Землетрясения: Цифры и Факты

Самое сильное землетрясение XX века произошло в Чили в 1960 году с магнитудой 9.5 по шкале Канамори (по шкале Рихтера магнитуда 8,3).

Самое смертоносное землетрясение произошло 23 января 1556 года в Китае в провинции Шэньси. Считается, что оно унесло жизни около 830 тысяч человек.

Самое трагическое по последствиям землетрясение XX века произошло в Китае в 1976 году. Оно имело магнитуду 7,8 по шкале Рихтера и, по разным оценкам унесло жизни от 240 до 670 тысяч человек. Экономический ущерб определён в 6 миллиардов долларов США.

Самое трагическое по последствиям землетрясение на территории бывшего СССР произошло в 1948 году в районе Ашхабада (Туркменистан). Оно имело магнитуду 7,3 по шкале Рихтера, и унесло жизни около сорока тысяч человек.

Самое трагическое землетрясение на территории Российской Федерации произошло на Сахалине в поселке Нефтегорск в 1995 году. Оно унесло жизни 2068 человек.

Самое трагическое землетрясение начала XXI века произошло 26 декабря 2004 года в Юго-Восточной Азии. От него и последовавшего за ним цунами погибло около 232 тысячи человек. В их числе оказались несколько ты-

сяч туристов из европейских стран. До него самым кровавым считалось цунами в Японии унесшее в 1896 году жизни 27 тысяч человек.

Самое сильное из вулканических землетрясений на памяти человека произошло в Индонезии при извержении вулкана Кракатау в 1883 году.

Самое сильное обвальное землетрясение произошло в 1974 году, когда со склона хребта Викунаек в Перуанских Андах в долину реки Мантаро с высоты почти двух километров обрушилось 1,5 миллиарда кубометров горной породы.

Самое сильное на памяти человека ударное землетрясение произошло 30 июня 1908 года от падения Тунгусского метеорита. Сейсмические колебания от его взрыва зарегистрировали сейсмографы Иркутска, Ташкента, Тбилиси и Йены.

Самое продолжительное землетрясение произошло в Средиземноморье (Южная Греция) в виде множества сейсмических толчков. Оно началось 29 июля 1870 года и закончилось в августе 1873 года. Произошло 86 тысяч толчков, из которых 300 вызвали разрушения.

Самая смертоносная в истории железнодорожная катастрофа произошла из-за землетрясения 26 декабря 2004 года. Вызванное им мегацунами обрушилась на пассажирский поезд «The Queen of the Sea» шедший из Коломбо в курортный город Галле. Из 1,7 тысяч пассажиров спаслось только несколько десятков человек.

Самое мощное искусственное воздействие на Земле осуществлено при испытаниях в СССР термоядерной бомбы АН602 (Царь-бомба). Мощность взрыва составила от 57 до 58,6 мегатонн в тротиловом эквиваленте. Вызванные им сейсмические волны три раза обогнули земной шар.

Самые мощные зарегистрированные сейсмическими станциями колебания от запуска ракеты вызвал старт «Сатурн-5» осуществлённый по программе американских лунных миссий.

Самый крупный экономический ущерб XX века вызвало землетрясение на Тайване 1999 года – около ста миллиардов долларов США.

Самый большой в мире город XX века с населением почти 26 миллионов человек расположенный в сейсмически опасной зоне – Мехико, столица Мексики.

Самое большое количество землетрясений происходит на глубинах до 70 км от земной поверхности.

Свыше 70% всей энергии землетрясений выделяются сильными землетрясениями с магнитудой от 7 и выше по шкале Рихтера.

Свыше 75% всей энергии выделяемой при землетрясениях на Земле принадлежит поверхностным землетрясениям и только 3% глубоким, т.е. с очагами лежащими ниже 300 км от земной поверхности.

Самые глубокие очаги землетрясений (до 720 км) расположены на территории Индонезии.

Самое большое число (75%) поверхностных землетрясений с глубиной очага до 70 км, 90% землетрясений с глубиной очага до 300 км и все глубокие (начиная с 300 км) возникают в Тихоокеанском тектоническом кольце.

Самое большое число (около 80%) землетрясений происходят на дне океанов и только 20% на материках.

Самое большое число землетрясений (75%) происходит по границам Тихоокеанской литосферной плиты, 22% – в Альпийско-Гималайском сейсмическом поясе и только 3% возникает в пределах срединно-океанических поднятий и во внутренних частях литосферных плит.

Самое большое число человеческих жертв (почти 75%) от землетрясений в мире приходится на Альпийско-Гималайский сейсмический пояс (Афганистан, Индия, Иран, Китай, Пакистан, Турция и т.д.).

Самая большая возможная величина землетрясения по шкале Рихтера равна магнитуде 9. Она ни разу не наблюдалась за всю историю человечества. По шкале Канамори учитывающей сейсмический момент землетрясения максимальная величина магнитуды может быть выше.

Самая минимальная регистрируемая величина землетрясения по энергетической шкале Раутиян равна единице. Это примерно в 10^{19} раз меньше максимально возможной магнитуды землетрясения по шкале Рихтера.

Самое максимально возможное сотрясение от землетрясения на дневной поверхности равно XII баллам по шка-

ле MSK-64. Возможно, такие колебания возникали только на морском дне.

Впервые на памяти современного человечества землетрясение 26 декабря 2004 года у берегов острова Суматра вызвало цунами от которого пострадали страны расположенные на огромных расстояниях друг от друга. От Малайзии на востоке до африканских государств на западе.

Впервые в мире на основании сохранившихся индейских преданий установлен мемориал в память о землетрясении и цунами погубивших тысячи американских индейцев более трехсот лет тому назад. Он расположен в США на отмели Сайлец Бэй в Линкольн Сити штата Орегон.

Почему происходят землетрясения?

Изучающему любой предмет чрезвычайно полезно читать оригинальные мемуары, относящиеся к этой теме, потому что знание усваивается наиболее полно тогда, когда видишь процесс его зарождения.

Джеймс Кларк Максвелл

«Трактат об электричестве и магнетизме» 1873 год

Земля сейсмически активна, но это её фундаментальное свойство, несмотря на всю очевидность землетрясений, за ней было признано далеко не сразу. Для понимания природы землетрясений сначала потребовалось осознать то, что Земля это шар и, следовательно, у неё есть внутреннее строение.

Сразу после открытия шарообразной формы Земли появились сомнения в том, что её недра однородны, и сложены только из видимой на поверхности породы. На это указывала выброшенная при извержениях вулканов магма и астрономические наблюдения. Математика и астрономия помогли оценить общий вес планеты, но тайна её внутреннего строения оставалась неразгаданной до тех пор, пока не появилась новая наука сейсмология.

Благодаря сейсмическим исследованиям было доказано,

что на поверхности и внутри Земли происходит непрерывная трансформация огромных масс материи. Если на самой дневной поверхности она связана с воздействием процессов, порождаемых поступающей на Землю энергией солнечного излучения, то глубинные трансформации и движения связаны с энергией внутренних источников. Оказалось, что Земля полна движений, от медленных вековых смещений огромных масс суши и морского дна – брандисейсмических, и происходящих при землетрясениях, быстрых – сейсмических. Они воздействуют на земную кору, и вызывают непрерывные вертикальные и горизонтальные смещения отдельных ее участков и блоков. Это явление получило название тектонического процесса.

Под воздействием глубинных процессов и внешних воздействий в течение миллионов и миллиардов лет формируется рельеф дневной поверхности, происходит кругооборот вещества. Осадочные породы опускаются в земные недра, где преобразуются в магму, и вновь поднимаются тектоническими процессами на поверхность.

Недра планеты под воздействием внутренних и внешних факторов постоянно накапливают и растрачивают механическую энергию. Значительная часть этой энергии теряется при землетрясениях. Их роль в этом огромна. Сейсмическая машина Земли «вырабатывает» около 5×10^{19} Дж ежегодно. Сами же колебания дневной поверхности, как доказал в XVIII веке Джон Митчелл, являются результатом прохож-

дения через земные недра упругих волн возникающих в момент разрыва сплошности горных пород в очагах землетрясений.

Земля в цифрах

Земля	Радиус - 6370 км Масса - 5976×10^{21} кг Объем - $1083,4 \times 10^{18}$ м ³ Поверхность - 510, 2 млн. км ²
Мировой океан (гидросфера)	70,8% поверхности Земли
Суша	29,2% поверхности Земли
Австралия	8,89 млн. км ²
Антарктида	13,97 млн. км ²
Африка	30,3 млн. км ²
Евразия	53,45 млн. км ²
Северная Америка	24,25 млн. км ²
Южная Америка	18,28 млн. км ²
Горы	36% площади суши
Подводная окраина материков	14% поверхности Земли
Ложе океанов	40% поверхности Земли
Срединно-океанические хребты	Около 10% поверхности Земли

Одним из крупных достижений современной науки, позволивших понять магматические процессы и землетрясения, является создание теории тектоники плит, Она стала основой для понимания целого ряда геофизических и геологических явлений – от магнитного поля планеты до дрейфа континентов.

Ещё в XVII веке совпадение очертаний береговых линий западного побережья Африки и восточного побережья Южной Америки наводило на мысль о том, что континенты перемещаются. В 1620 году английский философ Франсис Бэкон в книге «Новый Органон» первым обратил внима-

ние на поразительное сходство береговой линии континентов по разные стороны Атлантики.

В 1858 году итальянский географ Антонио Снидер-Пеллегрини соединил пять континентов. Он предположил, что Америка есть не что иное, как легендарная Атлантида, отколовшаяся от Африки и Европы.

В 1912 году метеоролог приват-доцент Марбургского университета Альфред Лотар Вегенер выдвинул гипотезу континентального дрейфа. Он опубликовал в журнале «Геологиче Рундшау» статью, а затем книгу «Возникновение материков и океанов». В них Вегенер привел аргументы в пользу того, что в далёком прошлом существующие континенты были одной структурой. Его теория была настолько революционной, что её сразу отвергло научное сообщество.

Только в 1960-х годах идея о движениях в твёрдой оболочке Земли – мобилизм снова возродилась. Благодаря исследованиям рельефа и геологии океанического дна было доказано существование процессов расширения (спрединга) океанической коры и пододвигания одних частей коры под другие (субдукции). В 1958 году Кэри, в 1965 году Буллард (1965) и Ле Пишон (1977) с научных позиций обосновали тектонику плит.



Альфред Лотар Вегенер (Alfred Lothar Wegener), 1880–1930, немецкий геофизик и метеоролог, создатель теории дрейфа материков. Профессор университета в Граце (1924). В январе 1912 года он представил свою теорию дрейфа континентов. В ней континенты являются независимыми плато, лёгкими по сравнению с более глубокими слоями земной коры. Из-за этого они способны как «льдины» дрейфовать по земной коре. С течением времени континенты меняют своё положение. В его честь назван Институт полярных и морских исследований в Бремерхафене (Германия) и вулканические кратеры на Луне, Марсе и Плуtone.

К концу XX века было инструментально доказано, что скорость перемещения плит достигает десяти сантиметров в год. Казалось бы, это немного, но если учесть что горизонтальный размер одной плиты порядка одной тысячи километров то «время её жизни» составит десять миллионов лет. Иными словами, вся история человечества не сопоставима с временным масштабом тектонических процессов протекающих на Земле.

Геологические изыскания и теоретические расчеты показали, что с периодом в 500 – 600 миллионов лет блоки континентальной коры собираются в единый суперконтинент. Примерно 530 – 750 миллионов лет назад вокруг Южного полюса существовал суперконтинент Гондвана. Он состоял из современных материков: Африки, Южной Америки, Антарктиды, Австралии и субконтинента Индии. Суперконтиненты существовали и в более отдаленные времена. Например, суперконтинент Родиния распался 750 миллионов лет

назад.

После резкого движения на север в эпоху каменноугольного периода около 360 миллионов лет назад Гондвана соединилась с североамериканско-скандинавским материком, образовав гигантский протоконтинент Пангея. Примерно 180 миллионов лет назад, в юрский период, он раскололся на Гондвану и северный континент Лавразию.

Еще 30 миллионов лет спустя Гондвана начала распадаться и образовались современные континенты: Евразия, Южная и Северная Америки, Африка, Австралия и Антарктида. В результате давления Африки на Европу возникли Альпы, а столкновение Индии и Азии создало Гималаи.

В будущем континенты соберутся в суперконтинент с названием Последняя Пангея или Пангея Ультима. Пангея Ультима будет на 90% покрыта пустынями, а на северо-западе и юго-востоке суперконтинента расположатся большие горные цепи. С этой теорией пересекается теория об Амазии – континенте из Евразии и Северной Америки, который станет ядром будущего суперконтинента.

Благодаря тектоническому процессу в недрах Земли непрерывно накапливаются механические напряжения. В момент превышения ими прочности горных пород происходят быстрые тектонические подвижки вещества вызывающие на поверхности земли землетрясения. Они наиболее контрастны по границам тектонических плит. Происходящий здесь процесс накопления и сброса напряжений обу-

славливают их сейсмическую активность. Отсюда стала ясна закономерность, отмеченная ещё Маллетом. Землетрясения группируются в определенных зонах, т.н. сейсмических поясах, соответствующих границам крупных тектонических плит.

Смещение массивов вещества в земных недрах при сильных землетрясениях составляет всего несколько сантиметров. Однако при резком перемещении миллиардов тонн породы даже на такое небольшое расстояние выделяется огромная энергия. Часть ее идет на генерацию упругих волн вызывающих на поверхности сейсмические удары, другая на различные физико-химические процессы. Вблизи от места подвижки – очага землетрясения сейсмическое воздействие наиболее велико и земная поверхность деформируется. Если на ней расположены непрочные сооружения они могут быть повреждены или разрушены.

Точку, в которой начинается подвижка в земных недрах, принято называть фокусом или гипоцентром землетрясения. Её проекция на земную поверхность называется эпицентром, а кратчайшее расстояние между гипоцентром и дневной поверхностью принимается за глубину положения очага землетрясения. Область проявления наиболее сильных колебаний именуется эпицентральной зоной. Её размеры определяются глубиной положения очага и энергией землетрясения.

Землетрясения отличаются между собой по объему во-

влеченных в движение массивов породы, глубине очага и местонахождению на карте. Чтобы отличать землетрясения друг от друга используются различные косвенные способы измерения их энергии. Это понятно, ведь непосредственно измерить выделившуюся при землетрясении энергию вряд ли когда-нибудь удастся. Поэтому используются полученные по характеристикам зарегистрированных от них сейсмических волн оценки. Широко распространены магнитудные шкалы (слово магнитуда произошло от латинского «magnitudo» т.е. величина). Они основаны на измерении энергии излученных очагом землетрясения сейсмических волн с учётом расстояния до него и типа.

В 1935 году Чарльз Рихтер для сравнения землетрясений по их энергии предложил безразмерную логарифмическую шкалу известную как «Шкала Рихтера». За нулевую точку отсчета в ней принята энергия, необходимая для подъема груза весом десять тонн на высоту в один метр (10000 кг/м).

По шкале Рихтера землетрясения могут иметь магнитуды (обозначается латинской буквой «M») от 1 до 9. Значение магнитуд принято записывать арабскими цифрами. Магнитуда характеризует величину выделенной в очаге землетрясения энергии. Она не зависит от глубины положения его очага или расстояния до сейсмической станции.



Чарльз Френсис Рихтер (Charles Francis Richter), 1900-1985, американский сейсмолог. Он написал два учебника, изложенные простым и доступным языком. Они не потеряли свою актуальность и в XXI веке, по ним до сих пор занимаются студенты университетов. В 1928 году Рихтер поступил в докторантуру сейсмологической лаборатории Калтехске. Здесь он стал профессором по сейсмологии. Свою шкалу (шкалу Рихтера) он теоретически обосновал совместно с американским сейсмологом Бено Гуттенбергом в 1941 - 1945 годах. В 1958 году Рихтер опубликовал книгу "Элементарная сейсмология".

Во время землетрясений выделяется колоссальная энергия. Например, энергия землетрясения в Перу 1970 года была равна всему потреблению электроэнергии в США за сутки. Землетрясение с $M = 5$ выделяет 10^{19} эрг, с $M = 7 - 10^{22}$ эрг, а гипотетическое с $M = 9$ уже 10^{25} эрг. Иными словами, сейсмическая энергия землетрясения с $M = 7$ в тысячу раз больше, чем у землетрясения с $M = 5$, а с $M = 9$ уже в миллион.

Магнитуда Токийского катастрофического землетрясения 1923 года по шкале Рихтера составила 8.3. Катастрофического Ашхабадского 1948 года 7.3. Чилийского мегалоземлетрясения 1960 года 8.5 (по шкале Канамори 9,5). Сильного Ташкентского 1966 года 5.6. Катастрофического Спитакского 1978 года 7.0. Сильного землетрясения в Грузии 1991 года 7.2. Поскольку энергия и глубина очагов этих землетрясений различались, то и вызванные ими на поверхно-

сти сотрясения были разной интенсивности. Отсюда и разница в субъективных определениях – от сильного до катастрофического.



Магнитуда по шкале Рихтера и энергия землетрясений.

Интенсивность воздействия на земную поверхность, обозначается латинской буквой «I», определяется с использованием т.н. макросейсмических шкал. До появления инструментов для записи сейсмических колебаний они применялись для оценки силы проявления землетрясения, но не давали представления о его энергии. Используются они и сейчас, поскольку оказались необходимы для определения необходимой сейсмостойкости инженерных сооружений. Правда, в расчетах уже используются ожидаемые или проявившиеся на земной поверхности ускорения.

В России применяется двенадцати балльная макросейсмическая шкала MSK-64 (см. Приложение). По ней сотрясения поверхности называют неощутимыми при интенсивности до III баллов, ощутимыми, если они превышают III балла, сильными до VII баллов, разрушительными при VII – VIII баллах и катастрофическими начиная с IX и выше.

В странах Европы используется созданная в 1902 году шкала MM (Меркалли-Канкани) и принятая в 1998 году шкала EMS-98. В США используется модифицированный Вудом и Ньюэном в 1931 году вариант шкалы MM. В странах Латинской Америки разработанная в 1883 году десятибалльная шкала РФ (Росси-Фореля). В Японии используется собственная семибалльная шкала интенсивностей. В отличие от магнитуды интенсивность колебаний в том или ином месте зависит от глубины очага и расстояния до места возникновения землетрясения.

Чтобы не путать шкалы магнитуд со шкалами интенсивности используются различное их цифровое обозначение. Так безразмерная величина магнитуды записывается арабскими цифрами: 1, 2, 3 и т.д., а интенсивность римскими: I, II, III и т. д. в баллах. Эту разницу не всегда различают в масс-медиа ошибочно сообщающих о землетрясениях «силой 9 и более баллов по шкале Рихтера» или что то или иное сооружение «выдержит землетрясение магнитудой в 7 баллов». Что является полным абсурдом.

По шкале Рихтера максимально возможная магнитуда

не может превышать 9, а слово «баллы» не употребляются, поскольку магнитуда это безразмерный параметр. При увеличении магнитуды землетрясения на единицу его энергия возрастает примерно в 32 раза, тогда как амплитуда колебаний земной поверхности с увеличением на единицу в десять раз.

Все шкалы интенсивностей изначально основывались на силе воздействия сейсмических колебаний на легко различимые объекты, такие как здания, грунт, людей и т. д. Во времена, когда они создавались, инструментов для регистрации сейсмических колебаний ещё не было. Поэтому в зависимости от национальной специфики они разные в каждой стране. Например, в Австралии одну из степеней сотрясений сравнивают с тем *«как лошадь трется о столб»*, в Европе схожий сейсмический эффект описывается *«когда начинают звонить колокола»*, а в Японии подобной силы сотрясение сравнивают с *«опрокинутым каменным фонариком»*.

Существует закономерность – чем больше расстояние до очага, тем слабее сейсмические колебания. Примерно так, как мы ощущаем свет от электрической лампы – освещённость всегда больше прямо под ней и, чем дальше мы от нее, тем освещённость слабее при одной и той же мощности источника света.



Так, очаг Ашхабадского землетрясения 1948 года с $M = 7,3$ располагался на глубине 12—25 км, и вызвал прямо над собой сотрясения в IX – X баллов по шкале MSK-64. Почти равное ему по энергии землетрясение в Грузии 1991 года, но с очагом на глубине 35 км, вызвало сотрясения над ним около VIII баллов.

В 1964 году советским сейсмологом Татьяной Раутян разработана логарифмическая шкала для измерения энергии землетрясений в джоулях. Это позволило изучать слабые землетрясения, энергия которых не могла быть оценена по шкале магнитуд.

Сейсмические колебания земной поверхности могут вызываться и другими причинами: вулканической деятельностью, обрушениями породы в карстах или со склонов гор. Человеческая деятельность добавила к этому списку новый источник. Из-за разработки месторождений полезных ископаемых, сооружения водохранилищ, при проведении инженерных работ или взрывов (обычных – химических и ядерных) происходят техногенные (антропогенные землетрясения). Тем не менее, наиболее опасные для человека подземные удары имеют тектоническую природу.

После землетрясения или как говорят сейсмологи главного удара, в его окрестностях всегда возникают более слабые толчки. Их принято называть афтершоками землетрясения. Они могут происходить в течение месяцев и нескольких лет после основного толчка. Афтершоковая активность свидетельствуют о том, что выведенный из состояния равновесия объем горной породы постепенно приходит в состояние равновесия. При этом, чем сильнее землетрясение, тем больше афтершоков и объем среды где они возникают.

Иногда в районе будущего землетрясения и незадолго до него возникают землетрясения с меньшей, чем у главного удара энергией. Их называют форшоками землетрясения. Форшоки или форшок могут возникнуть за месяцы, дни, часы и минуты до главного удара. Их природа связана с происходящей перед землетрясением перестройкой в земных недрах. К примеру «неожиданное» Калининградское землетря-

сение 2004 года сопровождалось сильным форшоком случившимся почти за два часа до него.

К сожалению, форшоки возникают не всегда, также как и не всегда на фоне других неощутимых человеком толчков удается однозначно определить, что это именно форшок грядущего землетрясения. Если бы природа следовала форшоковой закономерности, то прогноз разрушительных землетрясений значительно бы упростился. Тем не менее, факт существования форшоков говорит о возможности поиска других предвещающих сильные землетрясения природных явлений.

В зависимости от энергии землетрясений они условно подразделяются на сильные, слабые и микроземлетрясения. Термины «разрушительное» или «катастрофическое» используется по отношению к землетрясению любой энергии и природы, если оно сопровождалось разрушениями и гибелью людей.

Когда переходят к описанию не одного, а групп землетрясений, происходящих как на земном шаре, так и в пределах локальных зон используются статистические методы анализа. Соответственно, здесь изучается не одно землетрясение, а процесс формирующий последовательность подземных ударов в пространстве и времени. Это достаточно важное направление сейсмологии, поскольку позволяет косвенно оценить потенциальную опасность той или иной местности по коротким сериям наблюдений. Здесь прослеживается

определённая закономерность – чем больше энергия землетрясения, тем реже оно происходит.

Также бытует ошибочное мнение, что чем больше происходит слабых – неощутимых землетрясений в том или ином месте, тем меньше вероятность возникновения сильного землетрясения. Слабые, как бы «рассеивают тектоническую энергию» необходимую для производства сильного землетрясения.

К сожалению это не так, а совершенно наоборот. Там где высокая микросейсмическая активность, как правило, в недрах земли скрывается очаг сильного землетрясения. Наблюдения за слабыми землетрясениями позволяют выявить опасную, т.н. сейсмогенную зону и заблаговременно принять меры по предупреждению последствий возможного сильного землетрясения.

Никто не знает точно, сколько землетрясений на самом деле происходит на Земле. Сейсмические толчки с магнитудой около 5 и выше, где бы они ни происходили, регистрируются сейсмическими станциями. Более слабые землетрясения не останутся незамеченными в США, Европе или Англии благодаря высокочувствительным сейсмическим пунктам наблюдения. Но сколько землетрясений происходит в Африке или Афганистане, на дне морей и океанов, на огромных просторах России или в новых государствах Центральной Азии? Это и сегодня остаётся неизвестным.

Современная наука располагает приборами для изучения

подземных ударов. Они были созданы не за один год, и даже не за одно столетие. Регистрирующие сейсмические колебания приборы непрерывно совершенствуются, а сейсмических станций становится всё больше. Появление цифровых технологий и телекоммуникаций позволило открыть новую страницу в науке о землетрясениях.

Как изучают землетрясения?

Окружающий нас мир полон всевозможных колебаний вызываемых различными причинами – от землетрясений до деятельности человека. В своей структуре они несут информацию о своём источнике и среде, через которую распространяются. Благодаря расшифровке сейсмических записей можно определить характер тектонических движений в очагах землетрясений. В свою очередь установление причин этих движений позволяет оценить уровень сейсмической опасности. Если же задаться целью поиска месторождений полезных ископаемых, то сейсмические волны лучший инструмент для этого.

Изучение землетрясений стало возможным благодаря изобретению приборов для регистрации сейсмических колебаний. Первый такой прибор – сейсмоскоп изобретен в 132 году китайским астрономом Чжан Хэном. Он представлял собой бронзовый сосуд диаметром около двух метров, на внешних стенках которого располагались восемь голов дракона. В их подвижных челюстях крепились металлические шарики, а внутри сосуда находился маятник с тягами, каждая из которых прикреплялась к челюстям дракона.

При возникновении колебаний маятник приходил в движение и тяга, соединенная с обращенной в сторону, откуда пришли колебания головой, открывала её пасть. Шар из го-

ловы дракона падал в рот одной из восьми жаб, восседавших у основания сосуда. Прибор Чжан Хэна не записывал сейсмические колебания, а позволял лишь обнаруживать факт землетрясения и определять примерное направление на него.

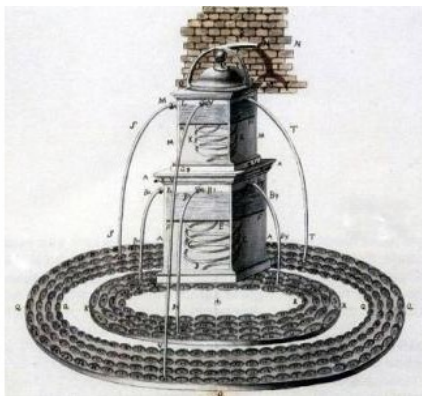


Модель сейсмоскопа Чжан Хэна на выставке в Окленде (Wikipedia, Kowloonese, GNU FDR).

Благодаря прибору в столице Китая того времени Луяне о разрушительном землетрясении 134 года, произошедшего в уезде Лунси (600 километров к северу от города), узнали на два-три дня раньше прибытия оттуда гонцов. С этих пор за показаниями прибора наблюдал специальный служащий

в течение последующих почти четырёх столетий.

В Европе приборы для регистрации землетрясений появляются лишь в начале XVIII века. В 1703 году во Франции Отфёй изобретает сейсмоскоп. Он представлял собой наполненный ртутью сосуд с восемью радиально расположенными отверстиями. Сейсмический толчок выплескивал из одного из отверстий ртуть, и по ее количеству можно было оценить силу колебаний. Схожее устройство в 1787 году построил итальянец Атанасио Ковалли.



Прибор для обнаружения землетрясений Атанасия Ковалли, 1787 год (из архива автора).

В конце XIX века изобретаются первые приборы для записи сейсмических колебаний в виде временной диаграммы. Их главной частью был вертикальный или горизонтальный

маятник. Поскольку из-за инерции тело маятника стремится сохранить состояние покоя то, прикрепив к маятнику иглу или перо, можно записать траекторию его движений относительно закрепленного на грунте основания.

Для большей чувствительности маятники первых сейсмографов делались очень тяжелыми весом в сотни килограмм. Так, на сейсмической станции в Геттингене использовался вертикальный сейсмограф Вихерта с маятником более одной тонны. Он позволял увеличивать, т.е. во сколько раз мог усиливать сейсмические колебания, в две тысячи раз. Отметим, современные приборы обладают увеличением в миллионы, и способны записывать очень слабые колебания почвы.

В Страсбурге механик Роберт Бош приступил к постройке сейсмографов, идея которых была предложена японским сейсмологом и вулканологом Фусакити Омори. Созданные Бошем приборы устанавливались почти на всех сейсмических станциях Европы. На другой стороне Ла-Манша – в Англии, на станциях устанавливались приборы системы Джона Мильна.



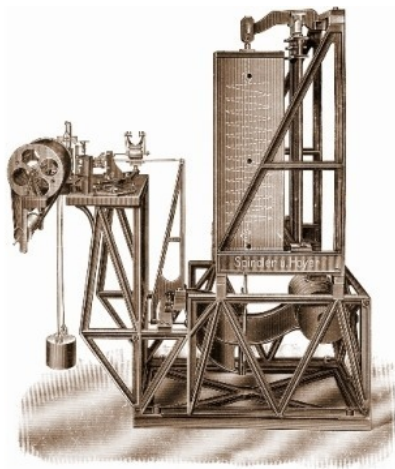
Прибор для фиксации землетрясений Николы Кассиотто-ры, 1818 год (из архива автора).

Многие приборы прошлого стали музейными экспонатами. Это сейсмографы систем Вихерта, Майника, Цельнера и Шлютера. Сейсмометры системы Голицына, Кирноса, УАР, УСФ, ВЭГИК, СМ-3 и С5С. Сейсмоскопы с механической записью (МТР), сейсмоскоп Медведева (СБМ) с записью на закопченную стеклянную пластину и многие другие. Они носили имена своих создателей, которые были не только изобретателями инструментов, но и первопроходцами в изучении землетрясений.



Фусакичи Омори (Fusakichi Omori), 1868-1923, японский сейсмолог и вулканолог. С 1897 года возглавил кафедру сейсмологии в Токийском университете. С 1892 года член Национального комитета по исследованию землетрясений в Японии, а с 1917 года - президент этого комитета. Омори один из создателей сейсмологии как точной науки. Им создан горизонтальный маятниковый сейсмограф, установлена зависимость между разностью главных фаз землетрясения и эпицентральной расстоянием. В 1900 году Омори разработал статическую теорию сейсмостойкости.

Самой лучшей системой начала XX века для записи сейсмических колебаний стала гальванометрическая с фотографической регистрацией. Она была изобретена одним из основоположников сейсмологии академиком Борис Борисовичем Голицыным. Это был выдающийся ученый и экспериментатор. Автор многих теоретических и экспериментальных работ по физике, геофизике, сейсмологии и метеорологии Голицын не только организовал первую сейсмическую сеть России, но стоял и у истоков создания ее метеорологической службы.



Сейсмограф Вихерта для записи сейсмических колебаний (из архива автора).

Создано много типов приборов для регистрации колебаний почвы и все они используют принцип инерции – свойства физического тела сохранять первоначальное состояние покоя или равномерного движения. Различаются только способы преобразования механических колебаний в удобную для анализа форму. Это механическая запись на закопченную бумагу или стекло. Гальванометрическая запись на фотобумагу или фотопленку. Электронная запись на магнитные носители информации. Значительный прогресс в изучение землетрясений внесли цифровые технологии позволившие обрабатывать сейсмические данные почти в реальном

масштабе времени.

Повышение точности приборов позволило изучить тонкую структуру колебаний вызванных землетрясениями – сейсмограмм. Оказалось, что в них присутствуют колебания различного типа – фаз волн, которые отличаются по частоте и амплитуде. Основные фазы колебаний получили название Р, S и L – это первые вступления объёмных продольных, поперечных и поверхностных волн.



Борис Борисович Голицын (1862-1916), русский физик и сейсмолог, академик Петербургской Академии наук (1908) и член Королевского лондонского общества. В 1892 году начал преподавать в Московском университете, опубликовал много работ по физике, геофизике, метеорологии и сейсмологии. В 1906 году он изобрёл первую в мире электромагнитную систему для регистрации землетрясений. В 1910 году Голицын получил диплом почетного доктора Манчестерского университета. В 1911 году он был избран президентом международной сейсмологической ассоциации.

Продольные волны (Р-волны) или волны сжатия заставляют частицы среды колебаться подобно спиральной пружине. Они вызывают колебания вдоль направления распространения волны, путем чередования участков сжатия и разрежения. Благодаря этому свойству Р-волны способны распространяться почти в любых средах. У дневной поверхности в среднем скорость Р-волн составляет 6 км/с, а на большой глубине около 13 км/с.

Поперечные сейсмические волны (S-волны) или волны сдвига заставляют частицы среды колебаться перпендикулярно направлению распространения волны (подобно вибрирующей гитарной струне). S-волны распространяются только через обладающий упругостью материал, поэтому они не в состоянии проходить через «жидкое» внешнее ядро Земли, жидкие и газообразные среды. Их скорость зависит от сопротивления материала среды сдвигу, и составляет примерно $7/12$ от скорости P-волн.

Из-за неоднородности недр на сейсмограмме отражается широкий спектр сейсмических волн разного типа. Помимо P и S волн к основным относятся т.н. поверхностные волны Рэлея и Лява (R и L). Они названы по именам ученых разработавших математическую теорию их распространения.

При прохождении волн Рэлея частицы среды описывают вертикальные эллипсы вдоль направления распространения. В поверхностных волнах Лява частицы среды колеблются перпендикулярно направлению своего распространения. Эти типы волн распространяются по земной поверхности подобно волнам в водоемах со скоростью $3,2 - 4,4$ км/с.



Джон Уильям Стретт, третий барон Рэлей, Лорд Рэлей (John Strutt, 3rd Baron Rayleigh), 1842-1919, английский физик, открывший с Уильямом Рамзаем газ аргон и получивший за это Нобелевскую премию по физике в 1904 году. Он открыл т.н. называемое рассеянием Рэля и предсказал существование поверхностных волн, которые стали называться волнами Рэля. Его основными научными интересами была теория колебаний и ее приложения в самых разных областях физики - акустике, оптике, электричестве и других. Рэлей член Лондонского королевского общества и был его президентом с 1905 по 1908 год.

Из-за того, что Р-волны вблизи от очага землетрясения имеют большую скорость, чем S-волны они регистрируются первыми, отсюда их наименование «Primary». Поперечные S-волны распространяются с меньшей скоростью и приходят следом за Р-волнами. Соответственно их назвали вторичными волнами «Secondary». Чем дальше от очага землетрясения расположена сейсмическая станция, тем больший интервал времени между моментами вступления на сейсмограмме Р и S волн. Это свойство используется для определения дистанции от станции до очага землетрясения.

На больших удалениях от источника волновая картина значительно меняется из-за неоднородности земных недр. Для её расшифровки в этом случае используются специальные годографы времён пробега типов волн. Один из первых широко использовавшихся годографов получил название по имени его создателей англичанина Сэра Гарольда Джеффриса и австралийца Кита Эдварда Буллена. Буллен

также построил одну из первых сейсмических моделей внутреннего строения Земли.



Сэр Гарольд Джеффрис (Sir Harold Jeffreys, 1891-1989, английский математик, статистик, геофизик и астроном. Его основные работы посвящены изучению строения, движения и эволюции Земли, а также вопросам происхождения Солнечной системы. Джеффрис составил кривую времени пробега сейсмических волн применяемую для определения эпицентров удаленных очагов землетрясений. Он автор фундаментальной монографии «Земля: ее происхождение, история и строение». Ему принадлежат работы по применению теории вероятностей к анализу астрономических наблюдений. В 1953 Джеффрис был возведен в рыцарское достоинство.

Сейсмические волны проходят внутри земного шара в местах недоступных для прямых измерений. Все, что они встречают на пути, формирует их структуру, и отражается на сейсмограммах. Их анализ позволяет получить представление о том, как распространялись сейсмические волны и изучать строение земных недр.

Интересен сам по себе факт открытия сейсмических волн. Теоретически существование в твердых телах объёмных P и S волн предсказано в 1829 году Пуассоном, но до 1900 года сейсмологам не удавалось их однозначно распознавать на сейсмограммах. Многие исследователи принимали поверхностные волны Релея за вступления S-волн и приходили к ошибочным результатам.

Проблема была решена в 1899 году Ричардом Диксоном

Олдхэмом сумевшего в записях Ассамского землетрясения 1897 года выделить истинные вступления S-волн. Это позволило уже к 1914 году составить общую картину строения планеты и её скоростного разреза. Выдающийся вклад в решение этой задачи внесли такие ученые как Олгрем, Цепринтц, Мохорович, Гуттенберг, Вихерт, Джеффрис, Буллен, Лапвуд и другие.

Джеффрис одним из первых рассчитал кривую времен пробега сейсмических волн (годограф) в зависимости от строения Земли. Это позволило по записям колебаний на сейсмограмме точно определять место и время возникновения землетрясений. Для этого было достаточно измерить моменты вступления P и S волн на станции и по интервалу времени между ними с использованием годографа рассчитать дистанцию (эпицентральное расстояние) между станцией, где получена запись и эпицентром землетрясения. Сопоставляя полученные расстояния по нескольким станциями можно точно определить место и время возникновения землетрясения или, как его называют сейсмологи время в очаге (t_0).



Кит Эдвард Буллен (Keith Edward Bullen), 1906-1976, австралийский сейсмолог, профессор прикладной математики. Он впервые построил сейсмическую модель строения Земли. Буллен обосновал теорию твердого внутреннего ядра Земли, которая подтвердилась после Чилийского мегалоземлетрясения 1960 года вызвавшего собственные колебания Земли. Будучи президентом (1954-1957) Международной ассоциации сейсмологии, он занимался исследованием испытаний ядерного оружия по данным регистрации взрывов, разработкой стандартной скоростной модели Земли и др.

Расшифровка структуры записи сейсмических волн очень сложная задача. С момента вступления Р-волн (в ближней зоне землетрясений) и длительное время после, сейсмическая запись не бывает спокойной, а вступления остальных фаз происходят на фоне предыдущих колебаний. С другой стороны, на сейсмограмме всегда присутствуют микроколебания – микросейсмы (сейсмические шумы), которые затрудняют измерения. Чем чувствительнее прибор, тем больше амплитуда помех, а значит и ошибки в определении координат и глубины очага землетрясения.

Традиционно сейсмостанции оснащаются сейсмографами для записи колебаний в виде сейсмограммы смещений. Однако существуют и другие типы сейсмических приборов. Это велосиграфы для записи скоростей и акселерометры для записи ускорений грунта. Эти приборы устанавливаются в инженерных сооружениях там, где могут возникнуть интенсивные сейсмические колебания. Они находятся в режи-

ме ожидания, и включаются при сильных землетрясениях. С их помощью удаётся точно определять продолжительность разрушающей фазы землетрясения и её частотный спектр.

Наряду с сейсмическими станциями на суше создаётся все больше пунктов наблюдений на морском дне. В 1940 году было обнаружено, что помимо распространяющихся в твердой оболочке Земли сейсмических волн, у землетрясений есть акустическая компонента Т-фаза. Её исследование имеет большой интерес для поиска методов прогноза цунами. Поэтому на морских станциях, наряду с сейсмографами, устанавливаются гидрофоны для записи акустических сигналов.

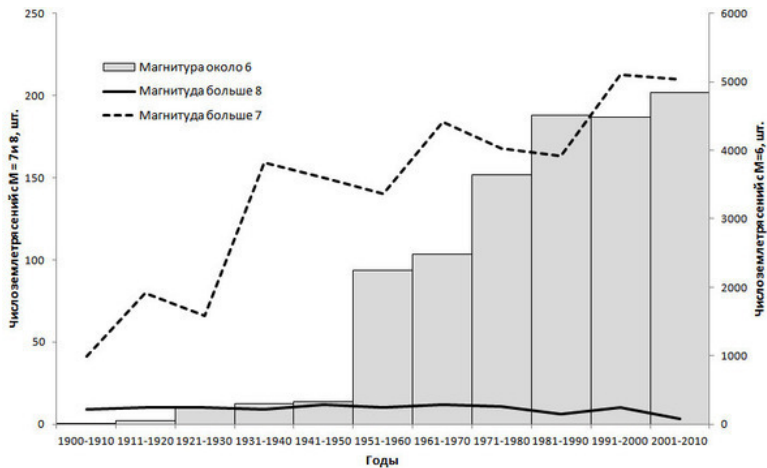
Достижения электроники и современные телекоммуникации обеспечили условия для создания цифровых сейсмических станций с передачей данных по телеметрическим каналам связи. С другой стороны, переход с телесеismicкого на региональный, а затем и на локальный уровень наблюдений сопровождается порядковым скачком объёма данных который человеческий мозг без компьютеров проанализировать не в состоянии.

Рост количества пунктов наблюдений и совершенствование приборов для записи сейсмических колебаний позволили регистрировать с каждым десятилетием всё больше землетрясений происходящих в недрах планеты. Если в начале 1900-х годов регистрировалось около 40 землетрясений магнитуды 7 и выше, то к XXI веку местоположение и сила всех

происходящих землетрясений такой магнитуды фиксировалась, и составила более 4000 событий за десятилетие.

Новые информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) позволили автоматизировать передачу, обработку и анализ сейсмологических данных. Сейсмические каталоги стали составляться с большей детальностью отображая сейсмическую активность всего земного шара начиная с магнитуды 6 и выше. Так если в начале первого десятилетия прошлого века таковых было зафиксировано только пять штук, то в первом десятилетии XXI века их уже было в тысячу раз больше – почти пять тысяч.

Зачастую ошибочно сообщают об увеличении числа землетрясений на планете исходя из этих данных. Однако это не так. Повышение чувствительности приборов и количества пунктов на планете позволяет регистрировать больше сейсмических событий. Это хорошо видно на примере графиков числа зарегистрированных землетрясений с 1900 по 2015 год. Для землетрясений магнитуды 6 и 7 такой рост действительно происходит но он связан с инструментальными возможностями и использованием в обработке данных электронно-вычислительных машин. Для землетрясений больших магнитуд роста нет и среднегодовое число значимо не изменятся.



Динамика роста количества информации о происходящих на планете землетрясениях. Из графика событий магнитудой около 6 по шкале Рихтера видно, как увеличивалась чувствительность сейсмических наблюдений в мире. На восходящем тренде землетрясений магнитуды около 7 выделяется квазипериодические колебания с пиками в 1911—1920, 1931—1940, 196—1970 и 1991—2000 годах обязанные природному фактору.

Развитие Интернет позволило оперативно сообщать о происходящих на планете землетрясениях. На специальных веб-сайтах благодаря машинной обработке очень быстро появляются сведения о каждом сильном землетрясении, где бы оно не произошло на планете. Подобные службы име-

ются в Европе, США, России и других странах.

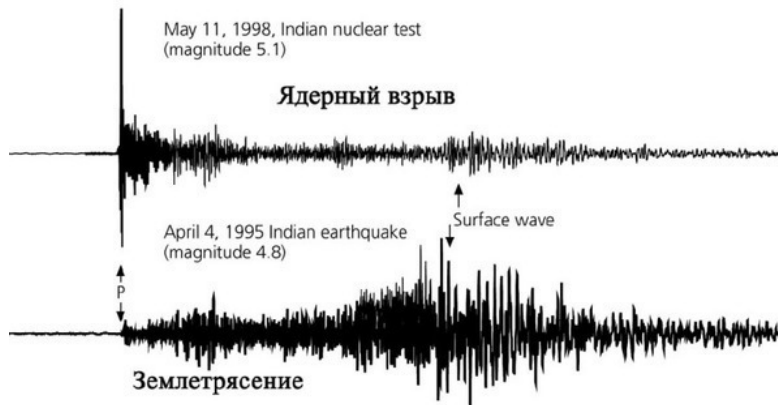
Методы сейсмологии оказались востребованы после запрета испытаний в воздухе и на земле. Подрывы ядерных зарядов начали проводить под землей, а поскольку от них сейсмические волны распространяются также так же как от землетрясений, поэтому по их записям можно точно определить место, время и мощность испытанного ядерного оружия.

Основная проблема заключается в том, как отличить ядерные взрывы от землетрясений, происходящих на планете почти непрерывно. Тем более что для сокрытия мощности и особенностей ядерного заряда испытания проводятся там, где часто возникают обычные землетрясения. Отметим, хотя волновые поля от взрывов и землетрясений содержат заметные для сейсмологов отличия и, все же по ним не всегда удастся однозначно установить факт проведения подземных взрывов.

Сейсмические явления сопровождают эволюцию других планет солнечной системы, и получают научное наименование в зависимости от места своего возникновения. В 1997 году орбитальным спутником Сохо зарегистрировано солнцетрясение излучившее в сорок тысяч раз больше энергии, чем землетрясение в Сан-Франциско 1906 года. Этой энергии с лихвой хватило бы для обеспечения США электроэнергией в течение двадцати лет.

20 июля 1969 года произошло знаменательное событие. Впервые сейсмические наблюдения начали вестись на дру-

гой планете. Американскими астронавтами Нилом Амстронгом и Базом Олдрином во время экспедиции «Аполлон-11» в Море Спокойствия в 168 метрах от лунного модуля установлена первая инопланетная сейсмическая станция. Аппаратура весила 48 килограмм и запитывалась от солнечных батарей. Станция проработала около месяца позволив обнаружить лунотрясения, а также то, что падение метеоритов вызывает долго незатухающие сейсмические колебания лунной поверхности.



Сейсмограммы землетрясения (1995) магнитудой 5,1 и ядерного взрыва (1998) магнитудой 4,8 в Индии.

В ноябре 1969 года экспедиция «Аполлон-12» смогла провести более длительные сейсмические наблюдения

на Луне. Затем экспедициями 14, 15 и 16 на видимой стороне спутника Земли были установлены еще три высокочувствительные станции оснащенные приборами для наблюдений в широком частотном диапазоне.

Во время экспедиции «Аполлон-12» зарегистрировано много лунотрясений. Их природа была связана как с тектоническими процессами и воздействием на Луну земных приливов, так и ударами метеоров о её поверхность. Самое первое записанное лунотрясение было вызвано ударом о поверхность модуля, на котором астронавты летали на поверхность Луны.

Удар 2,5 тонного аппарата «Аполлон-12» на первой лунной космической скорости (1,7 км/с) был эквивалентен взрыву 800 килограммов тротила. С поверхности поднялось многотонное облако пыли, а через 23,5 секунды волны от удара записал сейсмометр. Колебания лунного грунта продолжалось около часа, что стало сюрпризом для исследователей. Оказалось, что в отличие от Земли на Луне возникают долго незатухающие колебания, подобно тому, как если это был колокол.

Помимо обнаружения лунотрясений астронавты смогли провести первую сейсморазведку на другой планете. На профилях длиной в несколько десятков метров они через каждые 4 – 5 метров производили удары по грунту, и записывали сигналы. На первых инопланетных профилях также устанавливались специальные заряды, подрывавшиеся по команде

с Земли, но уже без космонавтов на Луне.

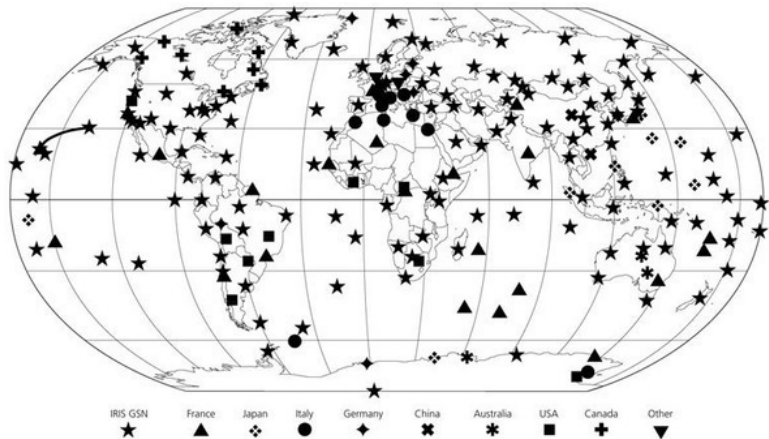


Сейсмостанция экспедиции «Аполлон-17» на Луне (NASA, Public Domain).

13 мая 1972 года в 142 километрах от лунной сейсмостанции упал метеорит диаметром два метра на скорости 20 км/с. Удар от него был настолько силн, что образовался кратер диаметром в сто метров. Сейсмометры на двух сейсмостанциях расположенных в 967 километрах и 1026 километрах от места падения метеорита зашкалили, но смогли записать лунотрясение. После обработки сейсмограмм было обнаружено существование у Луны коры. Она оказалась слоистой и сложенной из кальциево-алюминиевых пород с высокими градиентами скоростей.

Во время экспедиции «Аполлон-13» высадки людей на поверхность Луны не было, но ею было вызвано искусственное лунотрясение. Так, третья ступень ракеты «Сатурн» весом в 15 тонн на второй космической скорости (2,5 км/с) ударилась о лунную поверхность на расстоянии 135 км от сейсмометров. Это удар был эквивалентен взрыву десяти тонн тротила, а колебания от него не затухали четыре часа.

Еще недавно казалось, что исследования сейсмичности Луны представляют чисто научный интерес, однако планы организовать на этой планете обитаемую станцию перевели их в разряд практически важных. На Луне в 1972 – 1977 годах зарегистрированы несколько лунотрясений с магнитудой около 5,5 по шкале Рихтера. Если подобное лунотрясение произойдет вблизи от лунной станции, то она может не выдержать сейсмического удара.



Цифровые сейсмические станции в мире. Увеличение числа и чувствительности станций позволяет регистрировать всё больше сейсмических событий на планете.

Еще продолжалась работа первой лунной сейсмической сети, когда к сейсмическому патрулю присоединилась четвёртая планета Солнечной системы – Марс. Первые сейсмические наблюдения на этой планете были проведены спустя сто лет после Великого противостояния 1877 года, когда были открыты спутники и каналы Марса.

Планировалась работа на Марсе двух сейсмических станций летевших на космических аппаратах «Викинг». Однако первый сейсмометр при посадке на равнине Хриса не смог распаковаться, и включить электропитание. Зато второй,

на равнине Утопия, проработал в течение 19 земных месяцев, с 4 сентября 1976 года по 3 апреля 1978 года.

6 ноября 1976 года удалось впервые записать марсотрясение с магнитудой около трех по шкале Рихтера. Однако общие результаты марсианских наблюдений оказались менее результативны, чем на Луне. Видимо только в будущем удастся найти ответы на поставленные вопросы о внутреннем строении четвертой планеты. Тем не менее, важен тот факт, что сейсмические исследования перекинулись на другие планеты, свидетельствуя о появлении нового направления сейсмологии – внеземного.

Изучение сейсмической активности небесных тел очень важно для понимания геологических процессов происходивших на Земле в древности и её будущей судьбы. В этой связи в 1968 году учёный и писатель Иван Ефремов отметил: *«К физическим исследованиям Земли как планеты, небесного тела примыкает астрофизика. Изучение развития разновозрастных планет, звезд, метеоритов дает нам возможность в известной мере восстановить ту часть истории Земли, которая не записана в геологической летописи – слоях земной коры и относится к эпохе начального образования Земли».*

Сейсмология: Цифры и Факты

132 год. В Китае астроном Чжан Хэн изобретает сейсмоскоп – первый в мире прибор для регистрации землетрясений.

1703 год. Во Франции Отфёй изобретает сейсмоскоп.

1760 год. В Великобритании Джон Мичелл опубликовал книгу «Предположения о причинах возникновения землетрясений и наблюдения за этим феноменом».

1787 год. В Италии Атанасио Ковалли построил сейсмоскоп собственной конструкции сейсмоскопа.

1846 год. Ирландский учёный Роберт Маллет представил в Королевской ирландской академии свой доклад «О динамике землетрясений».

1862 год. Ирландский учёный Роберт Маллет опубликовал статью «Великое Неаполитанское землетрясение 1857 года: основные законы наблюдательной сейсмологии».

1883 год. В странах Латинской Америки начато использование шкалы Росси-Фореля для оценки силы проявления землетрясений.

1887 год. В Японии профессор Секийя впервые на трехмерной проволочной диаграмме создал модель перемещения точки грунта впервые двадцать секунд после начала землетрясения на основе сейсмограммы полученной 15 января 1897 года в Японии.

1892 год. В Великобритании Джон Мильн сконструировал первый сейсмограф способный регистрировать сильные землетрясения на планете.

1893 год. Сейсмолог Джон Мильн и инженер В.К.Бёртон опубликовали книгу «Великое землетрясение в Японии 1891».

1899 год. В Великобритании Ричард Диксон Олдхэм в записях Ассамского землетрясения 1897 года выделил истинные вступления S-волн.

Конец XIX века. В Швейцарии создана первая шкала для оценки силы проявления землетрясения на поверхности земли. Появилась десятибалльная шкала М. Росси (1834—1898) и Ф. Фореля (1841—1912).

1900 год. В Германии Эмиль Вихерт разработал теорию сейсмографа, и конструирует первые высокочувствительные приборы для записи колебаний от землетрясений.

1900 год. В Японии начала применяться семибалльная шкала Омори для оценки силы землетрясения на поверхности земли.

1902 год. В Европе создана шкала Меркалли для оценки силы проявления на поверхности земли землетрясения.

1902 год. В России Б. Б. Голицын разработал гальванометрический метод регистрации сейсмических волн, позволявший автоматически преобразовывать механические перемещения в электрическую форму.

1905 год. Образована Международная ассоциация сей-

смологии.

1906—1908 годы. В США после землетрясения в Сан-Франциско и Мессине проводятся специальные инженерные исследования причин разрушения и повреждения зданий.

1912 год. В России Б. Б. Голицын опубликовал «Лекции по сейсмометрии»,

1912 год. В Германии Альфред Лотар Вегенер в опубликованной в журнале «Геологише Рундschau» статье излагает гипотезу континентального дрейфа материков, и публикует книгу «Возникновение материков и океанов».

1912 год. Во многих странах используется 12-ти балльная шкала определения интенсивности сейсмических колебаний Меркалли-Канкани-Зибера.

1917 год. Международной ассоциацией сейсмологии и недр Земли для употребления в европейских странах утверждена 12-ти балльная шкала Меркалли-Канкани-Зибера.

1922 год. В Германии Альфред Лотар Вегенер опубликовал книгу «Климат древних времён».

1923 год. В Японии сейсмолог Фусакичи Омори под впечатлением трагических последствий Великого землетрясения Канто разработал первый в мире метод расчёта сейсмостойких конструкций.

1924 год. В США Гарольд Джеффрис опубликовал книгу «Земля: ее происхождение, история и строение».

1927 год. В СССР ученый Завриев в общей форме изло-

жил принципы метода динамического расчета сейсмических нагрузок на сооружения.

1931 год. В США начала использоваться модифицированная Вудом шкала Меркалли для оценки силы проявления землетрясения на дневной поверхности.

1933 год. Впервые при землетрясении в городе Лонг-Бич (США) царапина, оставленная на полу кухонной плитой, стала документальным подтверждением существования сложных движений в эпицентральных зонах сильных землетрясений.

1933 год. В СССР И. Мушкетовым опубликована первая макросейсмическая карта сейсмического районирования Центральной Азии.

1935 год. В США Чарльзом Рихтером разработана шкала магнитуд для сравнения по энергии землетрясений.

1937 год. Появилась первая в мире официальная нормативная карта общего (обзорного) сейсмического районирования всей территории бывшего СССР Г.П.Горшкова. Он положил начало регулярному составлению таких карт для регламентирования проектирования и строительства в сейсмоактивных районах СССР. Карта включена в официальное издание «Правила антисейсмического строительства».

Начало 40-х годов прошлого столетия. В США на основе инженерного анализа повреждения сооружений при землетрясениях 1923 года в Сан-Франциско и 1933 года в городе Лонг-Бич разработан спектральный метод динамического

воздействия на сооружения.

Середина 40-х годов прошлого столетия. В СССР Корчинский создаёт теоретические основы спектрального метода расчёта сейсмостойких конструкций на основе реальных акселерограмм (записей ускорений грунтов при землетрясениях).

1945 год. Составлена первая карта основных сейсмических зон Турции с пояснительной запиской Эгерена и Лана.

1948 год. В СССР последствия катастрофического землетрясения в Ашхабаде привели к разработке государственной программы сейсмостойкого строительства в СССР. Впервые в стране проведено крупномасштабное изучение причин массового обрушения и повреждения зданий гражданского и промышленного назначения.

1948 год. В Иране при Тегеранском университете создан институт геофизики для проведения исследований землетрясений и разработки рекомендаций по сейсмостойкому строительству в Иране.

1949 год. В СССР приняты «Технические условия проектирования зданий и сооружений для сейсмоактивных районов».

1951 год. В СССР утверждено «Положение по строительству в сейсмических районах».

1952 год. В СССР утверждена новая редакция шкалы ОСТ-ВКС4537 для определения интенсивности сейсмических колебаний как государственный стандарт ГОСТ-6249

1957 год. В СССР опубликованы новые «Нормы и правила строительства в сейсмических районах» и Карта общего сейсмического районирования (ОСР) под редакцией С.В.Медведева и Б.А.Петрушевского.

1958 год. В США Чарльз Рихтер опубликовал книгу «Элементарная сейсмология».

1959 год. В США ассоциация инженеров-конструкторов Калифорнии подготовила отчет по проблеме сейсмостойкого проектирования и выпустила переработанное издание рекомендаций по расчету на горизонтальные нагрузки. Оно вошло во все последующие издания Единых строительных норм США.

1959 год. В СССР Ю.В.Ризниченко для сравнения уровня сейсмической активности территорий предложен новый параметр – «сейсмическая сотрясаемость».

1964 год. В СССР начала использоваться 12-балльная шкала MSK-64, разработанная Медведевым (СССР), Шпонхойером (ГДР) и Карником (Чехословакия).

1968 год. В СССР Опубликована новая карта общего сейсмического районирования (ОСР) под редакцией С.В.Медведева.

1969 год. Впервые сейсмические наблюдения начали вестись на другой планете. Американскими астронавтами Нилом Амстронгом и Базом Олдрином во время экспедиции «Аполлон-11» в Море Спокойствия в 168 метрах от лунно-

го модуля установлена первая инопланетная сейсмическая станция.

1970 год. В СССР приняты новые «Строительные нормы и правила» учитывающие особенности строительства в сейсмоактивных регионах страны.

1971 год. В США землетрясение в Сан-Фернандо привело к пересмотру всей системы проектирования сейсмостойких конструкций. В числе сильно разрушенных построек оказались и новые, построенные на основе ранее принятых норм и правил расчета конструкций на сейсмические нагрузки.

1975 год. В СССР сейсмолог Д.Н.Рустанович собрал и систематизировал записи колебаний поверхности земли в эпицентральных зонах сильных землетрясений.

1976 год. Впервые во время американской экспедиции «Викинг» на Марсе начаты сейсмические наблюдения на равнине Утопия.

1977 год. В СССР издан «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР». Каталог стал основой для создания новой карты сейсмического районирования СССР – СР-78.

1978 год. В СССР принята новая карта сейсмического районирования СР-78 под редакцией М.А.Садовского.

1970-е годы прошлого столетия. В США создаются принципы общего процесса проектирования на основе представления о рисках.

1977 год. В США Хиро Канамори и Том Хэнкс разрабо-

тали шкалу сейсмического момента для сравнения энергии крупнейших землетрясений.

1985 год. Землетрясение в Мехико привело к пересмотру представлений о методах современного сейсмостойкого градостроительства в сложных грунтовых условиях.

1988 год. В СССР землетрясение в Армении (Спитак) положило началу пересмотра утвержденных в 1981 году норм сейсмостойкого строительства в стране. С распадом Советского Союза процесс пересмотра карты общего сейсмического районирования для России затормозился, а в странах СНГ практически не был начат.

1995 год. В Японии землетрясение в Кобе ставит вопрос о необходимости паспортизации зданий и сооружений старой постройки в стране.

1998 год. В Европейском союзе начала использоваться макросейсмическая шкала EMS-98 для описания эффекта землетрясения.

1998 год. В Казахстане введены новые нормы сейсмостойкого строительства и проектирования.

1999 год. Землетрясения в Турции и на Тайване выявили значительные ошибки в подходе к проектированию жилья и применения норм сейсмостойкого строительства в современных условиях.

2000 год. В России издан комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97.

2001 год. В России принята федеральная целевая программа «Сейсмобезопасность территории России».

Почему столь многочисленны жертвы землетрясений?

Вот пришло землетрясение, какую пользу принесло богатство? Труд того и другого пропал, погибло имущество вместе с владением, дом вместе со строителем. Город сделался общим для всех гробом, устроенным внезапно не руками мастеров, но несчастным случаем. Где богатство? Где любостяжание? Видите ли, как все оказалось ничтожнее паутины?

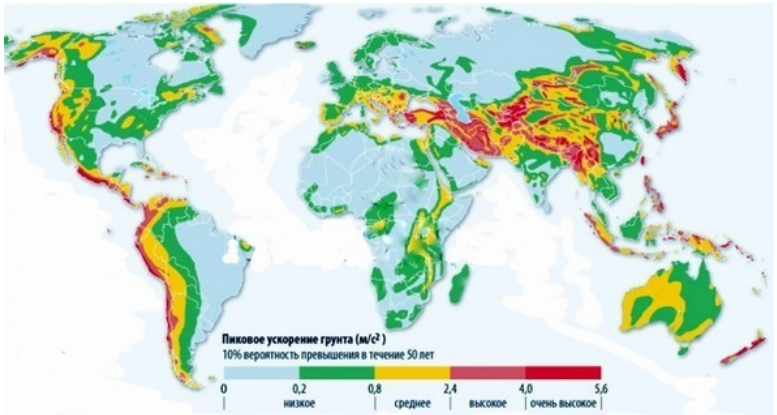
Иоанн Златоуст

«О Лазаре. Слово шестое», 386—397 годы

В повседневной жизни серии удач или неудач обычно имеют свои причины, но с природными бедствиями понятие удачи не существует, поскольку здесь важна не удача, а предусмотрительность. Удача всегда дело случая. Сильное землетрясение детерминировано по своей природе и вопрос, когда оно произойдёт, не столь важен, если заранее не озаботится предохранением от его последствий.

В отличие от прежних времён когда природные бедствия, вне понимания их истинных причин, нагружались сакральным смыслом сегодня ситуация другая. Природа землетрясений известна, а территории их преимущественно возникновения в основном определены. Сами причины разрушений

и гибели людей просты и определяются несколькими причинами.



Карта сейсмически опасных территорий на планете (Global Seismic Hazard Program, 2011). Наиболее сейсмоопасные территории одновременно и самые населённые в мире.

Во-первых, с тем, что Земля геологически эволюционирует. В её недрах непрерывно протекают физико-химические процессы, перемещаются огромные массы материи, а дневная поверхность деформируется и возникают землетрясения.

Во-вторых, с тем, что человек издавна селится там, где ему удобнее, а не безопаснее жить. Местами предпочтитель-

ного расселения в силу различных факторов были и остаются побережья морей и океанов, устья рек и подножья гор. Однако именно эти места наиболее часто подвержены ударам природной стихии.

В-третьих, мировое население растёт, и всё больше людей проживает в крупных городах расположенных на сейсмоопасных территориях. Современные технологии позволяют строить в сложных условиях, но полностью обезопасить инженерные сооружения они неспособны, особенно в быстро-растущих мегаполисах с усложнённой инфраструктурой.

По статистике наибольшие среднегодовые потери человечество несёт от превратностей погоды, и только затем идут землетрясения. Но если принять во внимание сокрушительность и скоротечность подземных ударов они ни в чем не уступают погоде, а по коварству намного её превосходят. В отличие от погоды и других стихийных бедствий потери от землетрясений можно оценить только по большим интервалам времени – за десятки лет. Это связано с тем, что они происходят редко, но с большим ущербом. Их влияние на экономику и жизнь людей растягивается на годы и десятки лет.

Землетрясения способны мгновенно сбить ритм жизни сотен тысяч людей на огромной территории. В отличие от погоды их невозможно предсказать и, следовательно, заблаговременно предупредить население. Тем не менее, и здесь есть много способов снижения приносимого ими ущерба.

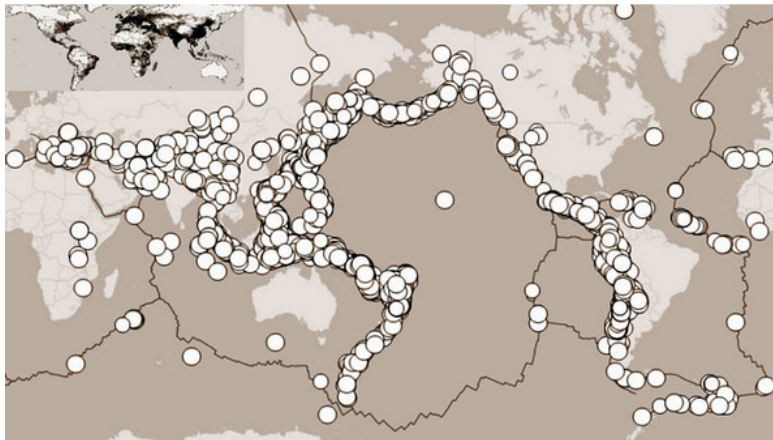
Уже давно замечено, что при землетрясениях люди редко гибнут на открытой местности, вне зданий и сооружений. Примеров тому немало – грандиозные подземные удары, происходящие в пустынных местностях и на морском дне, приносят минимальный ущерб и, чаще всего, не сопровождаются человеческими потерями. В тоже время, меньшие по силе землетрясения, но возникающие рядом с населенными пунктами, ежегодно уносят тысячи жизней. Почему так происходит?

Несмотря на привычность современного бытия, создающего иллюзию безопасного мира, жизнь людей находится под знаком постоянной угрозы в том случае, если не были восприняты предыдущие уроки. Их суть состоит в непрерывном строительстве безопасной жизни, когда накопленные знания становятся правилом, а правила создают возможность получать новые знания. Знания, вложенные в технологии строительства, городское и сельское планирование, подготовку населения и штатных служб к действию в экстремальной ситуации позволяют нивелировать риски при любом стихийном бедствии.

Разумеется, даже при идеальном положении вещей случайные жертвы неизбежны. Они являются своеобразной платой за технический прогресс. Однако трагические потери XX и начала XXI века от стихии нельзя назвать делом случая только по одной причине – человечество больше знает, и научилось защищаться от большинства смертельных в про-

шлом угроз.

Сильнейшим землетрясениям, а иногда благодаря вмешательству человека в природную среду и более слабым толчкам, свойственна каскадность поражающих факторов. Иными словами, подземные удары становятся спусковым крючком для возникновения новых губительных процессов – цунами, пожары, эпидемии и др. Наиболее впечатляющий пример этого случившееся в 2004 году мегацунами в Юго-Восточной Азии и трагедия Гаити в 2010 году.



Расположение очагов сильнейших землетрясений магнитуды 7 и выше с 1900 по 2015 год. На верхней врезке карта плотности населения на планете (тёмные цвета).

Предшествующий землетрясению у берегов Суматры бум

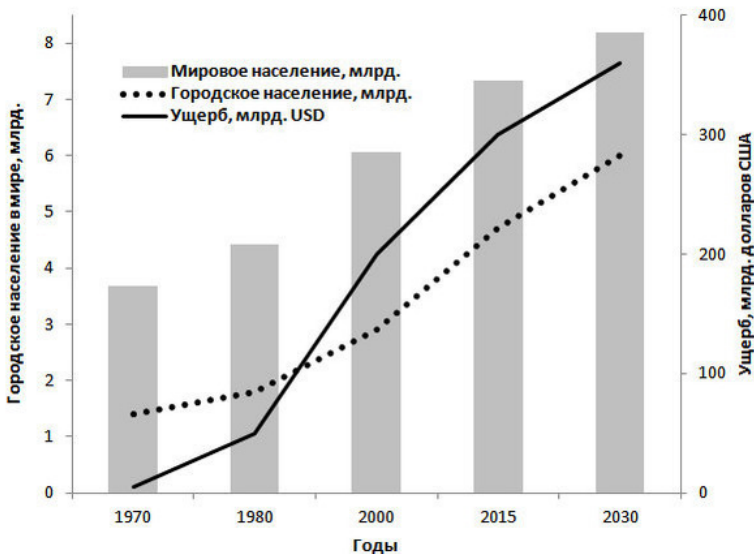
курортной индустрии, отсутствие системы предупреждения цунами, пренебрежительное отношение к природным угрозам привели к катастрофе. Погибло более двухсот тысяч человек из 54-х стран мира. Это еще раз подтвердило вступление человечества в эпоху глобализации не только в экономике, но и потерям от стихийных бедствий.

Некогда войны сравнивались с землетрясениями. После двух мировых войн уже подземные удары сравнивают с ужасами войны. В своё время европейский пацифист Нидти заметил: *«Великие войны подобны землетрясению. Многие из явлений войны легко понять тем, которые были очевидцами того разрушения, которое продолжается в течение нескольких лет на пространстве, подвергшемся землетрясению... После великих войн, как и после землетрясения, содрогается конвульсивно весь мир, все политические системы, все человеческие представления»*. После таких событий как мегацунами в ЮВА или землетрясения в Японии с разрушением АЭС «Фукусима» в 2011 году стало со всей очевидностью ясно, что глобализация касается не только экономик, но и рисков больших жертв от природных катастроф.

Во все времена сообщества смирялись с неизбежными массовыми жертвами, а мировые войны XX века снизили болевой порог восприятия природных бедствий. И сегодня, в век мгновенной коммуникации, масс-медиа «пошумев» по поводу огромного числа жертв от стихии быстро переходят к другим новостям, не вскрывая истинных причин тра-

гедий которые хорошо известны специалистам и оказываются теми же самыми что сотни и тысячи лет назад. С чем это связано?

Сейсмическая угроза относится к ситуации, когда ведущие к катастрофе перемены происходят крайне медленно не только для отдельного человека, но и для общества. Изменения климата хороший тому пример. Если температура повышается на доли градуса в год, а в отдельные годы даже падает, люди осознают необратимость перемен лишь тогда, когда они проявляются со всей очевидностью. Из-за этого механизм социальной защиты запаздывает или не включается вовсе.



Потери от стихийных бедствий с конца XX века растут опережающими темпами по сравнению с увеличением мирового населения и согласно его всё большей концентрации в городах.

В голливудском кинофильме «Dante's Peak» приводится своеобразный «рецепт» катастрофы на примере вопроса – как сварить живую лягушку? Ответ прост – необходимо поместить её в кастрюлю с холодной водой и медленно нагревать. Тогда лягушка не ощутит увеличения температуры, и не успеет выпрыгнуть из закипевшей воды. Иными словами, когда угроза превратится в очевидную реальность спа-

саться ей будет поздно.

Сильные землетрясения в одних и тех же местах возникают с интервалом в десятки и сотни лет. Период их повторения перекрывает смену если не нескольких поколений то, по крайней мере, срок жизни отдельного человека. Поэтому, сейсмическая угроза в обществе не овладевшим механизмом передачи и воспроизводства научных знаний с течением времени становится менее реальной.

Строгое научное знание возникло для решения проблемы выживания, и человек не сможет оставаться таковым, если не будет его постоянно пополнять и строить на этой основе фундамент жизни будущих поколений. Благодаря этому риск умереть от болезни или дорожного происшествия снижен накопленным опытом. Знания, превращенные в ремни безопасности, лекарства, системы навигации позволяют избежать массовых смертей, и свести их к строке случайных событий в наше время, но не во всем мире. Поскольку сама по себе наука не снижает интенсивность действия природных сил, она лишь позволяет оценить их опасность и дать обществу необходимые для выживания знания.

В 1978 году японский сейсмолог Хиро Канамори установил, что суммарная энергия всех землетрясений на планете за 1900—1980 годы и размер человеческих потерь не имеют между собой прямой зависимости. Так, максимум суммарной энергии землетрясений в шестидесятых годах не стал пиком ущерба, а на относительно спокойные сейсмические

периоды пришлось больше несчастий, чем на самый беспокойный сейсмический год. Иными словами, размер потерь прямо не связан с активностью земных недр, а определялся социальными причинами и вот почему.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.