

Землетрясения

Землетрясение - это всякое колебание земной поверхности, вызванное естественными причинами, среди которых основное значение принадлежит тектоническим процессам (перемещения масс внутри Земли). Это распространенное явление, наблюдаемое на многих участках материков и на дне океанов.

За год на Земле происходит несколько сотен тысяч землетрясений, т.е. в среднем 1-2 в минуту. Сила их различна; большинство улавливается только высокочувствительными приборами - сейсмографами, другие ощущаются человеком.

Землетрясения можно подразделить на **эндогенные** (связанные с глубинными процессами) и **экзогенные**. Эндогенные бывают вулканические (вызванные процессом извержения) и тектонические (обусловленные перемещением вещества в недрах Земли). Экзогенные землетрясения случаются при подземных обвалах, взрывах газов, обвалах скал, ударах метеоритов, падения воды с большой высоты и др.

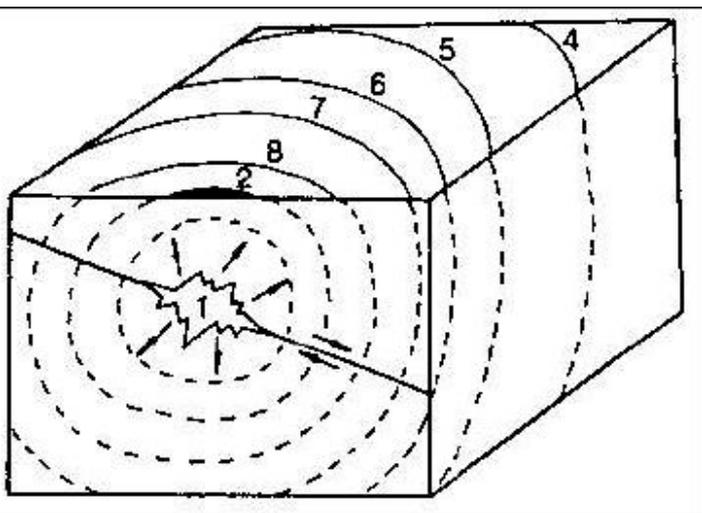
В глубинах Земли постоянно накапливаются упругие напряжения, и в тот момент, когда они достигают предела прочности горных пород, в последних возникает разрыв, потенциальная энергия переходит в кинетическую, напряжение снимается, а энергия в форме упругих волн распространяется во все стороны от разрыва (очага землетрясения), достигает поверхности Земли и там ощущается в форме подземного толчка или колебаний почвы. Таким образом, каждое землетрясение сопровождается освобождением упругой энергии.



Виды города Вернаго до и послѣ землетрясенія. Съ фотогр. Либбига, грав. Вл. Барановскаго.

1. Католическій соборъ до землетрясенія. 2. Видъ на улица съ соборомъ. 3. Поврежденный соборъ. 4. Улицы послѣ землетрясенія. 5. Разрушеніе каменной стѣны. 6. Разрушеніе каменной стѣны. 7. Поврежденный соборъ. 8. Видъ на улица послѣ землетрясенія. 9. Разрушеніе каменной стѣны.





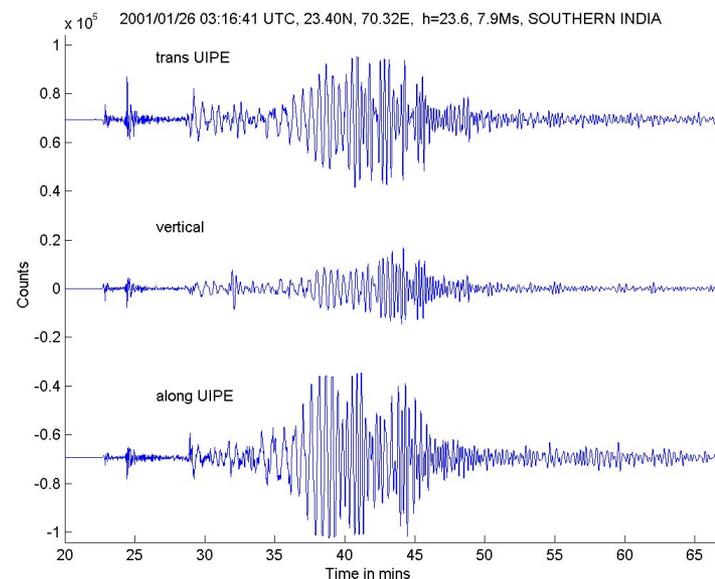
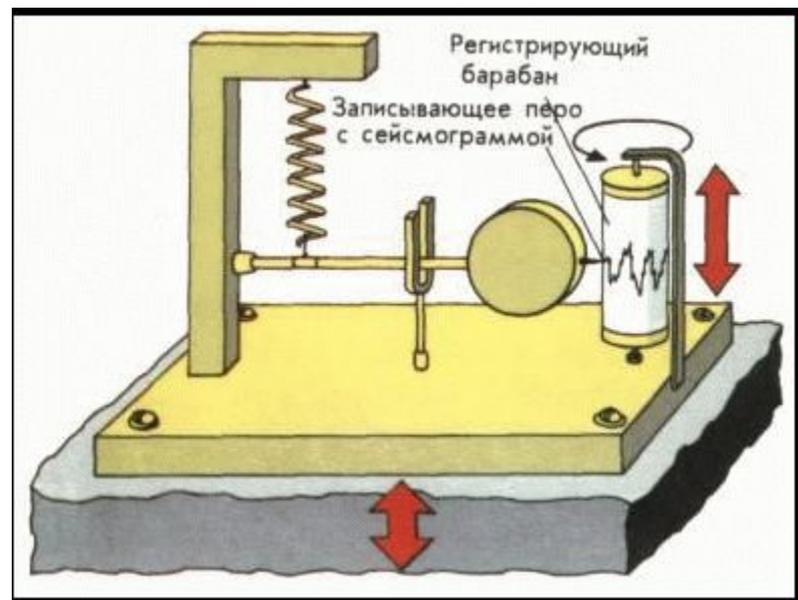
Очаг землетрясения и распространения сотрясений в объеме породы: 1 – область очага или гипоцентр, 2 – проекция гипоцентра на поверхность Земли – эпицентр.

Линии изосейст на поверхности – линии равных сотрясений в баллах

- Скорость распространения разрывов составляет несколько км/сек и этот процесс разрушения охватывает некоторый объем пород, носящий название **очага землетрясения**.
- **Гипоцентром** называется центр очага, условно точечный источник короткопериодных колебаний.
- Проекция гипоцентра на земную поверхность называется **эпицентром землетрясения**.
- Интенсивность землетрясения эпицентра изображается линиями равной интенсивности землетрясений - **изосейстами**.
- Область максимальных баллов вокруг эпицентра носит название **плейстосейстовой области**.

- **Основному подземному сейсмическому** удару – землетрясению, обычно предшествуют землетрясения или **форшоки**, свидетельствующие о критическом нарастании напряжений в горных породах. После главного сейсмического удара обычно наблюдаются еще сейсмические толчки, но более слабые, чем главный удар. Они называются **афтершоками** и свидетельствуют о процессе разрядки напряжений при образовании новых разрывов в толще пород.
- По глубине гипоцентров (фокусов) землетрясения подразделяются на 3 группы:
 - 1) мелкофокусные 0-60 км;
 - 2) среднефокусные – 60-150 км;
 - 3) глубокофокусные 150-700 км.
- Но чаще всего гипоцентры землетрясений сосредоточены в верхней части земной коры на глубинах в 10-30 км, где кора характеризуется наибольшей жесткостью и хрупкостью.
- Быстрые, хотя и неравномерные смещения масс горных пород вдоль плоскости разрыва вызывают деформационные волны – упругие колебания в толще пород, которые, распространяясь во все стороны и, достигая поверхности Земли, производят на ней основную разрушающую работу.

- Сейсмические волны, вызываемые землетрясениями, можно зарегистрировать, используя т.н. *сейсмографы* – приборы, в основе которых лежат маятники, сохраняющие свое положение при колебаниях подставки, на которой они расположены. Первые сейсмографы появились сто лет назад.
- Отмечая время первого вступления волн, т.е. появления волны на сейсмограмме и зная скорости их распространения, определяют расстояние до эпицентра землетрясения. В наши дни на земном шаре установлены многие сотни сейсмографов, которые немедленно регистрируют любое, даже очень слабое землетрясение и его координаты.



- **Интенсивность землетрясений.**

- Интенсивность или сила землетрясений характеризуется как в баллах (мера разрушений), так и понятием *магнитуда* (высвобожденная энергия). В России используется 12-балльная шкала интенсивности землетрясений MSK – 64, составленная С.В.Медведевым, В. Шпонхойером и В. Карником.
- Согласно этой шкале, принята следующая градация интенсивности или силы землетрясений:
 - 1 – 3 балла – слабые
 - 4 – 5 баллов – ощутимые
 - 6 – 7 баллов - сильные (разрушаются ветхие постройки)
 - 8 – разрушительное (частично разрушаются прочные здания, заводские трубы)
 - 9 – опустошительное (разрушаются большинство зданий)
 - 10 – уничтожающее (разрушаются почти все здания, мосты, возникают обвалы и оползни)
 - 11 – катастрофические (разрушаются все постройки, происходит изменение ландшафта)
 - 12 – губительные катастрофы (полное разрушение, изменение рельефа местности на обширной площади).

- **Степень сотрясения на поверхности** Земли, как и площадь, охваченная им, зависит от многих причин, в том числе от характера очага, глубины его залегания, типов горных пород, рыхлых отложений или скальных выступов, обводненности и др.
- В целях количественной оценки меры полной энергии сейсмических волн выделившихся при землетрясении широко используется шкала **магнитуд** (M) по Ч.Ф.Рихтеру, профессору Калифорнийского технологического института.
- **$M = \lg(A/T) + B \lg \Delta + \epsilon$**
- Где A и T – амплитуда и период колебаний в волне, Δ – расстояние от станции наблюдения до эпицентра землетрясения, B и ϵ - константы, зависящие от условий расположения станции наблюдения.
- Магнитуда 0 означает землетрясение с максимальной амплитудой смещения в 1 мкм на эпицентральной расстоянии в 100 км. При магнитуде 5 отмечаются небольшие разрушения зданий, а магнитуда 7 знаменует собой опустошительное землетрясение.
- Увеличение M на две единицы соответствует увеличению энергии в 1000 раз.
- Самые сильные из зарегистрированных землетрясений имели магнитуду 8,9-9,0.

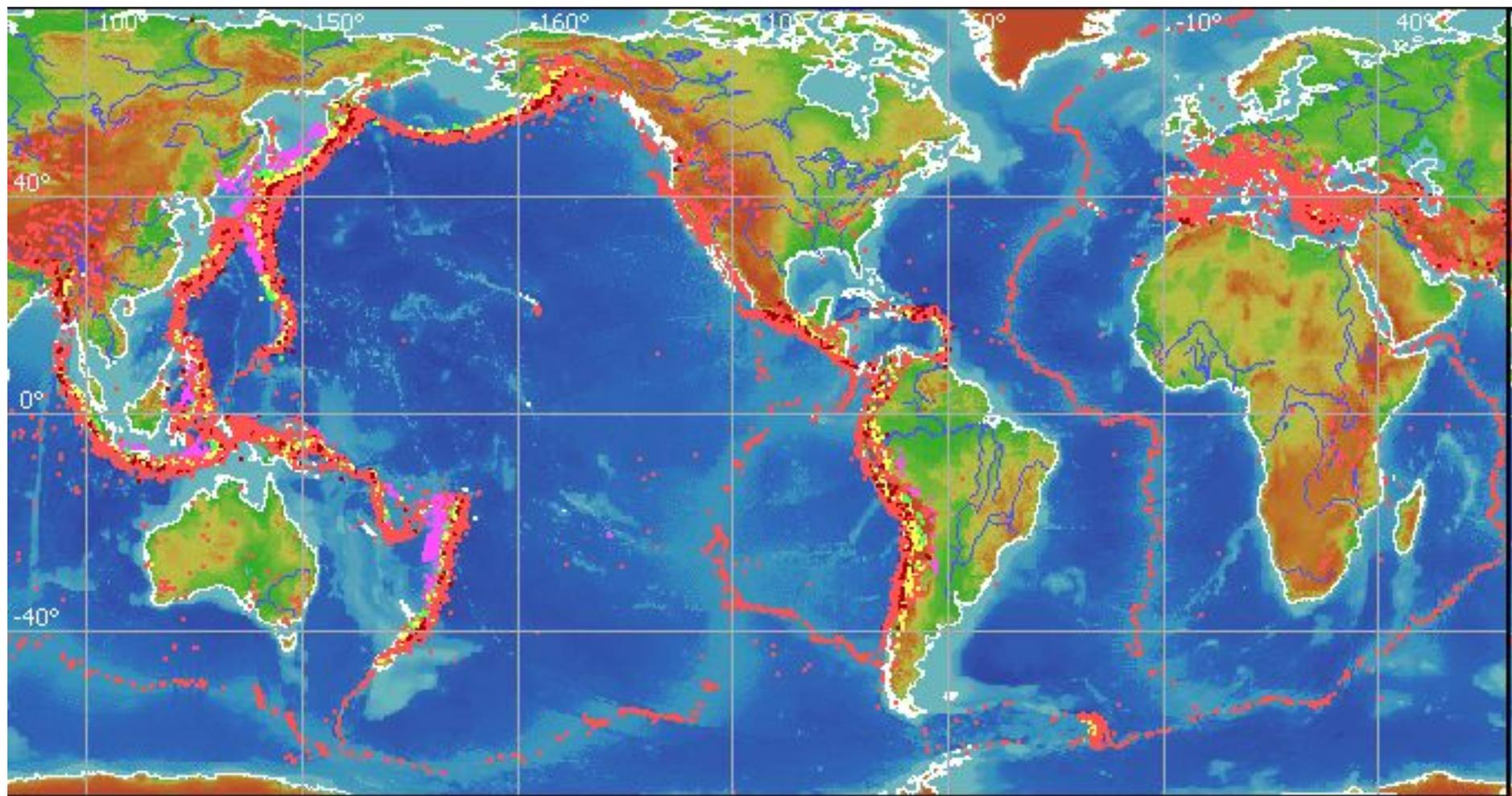
- *Энергия*, выделяемая при землетрясениях достигает огромных величин. Если взрыв стандартной атомной бомбы в 100 кт выделяет около $1000 \cdot 10^{18}$ эрг, то у всех сильных землетрясений выделение энергии было намного большим, а сильнейшее из когда-либо зарегистрированных землетрясений, выделило энергию, сравнимую с энергией взрыва водородной бомбы.
- Интенсивность землетрясения в эпицентре землетрясения и в плейстосейстовой области тем выше, чем ближе к поверхности находится очаг. Однако, с расстоянием от эпицентра в этом случае колебания быстро затухают. При землетрясениях на больших глубинах, например, около 100 км в зоне Вранча в Румынских Карпатах, несмотря на $M=5$, колебания ощущались даже в Москве в декабре 1978 г.. При очень сильных землетрясениях с $M=8$, сейсмоколебания охватывают огромную площадь радиусом около 1000 км. Площадь, охваченная разрушением, растет в зависимости от магнитуды. Так при $M=5$ и глубине очага в 40 км, площадь разрушений составит около 100 км², а при $M=8$ – около 20000 км².

- **Очаги землетрясений.**
- Подавляющая часть землетрясений возникает в верхней относительно более хрупкой части земной коры на глубинах 7-30 км. Механизм этих землетрясений показывает, что все они образовались в результате смещения по разломам с почти обязательной сдвиговой компонентой. Т.к. очаг землетрясения расположен на глубине в земной коре, то в нем невозможно проводить прямые наблюдения и следить, например, за его активизацией. Поэтому любое описание очага землетрясения базируется на дистанционных наблюдениях, на использовании законов механики разрушения, моделирования и т.д.
- Размеры очагов землетрясений в целом увеличиваются с возрастанием магнитуды. Если очаг располагается неглубоко, то сейсмогенный разрыв может выйти на поверхность, как это случилось, например, во время Спитакского землетрясения. Очаг представляет собой не плоскость, а некоторый объемный блок литосферы, в пределах которого осуществляются подвижки по целому ряду отдельных разломов, сливающихся в один крупный сейсмогенный разрыв.

- **Палеосейсмодислокации.**

- Следы землетрясений, происходивших в недавнем геологическом прошлом - в голоценовое время, т.е. за последние 10 000 лет, можно обнаружить в рельефе.
- Сильные землетрясения всегда оставляют следы на поверхности Земли. Когда детально изучили районы последних крупных землетрясений, произошедших в 1988 г. в Спитаке и в 1995 г. в Нефтегорске, то выявились следы прошлых, таких же сильных землетрясений в виде тектонических уступов; смещений горизонтов палеопочв; трещин, пересекающих различные современные элементы рельефа – долины, овраги, склоны гор и холмов, водоразделы.
- Такие сейсмогенные нарушения обычно накладываются на рельеф, совершенно не согласуясь с его элементами. В результате землетрясений возникают крупные оползни, оплывины, обвалы, прекрасно дешифрируемые на аэрофотоснимках, а крупные разломы и трещины – на космических снимках. Например, на горных склонах центральной части Большого Кавказа прекрасно видны неглубокие рвы, уступы, секущие эти склоны и располагающиеся, невзирая на особенности геологического строения местности. Их относительная свежесть свидетельствует, по-видимому, о недавних сильных землетрясениях.
- Наиболее распространенной формой сейсмических нарушений являются трещины, они образуются почти при всех землетрясениях. Трещины делятся на открытые (с раздвинутыми стенками) и закрытые (с соприкасающимися стенками). Выделяются трещины с видимым вертикальным или горизонтальным перемещением стенок вдоль трещины и трещины без перемещения. Трещины образуются в твердых и рыхлых породах (в последних плохо сохраняются).

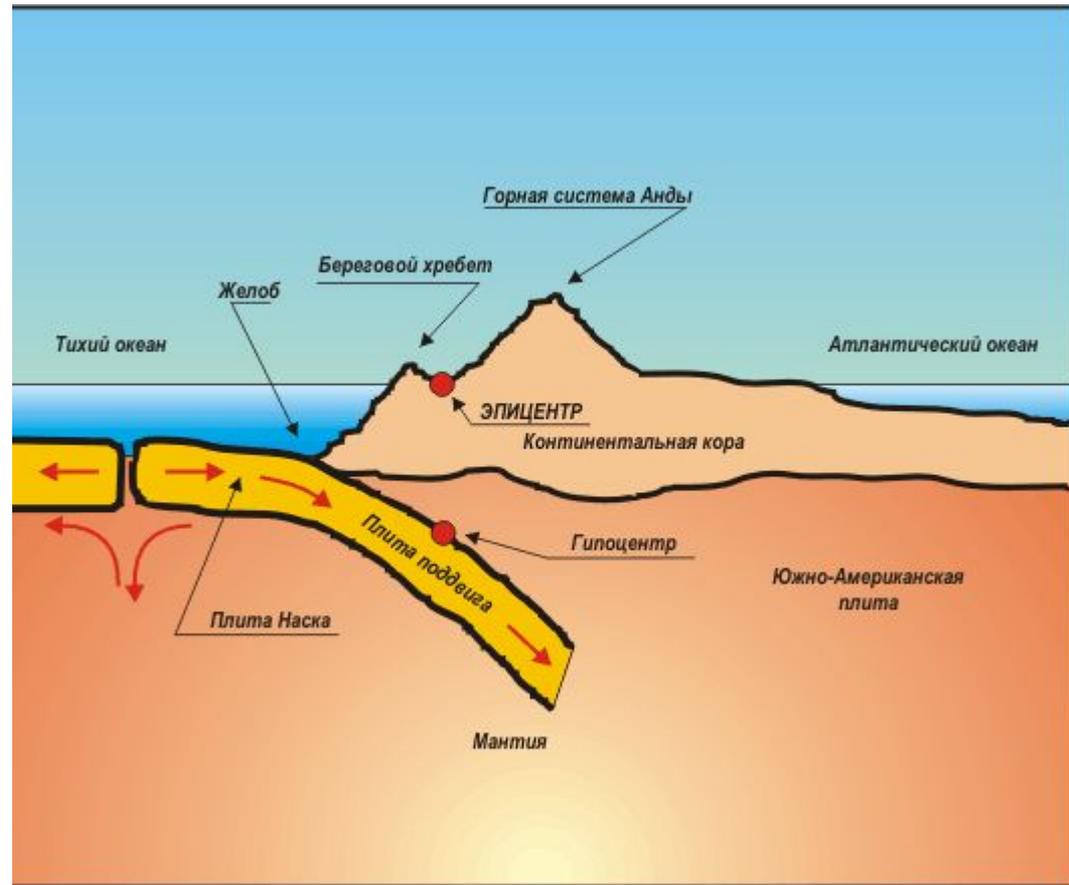
- **Распространение землетрясений и их геологическая позиция.**
- Распространение на земном шаре землетрясений носит крайне неравномерный характер. Одни места характеризуются высокой сейсмичностью, а другие – практически асейсмичны. Зоны концентрации эпицентров представляют собой протяженные пояса вокруг Тихого океана и в пределах Альпийско-Гималайского складчатого пояса, простирающегося в широтном направлении от Гибралтара, через Альпы, Динариды, Кавказ, Иранское нагорье в Гималаи.
- Гораздо более узкие и слабее выраженные пояса сейсмичности совпадают с осевыми зонами срединно-океанских хребтов. Короткие зоны сейсмичности известны и в пределах Восточной Африки и в южной части Северо-Американской платформы. Все остальные древние платформы и абиссальные котловины океанов – асейсмичны.



- Закономерное распространение землетрясений хорошо объясняется в рамках современной *теории тектоники литосферных плит*. Наибольшее количество землетрясений связано с границами литосферных плит и поясами их столкновений. Высокосейсмичный пояс вокруг Тихого океана связан с погружением холодных и тяжелых океанских плит под более легкие, континентальные. Места перегиба океанических плит, маркируются глубоководными желобами, за которыми располагаются островные дуги типа Алеутской, Курильской, Японской и др.
- Возникновение сколов в верхней части погружающейся плиты свидетельствует о напряжениях, действующих в направлении пододвигания. По мере углубления океанической плиты, там, где она пересекает маловязкую астеносферу, гипоцентров становится меньше и они располагаются внутри плиты.
- Т.о., погружающаяся плита, испытывая сопротивление, подвергается воздействию напряжений, разрядка которых приводит к образованию землетрясений многочисленные гипоцентры которых сливаются в единую наклонную зону, достигающую в редких случаях глубин в 700 км, т.е. границы верхней и нижней мантии. Впервые эту зону в 1935 г. описал японский сейсмолог Кию Вадати, а американский геофизик Хьюго Беньофф из Калифорнийского технологического института, создавший сводку по этим зонам в 1955 г., вошел в историю, т.к. с тех пор наклонные, уходящие под континенты самые мощные в мире скопления очагов землетрясений, называются «*зонами Беньофа*».

Глубина зон Бенъофа сильно различается в разных местах. Под островами Тонга она заканчивается на глубинах почти в 700 км, в то время как под Западной Мексикой ее глубина не превышает 120-140 км.

Внутреннее строение зон Бенъофа достаточно сложное. Под западной окраиной Южной Америки зона Бенъофа имеет извилистые очертания в разрезе, то выполаживаясь, то погружаясь более круто.



- **Наведенная сейсмичность.**
- Техногенное воздействие человека на геологическую среду достигло такой силы, что стали возможными землетрясения, спровоцированные инженерной деятельностью человека. Понятие «наведенная сейсмичность» включает в себя как **возбужденные**, так и **инициированные** сейсмические явления.
- Под возбужденной сейсмичностью понимается определенное воздействие на ограниченные участки земной коры, которое способно вызывать землетрясения.
- Инициированная сейсмичность подразумевает существование уже как бы «созревшего» сейсмического очага, воздействие на который играет роль «спускового крючка», ускоряя событие.
- Если землетрясения возникают в результате наведенной сейсмичности, это означает, что верхняя часть земной коры находится в неустойчивом состоянии или, как говорят, в метастабильном, и достаточно некоторого воздействия на нее, чтобы вызвать разрядку накопившихся напряжений, т.е. землетрясение.

- В качестве техногенных причин выступают такие, которые создают избыточную нагрузку или, наоборот, недостаток давления.
- В качестве первых особенно характерны крупные водохранилища. Первое такое землетрясение с $M=6,1$ произошло в США в 1936 г. в районе плотины Гувер, где раньше землетрясения не были зафиксированы. В Калифорнии в 1975 г. произошло землетрясение силой около 7 баллов, после того, как была построена высокая (235 м) плотина и создано большое водохранилище вблизи города Оровилл. В 1967 г. в районе плотины Койна в Индии, через 4 года после создания водохранилища произошло разрушительное землетрясение с $M=6,3$. В середине 60-х годов довольно сильное землетрясение ($M=6,2$) имели место вблизи плотины Крамаста в Греции.
- Чем больше водохранилище, тем выше вероятность возбужденного землетрясения. Отмечается, что в подобных землетрясениях наблюдается значительное число форшоков и афтершоков. Кроме массы воды, как избыточного нагружения земной коры, важную роль играет снижение прочностных свойств горных пород ввиду проникновения по трещинам воды.

- Добыча нефти и газа, откачка воды из земных недр, приводит к изменению пластового давления воды, что, в свою очередь, влияет на перераспределение напряжений, оживлению подвижек по разломам, возникновению новых трещин.
- Как правило, землетрясения, вызванные этими явлениями, невелики по своей силе. Однако, очень сильные землетрясения с $M=7,0$ и $7,3$ произошли в 1976 и 1984 гг. в Узбекистане, в районе гигантского месторождения газа в Газли. Раньше в этой местности прогнозировались лишь слабые сейсмогенные подвижки. После начала эксплуатации в 1962 г. до 1976 г. было откачено 300 млрд. м³ газа и пластовое давление стало неравномерно изменяться. Наблюдалась форшоковая активность. Главные толчки произошли в тех зонах, где изменение гидродинамических условий было сильнее всего.
- Влияние добычи нефти на активизацию сейсмических событий имело место на севере Сахалина; в Западной Туркмении (Кумдагское землетрясение 1983 г. с $M=6,0$) и другие.
- Возбужденные землетрясения могут происходить также в результате закачки внутрь пластов каких-либо жидких промышленных отходов, как это произошло в районе г.Денвер в 1962 г. с $M>5,0$, когда на глубине около 5 км резко возросло пластовое давление. Сейсмический отклик находят и подземные ядерные взрывы, интенсивно проводившиеся в недавнем времени.

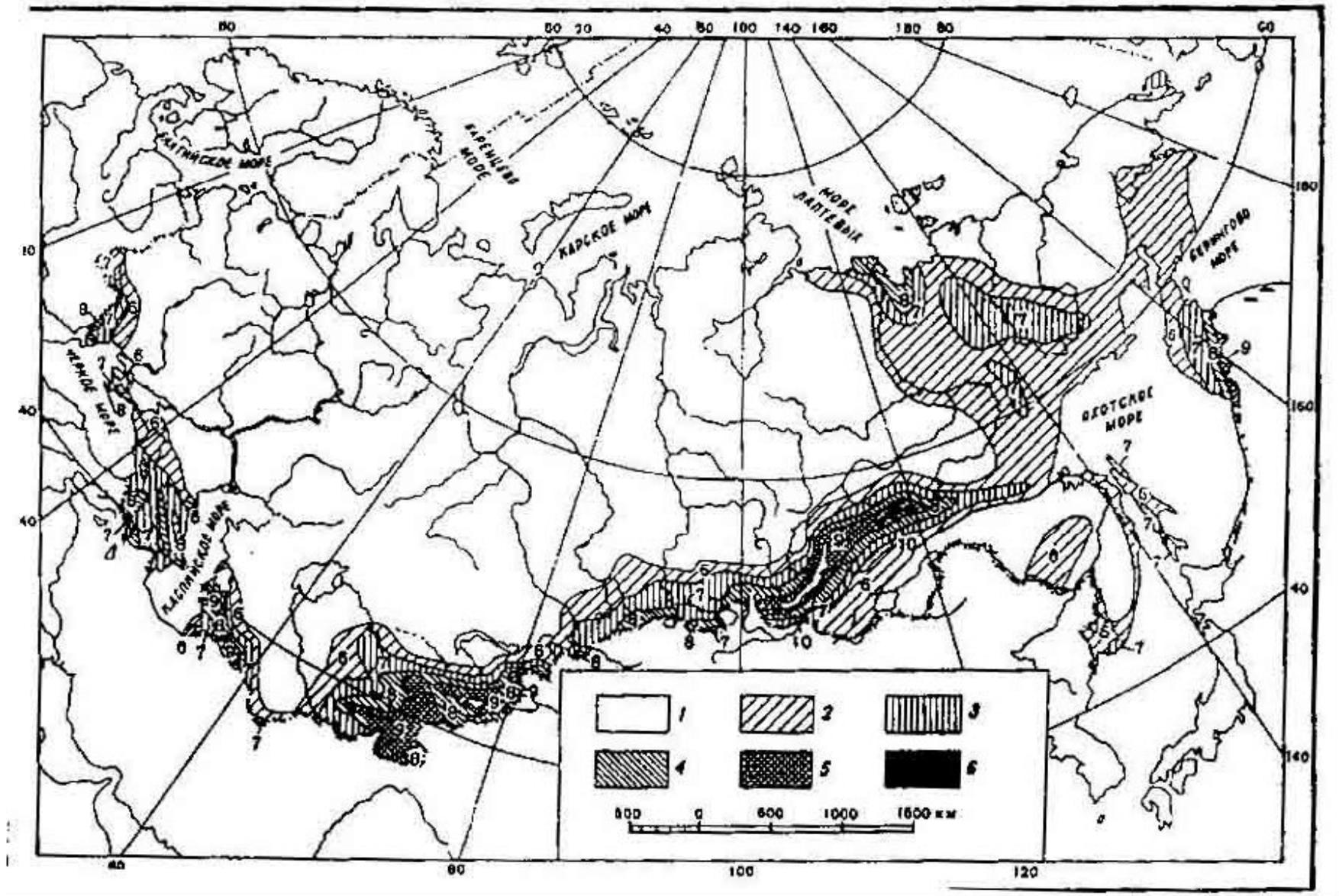
- Естественные геологические процессы, такие как земные приливы, изменение скорости вращения Земли, далекие землетрясения, солнечная активность, даже изменение атмосферного давления и фазы Луны влияют на сейсмическую активность, особенно мелкофокусную. Интересны в этом отношении приливные деформации поверхности Земли, связанные с гравитационным взаимодействием Земли, Луны и Солнца.
- Интенсивность этого взаимодействия минимальна у полюсов и максимальная на экваторе. Волны, вызванные этим явлением, постоянно перемещаются по поверхности Земли с востока на запад.
- Проблема наведенной сейсмичности в наши дни становится одной из важнейших и ей уделяется много внимания как в прикладной, так и в фундаментальной сейсмологии. Это особенно актуально в связи с быстро растущими городскими агломерациями, колоссальным отбором нефти, газа и воды из месторождений, строительством плотин и водохранилищ, что приводит к возрастанию сейсмического риска.

- **Прогноз землетрясений.**

- Несмотря на все усилия различных исследователей, предсказать десятилетие, год, месяц, день, час и место, где произойдет землетрясение, пока невозможно. Сейсмический удар происходит внезапно и застигает врасплох.
- Созданные в нашей стране силы МЧС призваны не только оказывать помощь после катастрофы, но содействовать тому, чтобы ущерб от них был максимально снижен.
- Сейсмическое районирование (СР) территории России как раз и предназначено для этого. Когда мы говорим о прогнозировании землетрясений следует различать прогнозирование сейсмичности как режима, т.е. **сейсморайонирование** и прогнозирование отдельных землетрясений по предвестникам, т.е. **собственно сейсмопрогнозирование**.

- **Сейсмическое районирование.**

- В настоящее время 20% площади России подвержено землетрясениям силой до 7 баллов, что требует специальных антисейсмических мер в строительстве. Более 15% территории находится в зоне разрушительных землетрясений, силой 8-10 баллов. Это Камчатка, Курильские острова и, по существу, весь Дальний Восток, Северный Кавказ и Байкальский регион.
- **Сейсмическое районирование** – это составление разномасштабных специальных карт сейсмической опасности, на которых показывается возможность землетрясения определенной интенсивности в определенном районе в течение некоторого временного интервала. Карты обладают различным масштабом и разной нагрузкой.
- Общее сейсмическое районирование (ОСР) составляется в масштабе от 1:5000000 до 1:2500000; детальное сейсмическое районирование (ДСР) – 1:500000-1:100000;
- сейсмическое микрорайонирование (СМР) – 1:50000 и крупнее.
- ОСР является основным документом, а СМР используется для отдельных городов, населенных пунктов, крупных промышленных объектов. Карты ОСР используются в экономических целях, для строительства и землепользования. Первая карта ОСР, составленная в 1937 г. Г.П.Горшковым все время совершенствовалась и последнее ее издание было в 1997 г.
- Балльность, выделенных опасных в сейсмическом отношении зон, непрерывно уточняется и в карту вносятся коррективы. Работа над картой ОСР России продолжается и в наши дни, т.к. необходимость долгосрочного прогноза и оценки сейсмического риска
- возрастает.



Сейсмическое районирование территории бывшего СССР. 1-6 – районы с различной бальностью, показанной цифрами. Белый цвет бальность от 0 до 5

- **Сейсмопрогнозирование.**

- Прогнозирование землетрясений использует много факторов, в которые включаются различные модели подготовки землетрясения и разные предвестники: сейсмологические, геофизические, гидродинамические, геохимические.
- Предвестники землетрясений весьма разнообразны. Например, предвестники *электросопротивления*, когда за пару месяцев перед землетрясением наблюдается понижение электросопротивления глубоких слоев земной коры, что связано с изменением порового давления подземных вод. *Электротеллурические* предвестники свидетельствуют о том, что перед землетрясением начинается рост электротеллурических аномалий, что связывается с изменением меняющегося поля напряжений. Гидродинамические предвестники связаны с изменением уровня вод в скважинах. Обычно за несколько лет до сильного землетрясения наблюдается падение уровня вод, а перед землетрясением – резкий подъем. *Геохимические предвестники* указывают на аномальное увеличение содержания радона перед землетрясениями.
- Нередко, напоминая о трех-четырех удачных предсказаниях, заявляют: прогноз возможен. Подобный вывод совершенно неправомерен. Ибо подлинный прогноз – это вовсе не любые, сбывающиеся впоследствии предсказания, а лишь те, которые достаточно *надежно, устойчиво* сбываются, когда их делают по некоторым *определенным правилам* (алгоритмам). Естественно, что несколько удачных попаданий на фоне сотен ошибок типов «пропуска цели» или «ложная тревога» никаких оснований для вывода о возможности прогноза не дают.
- В проблеме прогноза главное открытие последних лет: непредсказуемость землетрясений вызвана вовсе не недостатком наблюдательных данных, как полагали еще недавно, а особенностями механизма разрушения, порождающими хаотичность сейсмического процесса.

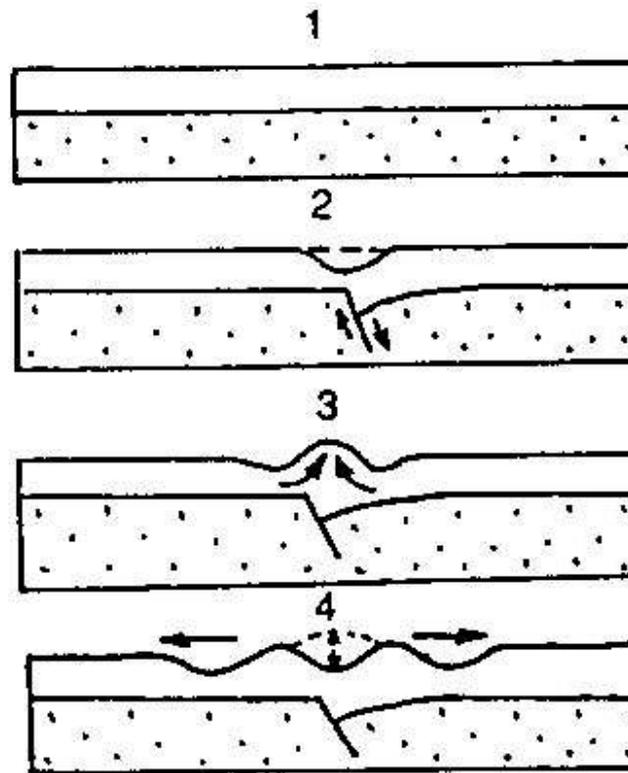
- **Сейсмостойкое строительство и поведение грунтов при землетрясениях.**
- Все строительство в сейсмоопасных районах осуществляется по специальным требованиям, направленным на повышение прочности зданий. Это и специальные фундаменты; и способы крепления стен зданий; и металлические «обручи», которыми, как бочку, опоясывают здание, предотвращая, тем самым, развал панелей стен дома; это и ограничение этажности и еще много других специальных антисейсмических приемов, направленных на усиление конструкции в уязвимых местах.
- Колебание сооружения зависит от многих факторов: от формы и глубины заложения фундамента, от жесткости конструкции, от типа грунтов, от резонансных частот и пиковых амплитуд предельно допустимого смещения. Возникновение резонансных колебаний влияет на контакт фундамента с грунтом.
- Особую опасность представляют маятниковые колебания, резонансное усиление которых, при расположении у центра тяжести сооружения далеко от его фундамента, например, трубы, высотные здания, высокие мостовые опоры, телебашни и др. Раскачивание таких сооружений приводит к их разрушению.
- Чрезвычайно важно знать некоторые важные характеристики грунтов, такие как модуль сжатия, модуль сдвига, коэффициент затухания колебаний, вязкость грунтов, их слоистость, степень изотропности, влажность.
- Рыхлые увлажненные грунты – глины, пески, суглинки меняют свои механические свойства, когда через них проходят упругие сейсмические волны. Особенно опасно разжижение водонасыщенного грунта, когда при колебаниях исчезают контакты между зернами, слагающими грунт, и последние оказываются как бы «взвешенными» в воде, которая содержалась в порах.

Цунами

- В результате подводного землетрясения, происходящего в открытом океане, возникает зона локального возмущения уровня водной поверхности, как правило, над эпицентральной областью. Это возмущение обусловлено быстрым поднятием или опусканием морского дна, которое приводит к возникновению на поверхности океана длинных гравитационных волн, называемых волнами цунами.
- Длина волн цунами определяется площадью эпицентральной области и может достигать сотни и даже больше км. Если где-то в океане происходит мгновенное поднятие дна, то на поверхности воды возникает как бы водяная «шляпка гриба» высотой в 5-8 м. Затем она распадается с образованием круговых волн, разбегающихся в разные стороны. Иногда в этой водяной «шляпке» наблюдаются всплески, небольшие фонтаны, брызги, появляются кавитационные пузырьки. Если какое-нибудь судно попадает в такую зону, то оно подвергается мощным ударам, вибрации и звуковому воздействию, причиной которой являются сейсмоакустические волны сжатия.



- Распространяясь во все стороны от эпицентральной области, волны проходят очень большие расстояния.
- Например, после сильного землетрясения 4 октября 1994 г. Вблизи о.Шикотан Курильской островной дуги с $M=8,0$ по шкале Рихтера, волны достигали побережья Южной Америки через 20-21 час.
- Чаще всего скорость распространения волн цунами не превышает 200 км/час, в то время как скорость сейсмических волн составляет несколько км/сек, что позволяет выдать прогноз возникновения цунами после землетрясения, которое регистрируется почти мгновенно, и оповестить население о приближающейся опасности.



Образование цунами. 1 – до землетрясения, светлое – вода, точки – океаническое дно; 2 – землетрясение вследствие сброса на дне, на поверхности океана возникает впадина; 3 – на месте впадины образуется купол воды; 4 – купол распадается на круговые волны

- Когда волна цунами высотой в 5-6 м подходит к отмелому берегу, ее высота начинает возрастать до нескольких десятков метров в силу различных причин. «Выросшая» в своей высоте волна цунами всей мощью обрушивается на пологий берег, сметая все на своем пути и проникает вглубь побережий иногда на десятки км.
- Цунами чаще всего происходят в Тихом океане, где за последние 10 лет их произошло более 70. Так, 02.09.1992 волна высотой в 10 м на побережье Никарагуа привела к гибели около 170 человек. 12.12.1992 г. цунами высотой до 26 м в Индонезии погубило более 1000 человек. 17.08.1998 г. цунами высотой до 15 м обрушилось на Папуа- Новую Гвинею, во время которого более 2000 человек оказались смытыми волной в лагуну, в которой они утонули или были съедены крокодилами.
- На Тихоокеанском побережье России цунами за последние 300 лет наблюдались 70 раз, причем самое разрушительное цунами произошло 04.11.1952 г.. когда волной около 10 м был сильно разрушен г.Северо-Курильск на о.Парамушир. Остальные цунами, хоть и вызывали сильные разрушения, но человеческих жертв не было.

- Цунами возникают не только в результате землетрясений. Известен случай на Аляске 09.07.1958 г., когда в бухту Литуя со склонов горы Фейрузер сошел огромный оползень в 80 млн. м³, вызвавший волну в 524 м высотой, что почти равно Останкинской телевизионной башне в Москве! Такая высота установлена по заплеску волн на склонах гор.
- К появлению цунами приводят и взрывы вулканических островов. Например, цунами, возникшее при гигантском взрыве вулкана Кракатау в Зондском проливе 26 августа 1883 г., привело к гибели 36 000 человек, а волны достигли Африки и обогнули ее, так как в Англии был зарегистрирован подъем воды на 15 см. Под воздействием цунами, по-видимому, погибла Минойская цивилизация на о.Крит в Эгейском море, когда в XV в. до н.э. произошло мощное взрывное извержение вулкана Санторин.
- В очаге цунами нередко происходит быстрый подъем к поверхности холодных глубинных вод и при этом температура поверхностной воды в диаметре до 500 км понижается на 5-6°С и подобная аномалия держится более суток. Такие аномалии уже много раз зафиксированы со спутников в океанах вблизи Тихоокеанского побережья Америки, в Охотском море и других местах.
- Сейсмические колебания океанического дна вызывают такое явление, как *моретрясение*, при котором море мгновенно «вскипает», образуются стоячие волны высотой до 5-6 м, водяные бугры, остающиеся на одном месте. Все это напоминает кипящее масло на сковороде. Нередко моретрясение сопровождается сильным гулом. Это явление зафиксировано экипажами кораблей, подвергавшихся жуткой тряске, ударам по корпусу и вибрации, вызывавших даже разрушения на палубах. Моретрясения возникают при особом типе колебания океанического дна, когда образуются высокоэнергетические акустические волны. Если колебания дна происходят со скоростью 1 м/с, то на фронте волны сжатия скачок давления достигает 15 атмосфер. Именно такая волна воспринимается судном как удар.