

Землетрясения

1. Определение и краткая характеристика
 2. Причины землетрясений
 3. Сейсмические волны
 4. Пути сейсмических волн
 5. Регистрация землетрясений
 6. Магнитуда землетрясений
 7. Интенсивность землетрясений
 8. Последствия землетрясений
 9. Сопутствующие явления
10. Географическое распространение землетрясений
 11. Прогноз землетрясений.



- **ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**, колебания Земли, вызванные внезапными изменениями в состоянии недр планеты. Эти колебания представляют собой упругие волны, распространяющиеся с высокой скоростью в толще горных пород.

- Наиболее сильные землетрясения иногда ощущаются на расстояниях более 1500 км от очага и могут быть зарегистрированы сейсмографами (специальными высокочувствительными приборами) даже в противоположном полушарии. Район, где зарождаются колебания называется очагом землетрясения, а его проекция на поверхность Земли – эпицентром землетрясения.
- Очаги большей части землетрясений лежат в земной коре на глубинах не более 16 км, однако в некоторых районах глубины очагов достигают 700 км. Ежедневно происходят тысячи землетрясений, но лишь немногие из них ощущаются человеком.

Причины землетрясений.

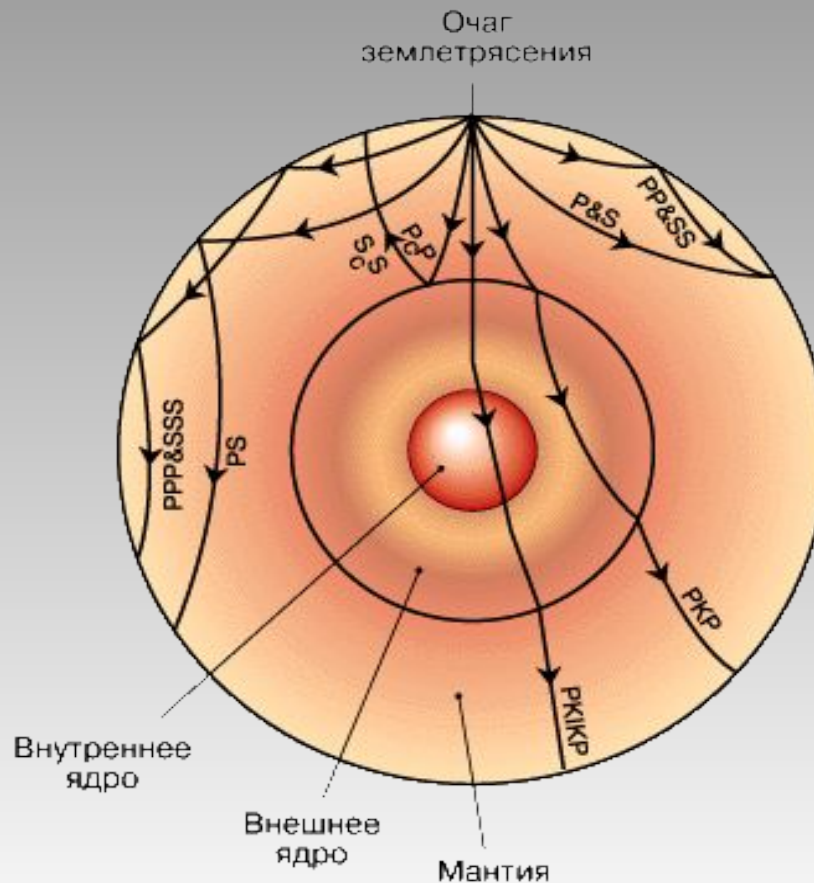
- Хотя уже с давних времен ведутся многочисленные исследования, нельзя сказать, что причины возникновения землетрясений полностью изучены. По характеру процессов в их очагах выделяют несколько типов землетрясений, основными из которых являются тектонические, вулканические и техногенные.
- *Тектонические землетрясения* возникают вследствие внезапного снятия напряжения, например, при подвижках по разлому в земной коре (исследования последних лет показывают, что причиной глубоких землетрясений могут быть и фазовые переходы в мантии Земли, происходящие при определенных температурах и давлениях). Иногда глубинные разломы выходят на поверхность.
- *Вулканические землетрясения* происходят вследствие резких перемещений магматического расплава в недрах Земли или в результате возникновения разрывов под влиянием этих перемещений.
- *Техногенные землетрясения* могут быть вызваны подземными ядерными испытаниями, заполнением водохранилищ, добычей нефти и газа методом нагнетания жидкости в скважины, взрывными работами при добыче полезных ископаемых и пр. Менее сильные землетрясения происходят при обвале сводов пещер или горных выработок.

Сейсмические волны.

- Колебания, распространяющиеся из очага землетрясения, представляют собой упругие волны, характер и скорость распространения которых зависят от упругих свойств и плотности пород. К упругим свойствам относятся модуль объемной деформации, характеризующий сопротивление сжатию без изменения формы, и модуль сдвига, определяющий сопротивление усилиям сдвига. Скорость распространения упругих волн увеличивается прямо пропорционально квадратному корню значений параметров упругости и плотности среды. **Продольные и поперечные волны.** На сейсмограммах эти волны появляются первыми. Раньше всего регистрируются продольные волны, при прохождении которых каждая частица среды подвергается сначала сжатию, а затем снова расширяется, испытывая при этом возвратно-поступательное движение в продольном направлении
- (т.е. в направлении распространения волны). Эти волны называются также *P*-волнами, или первичными волнами. Их скорость зависит от модуля упругости и жесткости породы. Вблизи земной поверхности скорость *P*-волн составляет 6 км/с, а на очень большой глубине - ок. 13 км/с.. Следующими регистрируются поперечные сейсмические волны, называемые также *S*-волнами, или вторичными волнами. При их прохождении каждая частица породы колеблется перпендикулярно направлению распространения волны. Их скорость зависит от сопротивления породы сдвигу и составляет примерно $7/12$ от скорости распространения *P*-волн.

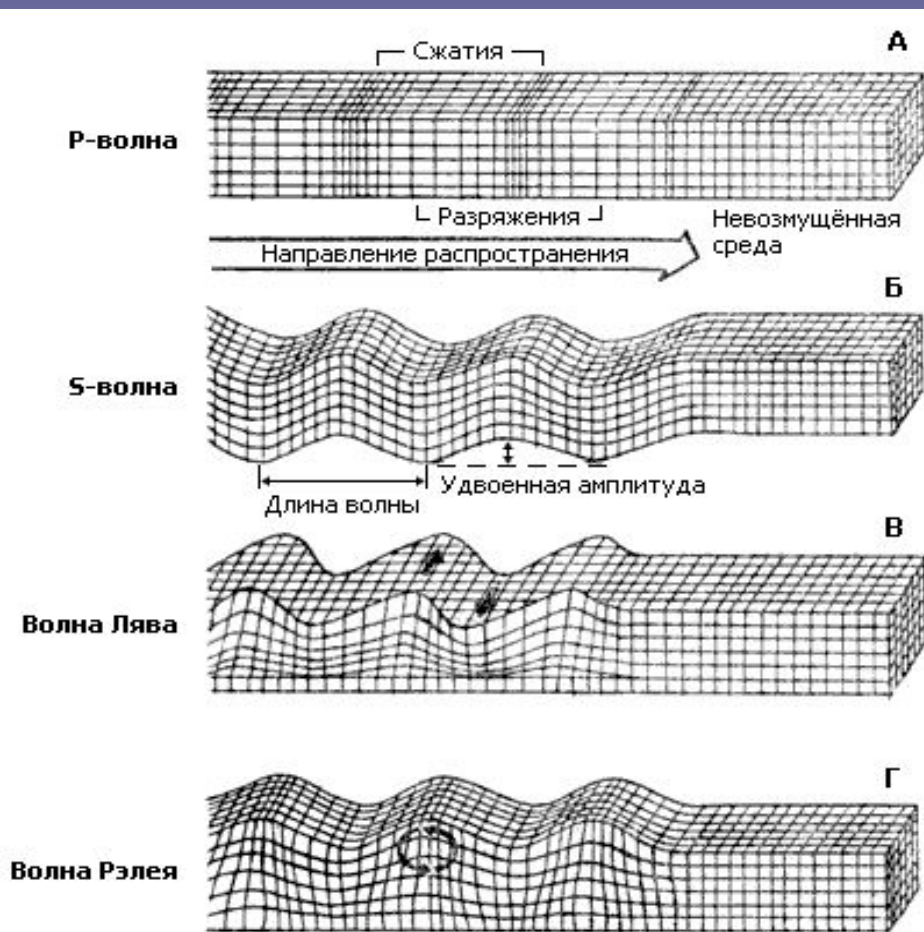
- **Поверхностные волны** распространяются вдоль земной поверхности или параллельно ей и не проникают глубже 80-160 км. В этой группе выделяются волны Рэлея и волны Лява (названные по именам ученых, разработавших математическую теорию распространения таких волн). При прохождении волн Рэлея частицы породы описывают вертикальные эллипсы, лежащие в очаговой плоскости. В волнах Лява частицы породы колеблются перпендикулярно направлению распространения волн. Поверхностные волны часто обозначаются сокращенно как *L*-волны. Скорость их распространения составляет 3,2-4,4 км/с. При глубоководных землетрясениях поверхностные волны очень слабые. *Амплитуда и период* характеризуют колебательные движения сейсмических волн. Амплитудой называется величина, на которую изменяется положение частицы грунта при прохождении волны по сравнению с предшествовавшим состоянием покоя. Период колебаний - промежуток времени, за который совершается одно полное колебание частицы. Вблизи очага землетрясения наблюдаются колебания с различными периодами – от долей секунды до нескольких секунд. Однако на больших расстояниях от центра (сотни километров) короткопериодные колебания выражены слабее: для *P*-волн характерны периоды от 1 до 10 с, а для *S*-волн – немного больше. Периоды поверхностных волн составляют от нескольких секунд до нескольких сотен секунд. Амплитуды колебаний могут быть значительными вблизи очага, однако на расстояниях 1500 км и более они очень малы - менее нескольких микрон для волн *P* и *S* и менее 1 см – для поверхностных волн.

- **Отражение и преломление.** Встречая на своем пути слои пород с отличающимися свойствами, сейсмические волны отражаются или преломляются подобно тому, как луч света отражается от зеркальной поверхности или преломляется, переходя из воздуха в воду. Любые изменения упругих характеристик или плотности материала на пути распространения сейсмических волн заставляют их преломляться, а при резких изменениях свойств среды часть энергии волн отражается



Пути сейсмических волн.

- Продольные и поперечные волны распространяются в толще Земли, при этом непрерывно увеличивается объем среды, вовлекаемой в колебательный процесс. Поверхность, соответствующая максимальному продвижению волн определенного типа в данный момент, называется фронтом этих волн. Поскольку модуль упругости среды возрастает с глубиной быстрее, чем ее плотность (до глубины 2900 км), скорость распространения волн на глубине выше, чем вблизи поверхности, и фронт волны оказывается более продвинутым вглубь, чем в латеральном (боковом) направлении. Траекторией волны называется линия, соединяющая точку, находящуюся на фронте волны, с источником волны. Направления распространения волн P и S представляют собой кривые, обращенные выпуклостью вниз (из-за того, что скорость движения волн больше на глубине). Траектории волн P и S совпадают, хотя первые распространяются быстрее.
- Сейсмические станции, находящиеся вдали от эпицентра землетрясения, регистрируют не только прямые волны P и S , но также волны этих типов, уже отраженные один раз от поверхности Земли - PP и SS (или $PR1$ и $SR1$), а иногда - отраженные дважды - PPP и SSS (или $PR2$ и $SR2$). Существуют также отраженные волны, которые проходят один отрезок пути как P -волна, а второй, после отражения, - как S -волна. Образующиеся обменные волны обозначаются как PS или SP . На сейсмограммах глубокофокусных землетрясений наблюдаются также и другие типы отраженных волн, например, волны, которые прежде, чем достичь регистрирующей станции, отразились от поверхности Земли. Их принято обозначать маленькой буквой, за которой следует заглавная (например, pR). Эти волны очень удобно использовать для определения глубины очага землетрясения.



- и некоторое количество их энергии возвращается к поверхности в виде волн, обозначаемых как PcP и ScS . P -волны проходят сквозь ядро, но их траектория при этом резко отклоняется и на поверхности Земли возникает теневая зона, в пределах которой регистрируются только очень слабые P -волны. Эта зона начинается на расстоянии ок. 11 тыс. км от сейсмического источника, а уже на расстоянии 16 тыс. км P -волны снова появляются, причем их амплитуда значительно возрастает из-за фокусирующего влияния ядра, где скорости волн низкие. P -волны, прошедшие сквозь земное ядро, обозначаются PKP или $P\phi$. На сейсмограммах хорошо выделяются также волны, которые по пути от источника к ядру идут как волны S , затем проходят сквозь ядро как волны P , а при выходе волны снова преобразуются в тип S . В самом центре Земли, на глубине более 5100 км, существует внутреннее ядро, находящееся предположительно в твердом состоянии, но природа его пока не вполне ясна. Волны, проникающие сквозь это внутреннее ядро, обозначаются как $PKIKP$ или $SKIKS$

- На глубине 2900 км скорость P -волн резко снижается от >13 км/с до ~ 8 км/с; а S -волны не распространяются ниже этого уровня, соответствующего границе земного ядра и мантии. Оба типа волн частично отражаются от этой поверхности,

Регистрация землетрясений.

- Прибор, записывающий сейсмические колебания, называется сейсмографом, а сама запись - сейсмограммой. Сейсмограф состоит из маятника, подвешенного внутри корпуса на пружине, и записывающего устройства.
- Одно из первых записывающих устройств представляло собой вращающийся барабан с бумажной лентой. При вращении барабан постепенно смещается в одну сторону, так что нулевая линия записи на бумаге имеет вид спирали. Каждую минуту на график наносятся вертикальные линии - отметки времени; для этого используются очень точные часы, которые периодически сверяют с эталоном точного времени. Для изучения близких землетрясений необходима точность маркировки - до секунды или меньше.
- Во многих сейсмографах для преобразования механического сигнала в электрический используются индукционные устройства, в которых при перемещении инертной массы маятника относительно корпуса изменяется величина магнитного потока, проходящего через витки индукционной катушки. Возникающий при этом слабый электрический ток приводит в действие гальванометр, соединенный с зеркальцем, которое отбрасывает луч света на светочувствительную бумагу записывающего устройства. В современных сейсмографах регистрация колебаний ведется в цифровом виде с использованием компьютеров.

Магнитуда землетрясений.

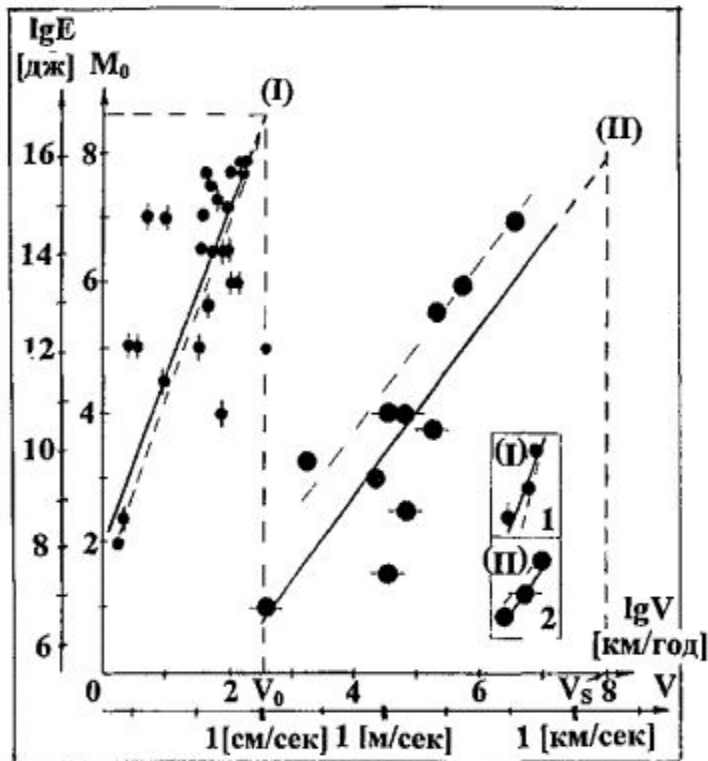


Рис. 2.4.4. Значения скоростей миграции тихоокеанских землетрясений вдоль сейсмофокальной зоны и определенные по ним зависимости $M_0(V)$. 1, 2 - «солитонная» и «экситонная» зависимости; пунктиром проведены такие же зависимости, полученные в работе (Викулин, Иванчин, 1998) с использованием данных, не отмеченных «дусами»; V_0 - характерная скорость сеймотектонического процесса, определяемая параметрами модели, V_s - скорость поперечных упругих волн.

- обычно определяется по шкале, основанной на записях сейсмографов. Эта шкала известна под названием шкалы магнитуд, или шкалы Рихтера (по имени американского сейсмолога Ч.Ф.Рихтера, предложившего ее в 1935).

- Магнитуда землетрясения - безразмерная величина, пропорциональная логарифму отношения максимальных амплитуд определенного типа волн данного землетрясения и некоторого стандартного землетрясения. Существуют различия в методах определения магнитуд близких, удаленных, мелкофокусных (неглубоких) и глубоких землетрясений. Магнитуды, определенные по разным типам волн, отличаются по величине. Землетрясения разной магнитуды (по шкале Рихтера) проявляются следующим образом:
 - 2 - самые слабые ощущаемые толчки;
 - 4 1/2 - самые слабые толчки, приводящие к небольшим разрушениям;
 - 6 - умеренные разрушения;
 - 8 1/2 - самые сильные из известных землетрясений.

Интенсивность землетрясений.

- **Интенсивность землетрясений** оценивается в баллах при обследовании района по величине вызванных ими разрушений наземных сооружений или деформаций земной поверхности. Для ретроспективной оценки балльности исторических или более древних землетрясений используют некоторые эмпирически полученные соотношения. В США оценка интенсивности обычно проводится по модифицированной 12-балльной шкале Меркалли.
- *1 балл.* Ощущается немногими особо чувствительными людьми в особенно благоприятных для этого обстоятельствах.
- *3 балла.* Ощущается людьми как вибрация от проезжающего грузовика.
- *4 балла.* Дребезжат посуда и оконные стекла, скрипят двери и стены.
- *5 баллов.* Ощущается почти всеми; многие спящие просыпаются. Незакрепленные предметы падают.
- *6 баллов.* Ощущается всеми. Небольшие повреждения.
- *8 баллов.* Падают дымовые трубы, памятники, рушатся стены. Меняется уровень воды в колодцах. Сильно повреждаются капитальные здания.
- *10 баллов.* Разрушаются кирпичные постройки и каркасные сооружения. Деформируются рельсы, возникают оползни.
- *12 баллов.* Полное разрушение. На земной поверхности видны волны.

Последствия землетрясений.



- Сильные землетрясения оставляют множество следов, особенно в районе эпицентра: наибольшее распространение имеют оползни и осыпи рыхлого грунта и трещины на земной поверхности. Характер таких нарушений в значительной степени определяется геологическим строением местности. В рыхлом и водонасыщенном грунте на крутых склонах часто происходят оползни и обвалы,
- а мощная толща водонасыщенного аллювия в долинах деформируется легче, чем твердые породы. На поверхности аллювия образуются просадочные котловины, заполняющиеся водой. И даже не очень сильные землетрясения получают отражение в рельефе местности.
- Смещения по разломам или возникновение поверхностных разрывов могут изменить плановое и высотное положение отдельных точек земной поверхности вдоль линии разлома, как это произошло во время землетрясения 1906 в Сан-Франциско. При землетрясении в октябре 1915 в долине Плезант в Неваде на разломе образовался уступ длиной 35 км и высотой до 4,5 м. При землетрясении в мае 1940 в долине Импириал в Калифорнии подвижки произошли на 55-километровом участке разлома, причем наблюдались горизонтальные смещения до 4,5 м. В результате Ассамского землетрясения (Индия) в июне 1897 в эпицентральной области высота местности изменилась не менее, чем на 3 м.

- Значительные поверхностные деформации прослеживаются не только вблизи разломов и приводят к изменению направления речного стока, подпруживанию или разрывам водотоков, нарушению режима источников воды, причем некоторые из них временно или навсегда перестают функционировать, но в то же время могут появиться новые. Колодцы и скважины заплывают грязью, а уровень воды в них ощутимо меняется. При сильных землетрясениях вода, жидкая грязь или песок могут фонтанами выбрасываться из грунта.



- При смещении по разломам происходят повреждения автомобильных и железных дорог, зданий, мостов и прочих инженерных сооружений. Однако качественно построенные здания редко разрушаются полностью. Обычно степень разрушений находится в прямой зависимости от типа сооружения и геологического строения местности. При землетрясениях умеренной силы могут происходить частичные повреждения зданий, а если они неудачно спроектированы или некачественно построены, то возможно и их полное разрушение.





- При очень сильных толчках могут обрушиться и сильно пострадать сооружения, построенные без учета сейсмической опасности. Обычно не обрушиваются одно- и двухэтажные постройки, если у них не очень тяжелые крыши. Однако бывает, что они смещаются с фундаментов и часто у них растрескивается и отваливается штукатурка.

- Дифференцированные движения могут приводить к тому, что мосты сдвигаются со своих опор, а инженерные коммуникации и водопроводные трубы разрываются. При интенсивных колебаниях уложенные в грунт трубы могут «складываться», всовываясь одна в другую, или выгибаться, выходя на поверхность, а железнодорожные рельсы деформироваться. В сейсмоопасных районах сооружения должны проектироваться и строиться с соблюдением строительных норм, принятых для данного района в соответствии с картой сейсмического районирования.
- В густонаселенных районах едва ли не больший ущерб, чем сами землетрясения, наносят пожары, возникающие в результате разрыва газопроводов и линий электропередач, опрокидывания печей, плит и разных нагревательных приборов. Борьба с пожарами затрудняется из-за того, что водопровод оказывается поврежденным, а улицы непроезжими вследствие образовавшихся завалов.

Сопутствующие явления.

- Иногда подземные толчки сопровождаются хорошо различимым низким гулом, когда частота сейсмических колебаний лежит в диапазоне, воспринимаемом человеческим ухом, иногда такие звуки слышатся и при отсутствии толчков. В некоторых районах они представляют собой довольно обычное явление, хотя ощутимые землетрясения происходят очень редко. Имеются также многочисленные сообщения о возникновении свечения во время сильных землетрясений. Общепринятого объяснения таких явлений пока нет. Цунами (большие волны на море) возникают при быстрых вертикальных деформациях морского дна во время подводных землетрясений. Цунами распространяются в океанах в пределах глубоководных зон океанов со скоростью 400–800 км/ч и могут вызвать разрушения на берегах, удаленных на тысячи километров от эпицентра. У близлежащих к эпицентру берегов эти волны иногда достигают в высоту 30 м.
- При многих сильных землетрясениях помимо основных толчков регистрируются форшоки (предшествующие землетрясения) и многочисленные афтершоки (землетрясения, следующие за основным толчком). Афтершоки обычно слабее, чем основной толчок, и могут повторяться в течение недель и даже лет, становясь все реже и реже.

Географическое распространение землетрясений.



- Большинство землетрясений сосредоточено в двух протяженных, узких зонах. Одна из них обрамляет Тихий океан, а вторая тянется от Азорских о-вов на восток до Юго-Восточной Азии.

- Тихоокеанская сейсмическая зона проходит вдоль западного побережья Южной Америки. В Центральной Америке она разделяется на две ветви, одна из которых следует вдоль островной дуги Вест-Индии, а другая продолжается на север, расширяясь в пределах США, до западных хребтов Скалистых гор. Далее эта зона проходит через Алеутские о-ва до Камчатки и затем через Японские о-ва, Филиппины, Новую Гвинею и острова юго-западной части Тихого океана к Новой Зеландии и Антарктике.
- Вторая зона от Азорских о-вов простирается на восток через Альпы и Турцию. На юге Азии она расширяется, а затем сужается и меняет направление на меридиональное, следует через территорию Мьянмы, острова Суматра и Ява и соединяется с циркумтихоокеанской зоной в районе Новой Гвинеи.

- Выделяется также зона меньшего размера в центральной части Атлантического океана, следующая вдоль Срединно-Атлантического хребта.
- Существует ряд районов, где землетрясения происходят довольно часто. К ним относятся Восточная Африка, Индийский океан и в Северной Америке долина р.Св. Лаврентия и северо-восток США.
- Иногда в районах, которые принято считать неактивными, происходят сильные землетрясения, как, например, в Чарлстоне (шт. Южная Каролина) в 1886.
- По сравнению с мелкофокусными глубокофокусные землетрясения имеют более ограниченное распространение. Они не были зарегистрированы в пределах Тихоокеанской зоны от южной Мексики до Алеутских о-вов, а в Средиземноморской зоне - к западу от Карпат.

- Глубокофокусные землетрясения характерны для западной окраины Тихого океана, Юго-Восточной Азии и западного побережья Южной Америки. Зона с глубокофокусными очагами обычно располагается вдоль зоны мелкофокусных землетрясений со стороны материка.



Прогноз землетрясений.

- Для повышения точности прогноза землетрясений необходимо лучше представлять механизмы накопления напряжений в земной коре, крипа и деформаций на разломах, выявить зависимости между тепловым потоком из недр Земли и пространственным распределением землетрясений, а также установить закономерности повторяемости землетрясений в зависимости от их магнитуды.
- Во многих районах земного шара, где существует вероятность возникновения сильных землетрясений, ведутся геодинамические наблюдения с целью обнаружения предвестников землетрясений, среди которых заслуживают особого внимания изменения сейсмической активности, деформации земной коры, аномалии геомагнитных полей и теплового потока, резкие изменения свойств горных пород (электрических, сейсмических и т.п.), геохимические аномалии, нарушения водного режима, атмосферные явления, а также аномальное поведение насекомых и других животных (биологические предвестники). Такого рода исследования проводятся на специальных геодинамических полигонах (например, Паркфилдском в Калифорнии, Гармском в Таджикистане и др.). С 1960 работает множество сейсмических станций, оборудованных высокочувствительной регистрирующей аппаратурой и мощными компьютерами, позволяющими быстро обрабатывать данные и определять положение очагов землетрясений.