



Казахский Национальный Исследовательский Технический
Университет,
Институт Геологии и Нефтегазового Дела
Кафедра “Геофизики”

Сейсмогеофизические предвестники и стратегия прогнозирования землетрясений

Лекция 1

Введение. Понятийная база, принципы, цели и задачи.
Тектоника очагов землетрясений. Тектонические, вулканические,
денудационные, техногенные землетрясения

Преподаватель: Абетов Ауэз Егембердыевич – профессор,
доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК

Кто я? Абетов Ауэз Егембердыевич

44 года научно-производственной и педагогической деятельности в нефтяной и газовой индустрии:

- ✦ 3 года работы в ПГО "Узбекгеофизика» (1980-1983 г.г.; г. Ташкент); техник-геофизик, инженер-геофизик.
- ✦ 3 года обучения в аспирантуре Института Физики Земли АН СССР (1984-1986 г.г.; г. Москва).
- ✦ 5 лет работы в Институте Геологии и Геофизики Академии Наук Узбекской ССР (1987-1991г.г.; г. Ташкент); инженер, старший инженер-геофизик, младший научный сотрудник; научный сотрудник.
- ✦ 13 лет работы в Институте Геологии и Разведки Нефтяных и Газовых Месторождений (1991-2003г.г.; г. Ташкент), заведующий отделом.
- ✦ 2 года работы в Ташкентском Государственном Университете (1996-1998г.г.; г. Ташкент); старший преподаватель.
- ✦ 8 лет работы в Институте Геологии и Геофизики Академии Наук Республики Узбекистан (1991-1997г.г.; г. Ташкент); ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией (по совместительству).
- ✦ 2 года работы в ТОО «Мунайгазгеолсервис» (2003-2004г.г.; г.Шымкент); ведущий геофизик.
- ✦ 2 года работы в ТОО "КАТЭК" (2004-2006г.г.; г. Алматы); главный геолог.
- ✦ 8 лет работы в «Шлюмберже» (2006-2014гг.; г.г. Алматы, Астрахань); старший геофизик, ведущий геофизик, главный геолог.
- ✦ 10 лет работы в КазННТУ им.К.И.Сатпаева (2014-2024 г.г.; г. Алматы), заведующий кафедры Геофизики, профессор.

✦ Научные степени:

Кандидат геолого-минералогических наук (ВНИИЯГ – г. Москва; 1989г.).

Доктор геолого-минералогических наук (НПО «Нефтегазнаука»; г.Ташкент, 1997г.).

Академическое звание:

Член-корреспондент Академии Минеральных Ресурсов РК (Алматы, 2016г.). Член-корреспондент Национальной Академии Наук РК (Алматы, 2020). Академик Национальной Академии Наук РК (Алматы, 2024г.)

Научные публикации – более 160, включая 6 монографий (в соавторстве).

Научно-производственные отчеты – более 80.

Представьтесь, пожалуйста...

- Образование и опыт работы?
- Каковы ваши текущие цели и задачи?
- Что вы хотите получить от обучения в докторантуре?
- Что вы хотите получить от данного курса?

Ваш отклик очень важен...

- **Говорите мне, если я веду занятие слишком быстро или слишком медленно.**
- **Останавливайте, если вам что-то непонятно.**
- **Требуйте, если нужно, более подробных объяснений.**

Задавайте вопросы

Практика проведения аналогичных курсов показала высокую эффективность только в тех случаях, когда регулярно и на интерактивной основе происходит общение между преподавателем и докторантами.

Формат занятий - расширенный

Если для Вас что-нибудь не понятно:

Уточните и задайте вопрос!

Методика и способы обучения

- ◆ Построение курса по модулям.
- ◆ PowerPoint: слайды, семинары, постановка и разбор задач/проблем.
- ◆ Видеоролики по курсу.
- ◆ Гибкий и интерактивный дизайн курса.
- ◆ Последовательное усложнение курса.
- ◆ Возможно включение более продвинутых модулей во время курса.
- ◆ Обсуждение некоторых аспектов коммерческой значимости системного подхода к изучению вопросов и проблем сейсмогеофизических предвестников.
- ◆ Свободная обратная связь с преподавателем.
- ◆ Командная работа, получение знаний друг от друга.

Введение

Сейсмические события обычные и закономерные проявления жизни планеты. Каждую минуту на Земле происходит 1-2 землетрясения, что за год составляет несколько сотен тысяч, из которых 1 — катастрофическое, 10 — сильно разрушительных, разрушительных, 100 — разрушительных и 1000 — сопровождаются повреждениями сооружений. За исторический период землетрясения унесли более 15 млн человеческих жизней, что в 100 раз больше, чем извержения вулканов.

Самые разрушительные из известных в мире землетрясений произошли в Китае. 28 июля 1976 г. примерно в 160 км к юго-востоку от Пекина в густонаселенном районе северо-восточного Китая произошло землетрясение с магнитудой 8,2, эпицентр его находился в огромном промышленном городе Таншань. Масштаб разрушений и число человеческих жертв были беспрецедентными.

Жилые дома и магазины, учреждения и заводы превратились в груды обломков. Весь город практически сровнялся с землей. Участки, расположенные на рыхлых грунтах, во время землетрясения сильно осели и покрылись множеством огромных трещин. Одна из таких трещин поглотила здание больницы и переполненный пассажирами поезд. Развитию трещин способствовало обрушение старых выработок в угольных шахтах.

Население Таншаня насчитывало полтора миллиона человек, но лишь очень немногим удалось избежать телесных повреждений. Официальных сообщений об этой катастрофе из Китая не поступало, но гонконгская газета, сообщила, что погибло 655237 человек. В это число были включены также жертвы землетрясения за пределами Таншаня, в частности в Тяньцзине и Пекине.

Эпицентр еще более губительного землетрясения, произошедшего также в Китае 23 января 1556 г., находился в городе Сиань (провинция Шэньси), расположенном на берегах Хуанхэ. Здесь равнины, выполненные рыхлыми осадками, чередуются с низкими холмами, сложенными тонким лессовым материалом. Целые города погружались в грунт, разжиженный вследствие колебаний, и тысячи жилищ, вырытых в рыхлых лессовых холмах, обрушились в считанные секунды. Поскольку толчок произошел в 5 ч утра, большинство семей еще находилось дома и с этим, несомненно, связано огромное число жертв — 830 000.

Среди самых страшных землетрясений уходящего XX века - землетрясение в Китае в 1920 году, унесшее жизни более 200 тысяч людей, и в Японии в 1923 году, во время которого погибли более 100 тысяч человек.

Научно-технический прогресс оказался бессилем перед грозной стихией. И спустя более 100 лет во время землетрясений продолжают гибнуть сотни тысяч людей: в 1976 году во время Тянь-Шаньского землетрясения погибли 250 тысяч человек. Затем были страшные землетрясения в Турции, Сирии, Италии, Японии, Иране, США (в Калифорнии), на территории бывшего СССР: в 1989 году в Спитаке и в 1995 году в Нефтегорске.

Совсем недавно - в 1999 и 2023 гг. стихия настигла и погребла под обломками собственных домов несколько десятков тысяч человек во время страшных землетрясений в Турции и Сирии.

Введение



*Землетрясение в Турции (2023г).
Фото: centralasia.media*



*Последствия землетрясения в Алеппо
(Сирия, 2023). Фото: соцсети*

Введение

За последние четверть века в России произошло 27 значительных, то есть силой более семи баллов по шкале Рихтера, землетрясений. Положение отчасти спасает малонаселенность многих сейсмически опасных районов - Сахалина, Курильских островов, Камчатки, Алтайского края, Якутии, Прибайкалья, чего, однако, не скажешь о Кавказе. Тем не менее в зонах возможных разрушительных землетрясений в России в общей сложности проживают 20 миллионов человек.

Имеются сведения, что в прошлые века на Северном Кавказе бывали разрушительные землетрясения интенсивностью в семь-восемь баллов. Особенно сейсмически активен район Кубанской низменности и нижнего течения реки Кубань, где в период с 1799 по 1954 год произошло восемь сильных землетрясений силой шесть-семь баллов. Также активна Сочинская зона в Краснодарском крае, поскольку она расположена на пересечении двух тектонических разломов.

Последние полтора десятка лет оказались сейсмически беспокойными для нашей планеты. Не составила исключение и территория России: основные сейсмически опасные зоны - Дальневосточная, Кавказская, Байкальская - активизировались.

Большинство очагов сильных толчков находится поблизости от крупнейшей геологической структуры, пересекающей Кавказский регион с севера на юг - в Транскавказском поперечном поднятии. Это поднятие разделяет бассейны рек, текущих на запад - в Черное море и на восток - в Каспийское море.

Сильные землетрясения в этом районе - Чалдыранское 1976 года, Параванское 1986 года, Спитакское 1988 года, Рача-Джавское 1991 года, Барисахское 1992 года - постепенно распространялись с юга на север, с Малого Кавказа на Большой и наконец достигли южных границ Российской Федерации.

Северное окончание Транскавказского поперечного поднятия располагается на территории Ставропольского и Краснодарского краев, то есть в районе Минеральных Вод и на Ставропольском своде. Слабые землетрясения силой два-три балла в районе Минеральных Вод - явление обычное. Более сильные землетрясения здесь происходят в среднем раз в пять лет. В начале 90-х годов достаточно сильные землетрясения интенсивностью три-четыре балла были зарегистрированы в западной части Краснодарского края - в Лазаревском районе и в Черноморской впадине. А в ноябре 1991 года аналогичное по силе землетрясение ощущалось в городе Туапсе.

Чаще всего землетрясения происходят в районах быстро меняющегося рельефа: в области перехода островной дуги к океанологическому желобу или в горах. Однако много землетрясений бывает и на равнине. Так, например, на сейсмически спокойной Русской платформе за все время наблюдений зафиксировано около тысячи слабых землетрясений, большая часть из которых произошла в районах добычи нефти в Татарии.

Введение

Дополнительные примеры

В СССР во второй половине прошлого века наиболее разрушительными оказались Ашхабадское (октябрь 1948 г.); Ташкентское (апрель 1966 г.); Дагестанское (май 1970 г.); Спитакское (декабрь 1988 г.) и Нефтегорское (май 1995 г.) землетрясения. Каждое из них унесло тысячи и десятки тысяч человеческих жизней. Большие разрушения получили города и населенные пункты.



Ташкентское землетрясение 1966г

Ташкентское землетрясение 1966г



Введение

В мае 1970 г. произошло 8-мибалльное землетрясение Дагестанское землетрясение..

В августе 1981 г. на склоне вулкана Тятя на острове Кунашир, внезапно земля загудела под ногами и твердая укатанная грунтовая дорога на несколько секунд превратилась в болотную хлябь. Произошел 8-мибалльный толчок т на Курильских островах.

Данные сейсмические события связаны с усилением глубинной дегазации. Так во время Ташкентского землетрясения 1966 г. был установлен эффект упреждающего усиления радоновой дегазации. Во время Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. Д.Г.Осика обнаружил путем прямого измерения в зияющих трещинах эффект увеличения концентрации водорода на 5-6 порядков. Также было установлено, что активизация газовыделения во время землетрясений наблюдается на площади в десятки и первые сотни тысяч квадратных километров.

Тектоника очагов землетрясений

Географическое распространение землетрясений на планете неоднородно. Наряду с *асейсмичными областями*, где на памяти человека не происходило значимых сейсмособытий, отчетливо выделяются сейсмически активные области. В первую очередь, это Альпийско-Гималайская складчатая область, протянувшаяся в субширотном направлении от Атлантического океана до Тихого, т.е. «обнимающая» половину планеты. Отличительная особенность этой зоны — очень высокая плотность населения и древность заселенности территории.

Далее укажем на Тихоокеанское «огненное кольцо» — зону сочленения океана с его континентальными окраинами. Уже упомянутой спецификой этих зон является наличие глубокофокусных землетрясений.

- Постоянно происходят малоглубинные землетрясения в рифтовых структурах срединно-океанских хребтов (СОХ), которые имеют вид линейно вытянутых зон, практически на 90% совпадающих с областями активного вулканизма. Подчеркнем, что географическое распределение землетрясений, совпадающее с областями проявления современного вулканизма и активной «холодной» глубинной дегазации, прямо указывает на наличие генетической связи между этими катастрофическими явлениями.

Примечательно, что сейсмически активными являются и районы кристаллических щитов древних платформ. Так в последние годы возросла сейсмичность Балтийского щита Восточно-Европейской платформ.

Схема эволюции континентального рифта в пассивную окраину (Ingersoll, Busby, 1995)

0 500 км

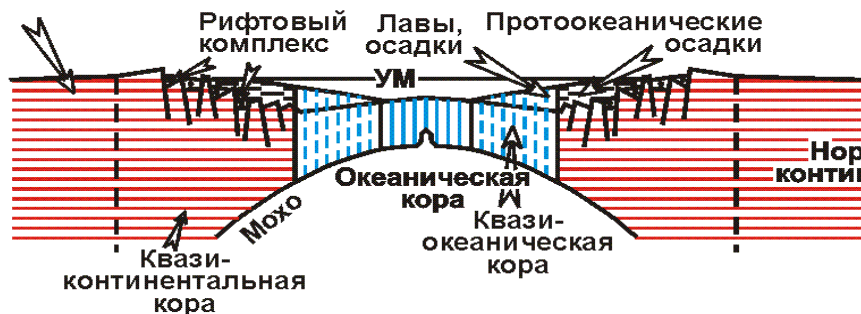


Нормальная континентальная кора
(дорифтовая стадия)

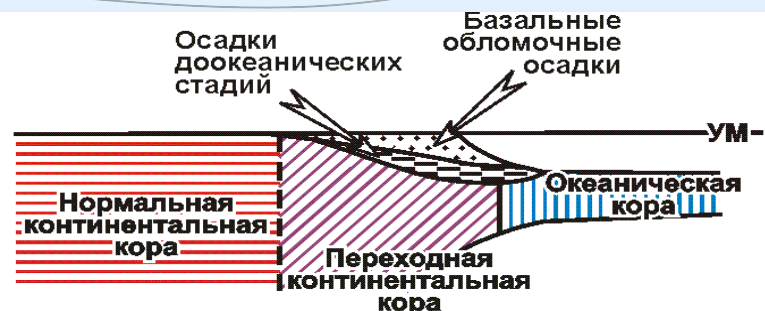


Внутриконтинентальный рифт

Нормальная континентальная кора



Протоокеаническая стадия (появление утоненной континентальной и утолщенной океанической коры)



Объединение квазиконтинентальной и квазиокеанической коры в переходную кору



Образование триады континентальный уступ – склон – подножье (доминирующий механизм прогибания – накопление осадков)



Формирования континентального вала (объем накапливаемых осадков столь велик, что береговая линия перемещается в область развития океанической коры)

Тектоника очагов землетрясений

21 октября 2010 года в городе Кировск в Хибинских горах на Кольском полуострове произошло естественное сейсмическое событие с магнитудой 3,2. После основного удара сейсмотатчики зафиксировали серию афтершоков. Эпицентр находился в районе Саамского разлома за пределами ведения горных работ.

5 марта 2022 года в Хибинском горном массиве произошло ощутимое сейсмическое событие с магнитудой составила 3.7 единиц, глубина очага — до 500 метров. Интенсивность колебаний земной поверхности в населенных пунктах Мурманской области в баллах шкалы МСК-64: пос. Коашва (6.5 км) — 5.7 баллов, Кировск (20 км) — 4 балла, Апатиты (33 км) — 3 балла, Мончегорск (60 км) — 2.5 балла, Полярные зори (76 км) — 2 балла, Мурманск (150 км) — 1 балл.

Часты сейсмособытия и на Воронежском кристаллическом массиве. За последнюю четверть века их здесь произошло более 600. Прогнозная интенсивность — 6 баллов. Частая сейсмика коррелирует с частыми же эпизодами разрушения озонового слоя, фиксируемыми на Воронежской озонметрической станции.

Сейсмичны и обрамляющие платформу структуры древней складчатости: каледонской в Скандинавии и герцинской на Урале. Здесь землетрясения часто фиксируются в палеорифтовых структурах Ботнического и Финского заливов Балтийского моря и Кандалакшского залива Белого моря. Интенсивность землетрясений достигает 7 баллов, а сами события участились в последние годы, что указывает на «оживление» палеорифтовых структур.

Так 21 сентября 2004 г. 3 толчка магнитудой до 5,4 и интенсивностью до 6.5 баллов произошли в Калининграде. По информации сейсмологических станций Норвегии, Финляндии, Швеции и Польши, эпицентр калининградского землетрясения находился в море в районе Готландской впадины в 100 километрах от Калининграда. Отметим, что Готландская впадина является бескислородным бассейном, что указывает на интенсивное выделение здесь восстановительных газов, в том числе водорода и метана, которые периодически разрушают озоновый слой на Ботническом заливом. Землетрясение произошло на площади 1500 кв. км и регистрировалось в Эстонии, Санкт-Петербурге и Москве, на сейсмостанциях Швеции, Финляндии, Норвегии.

Наиболее сильные разрушения произошли на побережье Балтийского моря. Напротив санатория «Янтарный берег» произошло поднятие морского дна, в результате чего ширина пляжа с 5-20 метров увеличилась до 30-70м.

Тектоника очагов землетрясений

Возле Светлогорска высокая 20-метровая насыпь железной дороги была разрушена до основания на протяжении более 60 метров. В воздухе повисли рельсы со шпалами. За несколько часов до землетрясения в Калининградском зоопарке в сильное волнение пришла слониха. Била ногами в стену вольера, потом выбежала из него и громко трубила. Отметим, что землетрясение произошло в день осеннего равноденствия, которое (как и весеннее) нередко сопровождается природными катастрофами, например, взрывам газа на угольных шахтах.

В ночь на 5 сентября 2018 года на Южном Урале произошло землетрясение с магнитудой 5,4 и с интенсивностью в эпицентре до 6 баллов по шкале MSK-64. Предыдущее землетрясение примерно с такой же магнитудой было в 1914 году в районе города Первоуральск Свердловской области. А в 1798 году похожее по силе событие произошло под Пермью.

Сведений о более ранних сильных землетрясениях Урала нет, но уже этих данных достаточно, чтобы понять: землетрясения на Урале есть и будут, и достаточно сильные, чтобы начать обращать на них внимание. Наиболее пострадавшим населенным пунктом на этот раз стал город Катав-Ивановск Челябинской области, где отмечены незначительные повреждения зданий. Самыми дальними населенными пунктами, где землетрясение ощущалось людьми (2–3 балла), были Пермь, Екатеринбург, Челябинск, Магнитогорск, Стерлитамак, поселки на границе Башкирии и Татарстана. 23 декабря 2022 года в районе Североуральска произошло сейсмособытие магнитудой 3.0.

Тектонические землетрясения

Тектонические землетрясения

Составляют до 95% от числа всех землетрясений, магнитуда достигает максимума — 9,0. Они вызваны эндогенными (внутренними) факторами и обусловленные подвижками отдельных блоков по зонам разломов. Еще в начале XIX в. было установлено, что эпицентры частых землетрясений тяготеют к линейным зонам — берегам морей и океанов, подножьям хребтов. Так очаги крымских землетрясений приурочены к узкой полосе, проходящее в 30 км от берега, за которой дно Черного моря крутым уступом обрывается на большую глубину.

Верхняя твердая оболочка Земли — земная кора разбита сетью планетарной трещиноватости на огромное число разномасштабных кусков — блоков. Главные трещины этой сети — планетарные рифтовые зоны, которые имеют в основном меридиональные простирания и прослеживаются от полюса до полюса.

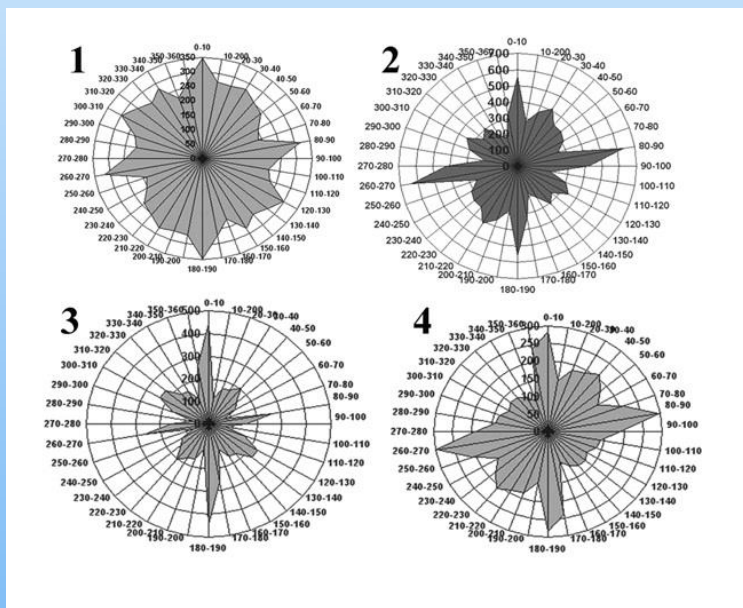
Хорошо выделяются широтные, а также дополнительные к ортогональным, диагональные разломные зоны планетарной протяженности. Размер блоков земной коры, ограниченных такими планетарными трещинами — рифтами, отвечает материкам и океанам, т.е. измеряется тысячами километров. Далее блочная структура строения земной коры прослеживается на всех масштабах, вплоть до первых километров и сотен метров. Некоторое представление о планетарной сети трещиноватости можно получить по речной сети, где изгибы русел, притоки, повороты продолжают друг друга в линейных направлениях и могут быть прослежены на сотни и тысячи километров, даст нам представление о разломной сети соответствующего масштаба, т.к. каждая река маркирует разлом.

Земля «живет», она вращается вокруг своей оси, испытывает внешнее гравитационное воздействие Луны и Солнца, перепады ускорений при движении по эллиптической околосолнечной орбите. В это же время из ядра Земли по границам блоков — разломам поднимаются потоки глубинных флюидов. Все это воздействует на систему разноразмерных, фрактально вложенных друг в друга блоков, которые испытывают постоянные взаимные перемещения, как вертикальные, так и горизонтальные.

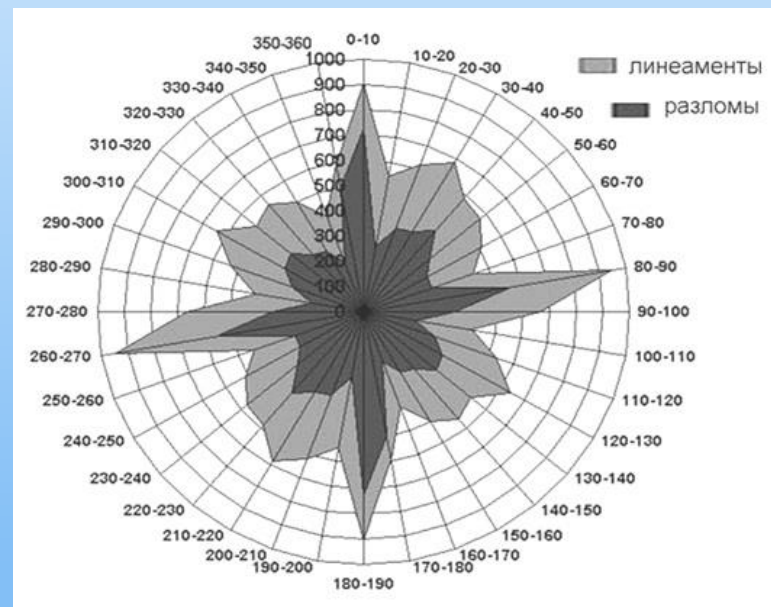
Даже если смещение составляет несколько сантиметров, энергия, выделяемая при движениях горных масс весом в миллиарды тонн, даже на малое расстояние, огромна. Она высвобождается в виде сейсмических толчков — землетрясений, которые сотрясают планету каждую минуту. Таким образом, землетрясения это обычный и нормальный природный феномен.

Закономерности ориентации линейных структур дна океанов

Перемещения блоков земной коры во время тектонических землетрясений могут проявляться на земной поверхности. Иногда в виде трещин протяженностью до 1,5 км при ширине 2 м (Калабрийское землетрясение 1783 г.). При Лиссабонском землетрясении 1755 г. набережная мгновенно опустилась на 200 м под воду вместе с толпами народа, искавшего там спасения. Часть дельты р.Селенги во время Байкальского землетрясения 1862 г. опустилась на 3 м.



Розы-диаграммы направленности: 1 – линеаментов по суше, 2 – линеаментов по океанам, 3 – разломов по суше, 4 – разломов по океанам



Роза-диаграмма общей направленности линейных структур Земли

С В.М. Анохин (ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, О закономерностях ориентации линейных структур дна океанов. Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, 16–20 ноября 2009г.

Вулканические землетрясения

В 1822 г. тихоокеанское побережье Чили в результате землетрясения поднялось на 1 м на протяжении 400 км, а через 31 год очередное землетрясение подняло отдельные участки этого побережья на 8,5 м. Горизонтальное смещение блоков земной коры на 6,3 м произошло вдоль разлома Сан-Андреас после землетрясения 1906 г. в Калифорнии возле г. Сан-Франциско. Смещение прослеживалось на протяжении 440 км.

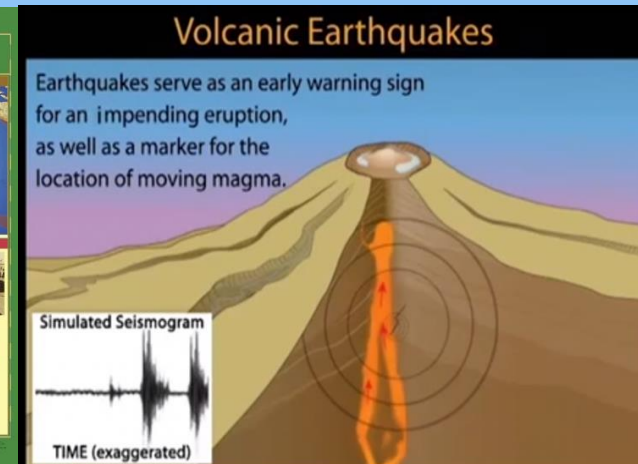
Вулканические землетрясения

Составляют до 5%, магнитуда достигает 5,0. Продвижение магмы из очага к жерлу вулкана по подводящему каналу приводит к сейсмическому дрожанию вулканической постройки и ближайших окрестностей. Для вулканического землетрясения характерны:

- локальность проявления (30-50 км);
- изометричность изосейст (*изосейста* - изолиния, соединяющая точки с одинаковой интенсивностью землетрясения) и их замкнутость вокруг вулкана;
- приуроченность эпицентра к кратеру вулкана, а гипоцентра к его жерлу на небольшой глубине.

К сотрясанию земли приводят также взрывы вулканических газов, обвалы и провалы частей вулканической постройки, и их перемещения по системам разрывных нарушений.

Сильнейшее из известных вулканических землетрясений связано с извержением вулкана Кракатау в Индонезии в 1883 г. Взрывом снесло половину конуса вулкана. Городам на о-вах Суматра, Ява и Борнео были причинены сильные разрушения. Но особенный урон был связан с возникшим в результате этого землетрясения цунами.



Обвальные (денудационные) землетрясения

Обвальные (денудационные) землетрясения

Составляют менее 1%, магнитуда до 5,0. Вызываются обрушением сводов карстовых пещер, которые образуются при воздействии просачивающихся атмосферных вод (или поднимающихся глубинных газов) на карбонатные горные породы (известняки и доломиты), гипсы и соли.

При растворении этих пород под землей образуются полости — пещеры, при разрастании которых породы кровли обрушаются, что и вызывает сейсмическое событие. Очевидно, что очаги таких землетрясений находятся на малой глубине и распространение сейсмических волн недалекое.

Обычно площадь составляет десятки квадратных километров, хотя в 1915 г. в Волчанской волости Харьковской губернии обвальное землетрясение охватило площадь диаметром 100 км. В Харькове сотрясались дома, в них звенели стекла открывались двери, качались лампы.

В России обвальные землетрясения неоднократно наблюдались в прибалтийском регионе, Архангельске, Шенкурске, Вельске. Локальные сейсмособытия могут вызываться и горными обвалами, правда, сами они, как правило, являются следствием тектонических землетрясений.

Денудационные (обвальные) землетрясения

землетрясения
возникающие
при развитии
крупных
оползней,
обрушении
кровли шахт
или
подземных
пустот с
образованием
упругих волн.



ОБВАЛЬНЫЕ (ДЕНУДАЦИОННЫЕ)

Обвальные землетрясения. На юго-западе территории Германии и других местностях, богатых известковыми породами, люди иногда ощущают слабые колебания почвы. Они происходят из-за того, что под землей существуют пещеры. Из-за вымывания известковых пород подземными водами образуются карсты, более тяжелые породы давят на образующиеся пустоты и они иногда обрушаются, вызывая землетрясения. В некоторых случаях, за первым ударом следует другой или несколько ударов с промежутком в несколько дней. Это объясняется тем, что первое сотрясение провоцирует обвал горной породы в других ослабленных местах. Подобные землетрясения называют еще - денудационными.



Обвал в горах

Техногенные землетрясения

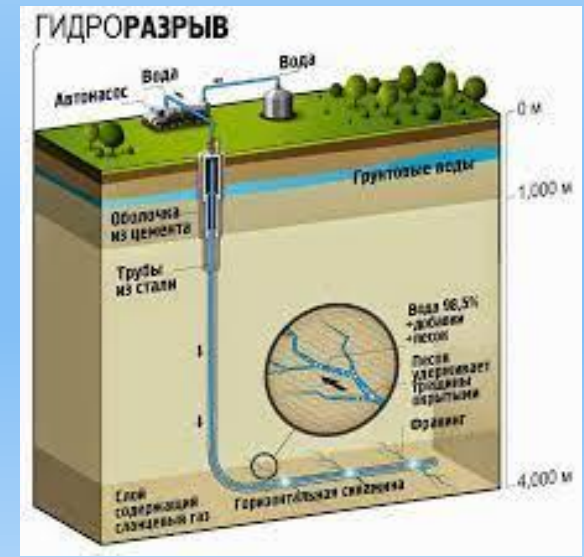
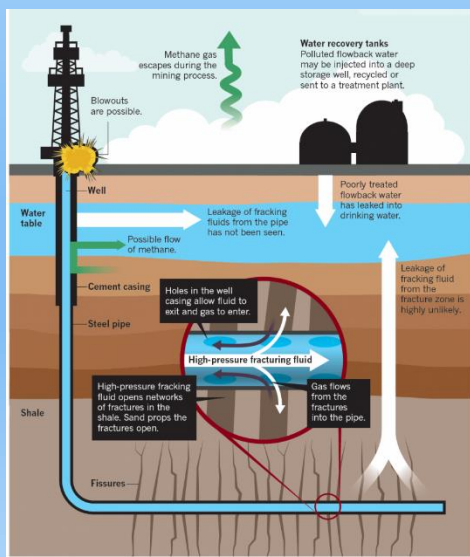
Техногенные землетрясения

Известны единичные случаи, магнитуда до 6,5.

Заполнение водохранилищ. Сейсмогенный эффект такого воздействия обусловлен двумя факторами: дополнительной нагрузкой на нижележащие пласты горных пород, а также, что более важно, обводнением нижележащих слоев, что значительно уменьшает сопротивление пород к трению и облегчает относительное движение блоков земной коры по разломным зонам. Впервые явление наблюдалось в 1935 г. в США в штате Аризона, где было заполнено водохранилище Лейк Мид, после чего в ближайшие 10 лет произошло 600 толчков магнитудой 5,0. Ранее в этом районе землетрясений не было.

В 1967 г. после заполнения водохранилища Койна возле Бомбея последовало множество землетрясений. Магнитуда одного из них достигала 6,5, произошли разрушения зданий, погибли люди. Увеличение активности слабых землетрясений наблюдалось в момент заполнения водохранилищ Нурекской, Токтогульской, Чарвакской гидроэлектростанций.

Закачка жидкости в глубокие скважины. Сейсмогенный эффект также связан с изменением прочностных свойств пластов горных пород при их обводнении. Такая процедура широко используется при добыче нефти, что вызывает землетрясения в районах нефтедобычи.



Техногенные землетрясения

Впервые эффект был обнаружен в США вблизи г.Денвера в штате Колорадо, где в 1962 г. в скважину, пробуренную в трещиноватых гранитах на глубину 3600 м стали закачивать сточные воды в целях их захоронения. За 80 лет до этого здесь было отмечено только 3 слабых сейсмособытия, за 8 последующих — 610! Местные сейсмологи с изумлением обнаружили, что частота слабых подземных толчков находится в прямой зависимости от объема закаченной жидкости.

Откачка больших объемов нефти и газа из месторождений. Искусственно спровоцированные толчки могут быть и очень сильными. Так 8 апреля и 17 мая 1976 г. в Бухарской области Западного Узбекистана, в пустыне Центральный Кызылкум, считавшейся до того слабо активной в сейсмическом отношении, произошли два сильнейшие Газлийские землетрясения (магнитуда $M=7,0$ и $M=7,3$). Сейсмический эффект в эпицентре достиг 9-10 баллов по 12-балльной шкале сейсмической интенсивности.

Очаговая область этих землетрясений располагалась на глубине 20-25 км. Следующий сильный подземный толчок с магнитудой $M=7,2$ возник 20 марта 1984 г. в том же очаге, сместившись немного к западу. В результате этих землетрясений был практически полностью разрушен рабочий поселок нефтяников — Газли, расположенный, примерно, в 30 км. от эпицентра.

Ядерные взрывы. В 1968 г. подземный ядерный взрыв в Неваде (США) вызвал сейсмособытие магнитудой 6,3, после чего последовала серия афтершоковых землетрясений с магнитудой до 5,0. Судя по некоторым публикациям в средствах массовой информации, возможность провоцировать землетрясения искусственными взрывами привела к попыткам создания так называемого геофизического оружия. Основная идея — используя напряженные разломные структуры, уходящие на территорию противника, вызвать там искусственное землетрясение, взорвав мощный заряд в доступной части такой геологической структуры.

Неядерные взрывы. Взрывчатые вещества (ВВ) широко используются при горных работах, что вызывает локальные землетрясения на прилегающей территории. Причиной в таких случаях является или передозировка ВВ или обусловленное взрывом обрушение горных выработок.

Много неприятностей жителям Волгограда, Нижнего Новгорода, Оренбурга, Челябинска доставили в 2010-2011 гг. частые и многочисленные слабые землетрясения. Реальная причина землетрясений — форсированное уничтожение армейских боеприпасов с нарушением расчетных норм. Первопричина — массовое и ускоренное сокращение вооруженных сил РФ.

Дегазационные землетрясения. Большое число фактов прямо указывает на тесную связь процесса глубинной дегазации Земли с землетрясениями. Во-первых, это пространственное совпадение эпицентров землетрясений и зон интенсивной дегазации в осевых частях рифтовых зон и в разломах. Во-вторых, уже упомянутая выше прямая связь вулканических извержений (а это проявление планетарной дегазации) и сейсмособытий. В-третьих, многочисленные данные о корреляции флуктуаций потоков газов (радона, гелия, водорода) и землетрясений.

Техногенные землетрясения

В Институте геохимии СО РАН создана модель взрывного происхождения землетрясений при подъеме глубинных флюидов. Во флюидной детонации особую роль играют тяжелые углеводороды: алканы, алкены, алкадиены, алкины, нафтенy и арены. Они образуются в жидком ядре и за его пределами нестабильны, но в быстро восходящих из ядра флюидных потоках становится возможной их миграция в верхнюю мантию и земную кору, где пути их продвижения контролируются глубинными разломами, а места концентрации определяются экранирующим влиянием континентальной окраины.

Объемная энергетическая емкость тяжелых углеводородов сопоставима с тринитротолуолом, поэтому их быстрое взрывное превращение в стабильные легкие углеводороды сопровождается высвобождением огромного количества энергии, порядка 10^{18} - 10^{20} эрг. Детонация скоплений метастабильных тяжелых углеводородов может быть ответственна также и за сейсмические события в пределах Восточно-Европейской платформы, например, в Беломоро-Балтийской зоне, на Кольском полуострове, а также на Воронежской антеклизе. В перечисленных регионах с начала 80-х годов прошлого века значительно увеличилась частота и мощность сейсмических событий.

В Институте физики Земли РАН разрабатывается (И.Л.Гуфельд) модель возникновения сейсмических событий при прохождении через объемы пород глубинных флюидов: гелия, водорода, метана. В рамках модели постулируется, что импульс дегазации приводит к торможению взаимного перемещения блоков, т.е. к блокированию границ. Этот процесс возможен за счет увеличения объема кристаллических структур границ и блоков при имплантации в горные материалы водорода и гелия в концентрациях соответствующих литосфере.

На кафедре петрологии геологического факультета МГУ академик РАН А.А.Маракушев создал принципиально новую (петрологическую) концепцию глобальной сейсмичности, которая по-новому объясняет первопричину блоковых тектонических движений, в результате которых возникают многие землетрясения.

В основу концепции положены процессы переработки мантийного и корового вещества под воздействием флюидных, существенно водородных потоков, восходящих к поверхности из расплавного ядра. Так, орогенная структура Анд с андезитовым вулканизмом проецируется на эпицентры землетрясений средней глубины (до 300 км), а под обрамляющими ее платформенными депрессиями происходят глубокофокусные (300-700 км) землетрясения.

Терминологическая база

Термин *землетрясение* настолько удачен и емок, что не требует дополнительного пояснения. Происходит землетрясение в результате скачкообразного выделения энергии внутри некоторого объема в глубинах Земли. Этот объем или пространство именуется *очагом землетрясения*, центр очага — *гипоцентр*. Проекция гипоцентра на поверхность Земли называется *эпицентром*. Расстояние от эпицентра до гипоцентра — это *глубина очага*. Проекция очага на поверхность, в пределах которой землетрясение имеет максимальную силу, называется *эпицентральной областью*.

Очаги подавляющего числа землетрясений находятся на глубинах до 50-60 км. Кроме того, существуют *глубокофокусные землетрясения*, их очаги фиксируются на глубинах до 650-700 км. Обнаружены они были в 1920-х годах на окраинах Тихого океана. Относительно небольшое число землетрясений зарождается на глубинах 300-450 км. Кроме тихоокеанских окраин землетрясения с глубокими очагами (250-300 км) обнаружены на Памире, в Гималаях, Куньлуне и Гиндукуше.

Энергия, мгновенно освободившаяся в очаге, распространяется в окружающем пространстве в виде упругих *сейсмических волн*. Материя реагирует на импульсное воздействие изменением формы и объема. Элементарные изменения объема распространяются в горных породах в виде *продольных волн* (волны сжатия), а изменение формы — в виде *поперечных волн* (волны сдвига).

Скорость распространения продольных волн в 1,7 раза больше скорости поперечных, поэтому они первыми достигают поверхности Земли, почему и называются еще Р-волнами (от англ. primary — первичные), а поперечные, соответственно, S-волны (от англ. secondary — вторичные).

Пришедшие первыми в эпицентр продольные волны возбуждают волны *поверхностные*, которые являются поперечными, но в отличие от первичных поперечных волн имеют скорость распространения в два раза меньшую. В скальных грунтах она не превышает 3,3-4,0 км/сек. Амплитуда поверхностных волн измеряется первыми сантиметрами, а длина достигает сотен километров. Они расходятся от эпицентра во все стороны и могут обогнуть всю планету, место встречи разнонаправленных фронтов называется *антиэпицентром*.

В толщах рыхлых или вязких пород (пески, глины), особенно насыщенных водой, возбуждаются *волны тяжести*, причина их возникновения — дезинтеграция частиц. Некий объем породы, взброшенный сейсмическим ударом как единое целое, возвращается в исходное положение под действие гравитации в виде отдельных частиц.

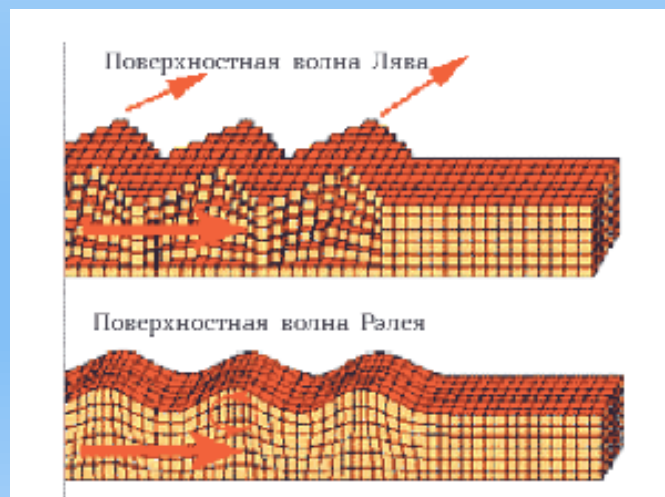
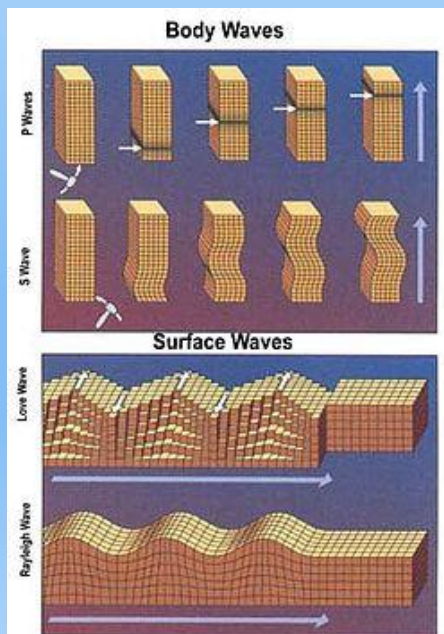
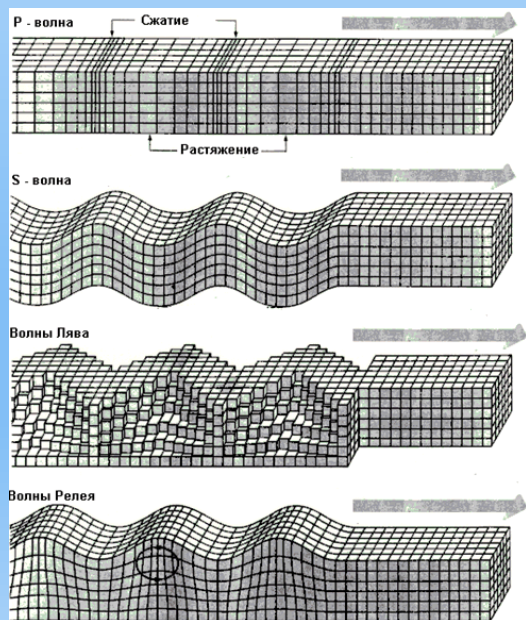
Скорость волн тяжести в 1000 раз меньше скорости упругих колебаний и измеряется метрами в секунду, но амплитуда может достигать десятков сантиметров. Так при Калифорнийском землетрясении 1906 г. в отдельных местах отмечались земные волны высотой до 1 м, было зафиксировано также распространение волн высотой около 30 см и длиной 18 м.

Терминологическая база

Скорость волн тяжести в 1000 раз меньше скорости упругих колебаний и измеряется метрами в секунду, но амплитуда может достигать десятков сантиметров. Так при Калифорнийском землетрясении 1906 г. в отдельных местах отмечались земные волны высотой до 1 м, было зафиксировано также распространение волн высотой около 30 см и длиной 18 м.

Поверхностные волны и волны тяжести приносят наибольший ущерб, они вызывают видимые колебания почвы, изгибы рельсов, трубопроводов и дорог. Обычно поверхностные движения длятся не более одной минуты, так в 1906 г. в Сан-Франциско землетрясение продолжалось около 40 секунд. Однако продолжительность сильнеешего землетрясения на Аляске в 1964 г. была в 5 раз больше.

Затем перечисленные типы волн затухают, а на смену им приходят афтершоки — дополнительные импульсы волнового движения, вызванные вторичными подвижками пород в точке первоначального нарушения их целостности или вблизи ее. Афтершоки могут продолжаться довольно долго



Терминологическая база

Интенсивность землетрясения, характеризующая его разрушительную силу, измеряется в *баллах*. В мире существует несколько шкал интенсивности. В России принята 12-балльная шкала Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64). Она была разработана в 1964 г. и получила широкое распространение в СССР и Европе. Градации этой шкалы утверждены в качестве общегосударственного стандарта. Шкала построена на показаниях сейсмографов, дающих величину колебаний при толчках, а также на ощущениях людей и наблюдаемых явлениях.

Приведем описание крайних градаций: *однобалльное* землетрясение называется *незаметным*, характеризуется микросейсмическими сотрясениями почвы, отмечаемые только сейсмическими приборами. В середине шкалы *сильное* землетрясение силой *6 баллов*. Ощущается всеми. В испуге очень многие выбегают на улицу. Сильное колебание жидкостей. Картины падают со стен, книги — с полок. Посуда бьется. Довольно устойчивые предметы домашней обстановки сдвигаются с места или опрокидываются. Штукатурка на домах даже солидной постройки дает тонкие трещины. Кое-где с потолков и стен откалываются небольшие куски штукатурки. У домов плохой постройки повреждения сильнее, но не опасны.

Красноречивы названия землетрясений силой от 7 до 11 баллов. Они именуются соответственно: *очень сильное; разрушительное; опустошительное; уничтожающее; катастрофа*.

Последнее в шкале 12-балльное землетрясение. Это *сильная катастрофа* — изменения в почве достигают огромных размеров. В покрытой растительностью скалистой почве образуются сбросовые трещины со значительным смещением, сдвигами и разрывами. Многочисленные обвалы скал, оползни, осыпание берегов на значительном протяжении. Различные изменения в подземных и надземных водоемах. Появление водопадов, подпруд на озерах, отклонение течения рек и т.д. Ни одно сооружение не выдерживает.

- Приведем пример катастрофического, т.е. одиннадцатibalльного землетрясения, которое произошло 4 декабря 1957 г. в Западной Монголии, в 650-700 км юго-западнее г.Улан-Батор. Его удары ощущались на огромной территории Монгольского Алтая от хр. Баян-Цаган на западе до гор Арца-Богдо на востоке.

- В Улан-Баторе, т.е. на удалении 700 км от эпицентра, толчки и достигали силы 5-6 баллов. Первые наиболее разрушительные удары произошли в горах Бага-Богдо. По рассказам очевидцев, они сопровождались грохотом и «взрывами» огромной силы, следовавшими один за другим через 8-10 сек. Потом поднялись огромные облака пыли, скрывшие горы. Вслед за «взрывами» в горах Бага-Богдо сильнейший удар произошел в 100 км западнее, в горах Ихэ-Богдо. Он также сопровождался сильными подземными толчками. Тучи пыли скрыли хр. Ихэ-Богдо. Ветер погнал их на восток и вскоре они соединились с пылевыми облаками, поднявшимися над горами Бага-Богдо. Пыль рассеялась лишь на четвертые сутки.

Терминологическая база

Магнитуда землетрясения (от лат. *magnitudo* «важность, значительность, крупность, величие») — величина, характеризующая энергию, выделившуюся при землетрясении в виде сейсмических волн. Первоначальная шкала магнитуды была предложена американским сейсмологом Чарльзом Рихтером в 1935 году, поэтому в обиходе значение магнитуды подразумевается по шкале Рихтера.

Все населенные пункты, расположенные у южных подножий хр. Бага-Богдо, Ихэ-Богдо и Баян-Цаган-Ула, были превращены в развалины; имели место человеческие жертвы, массовая гибель скота. На участках, примыкавших к трещинам и местам обвалов, возникли степные пожары. Землетрясение сопровождалось поднятием значительной территории Монгольского Алтая, образованием трещин-сбросов длиной в сотни километров, гигантских обвалов, изменением гидрологического режима родников и рек. В результате землетрясения вся северная ветвь Монгольского Алтая (горная цепь Гурван-Богдо) поднялась на 5-7м, а отдельные блоки и выше.

В 1935 г. для объективной инструментальной оценки энергии землетрясения американский сейсмолог Чарльз Рихтер ввел понятие магнитуды. Он определил магнитуду как *число, пропорциональное десятичному логарифму амплитуды (выраженной в микрометрах) наиболее крупной волны, зарегистрированной стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км от эпицентра*. Энергия землетрясения оценивается теперь *по шкале Рихтера*, названной так в честь ее создателя, в пределах которой магнитуда может изменяться от 1 до 9.

Например, катастрофическое землетрясение 22 мая 1960 г. в Чили имело магнитуду 8,3. Крупными считаются землетрясения, магнитуды которых равны 5-6 и более; обширные разрушения соответствуют 9 баллам шкалы интенсивности. Самые сильные землетрясения, как, например, землетрясение 1906 г. в Сан-Франциско, магнитуда которого составляла 8,3, вызывают почти полные разрушения и оцениваются в 11-12 баллов.

Шкала Рихтера логарифмическая, что означает увеличение амплитуды максимальной волны землетрясения на порядок при увеличении магнитуды на 1. Энергия землетрясения при этом изменяется в 32 раза. Отношение энергии самых сильных сейсмических катастроф к энергии слабых землетрясений составляет 1017 раз. Энергия же самых сильных землетрясений оценивается в 1023-1025 эрг. Для сравнения укажем, что энергия взрыва атомной бомбы среднего калибра 1020 эрг, что соответствует 5-балльному землетрясению. Зависимость между магнитудой и балльностью может быть приблизительно выражена формулой:

$$M = 1,3 + 0,6B,$$

где М — магнитуда, а В — балльность данного землетрясения.

Так же, как и для оценки интенсивности, применяются различные варианты шкал магнитуд³⁵

Вопросы по закреплению содержания лекции 1

- Основные принципы системного подхода.
- Два альтернативных подхода в геологических исследованиях, понятийная база,
- Определение аналитического подхода, принципы организации исследований, положительные аспекты и негативные стороны аналитической методологии практические примеры.
- Определение организмического подхода, принципы организации исследований, положительные аспекты и негативные стороны организмической методологии, практические примеры.
- Принципы и задачи системного анализа. Понятийная база системного анализа. Ситуационные примеры системного анализа.
- Основные свойства систем, их иерархический уровень построения, разнопорядковость свойств объекта и субординация между объектами системы, соподчиненность, структура и специфические (эмерджентные) закономерности.
- Системно-элементный, системно-структурный, системно-функциональный, системно-коммуникационный аспекты системного анализа, принципы организации, функции и взаимосвязи.
- Принципы системного подход: единство – развитие - глобальная цель – функциональность – децентрализация – неопределенность.
- Задачи системных исследований - анализ, конструирование и управление функционированием любых объектов, которые можно рассматривать как системы.
- Цели и принципы системного литолого-генетического анализа, структура построения и объекты исследований, этапность анализа.

Вопросы по закреплению содержания лекции 1

- Мировая статистика распределения очагов землетрясений на примерах отдельных регионов.
- Тектоника очагов землетрясений. Приуроченность землетрясений к различным региональным тектонотипам.
- Тектонические землетрясения. Механизм образования. Планетарная трещиноватость.
- Вулканические землетрясения. Механизм образования. Примеры вулканических землетрясений.
- Обвальные (денудационные) землетрясения. Механизм образования. Примеры денудационных землетрясений.
- Техногенные землетрясения. Механизм образования и типы.. Примеры техногенных землетрясений.
- Классификация землетрясений по интенсивности в баллах. Шкалы Рихтера и Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64). Практические примеры.
- Магнитуда и энергетический класс землетрясений.

Библиография

- Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология-Москва, Изд.Иностранной Литературы, 1963г., 667с.
- Хачиян Э.Е. Прикладная сейсмология. Гитутюн, Ереван, 2008 г., 523 стр., УДК: 550.34, ISBN: 978-5-8080-0726-0.
- Аки К., Ртчардс П. Количественная сейсмология. Т.1.М.: Мир, 1983, 520м.
- Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М. ИФЗ, ВН СССР, 1984, 88с.
- Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985, 264с
- Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985, 408с.
- Соболев Г.А. Основы прогнозирования землетрясений. М.: Наука, 1993, 313с.
- Эйби Дж. Землетрясения.М.: Недра, 1982, 264с.

Благодарю за внимание!

Thank you for your attention!

Назарларыңызға рахмет!