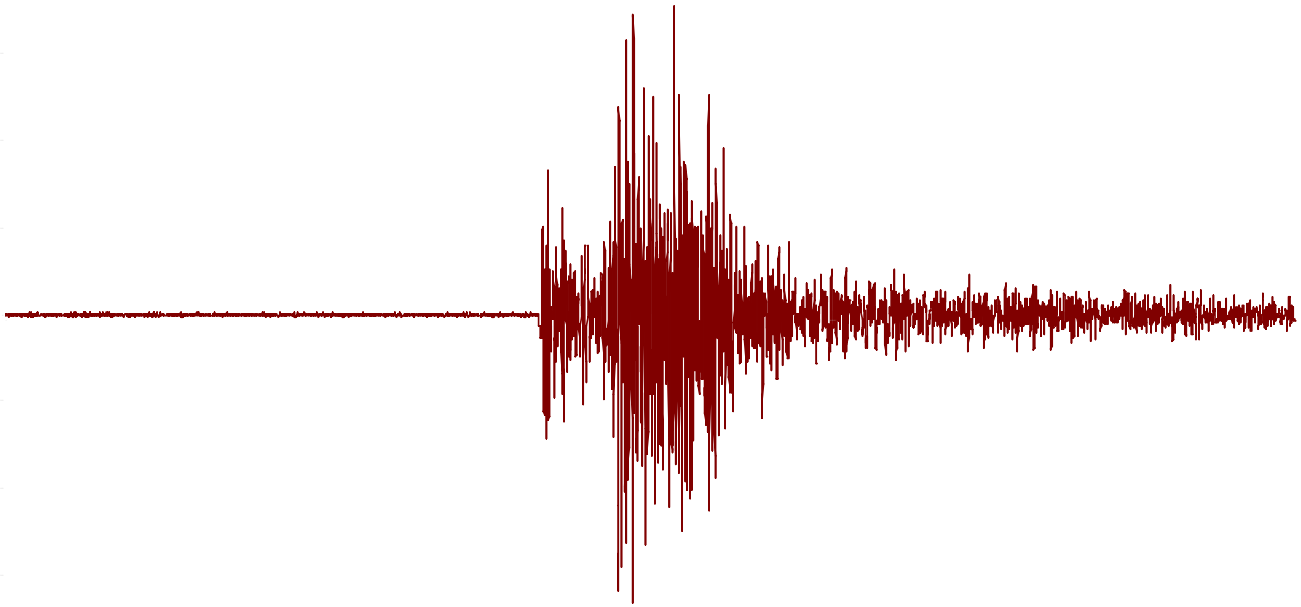
Институт земной коры СО РАН

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

СЕЙСМИЧНОСТЬ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

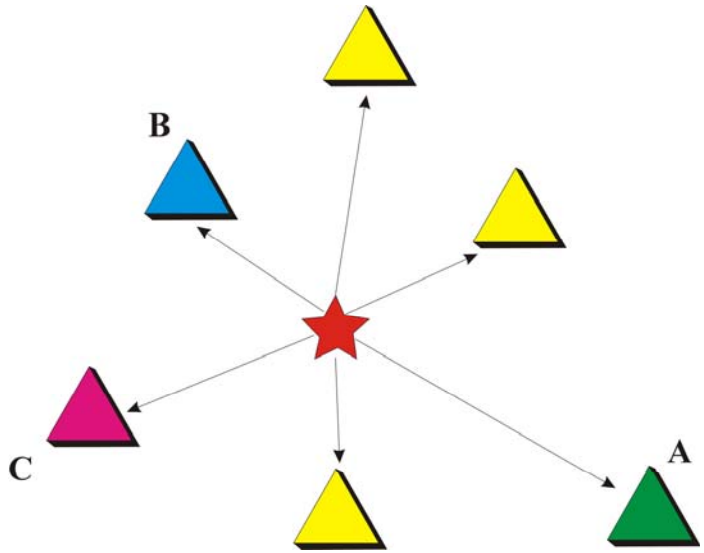


Подготовлено к.г.-м.н. Н.А.Радзиминович

Землетрясение – колебание почвы, вызванное прохождением сейсмических волн от сейсмособытия (тектоническое землетрясение, вулканическое землетрясение, тремор, взрывы, обвалы, антропогенные источники и т.д.).

Землетрясение (тектоническое) – внезапное подвижка по разлому или образование нового разрыва под действием тектонических напряжений.

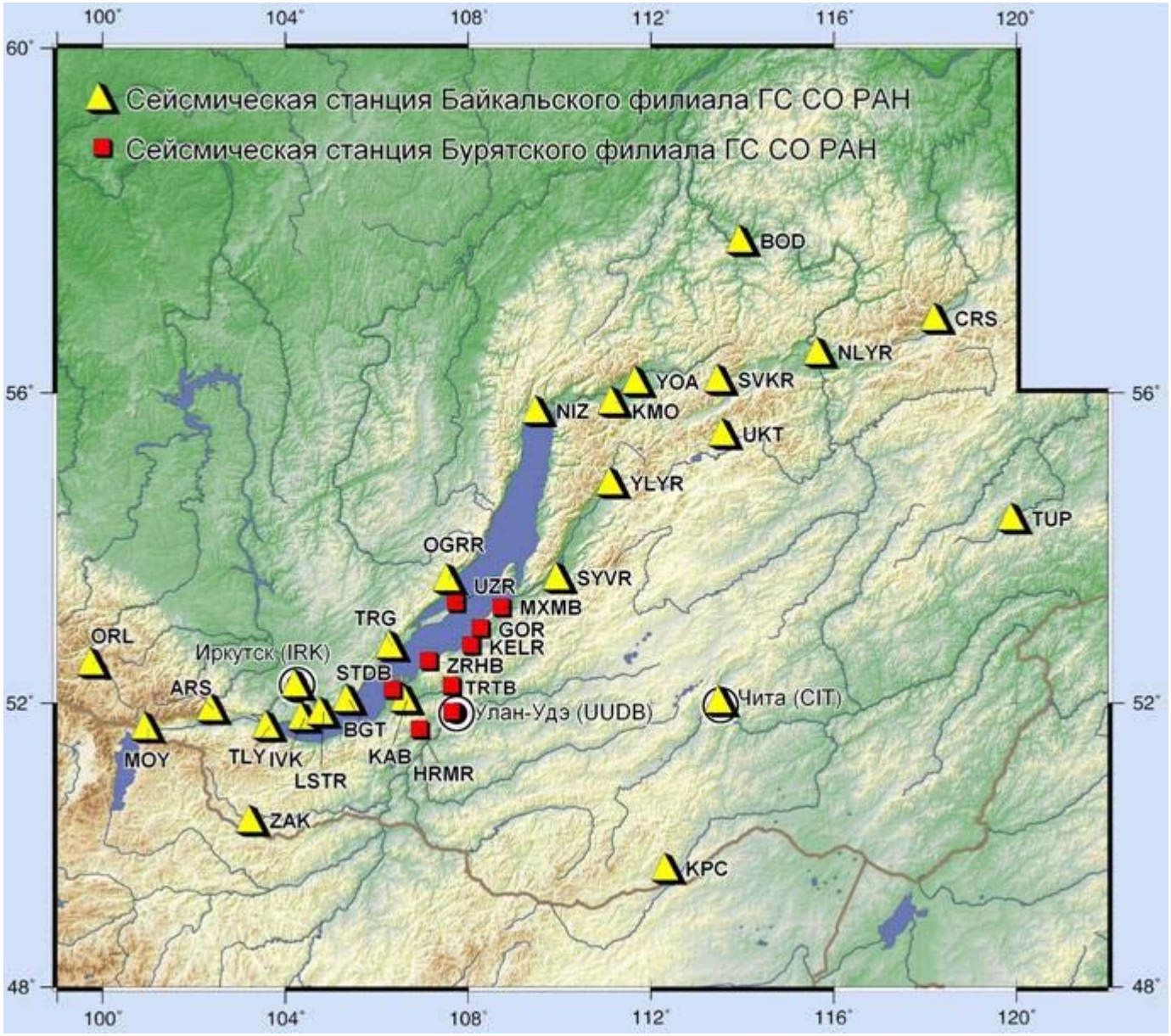
Распространяющиеся во все стороны от очага землетрясения волны регистрируются сейсмометрами на сейсмостанциях



Сейсмические станции Единой Геофизической Службы России

Маловичко, 2019

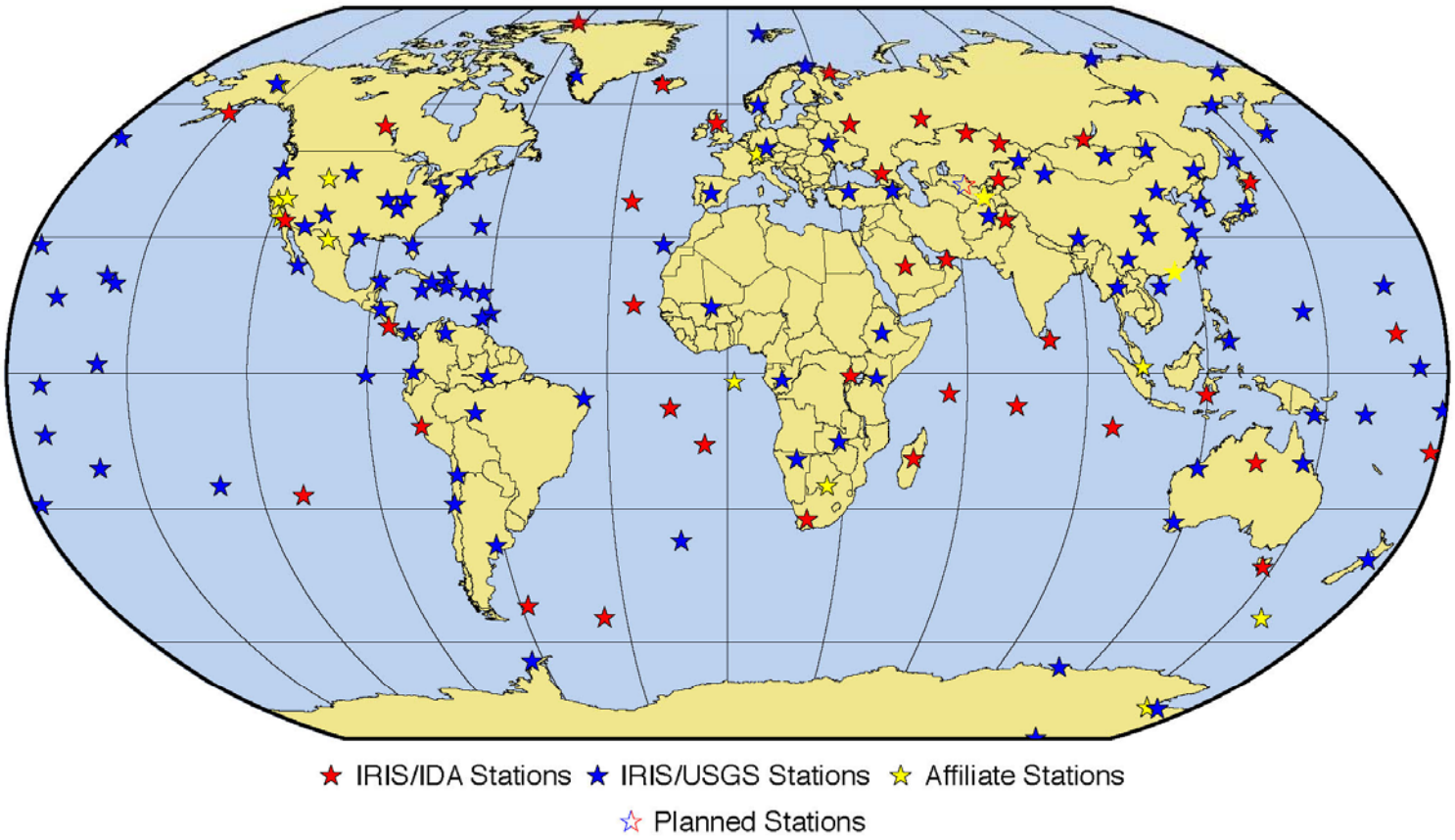
В Байкальском регионе мониторинг сейсмичности ведется на станциях Байкальского и Бурятского филиалов Единой Геофизической Службы РАН



Сейсмостанции региональной сети оборудованы сейсмометрами, записывающими скорости смещений грунта и ускорения смещений в трех направлениях: **север-юг, запад-восток и вертикальные смещения**.

На юге Байкала, в Талой (**TLY**), установлена сейсмостанция, входящая в мировую сеть станций

Global Seismographic Network



https://www.iris.edu/hq/programs/gsn

Сейсмические волны

Это упругие волны, то есть после прохождения волны материал возвращается в исходное положение

Объемные

- P
- S

Распространяются в недрах Земли. Скорость распространения зависит от плотности горных пород и их упругих свойств.

Поверхностные

- LQ
- LR

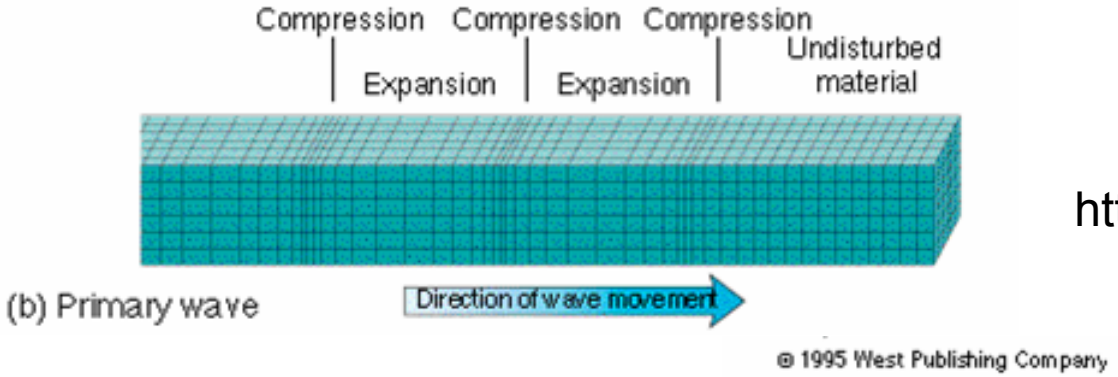
Распространяются вдоль свободной поверхности (поверхности Земли), их амплитуда уменьшается с глубиной

Сначала приходит P волна, затем S волна, затем приходят поверхностные волны

На региональных расстояниях поверхностные волны, как правило, не успевают выходить на поверхность

Объемные волны

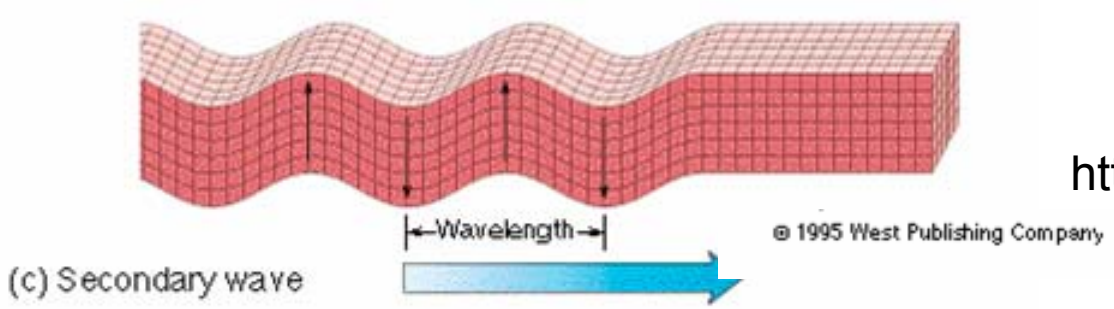
Продольные волны P-wave (P-primary)



https://youtu.be/2rYjlVPU9U4

Движение представляет собой чередующееся сжатие и разрежение. Движение частиц параллельно направлению распространению волны. Распространяются через любой материал, при выходе на поверхность, в воздух, принимают форму звуковых волн.

Поперечные волны S-waves (S -secondary)

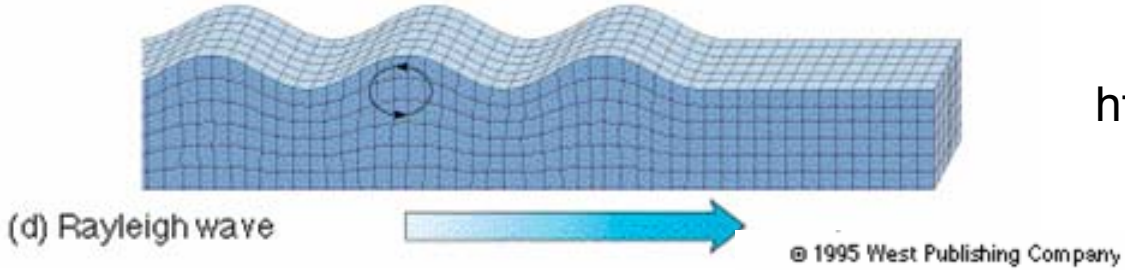


https://youtu.be/en4HptC0mQ4

Движение частиц перпендикулярно направлению распространения волны. Делятся на горизонтально и вертикально поляризованные волны. Это сдвиговые волны, они не могут распространяться в жидкой среде, благодаря чему было установлено, что внешнее ядро Земли находится в расплавленном состоянии.

Поверхностные волны

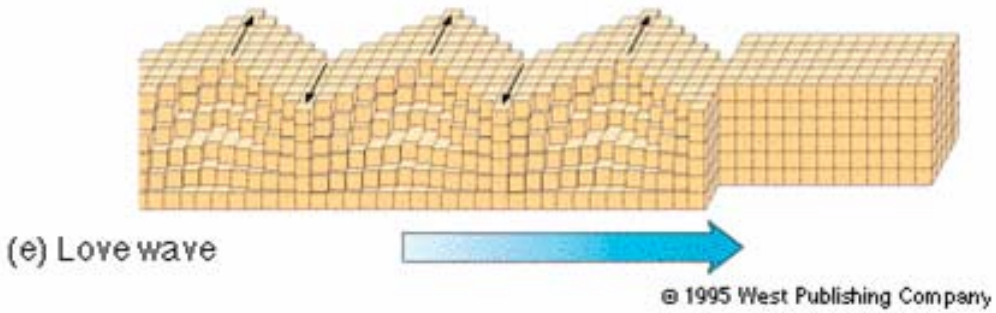
Волны Релея LR



https://youtu.be/6yXgfYHAS7c

Частицы движутся по траектории ретроградного эллипса в вертикальной плоскости и параллельно направлению распространения волны. Движение грунта напоминает движение лодки в море.

Волны Лява LQ

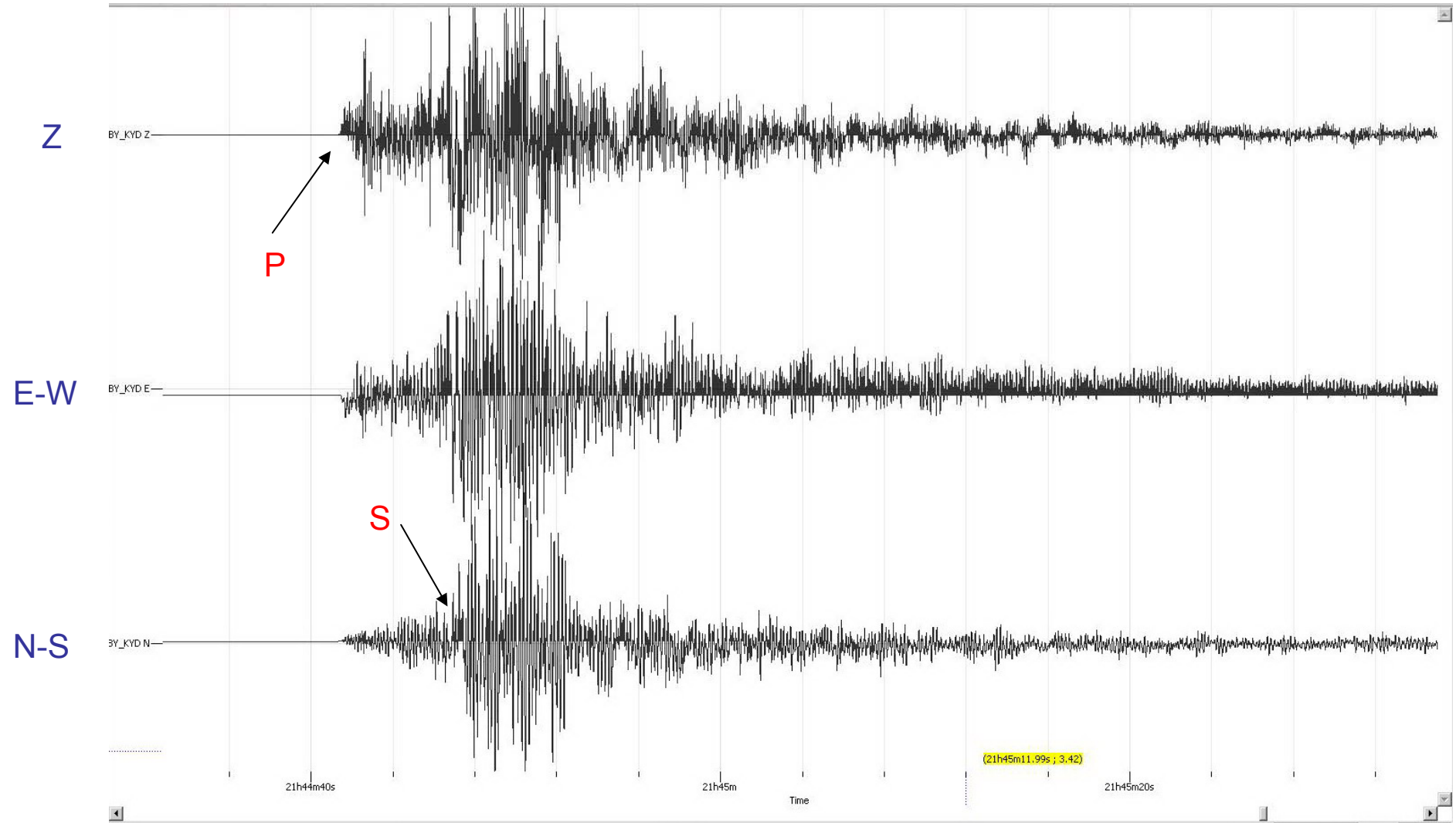


https://youtu.be/t7wJu0Kts7w

Движение частиц представляет собой чередующиеся поперечные движения. Движение частиц горизонтально и перпендикулярно направлению распространения волны.

Сейсмограмма – запись колебаний земной поверхности на сейсмостанции в результате землетрясения

Сейсмограмма землетрясения 10 декабря 2020 г. (залив Провал) на станции ИЗК СО РАН на полигоне Куяда (п.Бугульдейка)

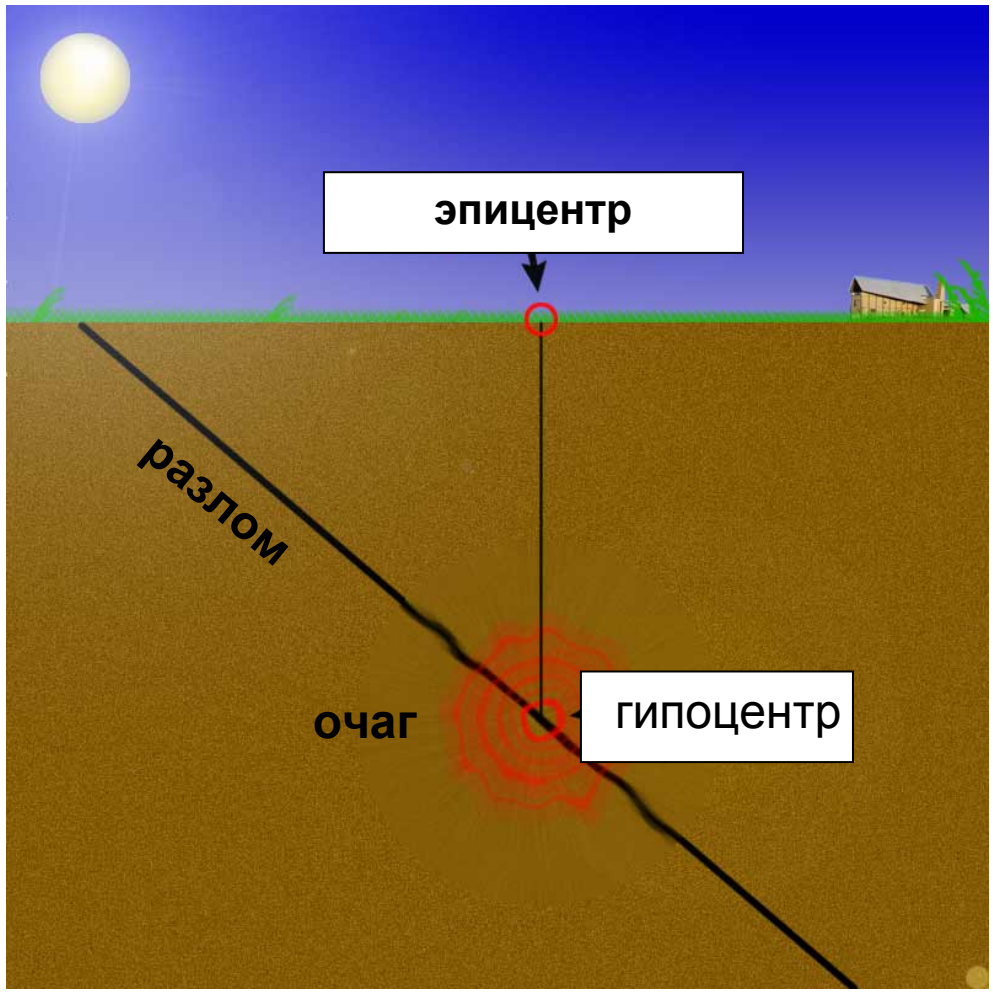


По записям сейсмических волн определяются **параметры очага землетрясения**:

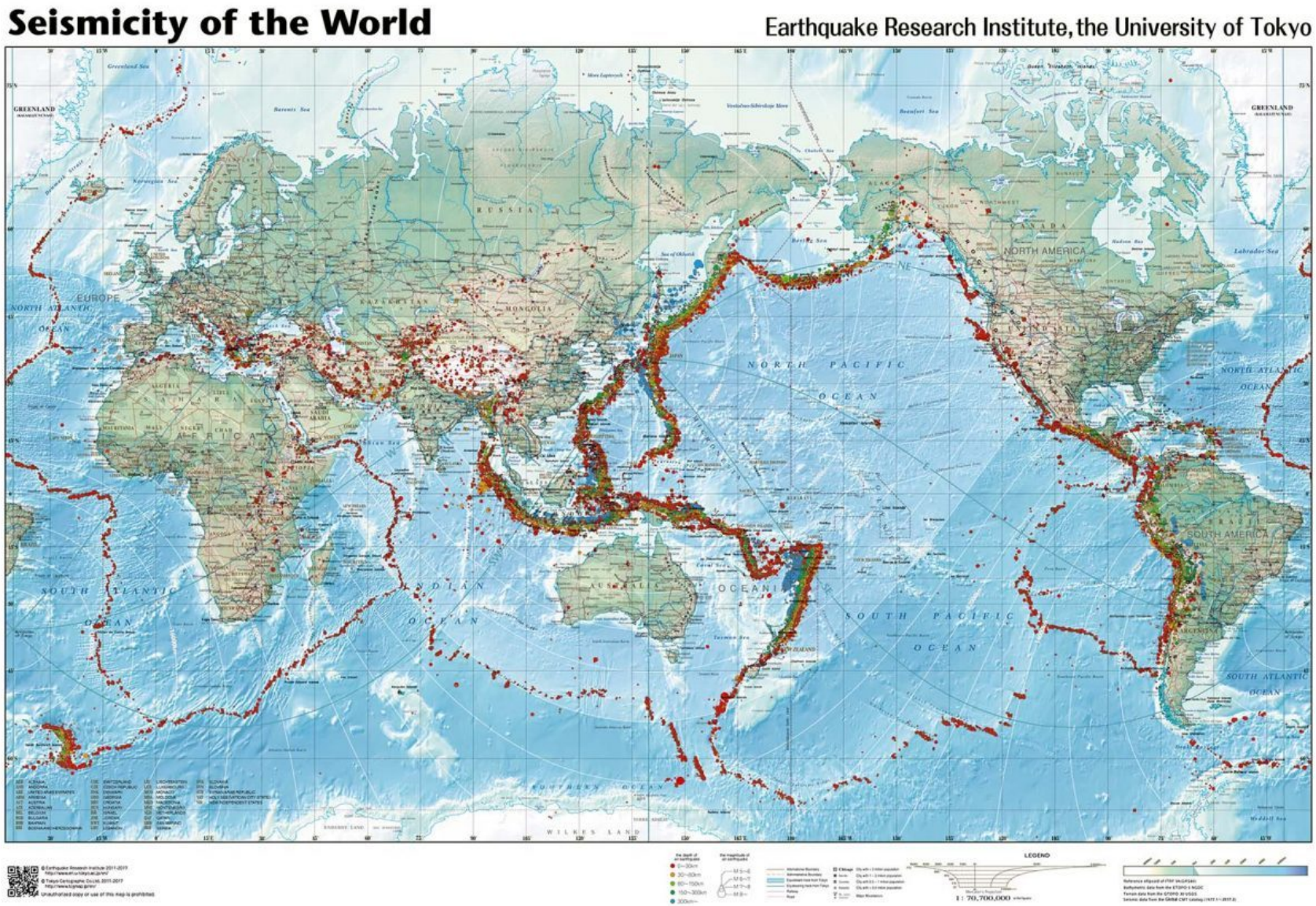
время возникновения землетрясения, координаты эпицентра, глубина очага, магнитуда, механизм очага и др.

Эпицентр – проекция на земную поверхность очага землетрясения (гипоцентра). Параметры эпицентра - широта и долгота.

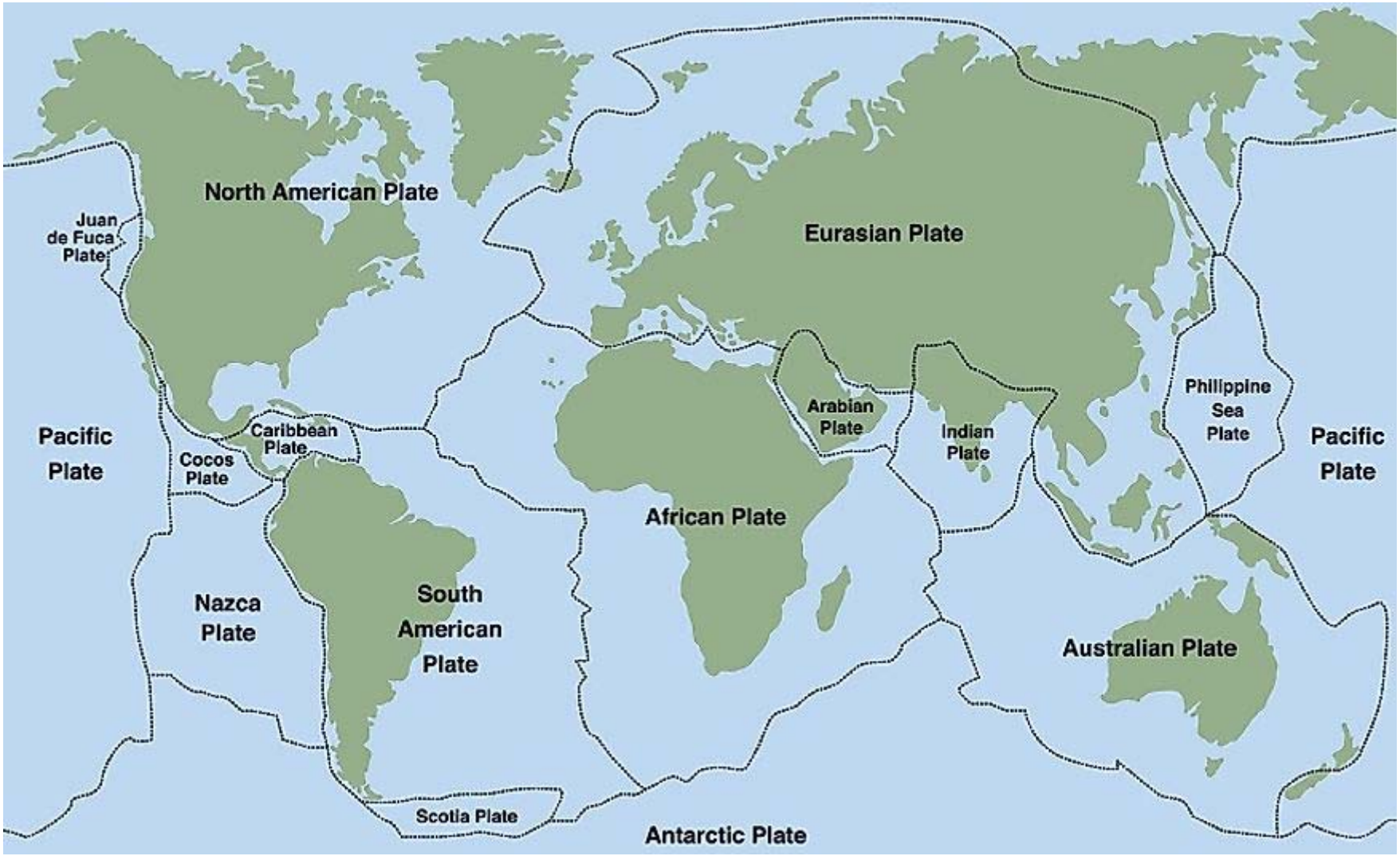
Гипоцентр - положение начальной точки разрыва на глубине. Параметры гипоцентра – широта, долгота, глубина.



Карта эпицентров мира

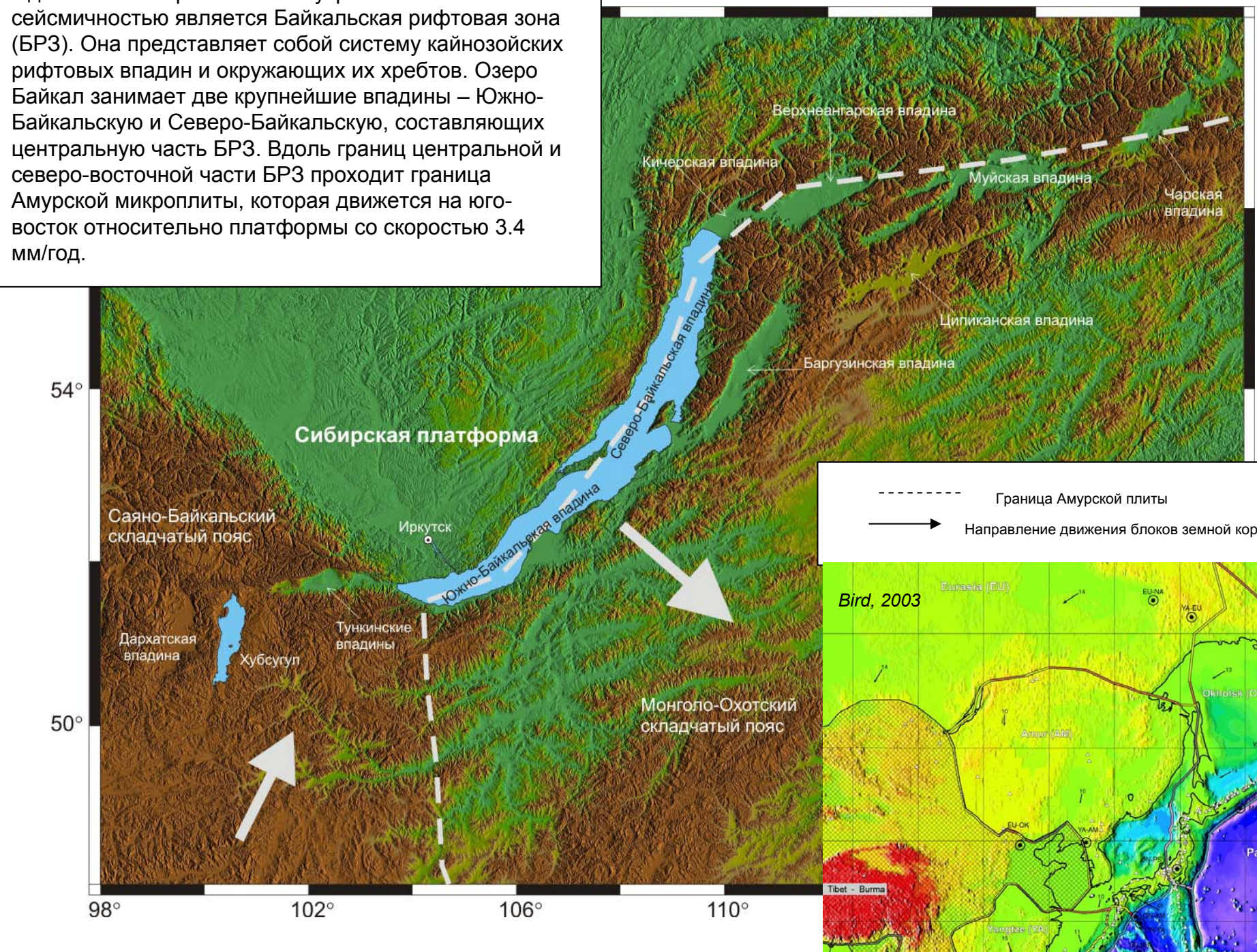


Карта эпицентров показывает, что подавляющее большинство землетрясений происходит на границах литосферных плит. Однако, в некоторых регионах происходят внутриплитные землетрясения.

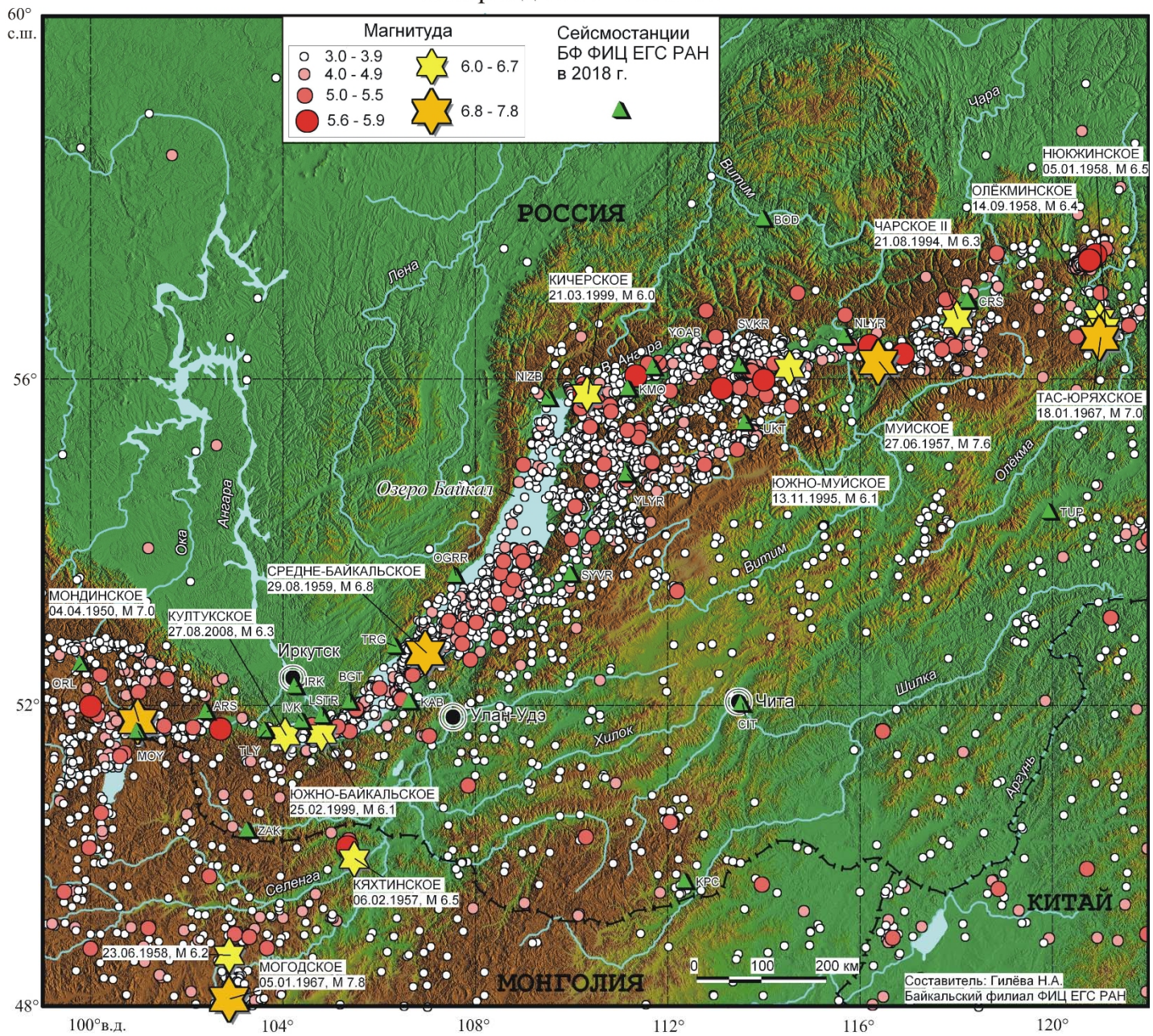


https://www.worldatlas.com/articles/major-tectonic-plates-on-earth.html

Одним из таких регионов с внутриплитной сейсмичностью является Байкальская рифтовая зона (БРЗ). Она представляет собой систему кайнозойских рифтовых впадин и окружающих их хребтов. Озеро Байкал занимает две крупнейшие впадины – Южно-Байкальскую и Северо-Байкальскую, составляющих центральную часть БРЗ. Вдоль границ центральной и северо-восточной части БРЗ проходит граница Амурской микроплиты, которая движется на юго-восток относительно платформы со скоростью 3.4 мм/год.



Карта эпицентров землетрясений с M≥3 территории Прибайкалья и Забайкалья
за период 1950 - 2018 гг.



http://seis-bykl.ru/modules.php?name=Seismo_ce&se=1

На каких глубинах происходят землетрясения?

По глубине очаги подразделяются на:

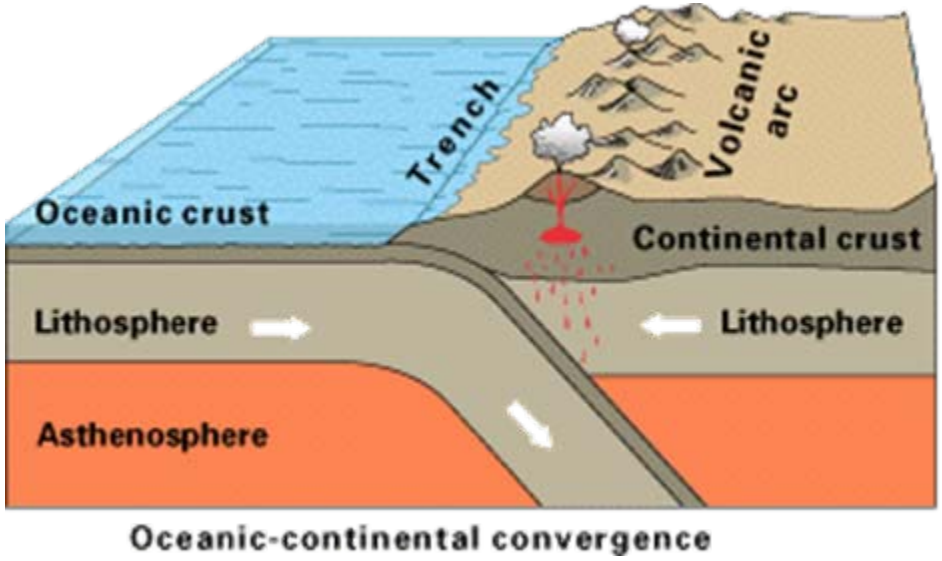
0-70 км поверхностные (неглубокие)

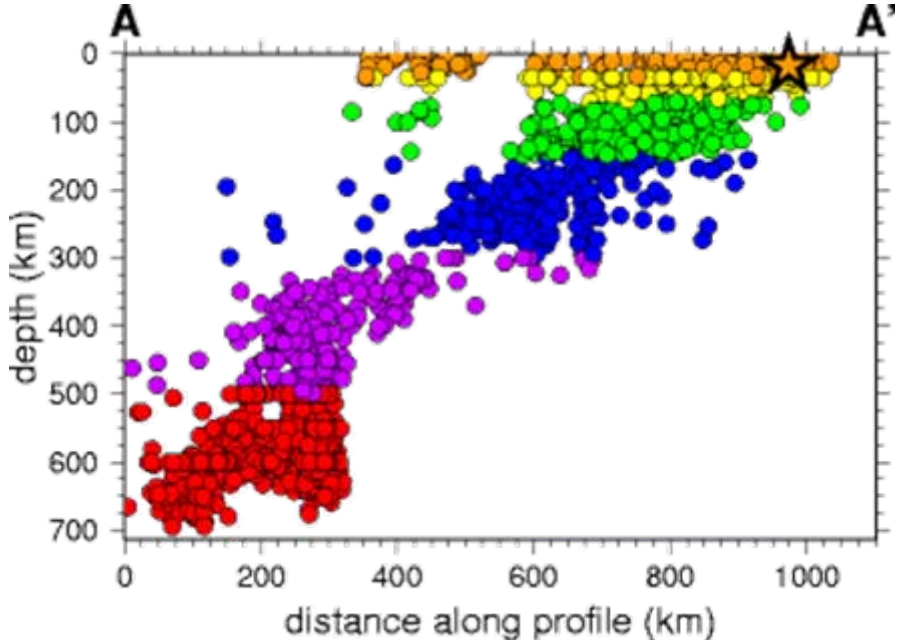
70-300 км промежуточные

300-700 км глубокие (глубокофокусные)

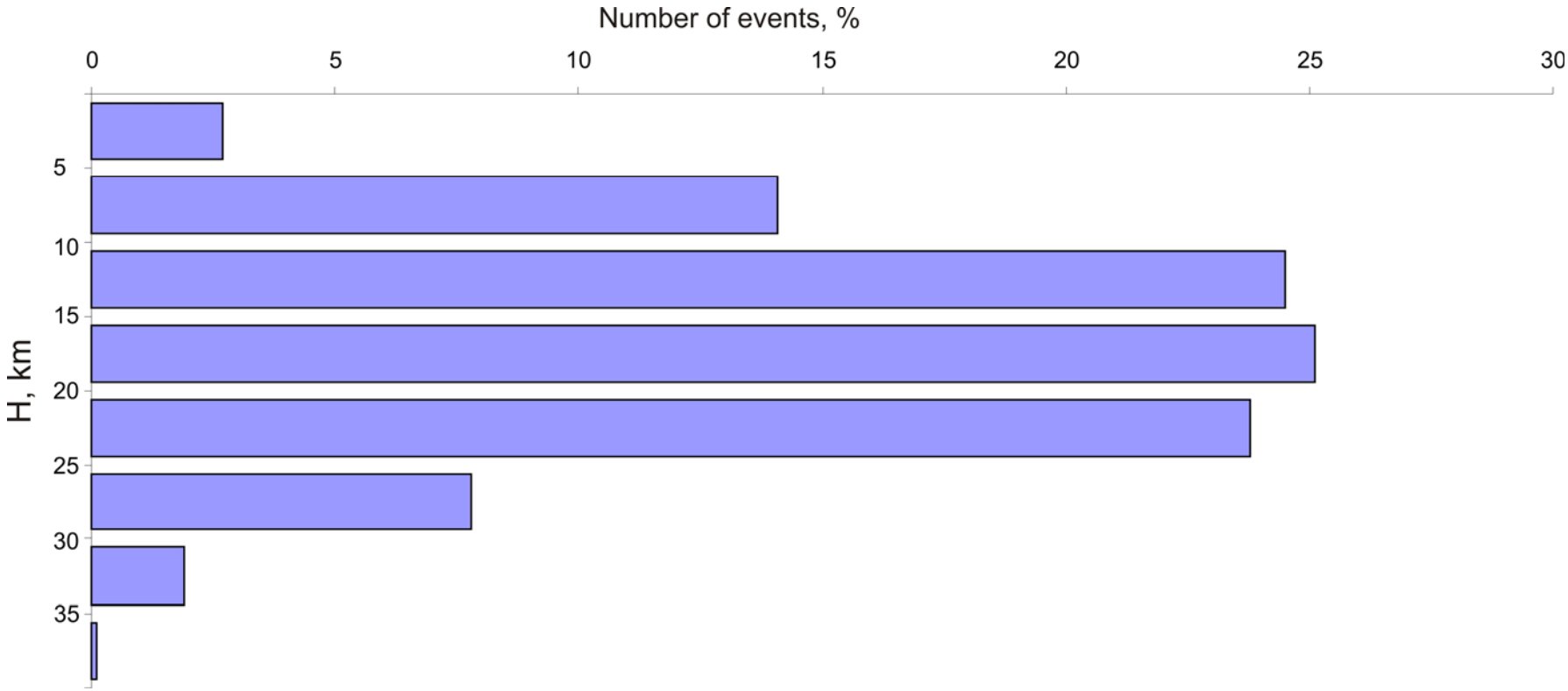
Глубокофокусные землетрясения чаще всего происходят в зонах субдукции, где одна литосферная плита погружается под другую

Субдукция. Зона Беньоффа





В Байкальском регионе сейсмичность коровая, то есть землетрясения происходят в пределах земной коры. Наиболее сейсмоактивен слой 10-25 км.



Магнитуда землетрясений

Магнитуда характеризует силу или величину землетрясения.
Она измеряется по записям сейсмических волн (амплитуда колебаний).

Понятие магнитуды ввел **Ч.Рихтер** в 1935 г. Магнитуда является относительной логарифмической величиной, сравнивающей, насколько сильнее по амплитуде записи исследуемое явление, чем некоторое стандартное. Существует несколько типов магнитуд, определяемых по разным типам волн или разным способам, но их значения, как правило, близки друг к другу.

Магнитуда «по шкале Рихтера» M_L в настоящее время практически не определяется.
Более физически обоснованной является моментная магнитуда M_w, которая оценивается из сейсмического момента. Сейсмический момент M_0 является произведением жесткости горных пород, площади, по которой произошла подвижка во время землетрясения, и величины этой подвижки. Рассчитывается сейсмический момент по волновым формам землетрясения.

В России для оценки силы землетрясения используется **энергетический класс К**

Класс это логарифм энергии сейсмических волн (K = Lg E, Дж). Класс определяется по специальным номограммам по измеренным амплитудам объемных волн. Для Байкальского региона используется номограмма Т.Г. Раутиан.

Для примерного пересчета класса в магнитуду используются следующие соотношения:

$K=4+1.8M$ при $K<=14$ $K=8+1.1M$, если $K>14$

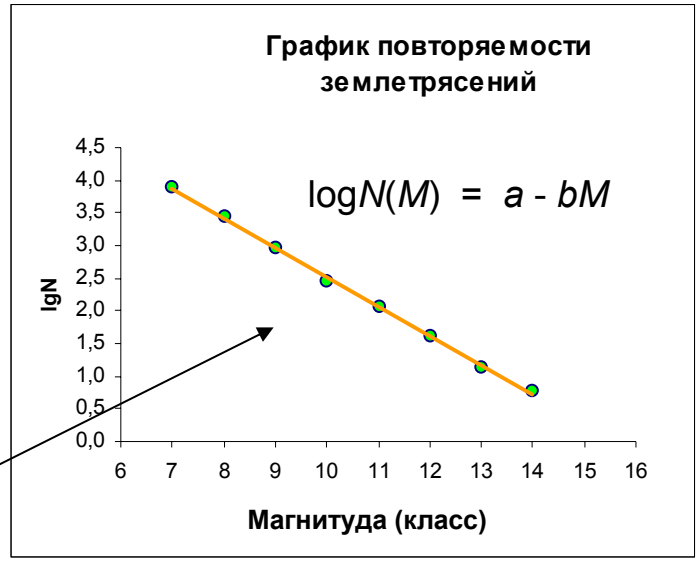
Как часто происходят сильные землетрясения?

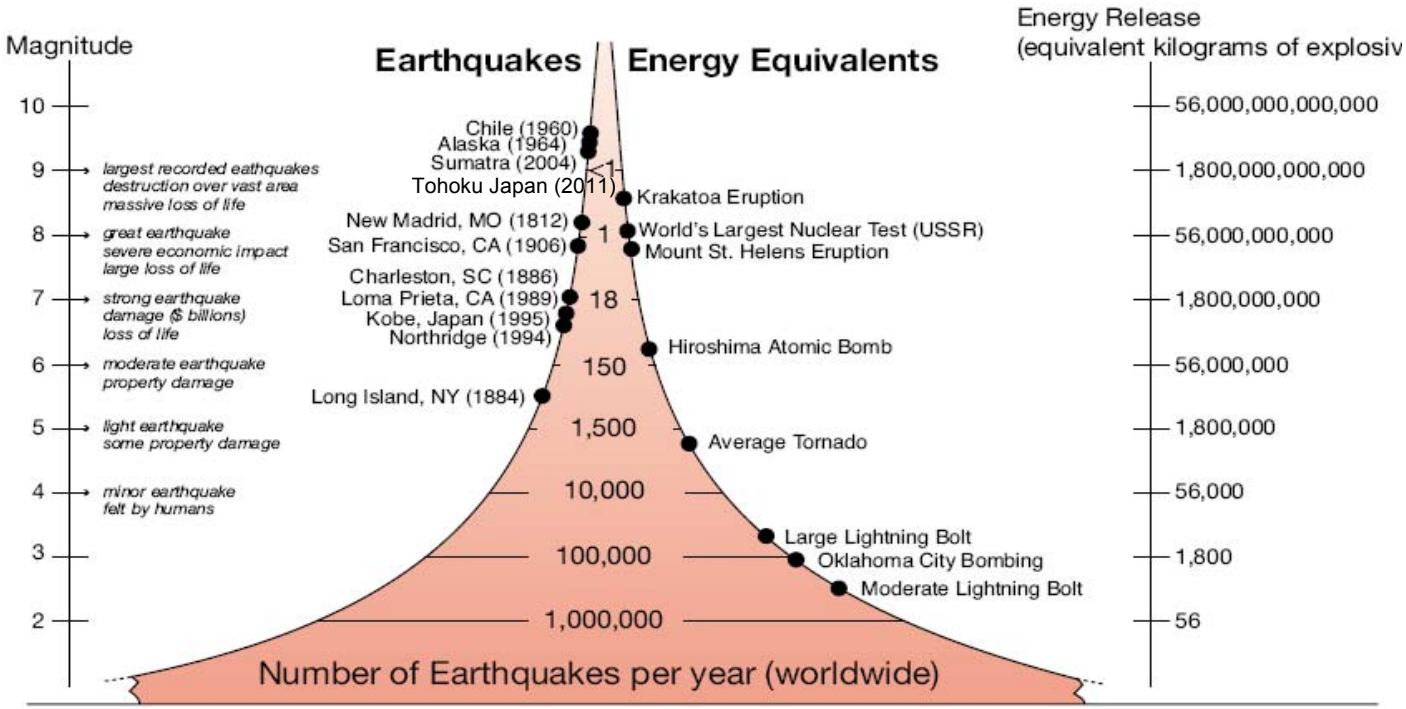
Закон Гутенберга-Рихтера

характеризует частоту N возникновения землетрясений в зависимости от значения магнитуды M

b – угол наклона графика повторяемости. Характеризует соотношение сильных и слабых землетрясений в выборке (каталоге).

Чем сильнее землетрясение, тем реже оно происходит

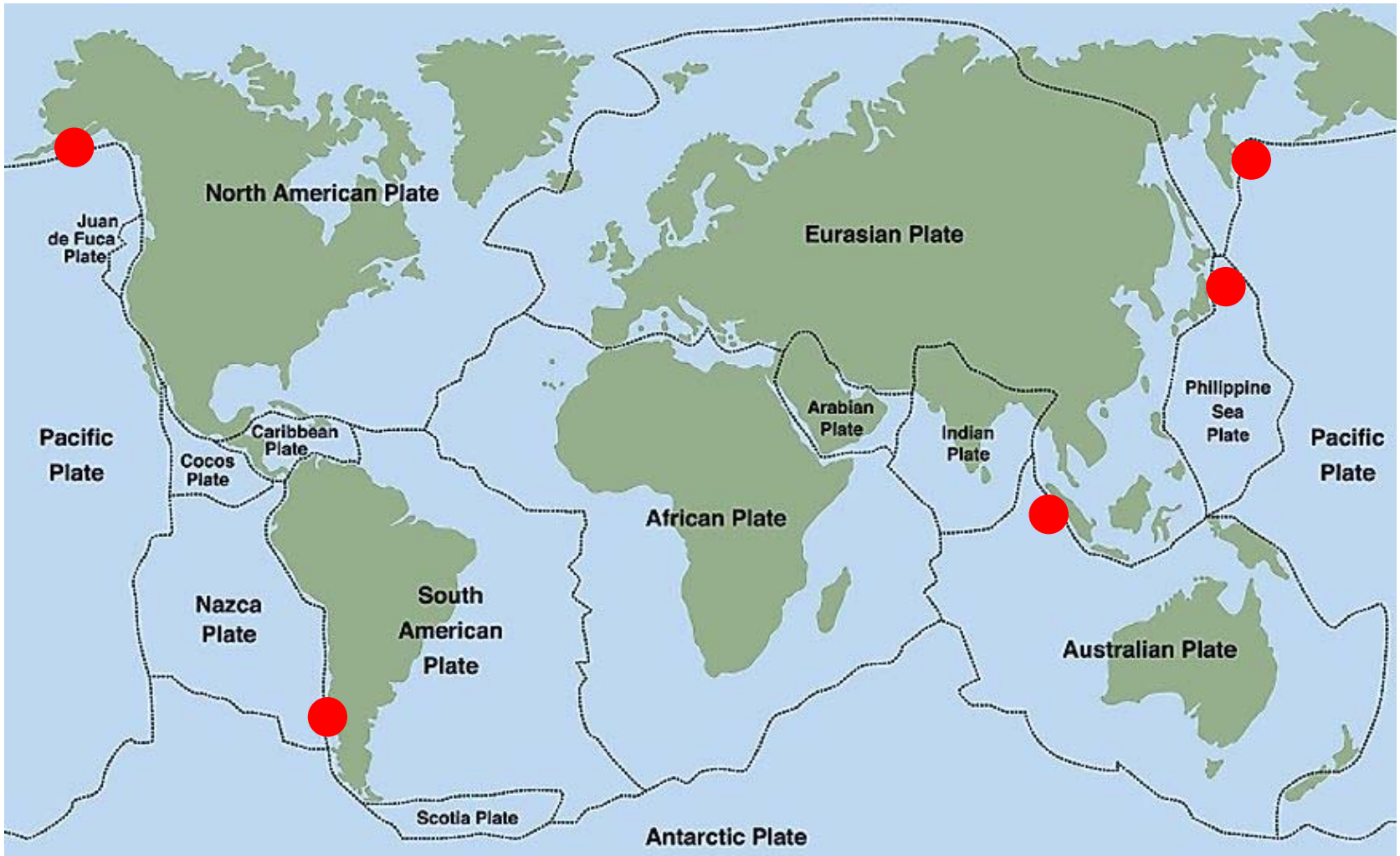




From Iris.edu

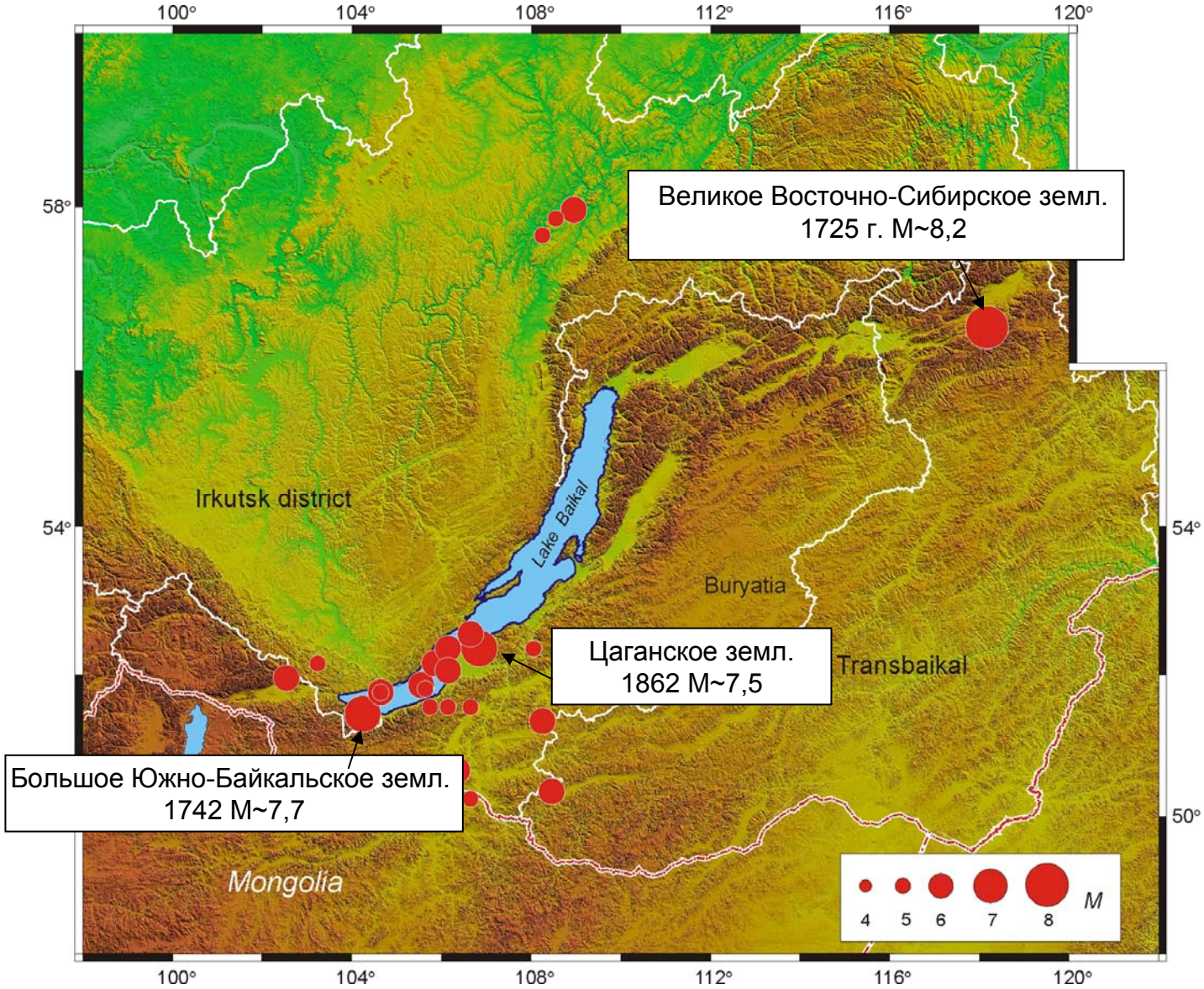
5 самых сильных землетрясений мира:

1. Чилийское землетрясение 1960 г. М 9,5
2. Аляскинское землетрясение 1964 г. М 9,2
3. Суматра-Андаманское землетрясение 2004 г. М 9,1
4. Землетрясение Тохоку, Япония, 2011 г. М 9, 1
5. Камчатское землетрясение 1952 г. М 9,0



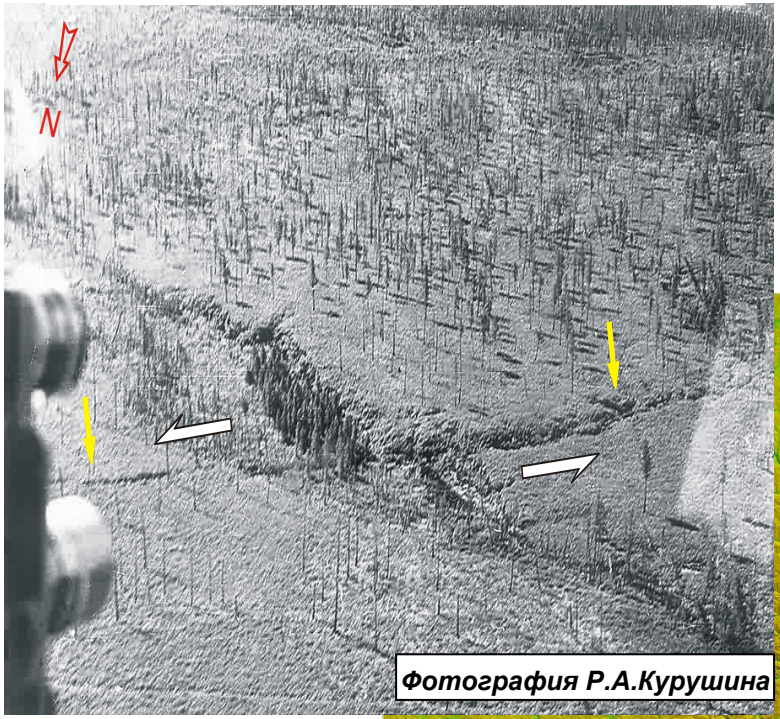
Сильнейшие землетрясения Байкальского региона

Историческая сейсмичность XVIII-XIX веков

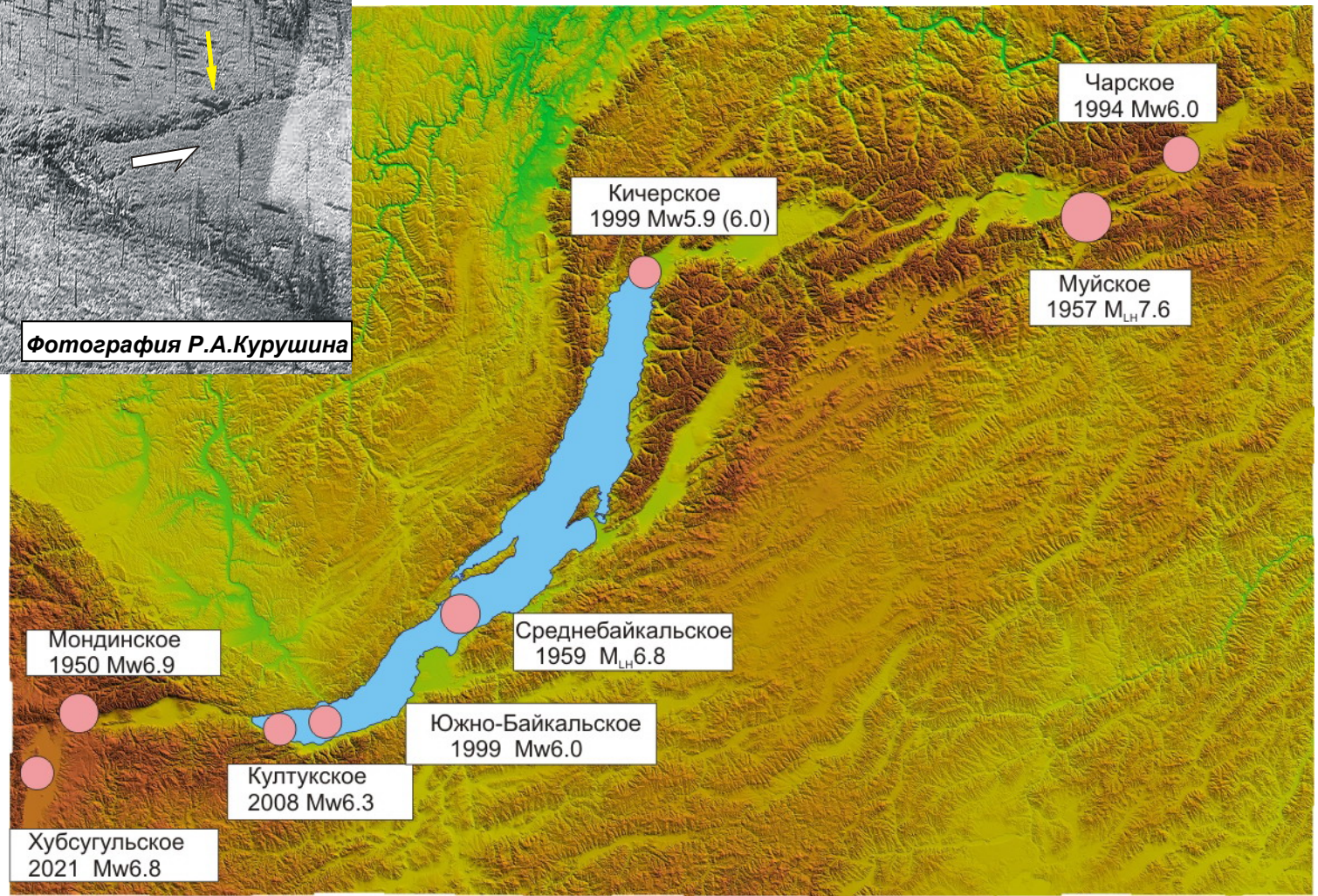


New Catalog of strong earthquakes in the U.S.S.R. from ancient times through 1977. Kondorskaya N.V., Shebalin N.V. (Eds.), Boulder: U.S. Department of commerce, 1982, 608 pp.

Разрывы на земной поверхности при Муйском зем-нии 1957 г.



Сильнейшие землетрясения БРЗ с M≥6.0 за инструментальный период наблюдений (с 1950 г.)



Интенсивность

Характеризует эффекты землетрясения на поверхности Земли. Реакции людей, зданий, эффекты в окружающей среде. Сотрясаемость в баллах в конкретном пункте.

Интенсивность (или балльность) зависит от магнитуды землетрясения, от расстояния до пункта наблюдения, от глубины очага, направленности излучения, грунтовых условий и других параметров. Интенсивность затухает с увеличением расстояния от эпицентра событий.

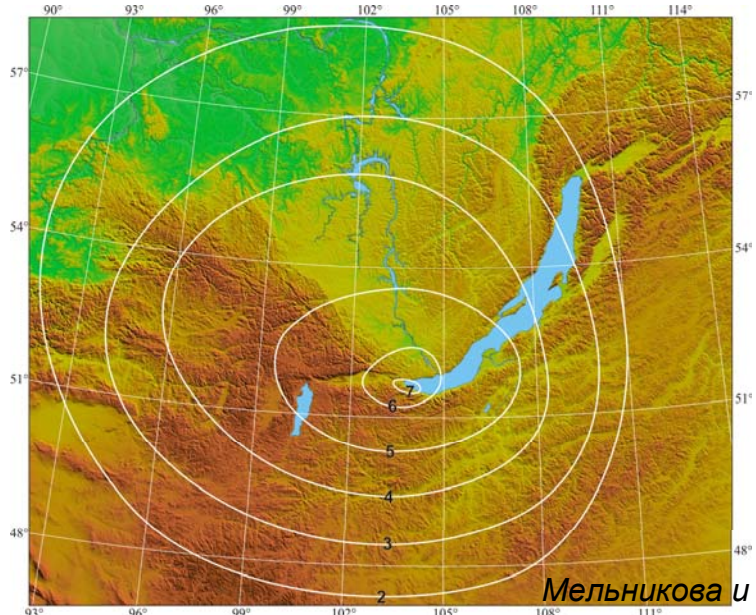
Изосейсты – изолинии, соединяющие пункты с одинаковой балльностью. Если геологические условия были бы одинаковы во всех азимутах от эпицентра, то изосейсты представляли бы собой окружности с центром в эпицентре. Однако, в реальности изосейсты имеют чаще всего вытянутую форму.

Теоретические изосейсты

Хубсугульское земл. 2021 г.

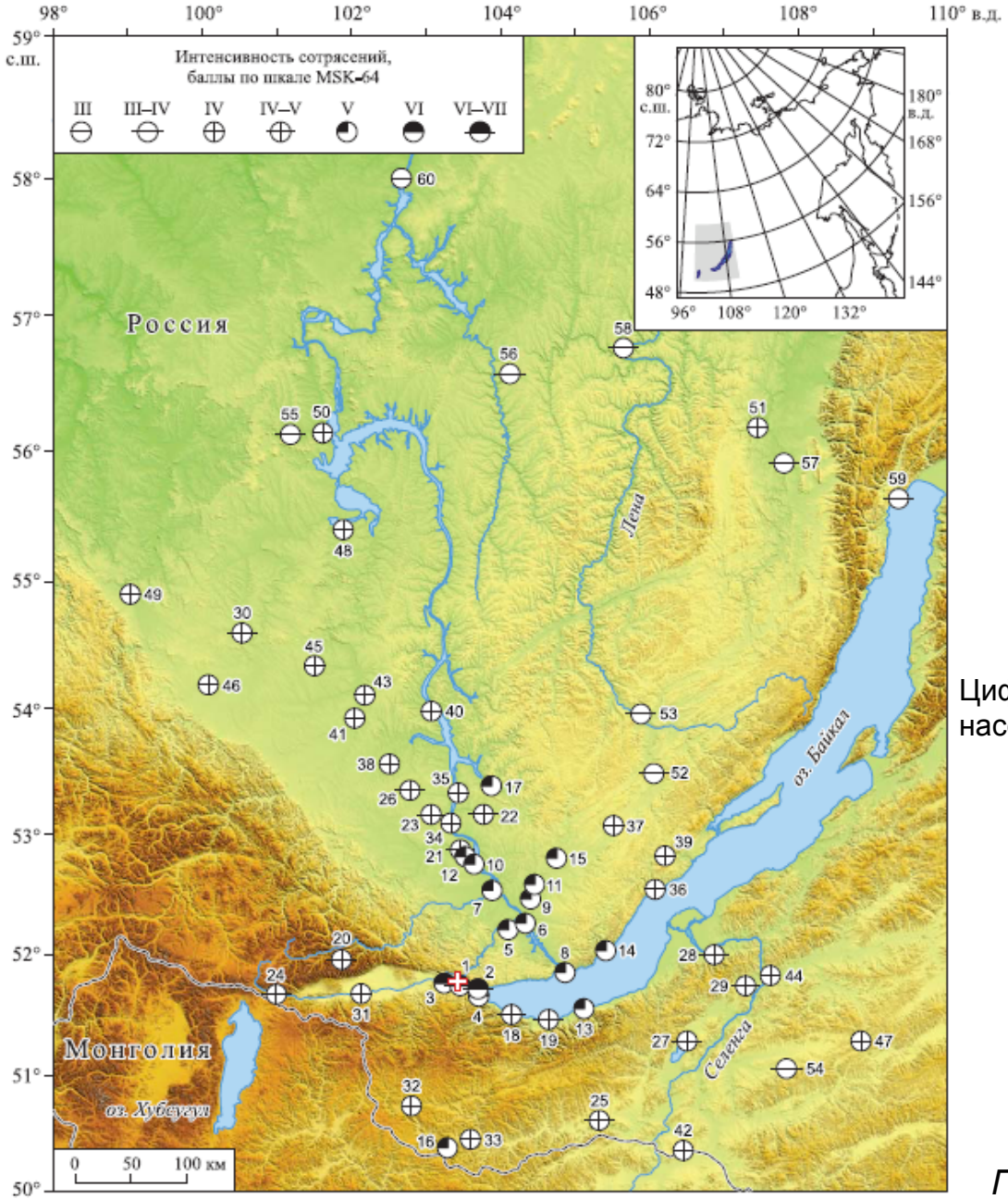
Карта с сайта http://seis-bykl.ru

Изосейсты для Култукского земл. 2008 г.



Мельникова и др., 2009

Макросейсмические проявления Быстринского земл. 21.09.2020 г. с М5.5



Эпицентр – красный крестик

Цифры около пунктов – номера населенных пунктов в сводной таблице

Гилева и др., 2020

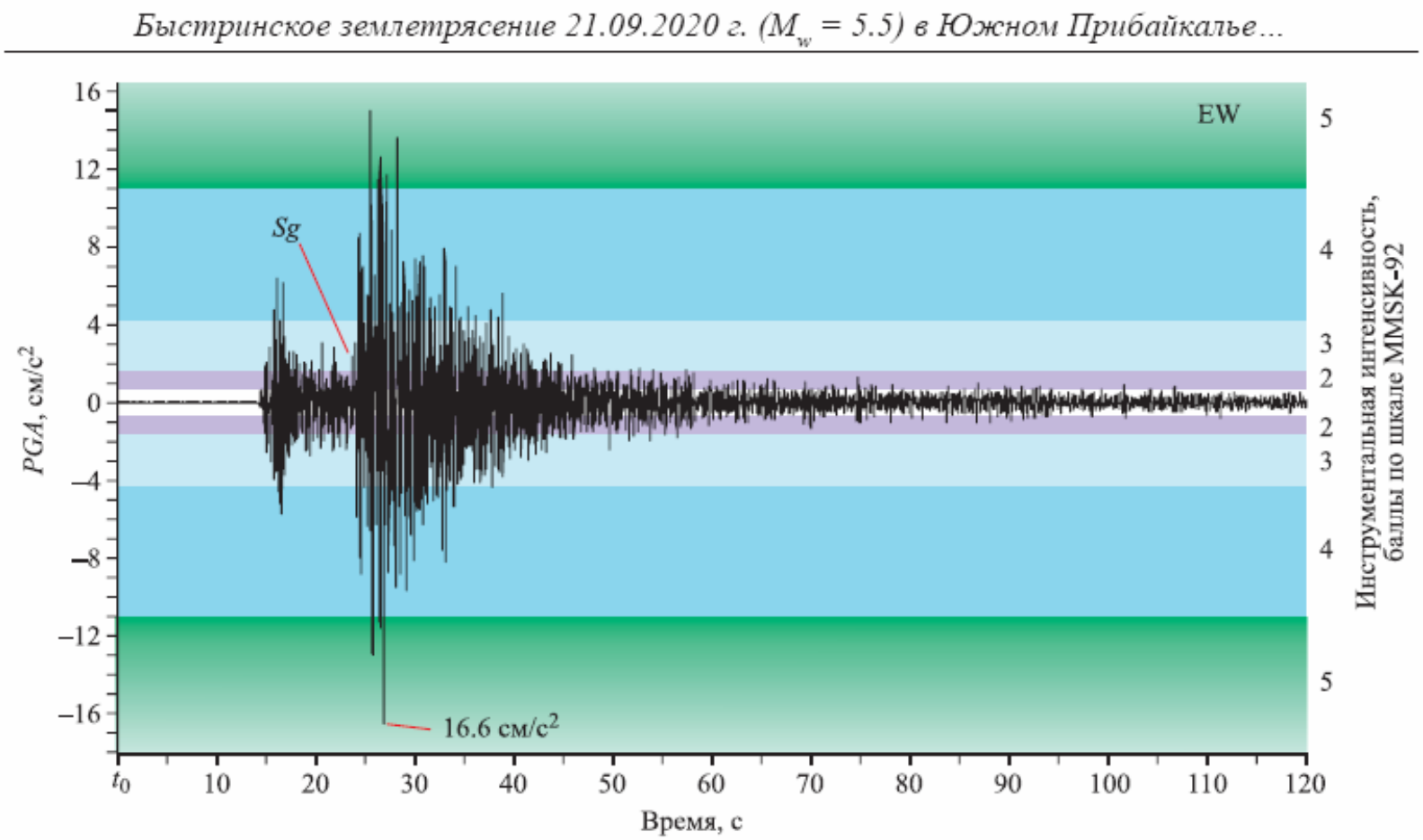
Шкалы интенсивности

Макросейсмическая

12 балльная шкала MSK-64, MMSK-92, MMI, JMA, ESI-2017 и др.

Инструментальная

Динамические параметры движений грунта



Пиковые ускорения грунта на сейсмостанции Иркутск

Гилева и др., 2020

В СМИ очень часто встречается путаница в понятиях
магнитуда и **интенсивность**

Важно понимать, что магнитуда для землетрясения одна, это безразмерная величина, и она «привязана» к очагу землетрясения, а интенсивность сотрясений в баллах «привязана» к конкретному населенному пункту.

Некорректные выражения:

~~8 баллов по шкале Рихтера~~

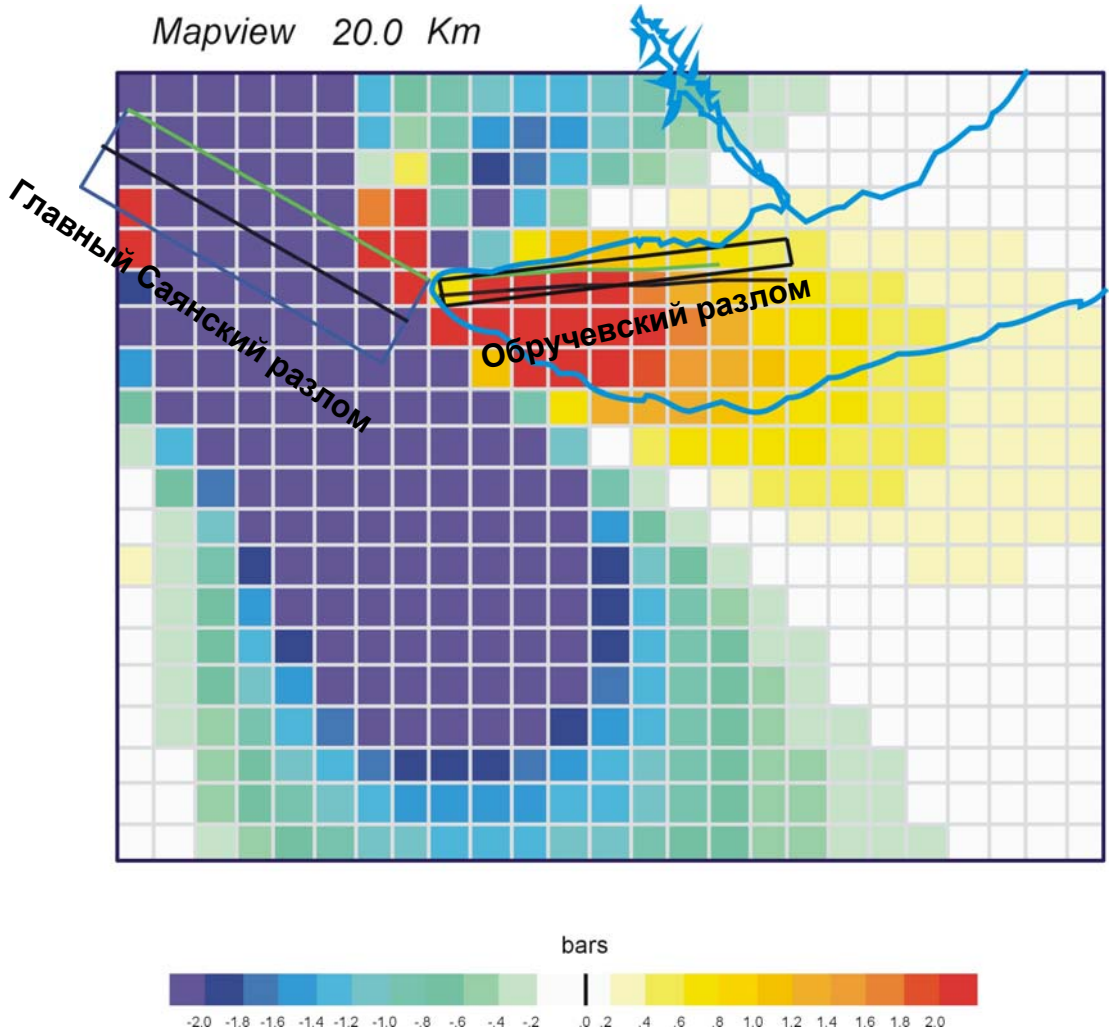
~~Землетрясение магнитудой 6,7 баллов~~

Со словом *магнитуда* баллы не употребляются!

Пример корректной подачи информации:

Сегодня рано утром произошло землетрясение на севере оз.Хубсугул с магнитудой 6,8.
В эпицентре интенсивность сотрясений достигала 7-8 баллов, в Иркутске, расположенном от эпицентра на расстоянии 290 км, землетрясение ощущалось как 5-балльное. Жители приграничного пос.Монды ощутили толчки силой 6 баллов.

Распределение землетрясений во времени в первом приближении близко к случайной пуассоновской последовательности событий, т.е. события считаются **независимыми друг от друга** (фоновая сейсмичность). Однако, существуют триггерные механизмы, когда возникновение одного (как правило, сильного) землетрясения может привести к возникновению других за счет изменения напряжений на разломе (статический или динамический эффект).



Изменение напряжения на Обручевском разломе в результате подвижки по Главному Саянскому разлому

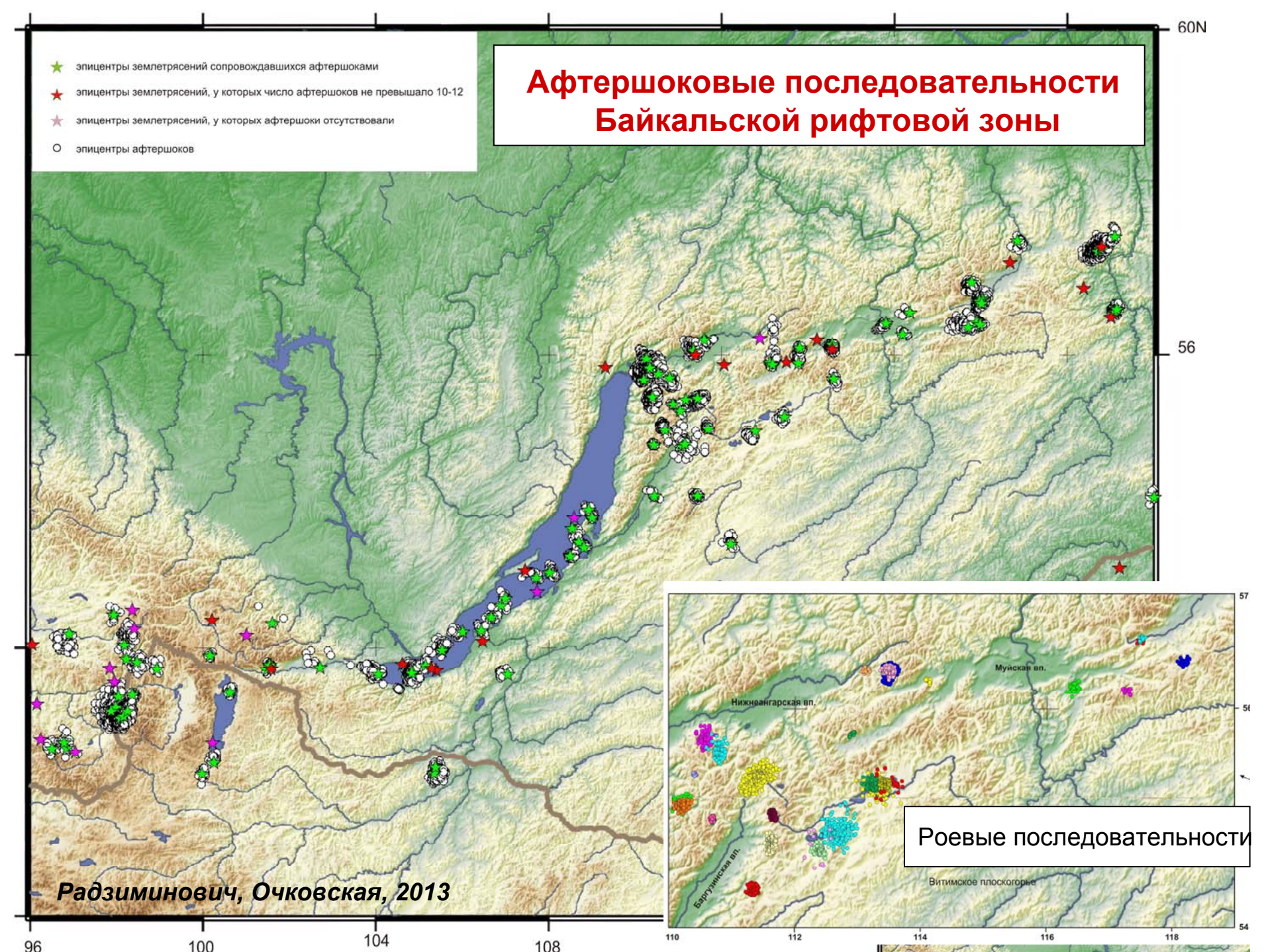
ГРУППИРУЮЩИЕСЯ СОБЫТИЯ

Временной ход сейсмичности осложняется последовательностями взаимосвязанных (причинно-связанных) событий. Среди них выделяют:

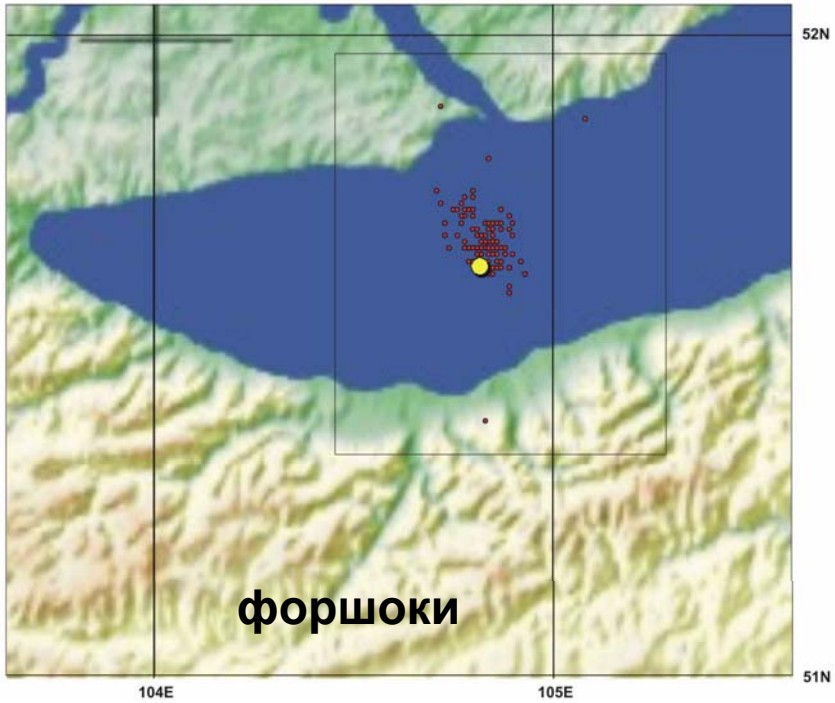
Рои - спорадически возникающие в пространстве и времени группы землетрясений слабой или умеренной силы, среди которых нельзя выделить главный толчок с гораздо большей энергией

Форшоки – толчки меньшей энергии, происходящие в окрестностях **главного толчка** непосредственно перед ним

Афтершоки – толчки меньшей энергии, сопровождающие **сильные землетрясения**


эпицентры землетрясений сопровождавшихся афтершоками
эпицентры землетрясений, у которых число афтершоков не превышало 10-12
эпицентры землетрясений, у которых афтершоки отсутствовали
эпицентры афтершоков
Афтершоковые последовательности
Байкальской рифтовой зоны
60N
56
Радзиминович, Очковская, 2013
96
100
104
108
Муйская вп.
Нижнеангарская вп.
Баргузинская вп.
Витимское плоскогорье
110
112
114
116
118
Роевые последовательности

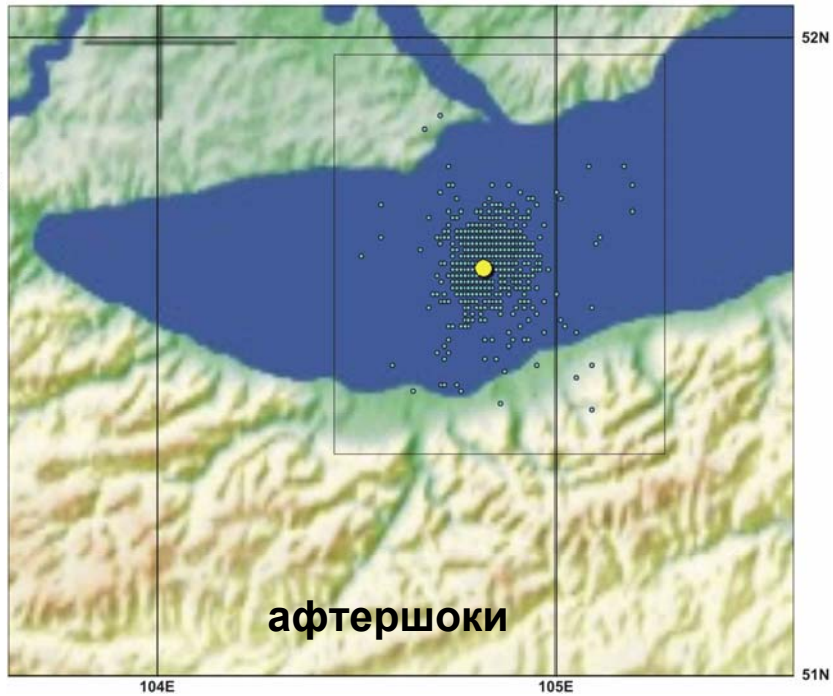
Южно-Байкальское землетрясение 25 февраля 1999 г. с Mw=6.0



Желтым показан главный (сильнейший) толчок

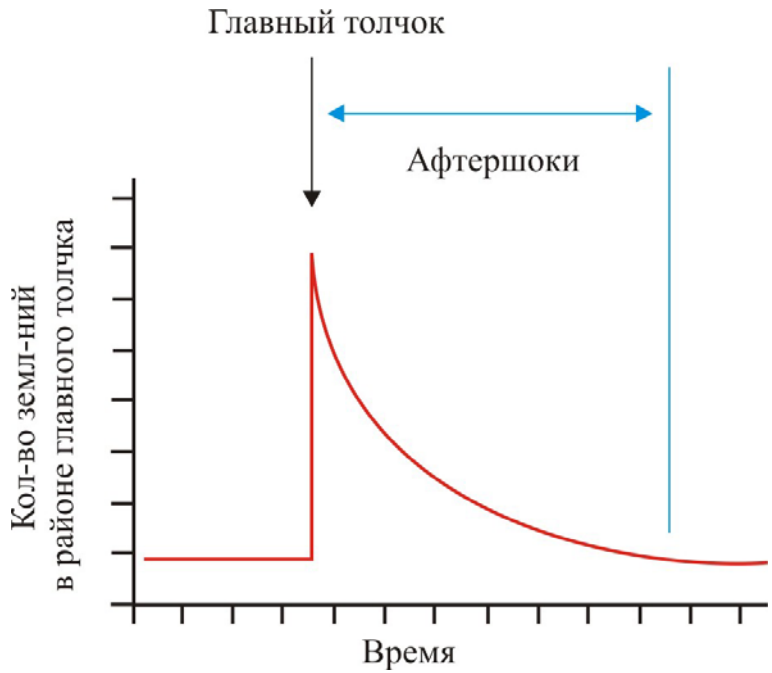
!

Определить, является ли сейсмическая активизация роевой или форшоковой, невозможно до окончания активизации.



Афтершоки

Затухание афтершоков со временем происходит по закону Омори-Уцу



Закон Omori-Utsu (1961)

$$\Delta N/\Delta t = K(c + t)^{-p}$$

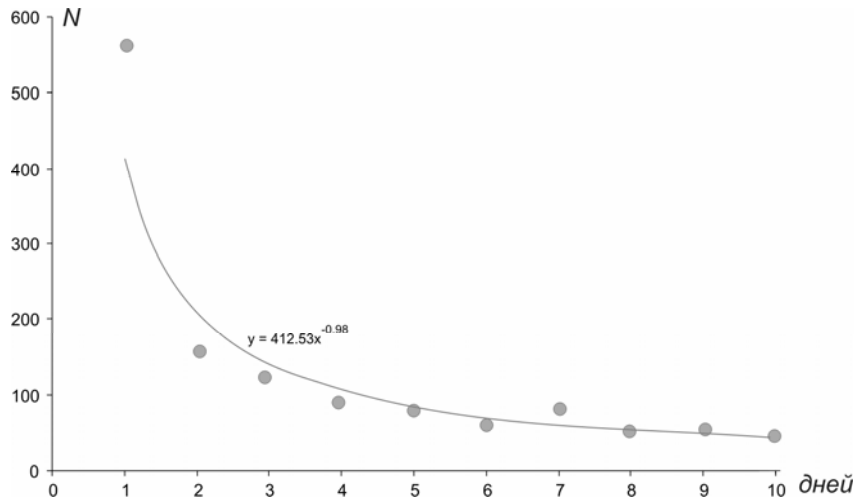
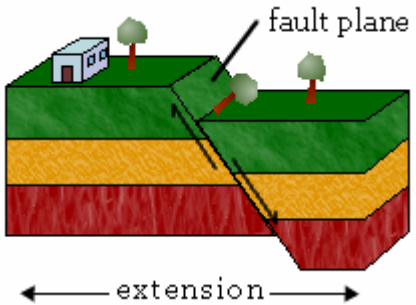


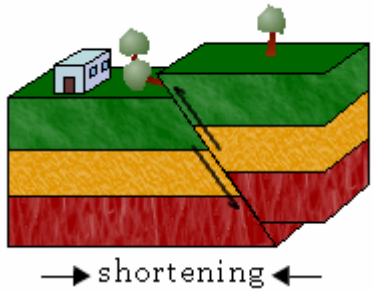
График затухания числа афтершоков Кичерского Землетрясения на Севере Байкала (1999 г., Mw=6.0)

Кинематические типы разломов

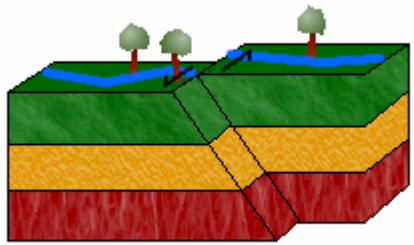
Подвижка по разлому, инициирующая землетрясение, может быть различного кинематического типа. Тип подвижки зависит в том числе и от поля напряжений в земной коре



Тип смещения	*тектонический режим*	*Оси главных напряжений*
Сброс	поле растяжения	Normal $\sigma_V > \sigma_{H\max} > \sigma_{H\min}$

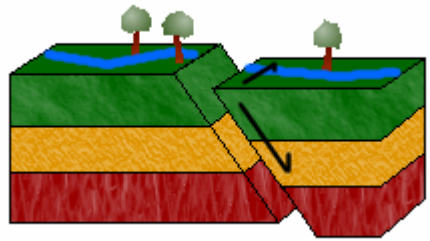


Взброс (надвиг)	поле сжатия	Reverse $\sigma_{H\max} > \sigma_{H\min} > \sigma_V$



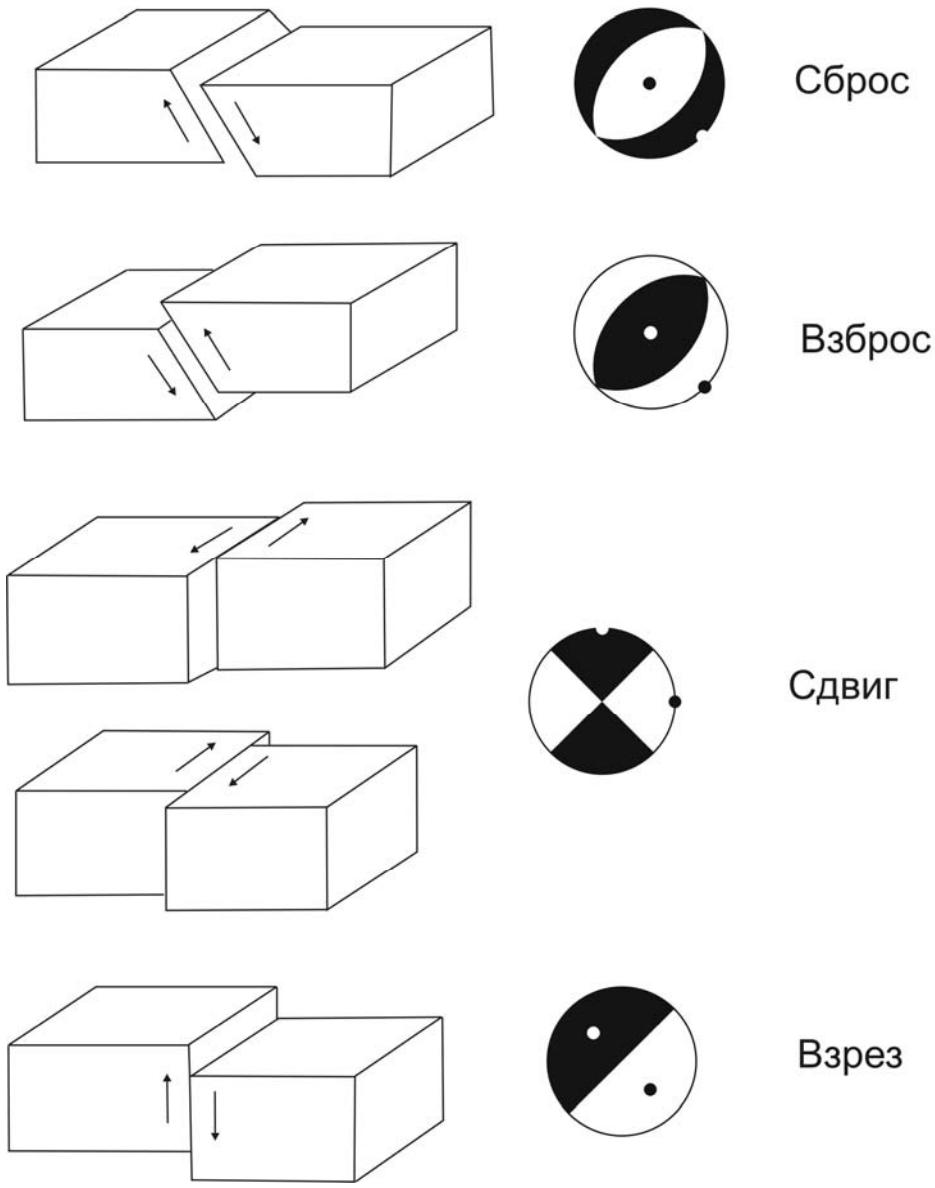
Сдвиг	сдвиговое поле	Strike-slip $\sigma_{H\max} > \sigma_V > \sigma_{H\min}$

Смешанный тип (напр. сбросо-сдвиг)

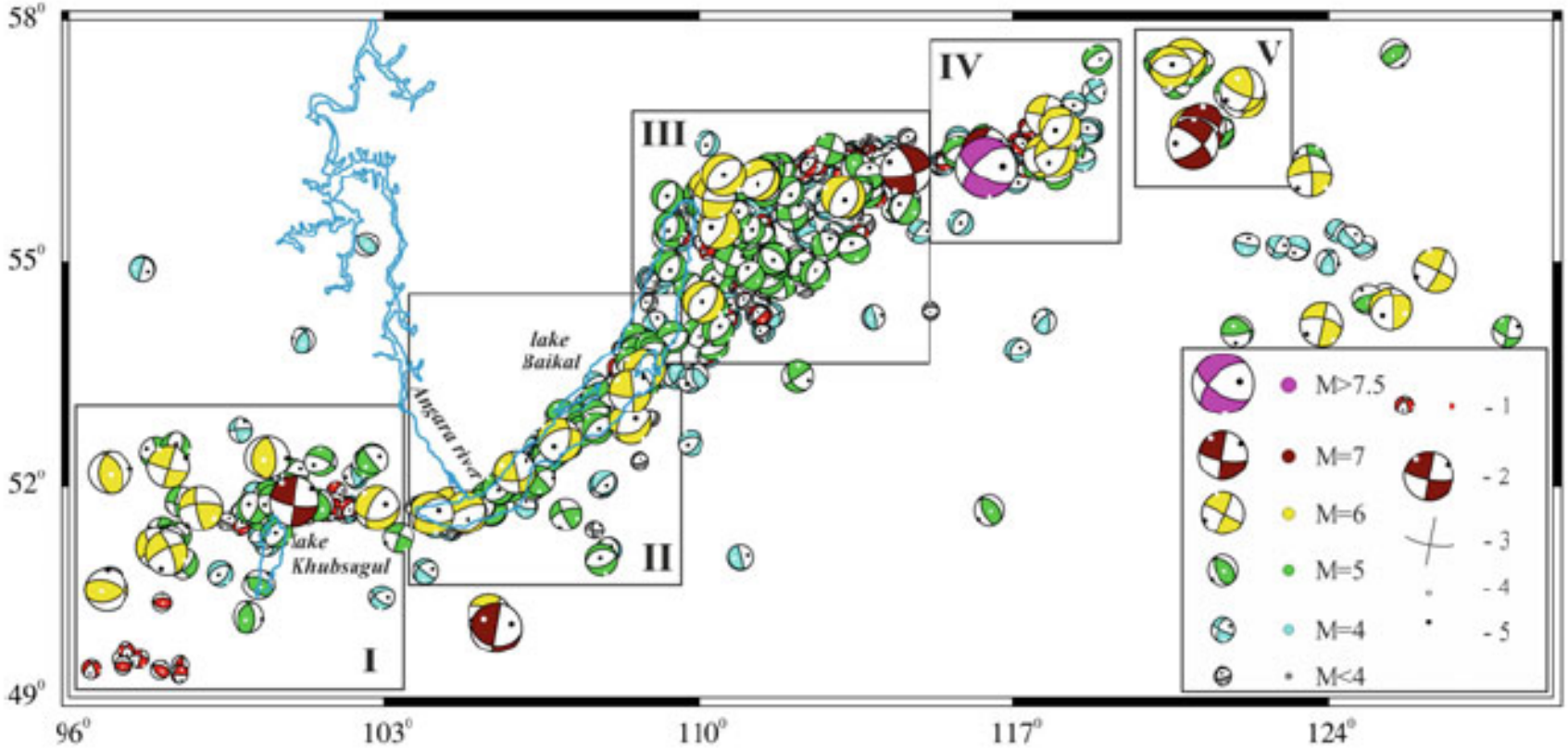


Механизм очага землетрясения характеризует тип смещения по разлому и ориентацию осей напряжений

Типы смещений по разломам и соответствующие им стереограммы фокальных механизмов

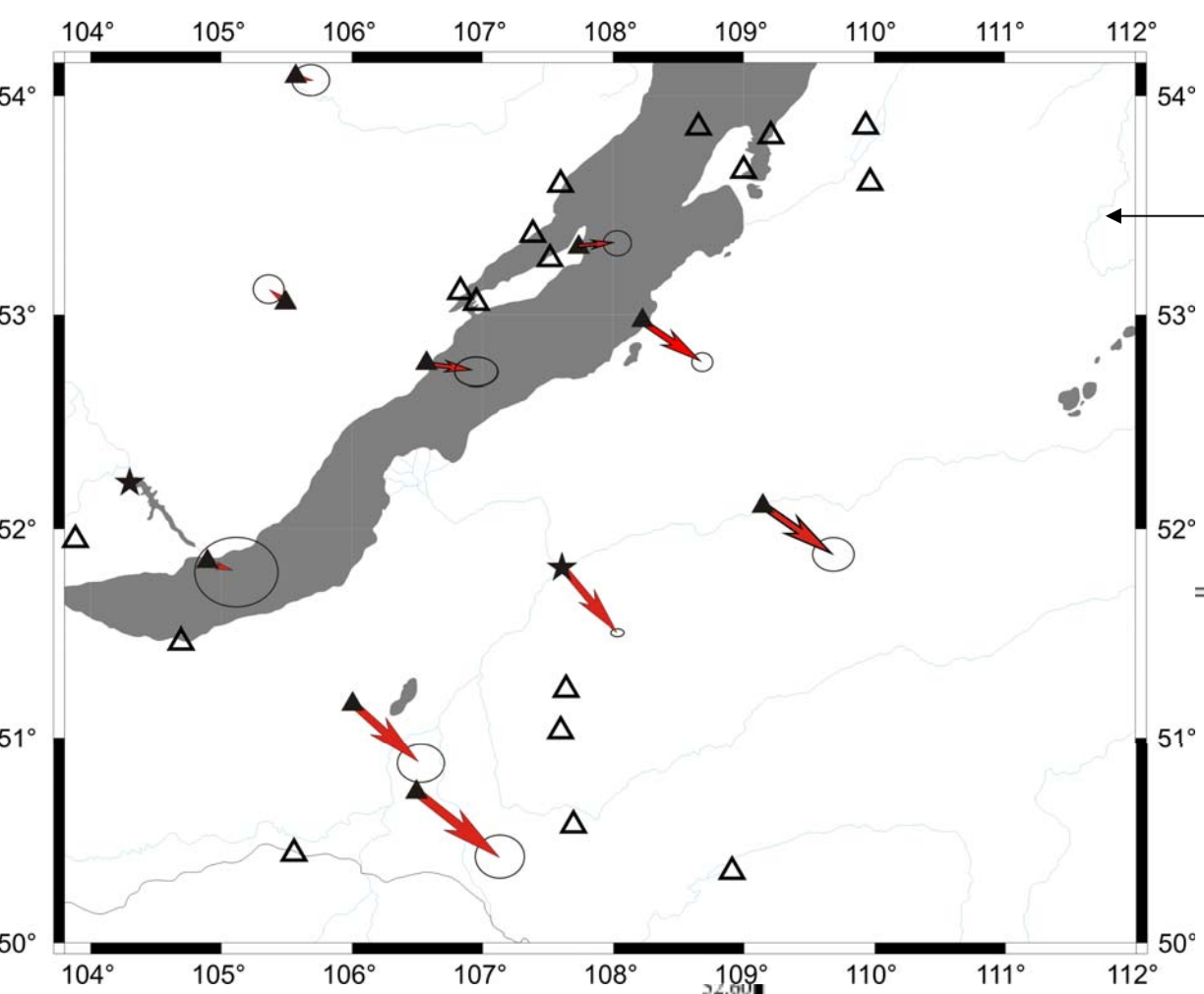


Механизмы очагов Байкальской рифтовой зоны



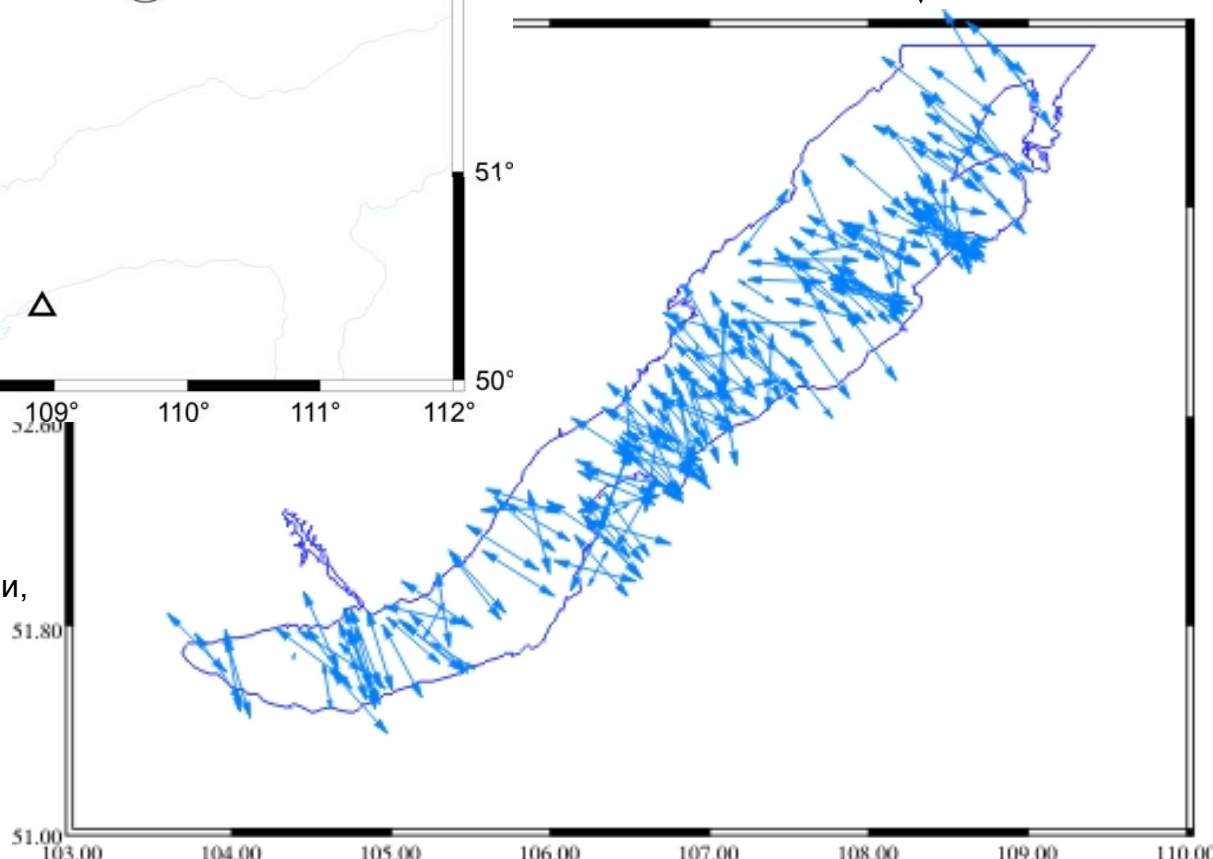
Sankov and Dobrynina, 2018

В центральной части БРЗ преобладают механизмы очагов сбросового типа (режим растяжения земной коры).
Ось растяжения в очагах землетрясений в Южно-Байкальской впадине ориентирована горизонтально в СЗ-ЮВ направлении.



Результаты GPS измерений

Сейсмологические данные



Растяжение земной коры Южно-Байкальской впадины подтверждается и GPS измерениями, согласно которым Забайкальский блок смещается на ЮВ относительно стабильной Сибирской платформы.

КАК ПОДГОТОВИТЬСЯ К ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ

Заранее определите наиболее безопасные места, где можно переждать толчки. Это — проемы капитальных внутренних стен (не перегородок!), углы, образованные внутренними капитальными стенами, места у внутренних капитальных стен, у колонн и под балками каркаса.

Учтите, что наиболее опасными местами в зданиях во время землетрясения являются большие застекленные проемы наружных и внутренних стен, угловые комнаты, особенно последних этажей, лестничные проходы.

Заранее прочно закрепите шкафы, этажерки, стеллажи, полки к стенам, к полу. Мебель следует разместить так, чтобы она не могла упасть на спальные места, перекрыть выходы из комнат, загородить двери.

Держите в удобном месте документы, деньги, карманный фонарик и запасные батарейки. Имейте дома запас питьевой воды и консервов в расчете на несколько дней.

Опасные вещества (ядохимикаты, легковоспламеняющиеся жидкости) храните в надежном, хорошо изолированном месте.

Все жильцы должны знать, где находиться рубильник, магистральные газовые и водопроводные краны, чтобы в случае необходимости отключить электричество, газ и воду.

Во время сильного землетрясения

В помещении:

Если вы можете покинуть здание в течение первых 15–20 секунд, то сделайте это. Желательно взять с собой сотовый телефон. Выбежав из здания, сразу отойдите от него на открытое место.

Если вы остались в здании, то укройтесь в заранее выбранном, относительно безопасном месте. В многоэтажном доме можно распахнуть дверь на лестницу и встать в проеме.

Если есть опасность падения кусков штукатурки, светильников, стекол — прячьтесь под стол. Школьникам можно залезть под парты, отвернуться от окон. В любом здании держитесь дальше от окон, ближе к внутренним капитальным стенам здания. Бойтесь стеклянных перегородок!

Не создавайте давку и «пробки» в дверях!

Не прыгайте в окно, находясь выше первого этажа! Не прыгайте в застекленные окна! При явной необходимости предварительно выбейте стекло табуреткой, в крайнем случае — спиной.

На улице:

Отойдите на открытое место подальше от зданий, линий электропередач. Бойтесь оборванных проводов!

Не бегайте вдоль зданий, не входите в здания — реальную опасность для жизни представляют падающие обломки.

Более подробная памятка о действиях во время землетрясения размещена на сайте МЧС России

https://38.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/deystviya-pri-zemletryasenii

Мониторинг сейсмичности Байкальского региона

http://seis-bykl.ru

Мониторинг сейсмичности Земли

https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=9.27562,-142.73438&extent=59.26588,-47.28516

https://www.emsc-csem.org

http://ds.iris.edu/seismon/index.phtml

Не выдумывайте и не распространяйте никаких слухов о возможных следующих толчках. Пользуйтесь официальными сведениями.