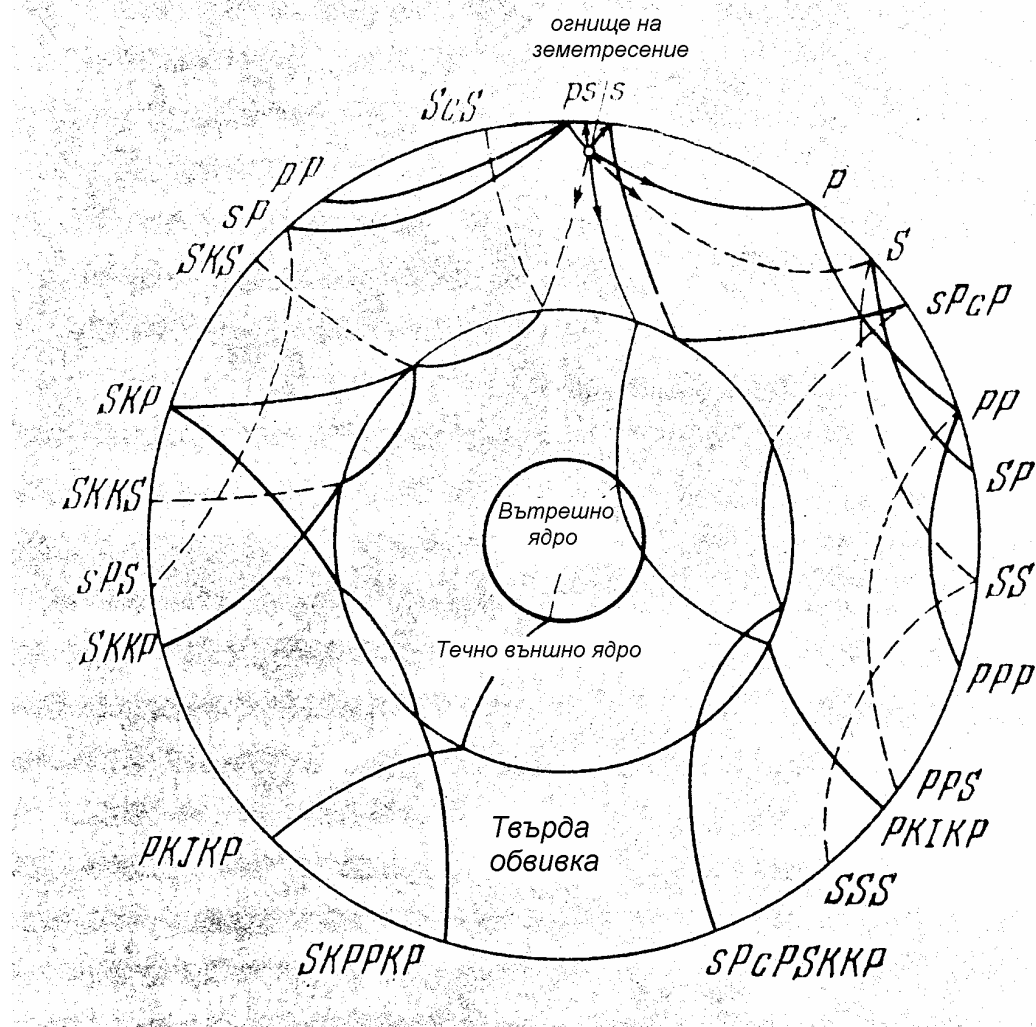


2. Сеизмичност на Земята и нейната геотектонска обусловеност

Под термина “сеизмичност” се разбира географското разпределение на земетресенията, тяхната връзка със строежа на земната повърхност и разпределението им по магнитуд (или енергия). Общият характер на географското разпределение на земетресенията е установен отдавна, още в работите на Ф. де Монтесю де Балор. Самото понятие “сеизмичност” е свързано и с класическия труд на Гутенберг и Рихтер “Сеизмичност на Земята и свързани с нея феномени” от 1941 г.

Именно чрез изследване на преминаването на сеизмичните вълни през различните земни слоеве е създаден модел на вътрешния строеж на Земята. На фиг. 2.1. е представен схематичен модел на видовете сеизмични вълни, които могат да се идентифицират на различно разстояние от огнището на земетресението и които носят съответно информация за слоевете, през които са преминали.

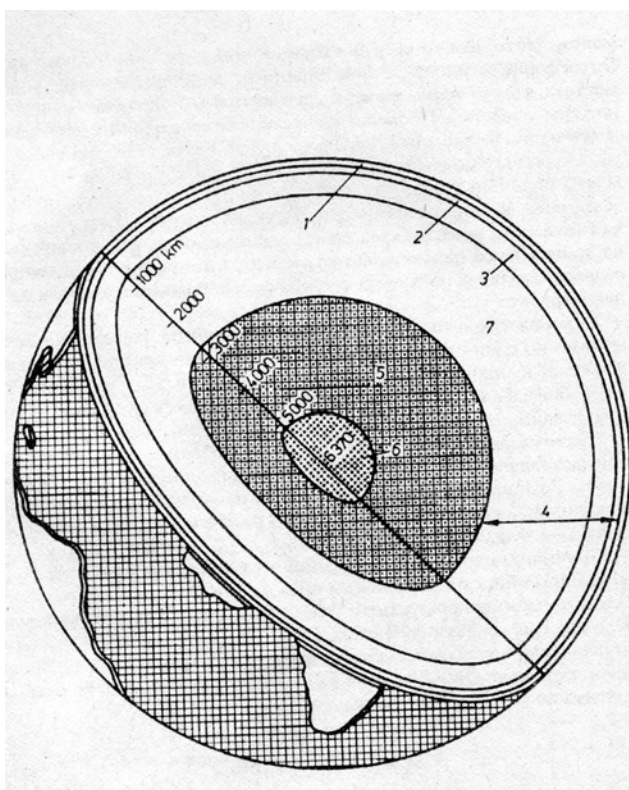


Фиг. 2.1. Наименование на сеизмичните лъчи, преминаващи през вътрешността на Земята (по Жарков, 1983).

Кратко припомняне за строежа на Земята

Така, по индиректни признаци, главно от сеизмичните вълни, създавани от земетресенията, е съставен физическия модел на вътрешността на Земята. В най-общи линии тя се състои от концентрични слоеве, които обвиват нейния център. Земята се разделя

на три основни части: ядро, мантия и кора, които са твърде неравностойни по обем, плътност и химичен състав. На фиг. 2.2 е даден схематичен разрез на земното кълбо според съвременните представи.



Фиг. 2.2. Схематичен разрез на Земята (по Fifield, 1988)

1 - земна кора; 2 - литосфера; 3 - астеносфера; 4 - мантия; външно ядро; 6 - вътрешно ядро; 7 - долна мантия

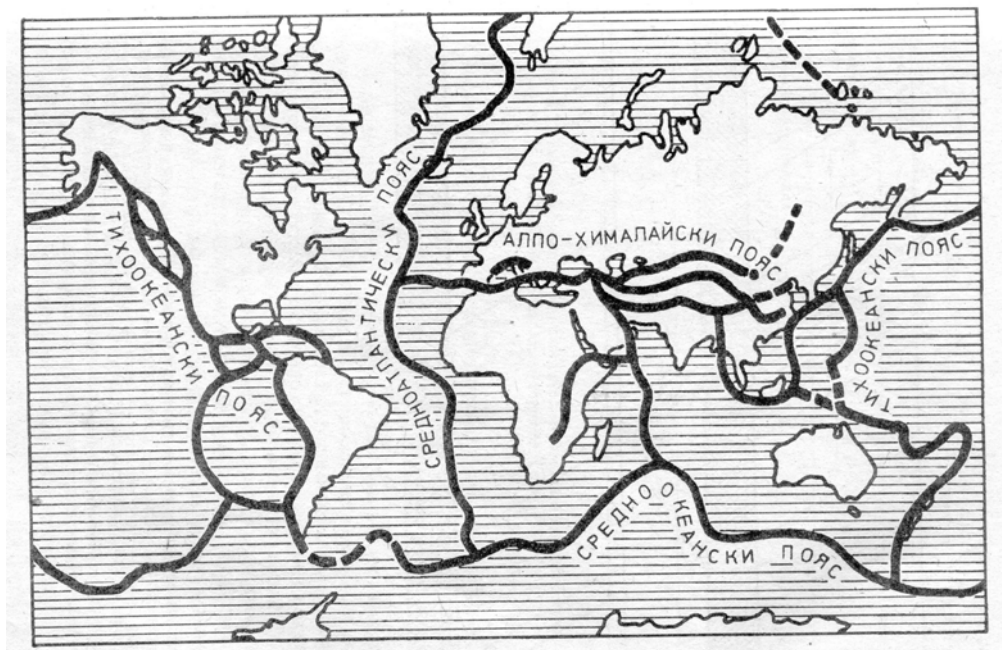
Земната кора — най-горната повърхностна обвивка, е и най-тънкия слой на Земята. Тя представлява по-малко от 1% от обема и 0,4% от теглото на Земята. Земната кора и част от горната мантия — литосферата, са средата, в която се пораждат сеизмичните огнища.

Земната мантия, която се дели на горна и долна, се свързва със земната кора посредством границата на Мохоровичич и се простира навътре към центъра на планетата на почти половината от земния радиус. Има дискусии, дали *литосферата* (сравнително твърдата част от земната обвивка) включва освен земната кора и част от горната мантия, като рязко се отличава по физични свойства от долулежащите слоеве, или това е градиентен преход. Като най-динамичен компонент от структурата на Земята, непосредствено под литосферата е *астеносферата*, и тя трябва да се приеме като важен слой, вероятно не навсякъде издържан по дебелина, който има определено отношение към процесите на движение на плочите. Много често астеносферно вещество прониква и в по-горните слоеве на литосферата, нарушавайки равновесието на системата Земя. Именно в астеносферата се предполага да се намира “двигателят” на процесите водещи до редица ендогенни геодинамични явления в земната кора (вулкани, земетресения).

Третата важна част от вътрешността на Земята е *земното ядро*, което представлява около 15% от обема и 32% от теглото на планетата. Ядрото е външно и вътрешно, като външното е течно, а за вътрешното се предполага, че е твърдо вещество с много голяма плътност. Допуска се даже, че неговото „движение” в течното външно ядро влияе върху въртенето на Земята, върху посоката на земното магнитно поле и може би индиректно върху движението на литосферните плочи, а оттам — на сеизмичността.

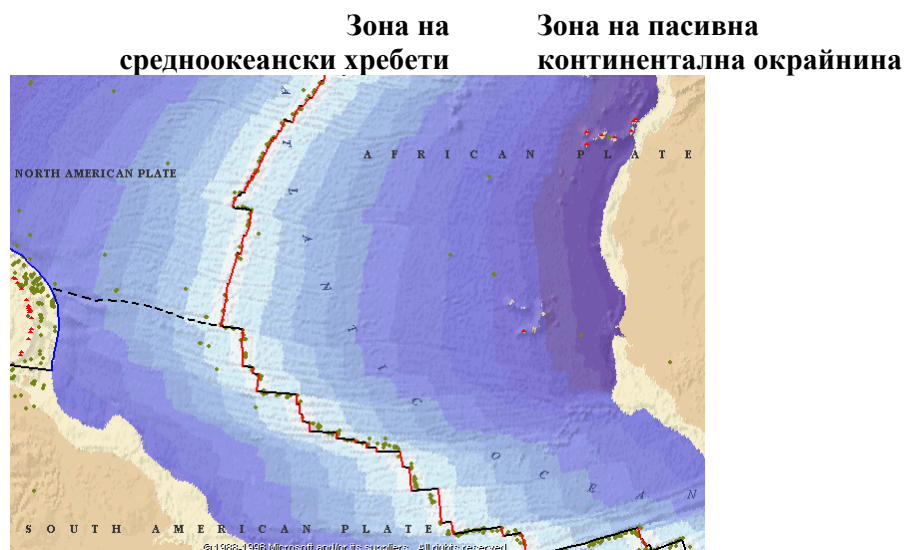
Основни сеизмични зони на Земята и главни тектонски структури свързани с тях

Почти всички земетръсни огнища са привързани към райони, които, от своя страна, са части от много дълги пояси, наречени сеизмични. На фиг. 2.3 е показана схема на земетръсните пояси на Земята. Тези сеизмични пояси в общи линии очертават границите на тектонските плочи. Според вида на относителните движения по краищата на плочите различаваме три основни типа контактуване между тях, респективно — три типа земетръсни пояса.



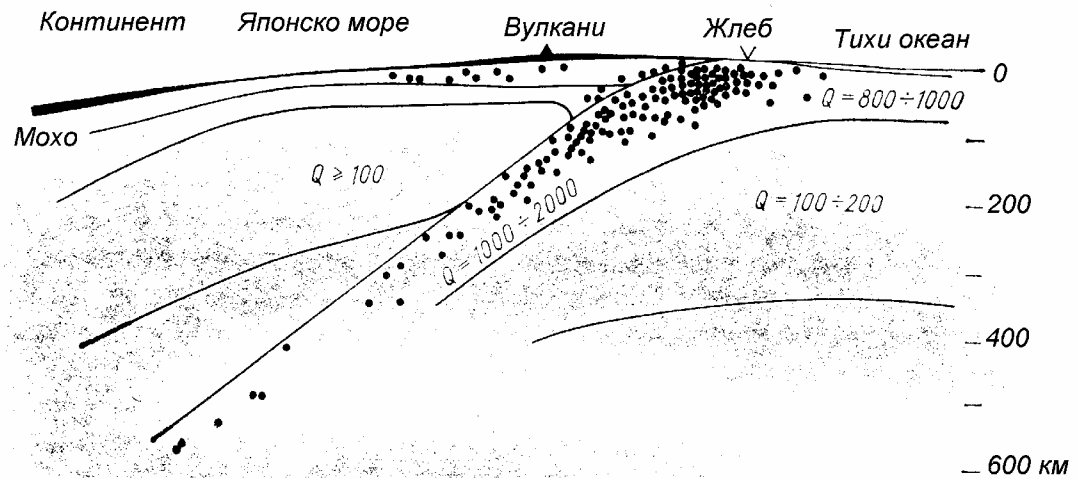
Фиг. 2.3. Основни земетръсни пояси на Земята (по Рижикова, 1996).

Ако контактуването става между две океански плочи, техните граници включват подводните хребети, които очертават Средноокеанския сеизмичен пояс. По краищата, на контакта между две океански плочи, морското дъно непрекъснато се разкъсва и отдалечава (фиг.2.4).



Фиг. 2.4. Контакт между океански плочи.

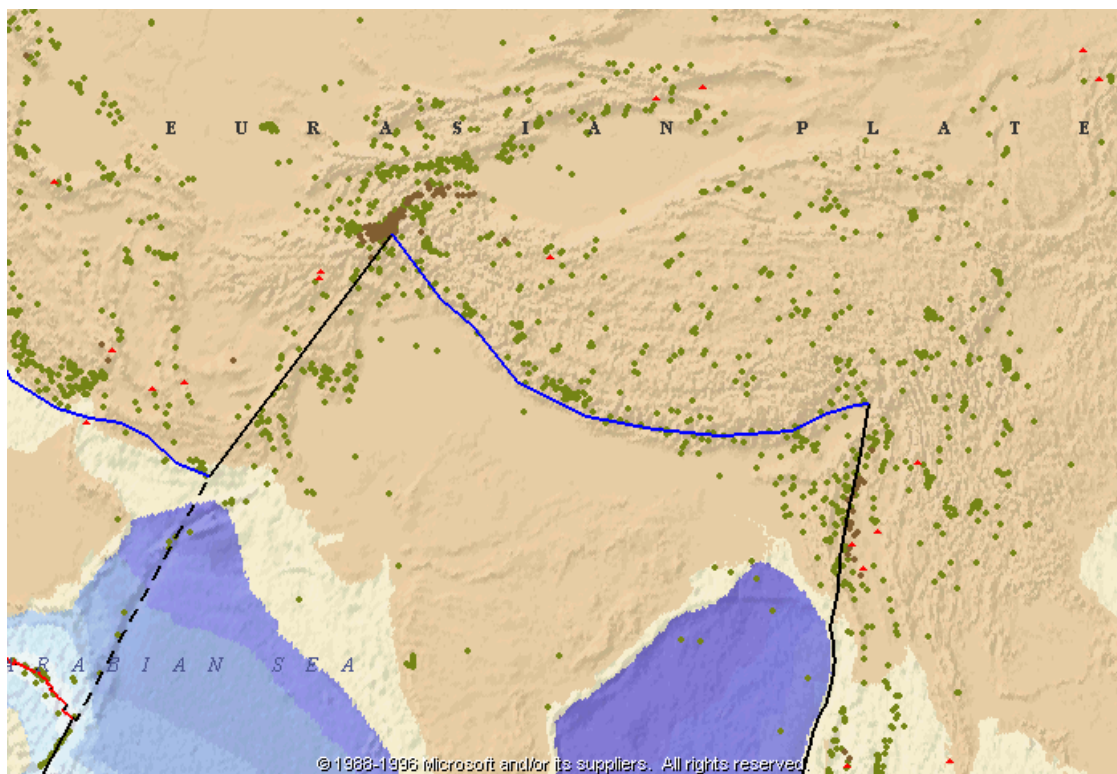
Другият основен тип контактуване е това на континентална с океанска плоча. То се осъществява предимно по периферията на Тихия океан. Краят на океанската плоча се плъзга надолу и се потопява под краищата на континенталната, която, от своя страна, се възкачва над океанската плоча (фиг. 2.5). В зоната на подпъхване възникват сложни процеси (механично триене, фазови преходи на веществото и др.), които водят до нарастване на напреженията и тяхното освобождаване под формата на катастрофални земетресения. Така се образуват дълбоките океански падини, крайбрежните високи планини и островните архипелази. Земетръсните огнища, които се създават от този вид контакт между плочите, са типични за Тихоокеанския сеизмичен пояс.



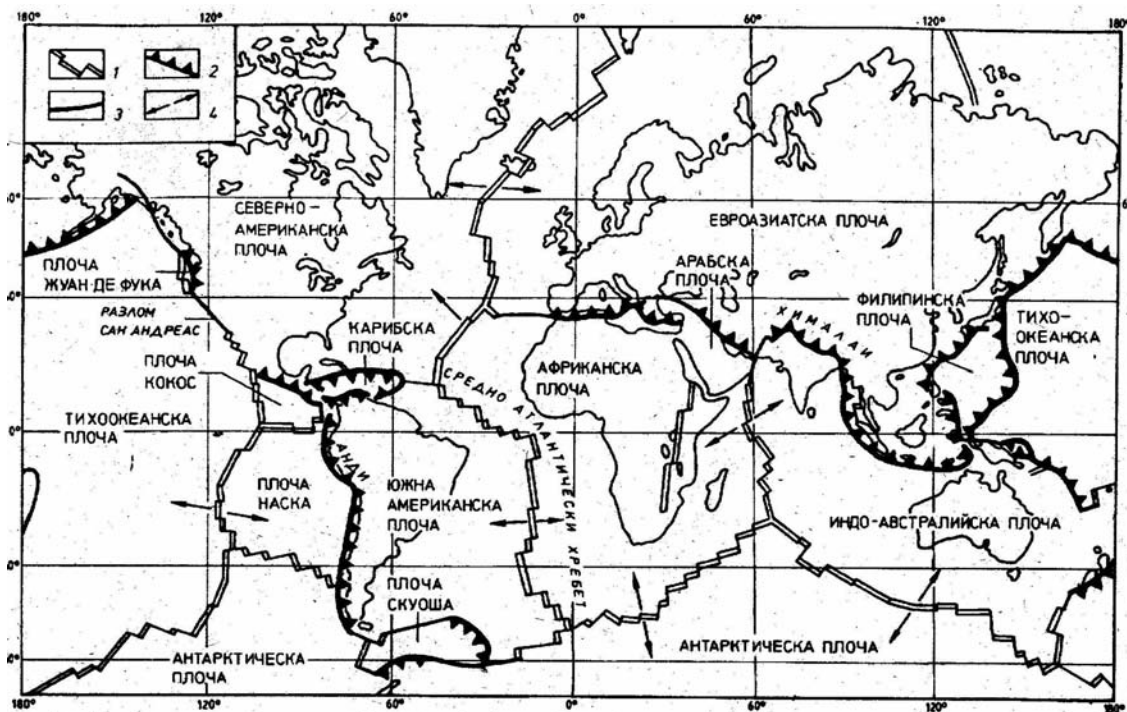
Фиг. 2.5. Схема на зона на субдукция (Тихоокеански пояс – Японска островна дъга) (по Utzu, 1971). Q – коефициент за качество на средата (отношение на максималната към погълнатата от средата енергия).

Третият тип контактуване става по границите между две континентални плочи. Това са най-сложните контакти, където относителното движение е различно и многопосочно. Такова контактуване има най-вече по Алпо-Хималайския сеизмичен пояс, по цялата дължина на планинските вериги между Алпите и Хималаите. Границите между континенталните плочи тук са свързани с интензивно планинообразуване (фиг. 2.6.).

Един от най-важните аргументи на плейттектониката (тектониката на плочите) е именно концентрацията на сеизмичността в определени, тесни зони, които се идентифицират с границите на плочите. Вярно е и обратното - чрез разбиране на механизмите на съвременните геодинамични процеси може да се прогнозира зоните, където най-вероятно стават големите земетресения на Земята.



Фиг. 2.6. Колизия на континентални плочи (Алпо-Хималайски пояс).



Фиг. 2.7. Главни литосферни плочи на Земята и контактите между тях.

1 - зони на разширяване с трансформни разломи; 2 - зони на субдукция; 3 - блокови контакти на странично плъзгане; 4 - посока на движение на плочите.

Най-голяма сеизмична активност се регистрира по Тихоокеанския пояс. Съгласно таблица, изготвена от Гутенберг и Рихтер (1954 - второ издание на техния труд от 1941 г) в този пояс се отделя 75,4% от енергията на недълбоките земетресения, станали от 1904 до 1952 г. В Алпо-Хималайския пояс (наричан още Трансазиатска или Алпийска зона), преминаващ от Индонезия през Хималиите към Средиземноморието за този период се е реализирала 22,9% от сеизмичната енергия. За останалата част на Земята остават само 2% от земетресенията. Енергията, която се отделя при промеждутъчните земетресения (70-300 km) и при дълбоките земетресения (над 300 km) още по-силно е концентрирана в Тихоокеанския пояс. Разпределението на освободената енергия се определя от неголям брой силни земетресения.

Поясите със сравнително слаба сеизмична активност са също много важни за изучаване на строежа на Земята. Океанските хребети, по които се очертават Средноокеанския и Средноатлантическия пояси, са местата по-които става разрастването на океанската кора.

Най-голяма сеизмична активност се проявява в дълбокообразните структури - успоредна система от океански жлебове, верига от вулканични острови и свързаните с тях резки аномалии на силата на тежестта (например - при Япония). Тук земетресенията се разполагат по зона, която се подпхва под материка. Имената на този тип зони са дошли от техните изследователи. В някои статии се среща името Вадати-Беньоф, в други Заварицкий-Беньоф, или само едно от трите имена. Фактически тези наименованията (на световноизвестни сеизмолози) вече имат повече историческа стойност, защото плейттектониката постави нещата на мястото им и вече става дума за "зони на субдукция".

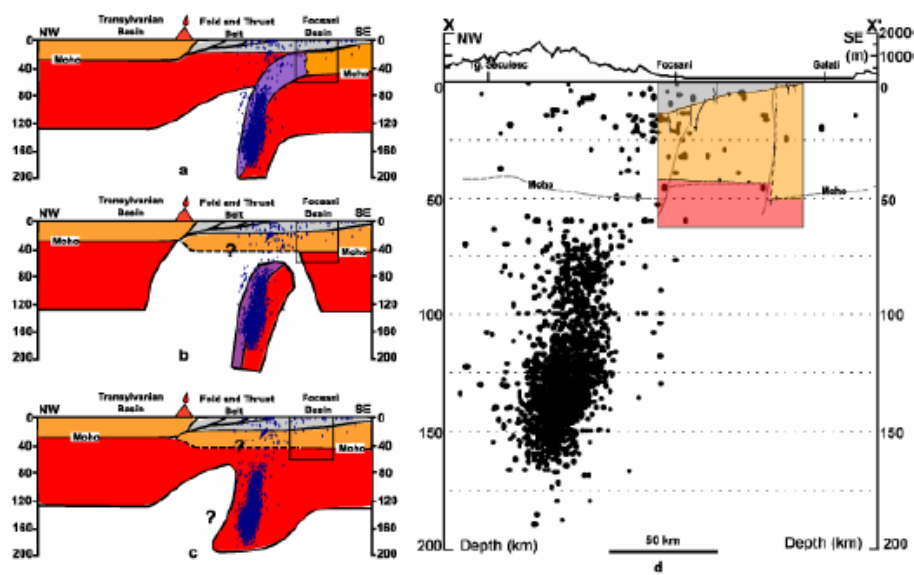
Разпределение на сеизмичните огнища в дълбочина - кора и мантийна сеизмичност

Според дълбочината на огнищата на земетресенията е приета една доста условна класификация, която не може да се аргументира с конкретни геоложки или тектонски особености.

Нормални земетресения са сравнително плитките, които могат да бъдат:

- много плитките, с огнища, близки до земната повърхност, но по принцип се приемат до дълбочина първите десет километра. Няма структурна аргументация за тази дълбочина;
- в средната част на земната кора - на 10-20 километра в земната кора. Някъде в този интервал се намира границата на Конрад, която в последните години се оспорва доста силно. Но не може да се отрече, че има промяна в сеизмичния режим като цяло в континенталните области на Земята. Това може да е свързано с промяна във физико-механичните свойства на средата при високите налягания и температури, водещи до фазови преходи на минерално ниво и промяна на напрегнатото състояние на средата. За океанската земна кора това е приблизително границата между кората и мантията;
- в основата на земната кора - на 30-40 km дълбочина, някъде около границата на Мохоровичич за континентите. Но за океанските области това е вече в мантията.

Междинни се наричат земетресенията с огнища на дълбочина от 40-50 до 300 km. Тук също е трудно да се даде обобщено тектонско тълкуване на тази класификация. Дебелината на земната кора в някои райони (например ЮЗ България) достига до дебелини над 50 km. Т.е., и тук се смесват в класификацията корови и мантийни земетресения. Типични земетресения от междинен тип в Европа са тези от района на планината Вранча в Източните Карпати (Румъния) (фиг.2.8).



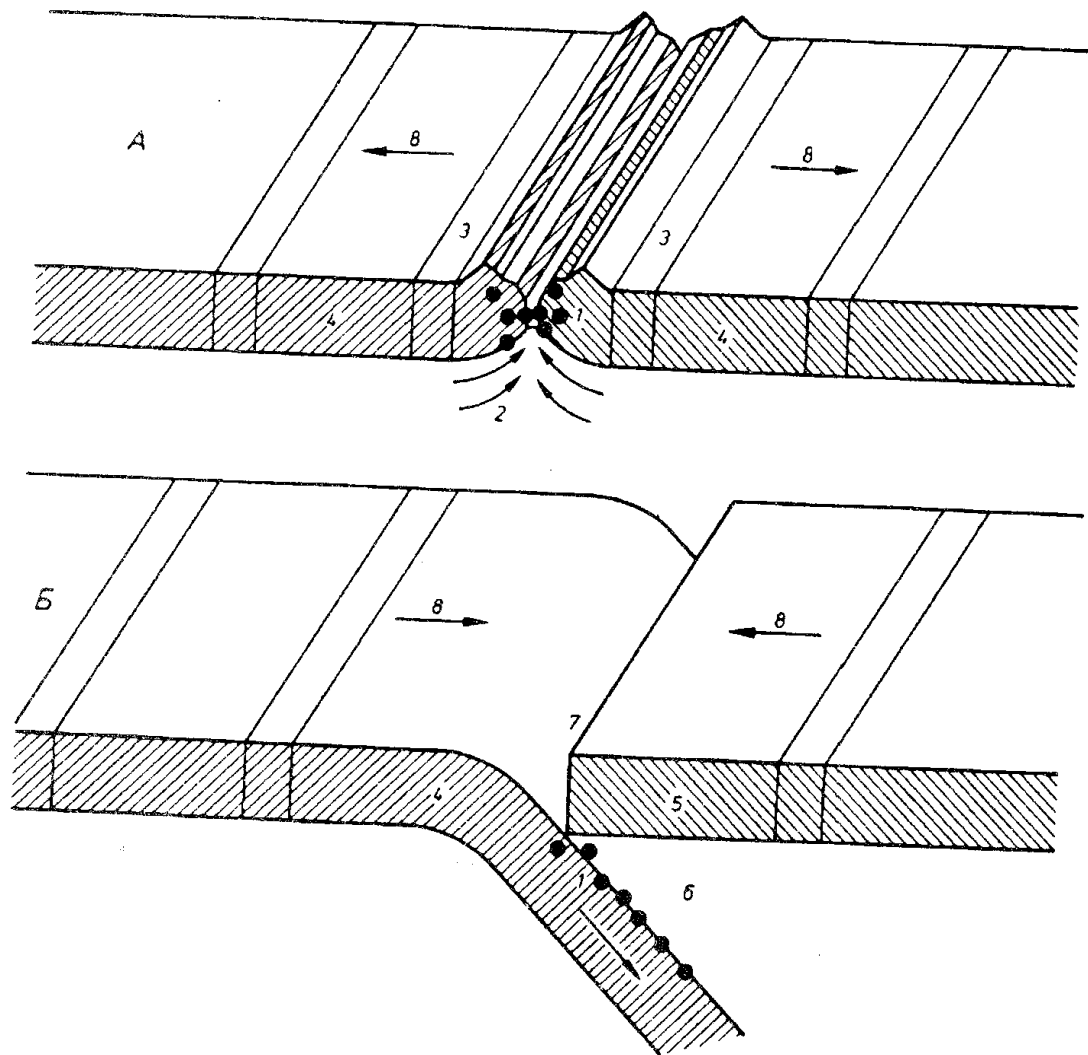
Фиг. 2.8. Хипотези за процесите в района на Вранчанската сеизмична зона (Източни Карпати, Румъния). а) Субдукция; б) Откъснат фрагмент от литосферата; с) Континентална деламинация. Черните точки са хипоцентри на земетресения. (по Macuta, Knapp, 2005)

Дълбокофокусни са земетресенията с дълбочини на огнището над 300 km. Такива земетресения стават рядко и са концентрирани в ограничени зони. Практически всички дълбокофокусни земетресения стават в Тихоокеанския пояс. Най-дълбокото земетресение е регистрирано именно там и то е с дълбочина 720 km.

Ако за нормалните земетресения тектонската природа е малко или много изяснена за различните зони на Земята, то за междинните и за дълбокофокусните земетресения няма достатъчно ясна представа за природата. Освен някои аргументи за тектонската природа на земетресенията в зоните на субдукция, съществуват и достатъчно аргументи за физико-химични процеси на големите дълбочини, водещи до фазови превръщания на материалите с поглъщания или отдаване на енергия, което води до “взривни” процеси, регистрирани като земетресения.

Особености на сеизмичността в континенталния и океанския тип земна кора

По-горе бяха посочени някои от особености на сеизмичния процес за различни нива в земните кора и мантия. Преди да се премине към някои по-конкретни представи за мястото на сеизмичността в плейттектонската теория, ще се обърне внимание на някои основни, принципни положения на теорията, които имат съществено значение за разбиране на тектонското естество на сеизмичния процес.



Фиг. 2.9. Контакти между две литосферни плочи (по Друмя, Шебалин, 1985)

А - океанска с океанска; Б - континентална с океанска

1 - земетръсни огнища; 2 - конвективни течения в мантията; 3 - литосферни ивици с различни по знак намагнитвания; 4 - океански плочи; 5 - континентална плоча; 6 - зона на субдукция; 7 - океански жлеб (дълбоководна падина); 8 - посоки на движение на плочите.

Процесите в земната литосфера са от два типа - конструктивни и деструктивни. При конструктивния тип се създава земна кора, а при деструктивния се разрушава земна кора.

Океанският тип кора се характеризира със сравнително малка дебелина (10-20 km) и наситеност с базични скали. Това се дължи на подгриващи мантийни потоци, издигащи към повърхността базична магма. В зоната средноокеанските хребети, там където е контактът между океанските плочи, тази магма се излива и застива на морското дъно (фиг. 2.9 - А). При този процес възходящият магмен поток създава напрежения при “избутването” на плочите и тяхното освобождаване се изразява в редица сравнително слаби и плиткы земетресения. Създаването на нова земна кора в зоната на средноокеанските хребети е непрекъснат, цикличен процес, водещ до избутване на по-старата кора от по-младите порции застиваща магма. Възрастта на отделните “порции” кора се определя от ивиците с различна намагнитеност от двете страни на хребетите. Проследяването на тези ивици води до континентите, където при срещата на океанските с континенталните плочи започва разрушаването на земната кора (фиг. 2.9 - Б). Континенталните плочи са от по-лек материал, главно кисели скали и те имат по-добра “плаваемост” от океанските плочи върху пластичната горна мантия. При колизията между двата типа плочи започват процеси, които носят различни имена, но имат един и същ резултат - асимилация и разтапяне на океанската и частично на континенталната кора. При субдукцията има известна пасивност на континенталната плоча - подпъхането под нея на океанската плоча се дължи на по-голяма скорост на насрещно движение на последната. При обдукцията има обратна тенденция - континенталната плоча се движи по-бързо срещу океанската и се “надхлъзва” над нея.

Колизията между двата типа плочи води до възникване на колосални тектонски напрежения, които водят до земетресения с огнища от нормален до дълбокофокусен тип. По зоната на подпъхане на океанската кора се маркират земетресения с различен механизъм, който отразява процесите на различна дълбочина. Тези зони на Земята са извити като дъги (фиг. 2.10). В заддъговата зона се подреждат вериги от активни вулкани. Потъващата океанска кора на определена дълбочина в мантията се разтапя, подгрива и започва да се издига към земната повърхност под формата на магма, разтапяща и континенталната кора. Така появяващите се вулкани са от взривен тип, изхвърлящи кисела магма с по-ниска вискозност. Тази колизия е типична за активния тип континентални крайни. Има и пасивен тип континентални крайни, какъвто е случаят при Африканската плоча, която практически се движи заедно с океанската кора на Южния Атлантк.

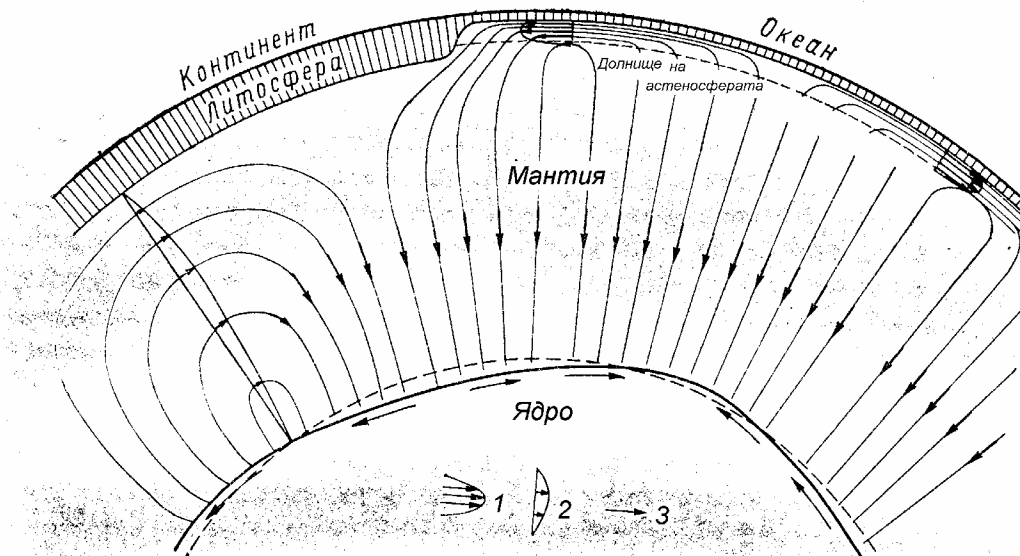


Фиг. 2.10. Зона на активна континентална крайнина (Тихоокеански тип).

Тази картина е идеализирана. Съществуват и сложни процеси, възникващи при движенията на контактите между континенталните плочи. Голяма част от земетръсните огнища в Алпо-Хималайския пояс са именно на границите между континентални плочи. Някои от движенията са от отседен тип по границите на плочите и това води до възникване на сравнително плитки, но много силни земетресения (например земетресенията по Северно-Анадолската разломна зона - контактът между Европейската и Анадолската плочи).

Още по-сложна става картината в зоната на така наречените “трансформни” разломи. Те са дефинирани като граници между океански плочи, разсичащи хребетите. По-късно се доказват и при континенталните плочи наличието на подобни разломи.

На фиг. 2.11 е показана идеализирана схема на конвективните течения в земната мантия, определяни като двигател на процесите в земната кора, описвани от моделите на плейт-тектониката.

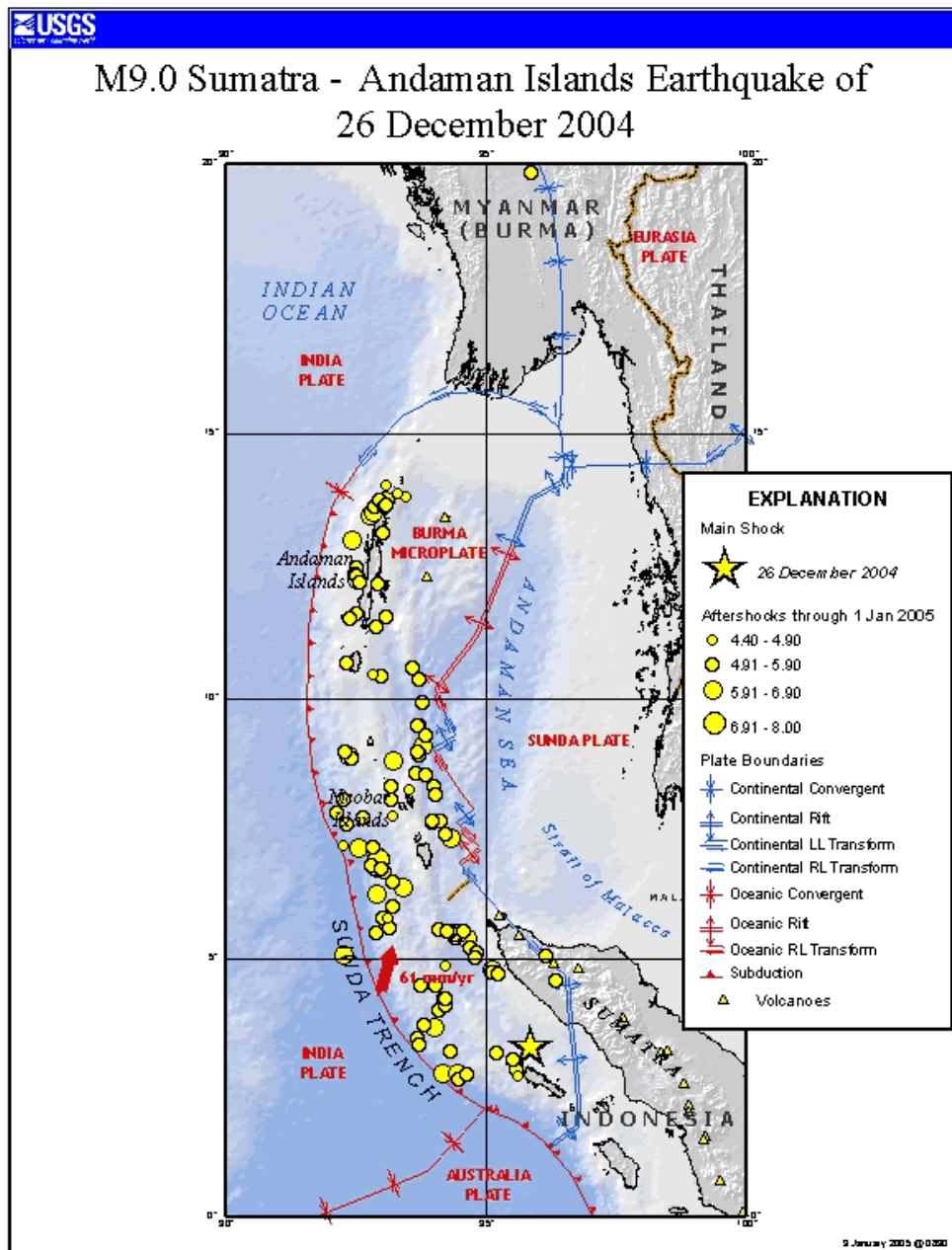


Фиг. 2.11. Идеализирана схема на конвективните течения в мантията (по Унксов, 1981).

Пример за процесите в активните земетръсни пояси:

Земетресенията от 26 декември 2004 г. Образуване на цунами

Разрушителното земетресение от 26 декември 2004 г. е от тип мега-възсед. То възниква на границата между Индийската и Бирманската плочи и е предизвикано от освобождаването на напрежение натрупано при подпъхването на Индийската плоча под Бирманската. Индийската плоча започва своето спускане към мантията в зоната на трога Сунда, който се намира западно от епицентъра на земетресението. Този трог е фактически повърхностната изява на границата между Австралийската и Индийската плочи, намиращи се югозападно от трога, и Бирманската и Сунда плочи, намиращи се на североизток (фиг.2.12). В зоната навъзникване на земетресението Индийската плоча се движи със скорост от около 6 cm/уеар на североизток към Бирманската плоча. Това води до отседни движения по трога Сунда. Това движения се превръща във възседно при среща на плочите и подпъхване перпендикулярно на трога, но на няколко стотин километра източно движението се трансформира в лявоотседно, успоредно на трога. Земетресението от 26 декември 2004 г. е от възседен тип.

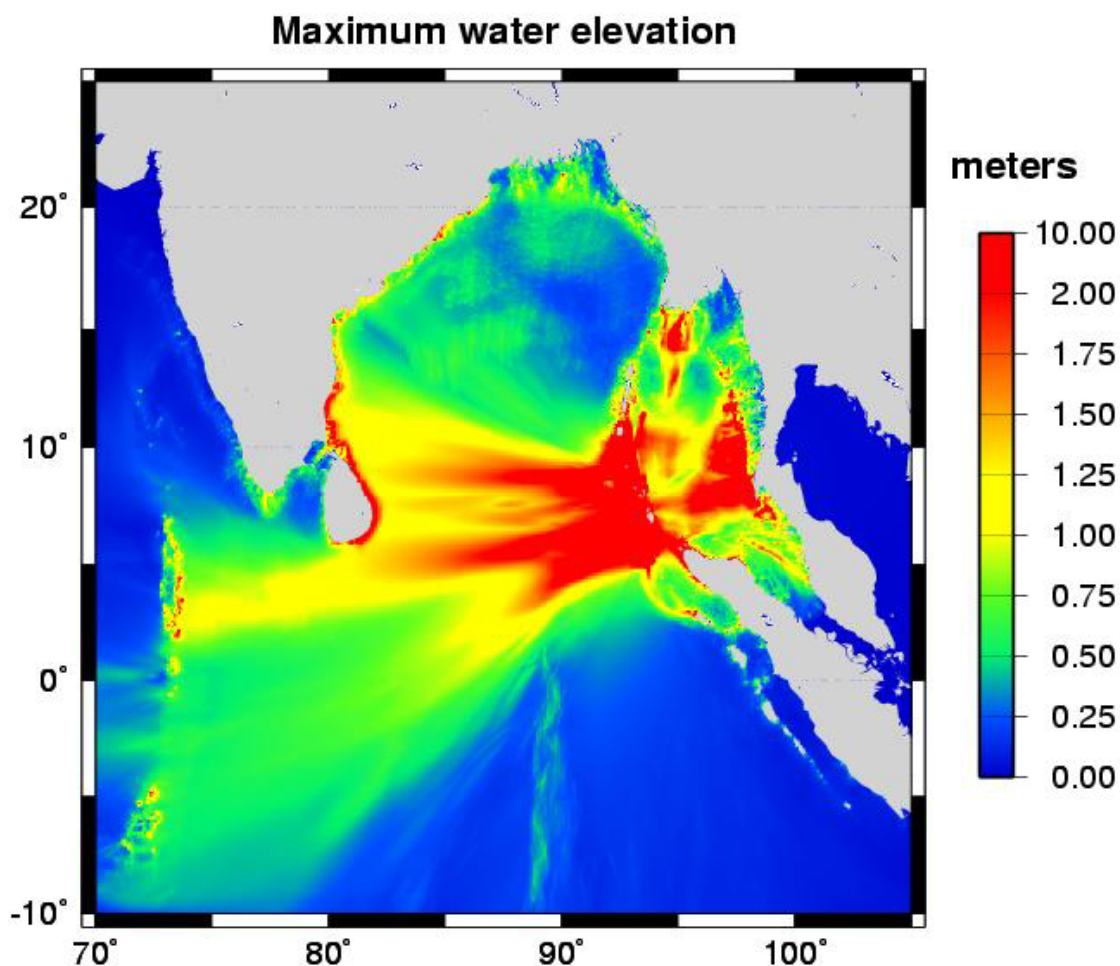


Фиг. 2.12. Тектонска схема за епицентралната зона на Суматра-Адаманското земетресение от 26.12.2004 г. с магнитуд над 9.0.

Локализирането на по силните афтершокови събития по зоната на възсядане показва, че около 1200 km от границата на плочите се е предвижила в резултат на земетресението. От сравнителен анализ се предполга, че резултиращото разломяване е с широчина от около стотина километра. Силата на земетресението дава основание да се оцени средното преместване по разлома на около 10-15 метра. Дъното на морето над зоната на възсядане се е повдигнало на няколко метра. Най-големите деформации се оценява да са възникнали в една зона от около 400 km. Скоростта на разкъсване се оценява на около 2.0 km/sec.

Този тип земетресения предизвикват огромни вълни цунами, последствията от които са по-големи отколкото директното разтърсване на почвата в епицентралната зона на земетресението (в случая стотици хиляди загинали). Подобни са били и ефектите от най-силните регистрирани до сега земетресения - 1960 г. в Чили с $M=9.5$, на островите Принц Уилям, Аляска през 1964 г. с $M=9.2$, на островите Андреанов, Аляска през 1957 г. с $M=9.1$ и на земетресението на Камчатка с $M=9.0$ през 1952 г.

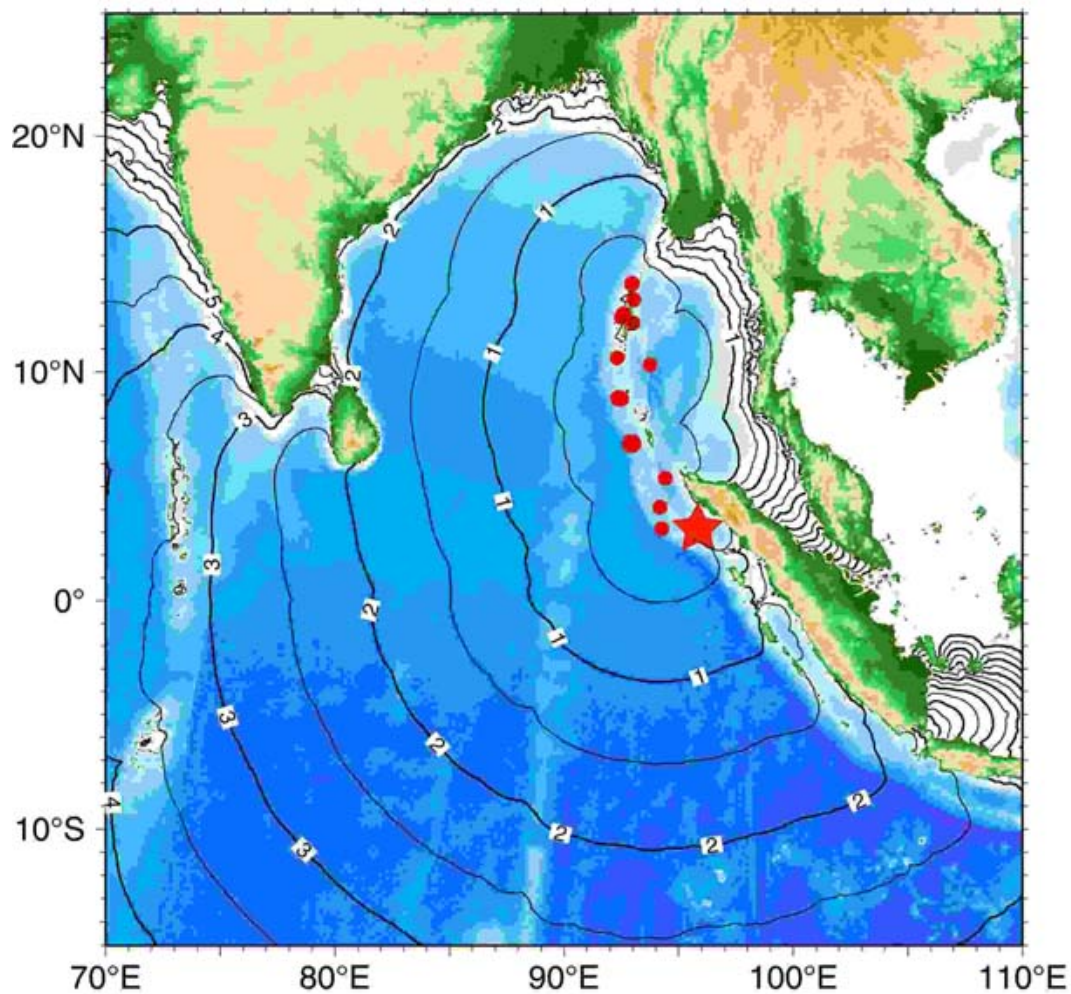
На фиг. 2.13 е показана картата на максималната височина на вълната цунами в засегнатия район на Индийския океан, а на фиг. 2.14 е показана карта с изолиниите на времето за достигане на вълната (в часове) до различните точки на океана. От последната карта става ясно, че ако е съществувала система за превантивна защита от цунами (датчици в океана и околните земи), подобна на тази в Тихия океан, времето за предизвестяване и евакуация на населението в много от пострадалите райони е било достатъчно и жертвите са могли да бъдат много по-малко.



A.Piatanesi - INGV

Фиг. 2.13. Максимална височина в метри на вълната цунами, предизвикана от земетресението на 26.12.2004 г.

2004/12/26 Sumatra



Фиг. 2.14. Време в часове за разпространението на цунами от момента на възникването в епицентралната зона на земетресението от 26.12.2004 г.