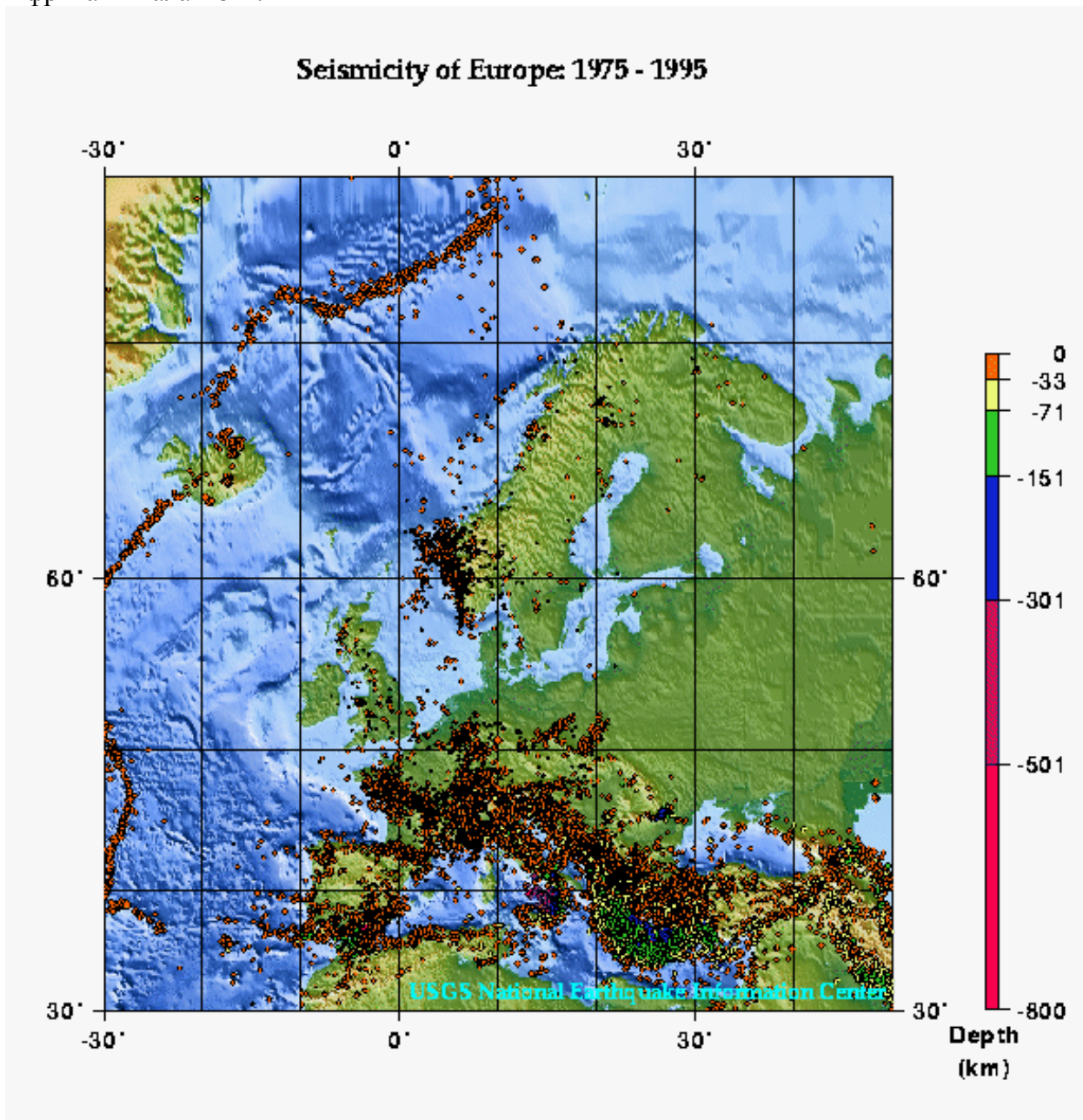


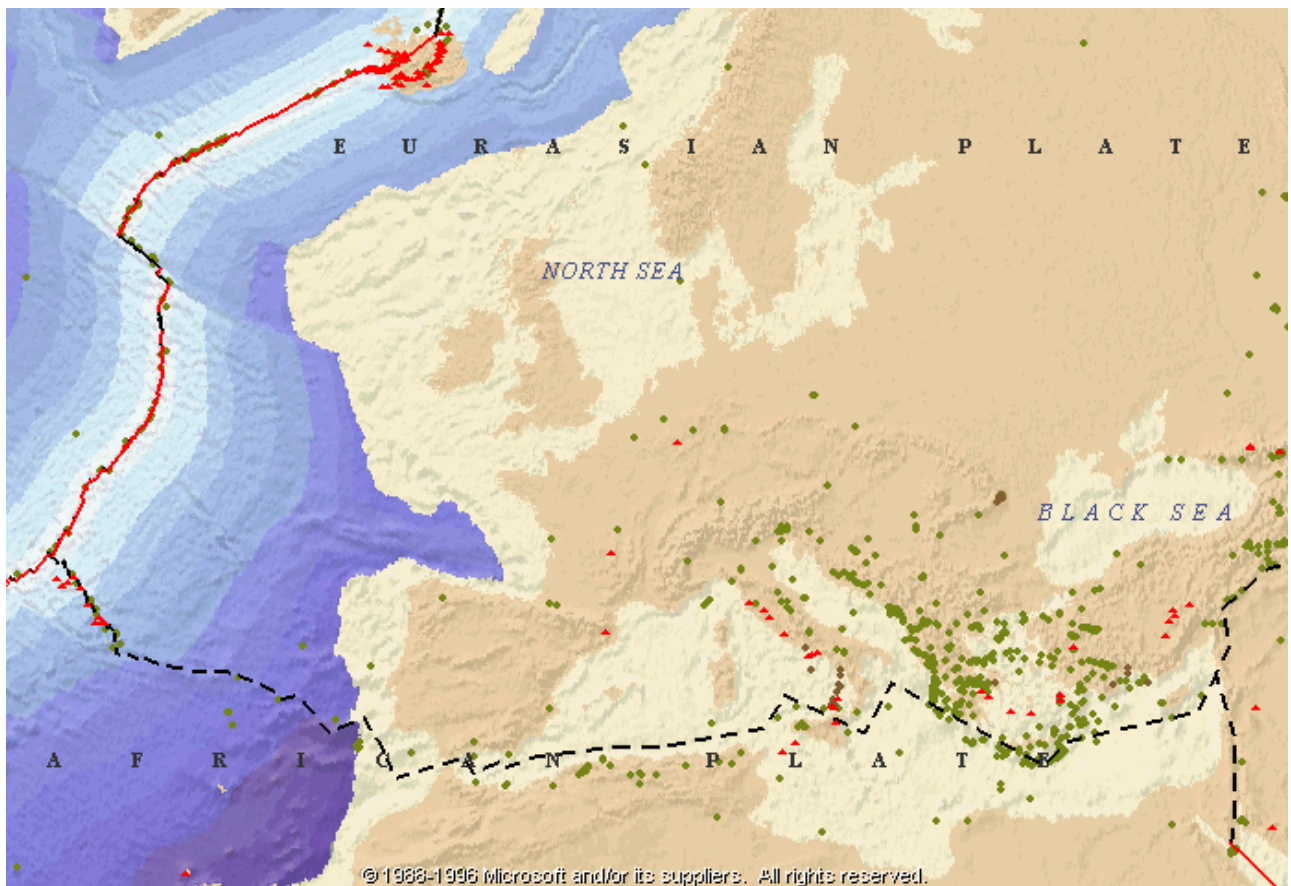
3. Сеизмичност на Егейския регион

Сеизмичността на Егейския регион, в който попада и България, е специфичен израз на процесите, които протичат в земната кора и мантия на Източното Средиземноморие. От картата на епицентрите на земетресенията в Европа (по данни от 1975 год. до 1995 год.) ясно се вижда (фиг. 3.1), че концентрацията на земетресенията около Средиземно море е многократно по-висока отколкото тази в платформените и орогенните области на Европа, Африка и Мала Азия.



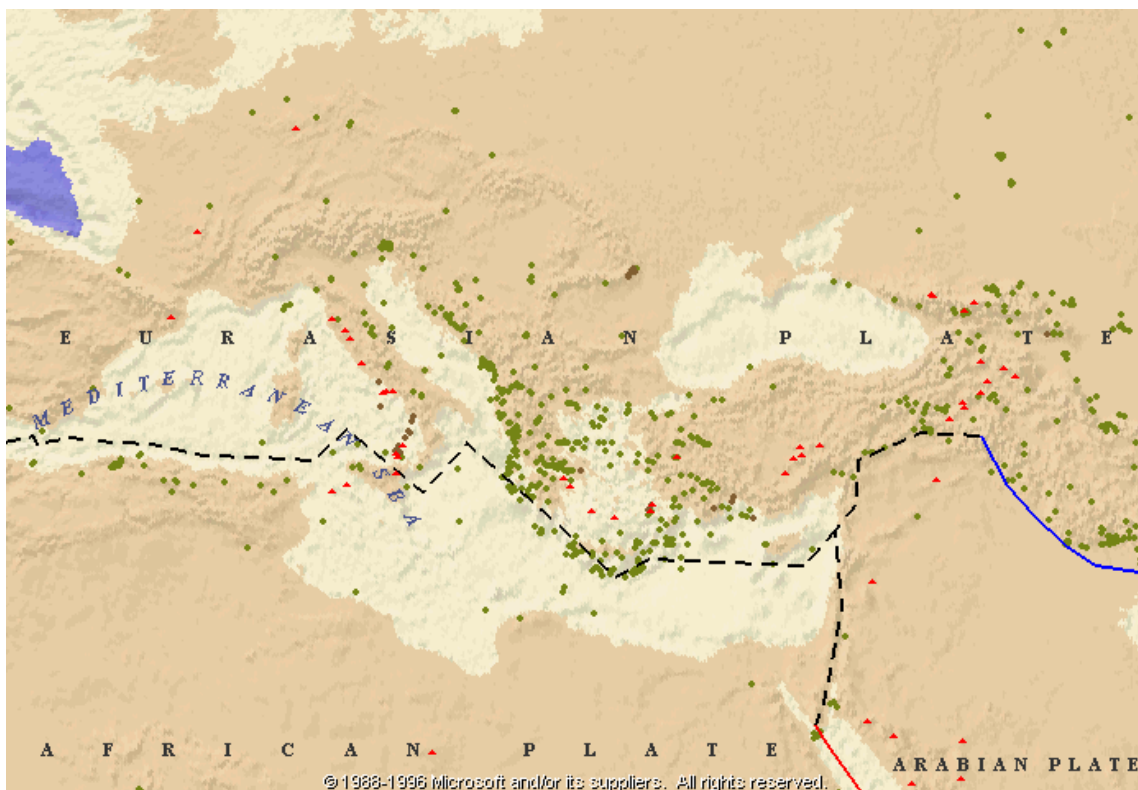
Фиг. 3.1. Карта на епицентрите на земетресенията в Европа за периода 1975-1995 г.

Разбира се, плейттектонските модели достатъчно ясно описват процесите в тази част на света, като сложна колизия между движещата се на север Африканска плоча и противостоящата ѝ Евроазийската плоча. Именно тук се реализира една от най-интересните субдукции на Земята. На фиг. 3.2 е представена идеализирана тектонска карта на южната периферия на Европа. Основната граница между литосферните плочи на Африка и Евразия преминава по оста на Средиземно море. Това е конвергентна граница от активен тип, т.е. процесите на субдукция са доста силно изразени. От друга страна, в Западното Средиземноморие тази граница има по-различен характер и даже още по-западно, по посока на Средноатлантическия хребет, тази граница се превръща в класически трансформен разлом.



Фиг. 3.2. Главни граници на литосферните плочи в Средиземно море

На следващата фигура (фиг. 3.3) е показана картината само за Източното Средиземноморие. Ясно се вижда, че тук колизията е усложнена от движението на Арабската плоча на СЗ. Тази конфликтна ситуация в Източното Средиземноморие води до разрушителни земетресения в Мала Азия. Особено силно процесът рефлектира в ротацията по посока обратна на часовниковата стрелка на Малоазийската плоча и възникването на катастрофалните земетресения по дължината на Анадолския разлом.

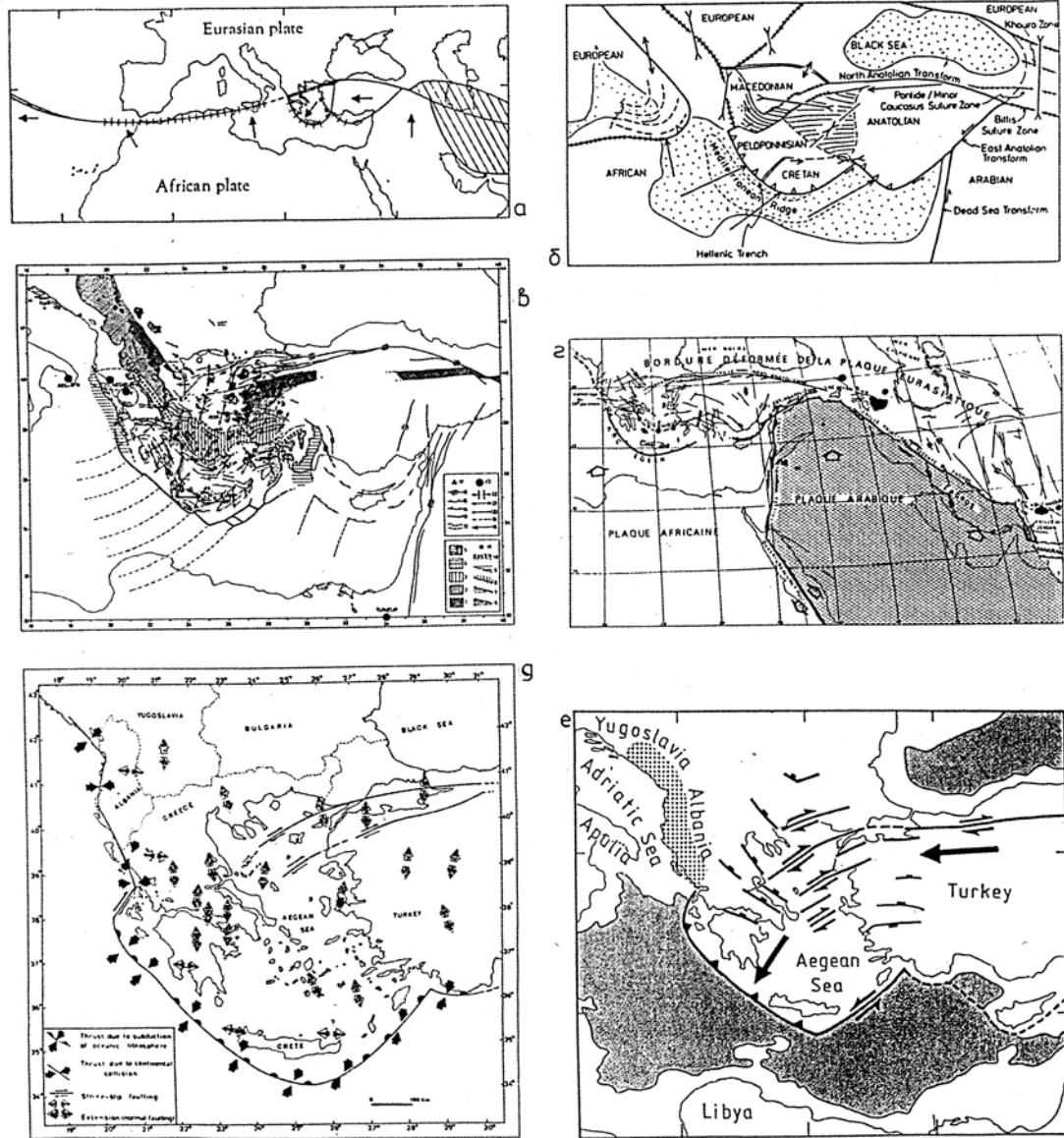


Фиг. 3.3. Основни литосферни плочи и тяхното взаимодействие в Източното Средиземноморие

Една много добра представа за разположението на главните зони на концентрация на земетресения дава картата на епицентрите на земетресенията в Балканския регион, изготвена по време на Балканския проект на ЮНЕСКО - 1974 год.

Причини за сеизмичността (модели и хипотези)

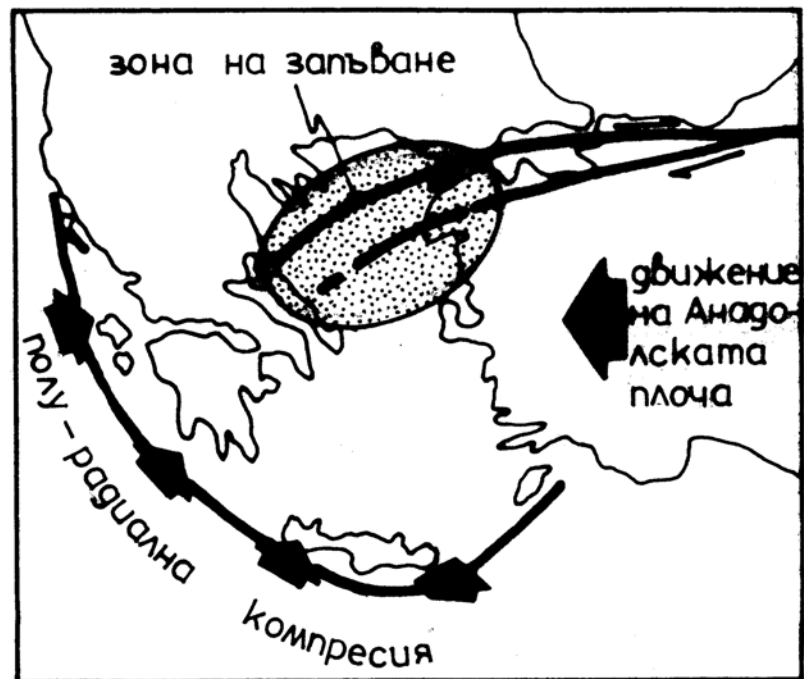
Егейският регион е една от най-активните, в геодинамично отношение, области на Средиземноморието. От геотектонска гледна точка Егейският регион показва редица черти на активна граница на плоча, според стандартите на Тектоника на плочите. Районът е поделян на твърди микроплочи от редица изследователи (Mc Kenzie, 1970, 1972; Dewey et al., 1973; Dewey, Seng r, 1979; Гочев, Матова, 1977; Бончев, 1980; Гочев, 1980 и др.). Други изследователи го разглеждат като южен, пластично деформиращ се ръб на Евразия (Tarponnier, 1977; Mercier et al., 1979), или като зона, доминирана от сили на обдукция (De Voer, 1989). По-долу е представена една схема (Pavlides, Caputo, 1994), обединяваща най-важните виждания за Егейския регион (фиг. 3.4).



Фиг. 3.4. Някои от предложените модели за тектониката на Егейския и Източносредиземноморския региони по (а) Mc Kenzie (1970), (б) Dewey, Sengör (1979), (в) Mercier et al. (1979), (г) Le Pichon, Angelier (1979), (д) Papazachos et al. (1986) и (е) Taymaz et al. (1991). Фигурата е от изследването на Pavlides, Caputo (1994).

В най-общи линии, поради сближаването на Африка и Евразия, в южните и западни части на Егейския регион компресията води до създаване на условия за съвременна субдукция. Резултатите от тази субдукция, анализирани като причина за създаване на

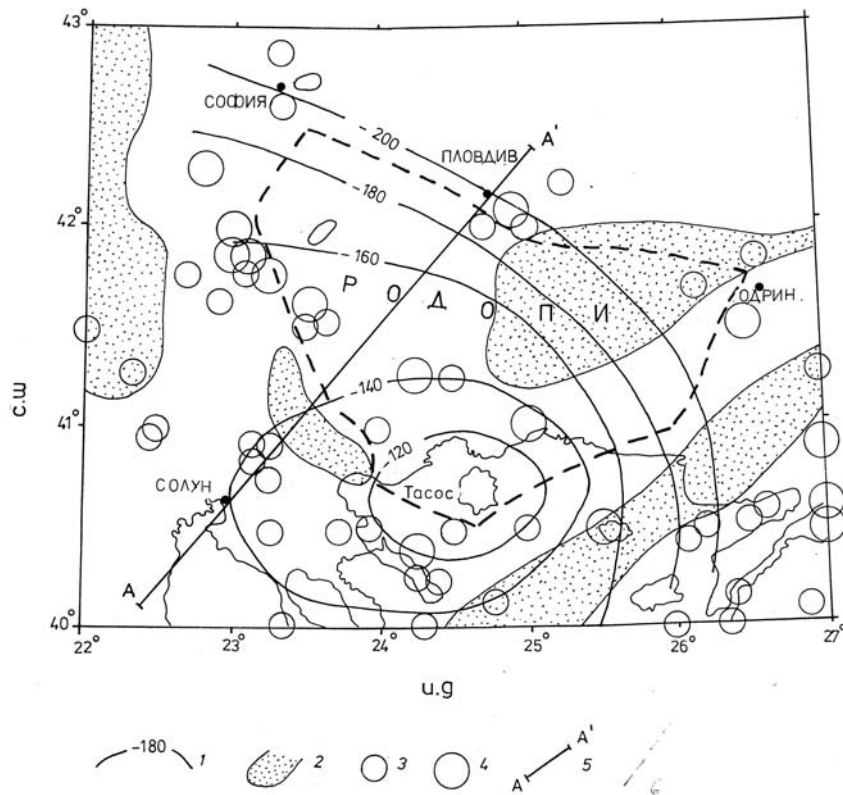
определен тип поле на тектонските напрежения в региона са публикувани нееднократно (напр, Mercier et al., 1979), различните автори малко се различават в основните си изводи и като пример за един такъв анализ, използващ пълноценно информацията от всички възможни източници е този на Mattauer, Mercier (1980). Практически полето на тектонските напрежения през неотектонския и съвременния етапи е изяснено за южните части на полуострова, но картината се променя на север и при Анадолския разлом траекториите на главните напрежения стават доста сложни. Анализът на Pavlides, Caputo (1994) завършва с твърдението, че Северноегейкият район представлява тектонски парадокс, защото в зоната на затихване на Северно-Анадолския разлом би трябвало да се очаква компресия (поради дясноотседните движения по него), а на практика в цялата тази област се регистрира регионална екстензия (фиг. 3.5). Едно от възможните обяснения, според тези автори, като се изхожда от аномалиите в скоростите на сеизмичните вълни, на топлинния поток и гравитационното поле, е вероятността за значителни вертикални движения на мантийни маси в Централна Егея.



Фиг. 3.5. Геодинамичното обкръжение на Северна Егея, състоящо се от полу-радиална компресия по Хеленидната дъга, движението от изток към запад на Анадолската плоча и разломната геометрия на Северноанадолската и Северноегейската разломни системи. С точки е показана зоната, където теоретично би трябвало да има компресия вместо регионална екстензия (от Pavlides, Caputo, 1994).

Палеосубдукционна зона под Родопите

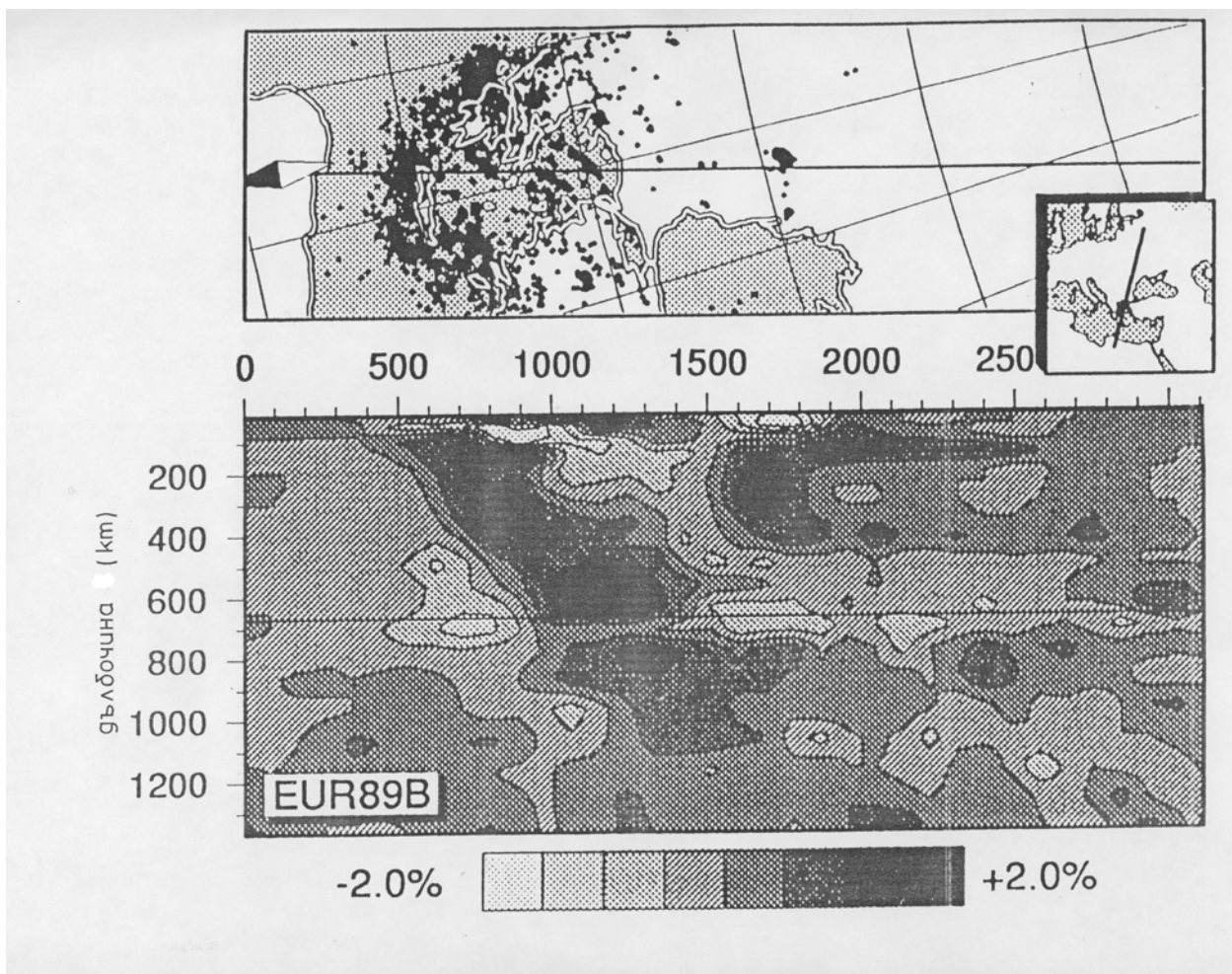
Геодинамичните особености на Родопския масив и на териториите около тази забележителна тектонска област в централната част на Балканския полуостров са тясно свързани с еволюцията на структурите на горната мантия под Балканския полуостров. Публикуваните изследвания през последните десетина години, основаващи се на различни методи за интерпретация на закъсненията на Р-сеизмичните вълни от земетресения (Babushka et al., 1986; Spakman, 1986; Ботев, 1987; Ботев и др., 1987; Спасов, Ботев, 1987) позволиха да се погледне на дълбоките структури под Родопите от качествено нова позиция. Ако Boscaletti et al. (1974) и Hsu et al. (1977) обсъждат въпроса за вероятното съществуване на палеосубдукционна зона под Родопите въз основа на геоложки данни и качествени хипотези, първи Spakman (1986) се опитва да обясни субдукцията общо под Евразия в контекста на мезозойския Тетиски океан чрез данните от сеизмичната томография. Той интерпретира високоскоростните структури в мантията, потъващи на север, като остатъци от палеосубдукция под Балканите. Ботев (1987) съобщава за съществуването на високоскоростно тяло под Западните Родопи и предполага, че високоскоростният обем в горната мантия стига до дълбочини над 250 km. Спасов и Ботев (1987) продължават изследванията за анизотропията на горната мантия под Балканите и обръщат внимание, че при определени условия може да се предположи съществуването на субдуцирана по-тежка маса и в дълбочина над 250 km. Анализите на Shanov et al. (1987) показват Родопския регион като зона лежаща над високоскоростно мантийно тяло, чиято горна повърхност е на около 140 km дълбочина. Пак там се подчертава, че Източните Родопи и Струмската разломна зона не попадат над това тяло и те се отличават с по-тънка литосфера и издигане към повърхността на по-нискоскоростно мантийно вещество. Първите по-подробни профили на горната мантия и на земната кора под Родопския регион, основаващи се на публикуваните данни за скоростните нееднородности и на интерпретации на гравитационното и магнитно полета (Riazkov, Shanov, 1990) напълно подкрепиха идеята за съществуването на субдуцирано относително по-тежко вещество. Направен е опит да се очертае горната повърхност на тази маса, като е използвана 1% изолиния на сравнително по-високи скорости на сеизмичните вълни. Това което се предполага в момента е, че горната повърхност на по-тежкото тяло е най-плитка под остров Тасос - около 100 km (фиг. 3.6). То затъва към североизток и достига до 210 km дълбочина към северните граници на Родопите - под Средногорието. Неговите граници са отбелязани с повишени стойности на повърхностния топлинен поток (над 60 mW/m²) и повишена сеизмична активност (земетресения с магнитуди над 6,0). Така се очертават териториите с най-висока степен на съвременни деформации около Родопите и потвърждават възможността за все още съществуващо движение на тежкото тяло в мантията. Според Voidomatis et al. (1987) най-високата сеизмична активност в Северна Гърция е съсредоточена по западните граници на Родопите (Сърбо-Македонската тектонска зона) и се свързва на изток с добре познатите сеизмични прояви по Северно-Анадолския разлом. Там, както бе вече коментирано, високоскоростното тяло в мантията е на най-малка дълбочина под долната граница на земната кора.



Фиг. 3.6. Реконструкция на горната повърхност на субдуцираното тежко литосферно включение в мантията под Родопите.

1- изолинии на дълбочината до горната повърхност на включението (в km); 2 - зони на аномално повишен топлинен поток - над 60 mW/m^2 (по Hurltig, 1992); 3 - епицентри на земетресения с магнитуд над 7.0; 5 - геофизичен профил; 6 - граници на хоризонталната проекция на включението.

Независимо от тези изследвания Spakman et al. (1988) и Spakman (1990) публикуваха томографската картина на горната мантия под Балканския полуостров, където се виждат под Северна Егея и Мизийската платформа високоскоростни области, разделени от около 200 km широк "канал" от ниски скорости под Родопите (фиг. 3.7). Точно под тази зона, на дълбочина около 200 km е картирана високоскоростна аномална зона, интерпретирана като откъснато парче (slab detachment) от субдукционна зона, мигриращо във времето от Северна Адриатика към Южна Егея (Spakman, 1990). Това предположение е спорно. Може да се приеме, че това тяло е остатък от тежката кора на Вардарската зона, субдуцирано под Сърбо-Македонската зона и Родопите.



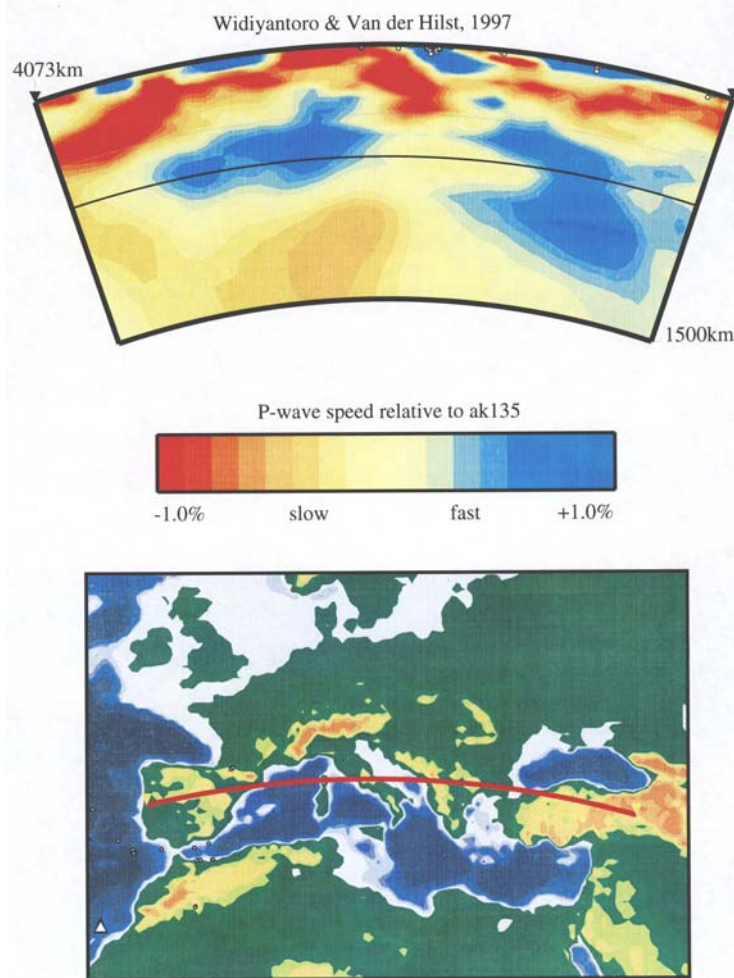
Фиг. 3.7. Скоростен томографски профил на горната мантия, пресичащ Балканския полуостров от юг към север (по Spakman, 1988).

Някои по-нови данни и интерпретации на австралийски автори показват още по-ясно наличието на подобна структура в земната мантия под централната част на Балканския полуостров (фиг. 3.8).

Ако се приеме съществуването на палеосубдукционната зона под Родопите, то една от възможните проверки е да **няма противоречия с наличната геофизична информация**. Поради нееднозначността на решението си, обратната геофизична задача не би могла да даде директен отговор за това, дали има или няма палеосубдукционен остатък под Родопите, но геофизичните полета могат да потвърдят адекватността на избрания литосферен модел.

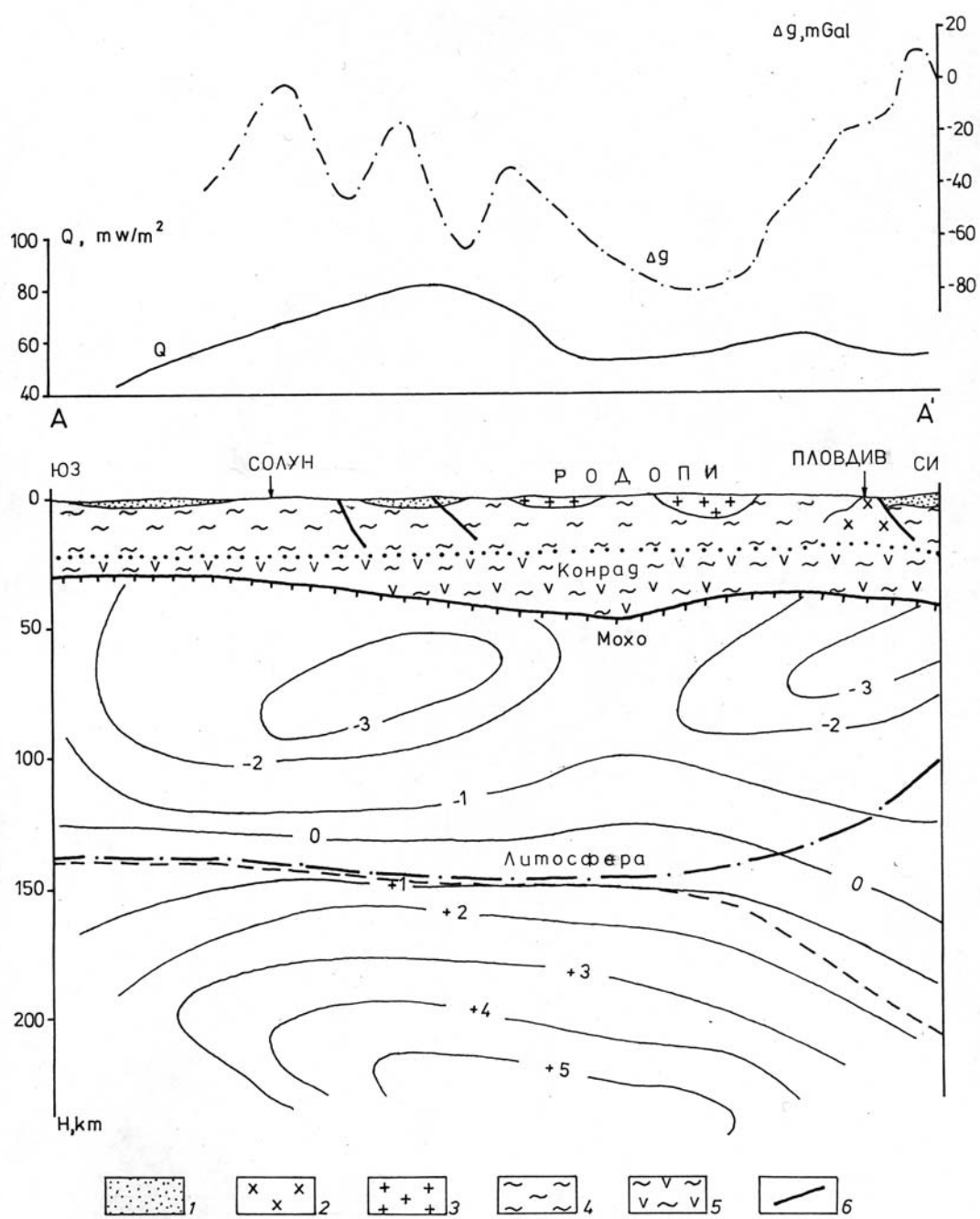
Профилът по линия А-А' (фиг.3.9) показва, че наддебеляването на земната кора под Родопите (по картите на Shanov, Kostadinov, 1992) е над нискоскоростните аномалии в литосферата. Долната граница на литосферата съвпада с вероятната горна повърхност на субдуциралото по-тежко тяло. Изтъняването на литосферата на североизток и затъвяването на тежкия обем в същата посока, показват за възможността от издигане на по-пластично астеносферно вещество в челото на тежкия откъслек. Регионалното гравитационно поле в редукция Буге (по Гравиметричната карта на България в мащаб 1:500 000 - 1972 г.) се характеризира с положителни стойности на североизток, които преминават в дълбока

негативна аномалия под Родопите. В тази своя трансформация гравитационното поле отразява по-ниските плътностни характеристики на долната част на литосферата и на земната кора. И повърхностният топлинен поток (Hurtig, 1992) има повишени стойности именно над зоните с понижена плътност на литосферата. Подобна ситуация е обсъждана от Noernle et al. (1995) за Западното Средиземноморие. Чрез нея могат да се обяснят редица геоложки и тектонски особености на централната част на Балканския полуостров.

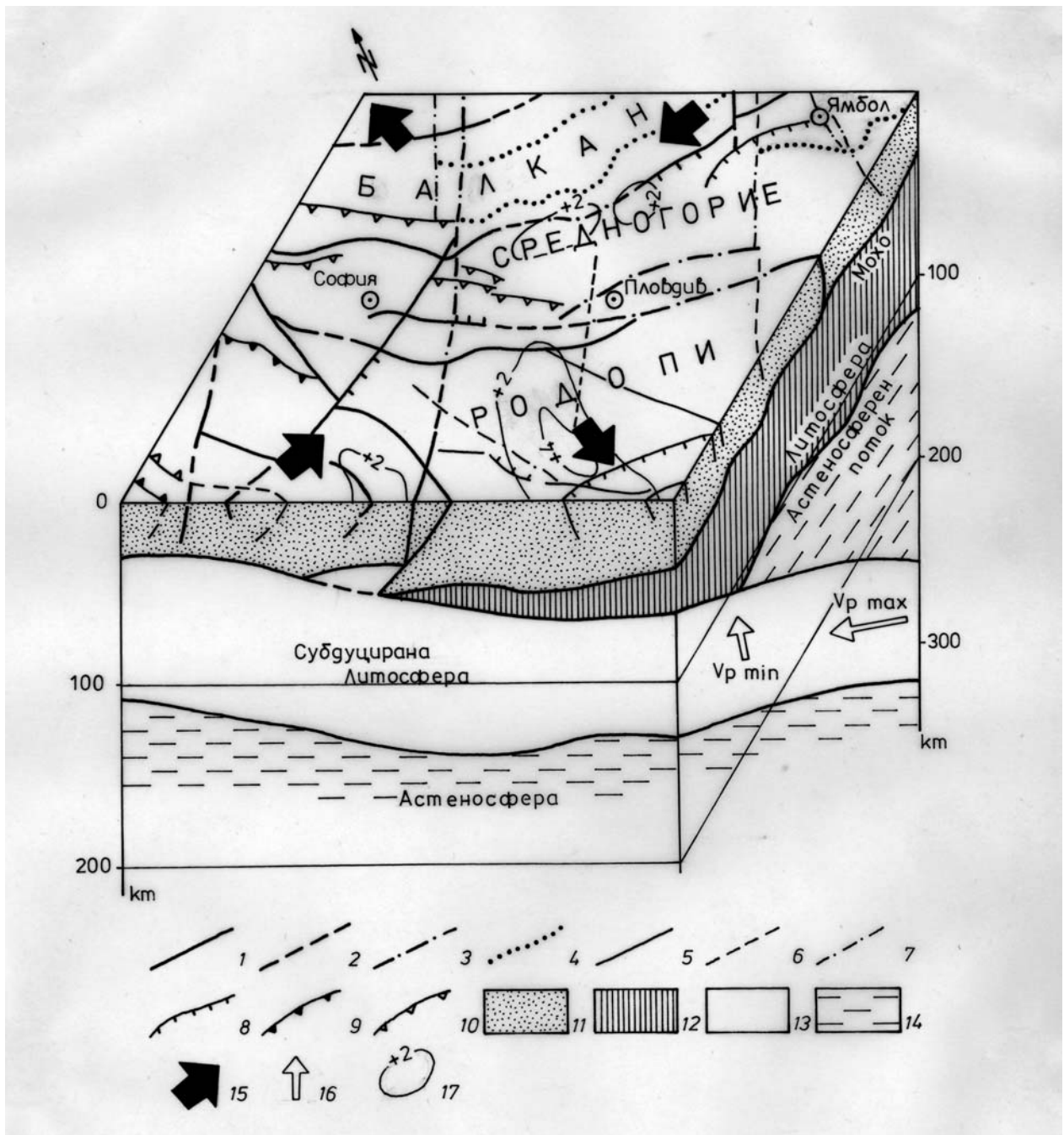


Фиг. 3.8. Сеизмотографски профил, пресичащ Европа и Мала Азия (по Widiyantoro, Van der Hilst, 1997).

Моделът на съвременната структура на литосферата под Родопите (фиг. 3.10) се съгласува добре със съществуващите данни (Shanov et al., 1992). Навлачният и разломен характер на най-горната част на земната кора е резултат от терциерната колизия между Евроазиатската и Афро-Арабската плочи. Над най-издигнатите части на субдуциралата литосфера (вероятният откъслек от тежката плоча на Вардарската зона) се наблюдава надебеляване на земната кора, като резултат от сложни структурно-тектонски процеси в най-засегнатите области от колизията. Потъването на север-североизток на тежката литосфера в мантията създава условия за издигане на разтопено вещество с по-ниска плътност (астеносфера). Съвременната сеизмична активност около Родопите е индикатор, че субдукцията под този район не е затихнал процес.

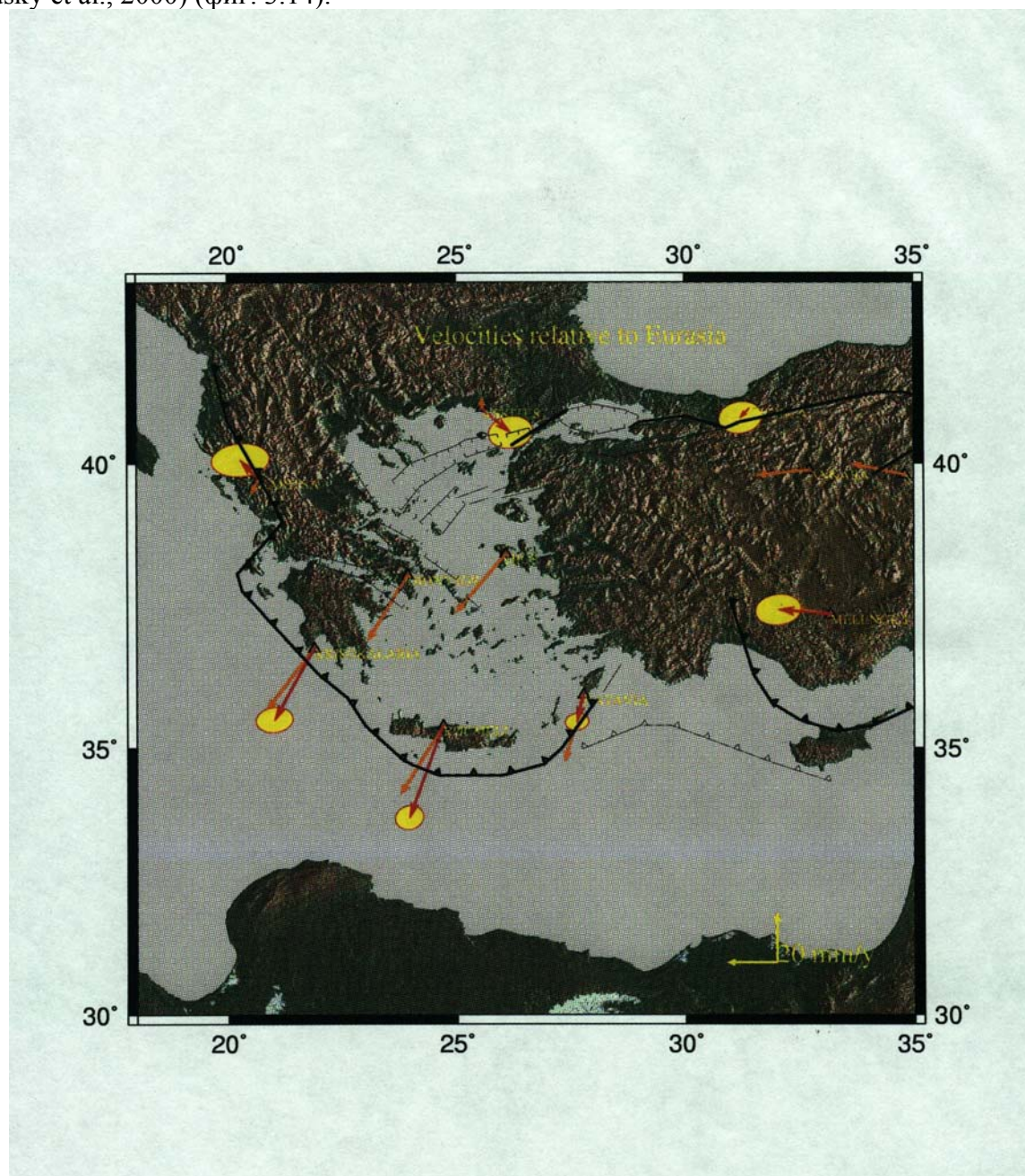


Фиг. 3.9. Геофизичен разрез по профилната линия Солун-Пловдив (линия А-А' на фиг.3.7)
 1- седиментна покривка; 2 - монцититна интрузия; 3 - гранитоиди; 4 - метаморфен слой; 5 - магмени и метаморфни скали под границата на Конрад; 6 - основни разломни зони.

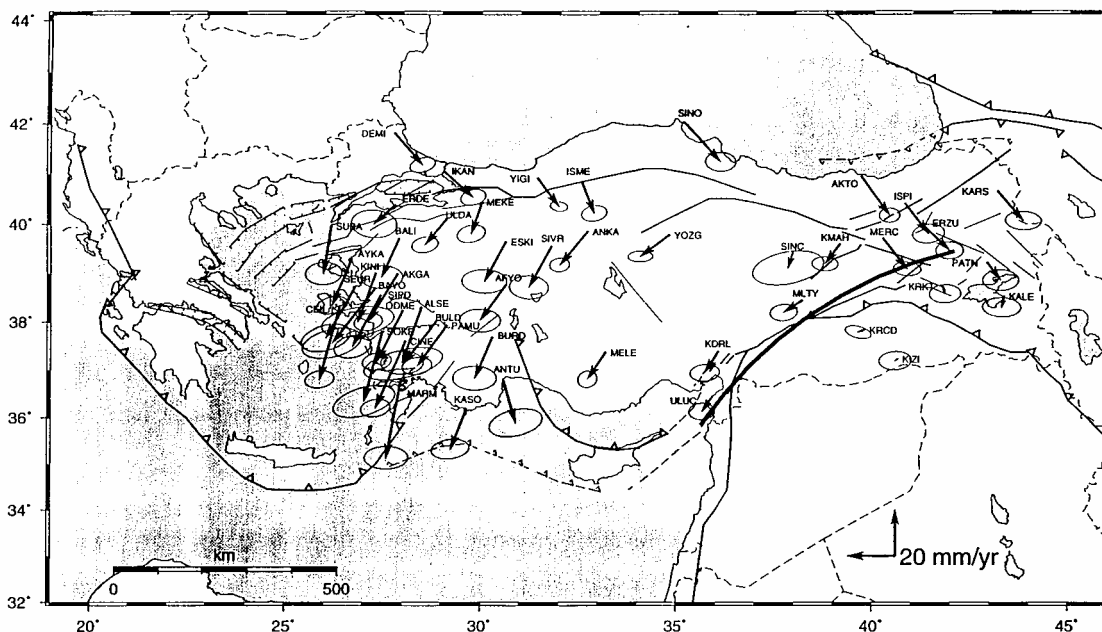


Фиг.3.10. Модел на структурата на литосферата под Родопите (по Shanov et al., 1992).
 Първостепенни геоложки разломи: 1 - установени; 2 - предполагаеми; 3 - покрити от седименти; 4 - флексура; Второстепенни геоложки разломи: 5 - установени; 6 - предполагаеми; 7 - покрити от по-млади седименти; Вид на разломите: 8 - разсед; 9 - възсед; 10 - навлак; Литосфера: 11 - земна кора; 12 - подкорова литосфера; 13 - субдуцирана литосфера; 14 - астеносфера; 15 - главни направления на напрежението; 16 - направление на максималните и минималните скорости на Р-сеизмичните вълни в субдуцираната литосфера; 17 - скорост на съвременните вертикални движения (mm/year).

Според тези резултати, Западна и Централна Европа – “стабилната” част от Евро-Азиатската плоча, се движи на североизток със средна скорост от 20-25 mm за година и не се регистрират значими вътрешноплочни движения (фиг.3.11 и фиг.3.12). Север-северозападното движение на Арабската плоча и нейният натиск върху Анадолската плоча се регистрира с ротация на векторите на скоростта към запад по дължината на Северно-Анадолския разлом (фиг. 3.13). Това добре изразено движение е дискутирано в редица публикации, свързани с анализа на резултатите от GPS измерванията (Reilinger et al., 1997; McClusky et al., 2000) (фиг. 3.14).



Фиг. 3.13. Относителни движения спрямо стабилна Европа на лазерните станции (SLR) от Егейския регион.



Фиг. 3.14. Резултати от GPS измерванията в източната част на Егейския регион - Мала Азия (Reilinger et al., 1997).

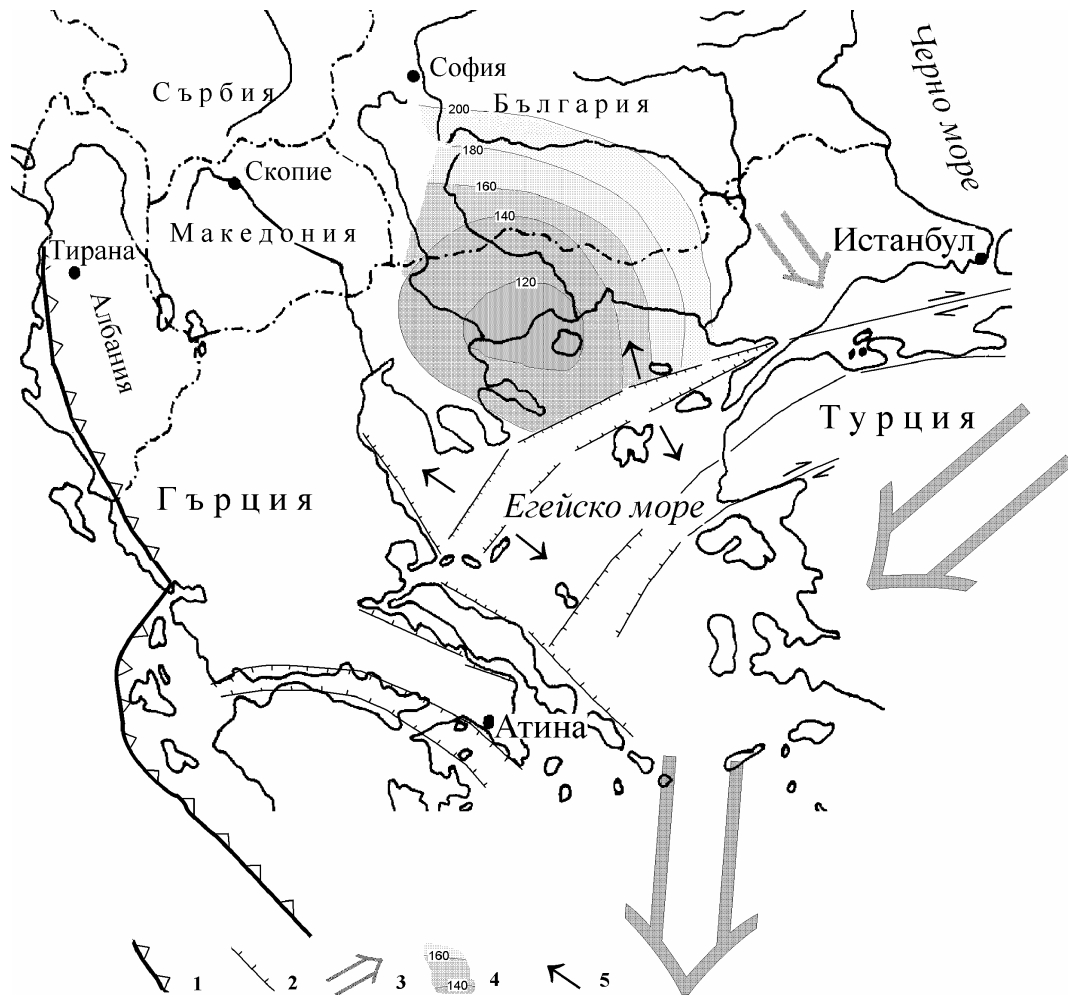
Според цялата налична информация от LRS и GPS анализите, южната част на Егейската плоча се движи на юг - югозапад. Относителното движение на Карпато-Балканския регион спрямо Евразия е практически нула. Добре изразени са движенията на Анадолската плоча по дължината на Северно-Анадолската разломна ситема на запад спрямо Евразия. Силният натиск на Анадолската плоча върху структурите на Евразия и трансформацията на нейното движение към юг в Северна Егея, като относителните скорости достигат стойности над 30 mm годишно, показват за сложни процеси на ниво земна кора и земна мантия в тази част на Евразия.

Възможни причини за екстензионния режим

В зоната на така наречения “тектонски парадокс” на Pavlides & Caputo (1994), скоростта на Анадолската плоча по посока на запад се ускорява от 10-12 mm до 30 mm за година с ясна тенденция за отклонение в посока югозапад - юг (Reilinger et al, 1998). Според получените резултати за скоростите на лазерните станции в Европа и Средиземноморския район, Западна и Централна Европа – “стабилната” част на Евро-Азиатската плоча, се движи на североизток със средна годишна скорост от 20-25 mm (Georgiev et al., 2001). Север-северозападното движение на Арабската плоча и нейното въздействие върху Анадолската плоча се изразява със ротация на векторите на скоростите и движението по Анадолската разломна зона е насочено на запад (дясно отсядане).

Изглежда, че откъсналият се остатък от палеосубдукционната зона под Родопите, със своите дълбоки корени, е препятствието, което принуждава Анадолската плоча да завива на юг-югозапад. Зоната северно от Северно-Анадолския разлом показва премествания със скорости от около 2-3 mm за година от юг-югоизточна до източна посока спрямо “стабилна” Европа. Следователно, това преместване е в съгласие с дясноотседните движения по Северно Анадолския разлом. Но, като се има предвид фактът, че скоростта на движение на Анадолската плоча е няколко пъти по-висока от тази, регистрирана за района

на Централния Балкански полуостров, очевидно е, че лявата ротация на Анадолската плоча е придружено с откъсване по посока юг от “стабилна” Европа. Това е фактически обяснява север-южна тектонска екстензия на структурите на Северна Егея. Практически няма “тектонски парадокс”. На фиг. 3.15 е представен модел на описания процес, като са използвани главните резултати от цитираните по-горе публикации.



Фиг. 3.15. Модел на процеса на отклоняване на Анадолската плоча поради наличието на остатък от палеосубдукция в земната мантия под Родопите и съответното създаване на условия за север-южна екстензия в Северна Егея.

1 – зона на съвременна субдукция; 2 – нормални разломи; 3 – главна тенденция на движението на плочите; 4 – изодълбочини на горната повърхност на по-твърдия остатък от палеосубдукционната зона [km]; 5 – направление на екстензия.