VERTICAL GRADIENT ELECTROMAGNETIC SOUNDING IN THE AEGEAN SEA

ЕЛЕКТРОМАГНИТНО СОНДИРАНЕ В ЗОНАТА НА ЕГЕЙСКАТА ВУЛКАНИЧНА ДЪГА

Д. Ю. Абрамова¹, Л. М. Абрамова²

¹ Пушков Институт по земен магнетизъм, ионосфера и разпространение на радио вълни,

142190 Троицк, Московск. обл., Русия, e-mail: abramova@izmiran.ru

²Център на геоелектромагнитно проучването на Шмидт Институт по физика на Земята, 142190 Троицк, Московск. обл., а/я 30, Русия, e-mail: labramova@igemi.troitsk.ru

Резюме. Морските сондирания, използващи естествените променливи електромагнитни полета, сравнително рядко се използват при изучаването на дълбочинния строеж на океаните и моретата, поради това че измерването на вариациите на електрическото поле при морски условия се явяват достатъчно сложна техническа задача. Основен обект за изучаването при нея са проводящите слоеве с различен произход. Вертикалното градиентно електромагнитно сондиране (ВГС) в Южната част на Егейско море показа присъствието на двумерна аномалия на електропроводимостта, успоредно на Егейския вулканичен пояс.

Ключови думи: вертикално градиентно сондиране, проводяща горна мантия, субдукция, данни от магнитните наблюдения.

Увод

Морските електромагнитни методи (ЕМ) и по-специално, дълбочинното вертикално геомагнитно сондиране, позволяват да се изучат дълбочинните електропроводящи слоеве под океанското дъно, особено в активните тектонични зони. Електромагнитните методи, като част от комплексните програми за изучаване на тектониката, придобиват особено значение.

Местоположението на проводящите слоеве в кората и мантията и разпределението на температурата по дълбочина са проблеми, към които се проявява особен интерес. Те могат да помогнат за разбирането на вътрешните процеси, пораждащи характерните особености на тези области.

Значителен принос при използване на ЕМ методи бе постигнат при изследване на дъното на океана с магмени камери в кората на рифовата зона на спрединга (*Sinha et al.*, 1996). При тези изследвания, предимно бе използван сеизмичният метод, който позволи отделянето на основните тектонични структури и посочи съществуването на магмените камери. В същото време, тълкуванието на магнитотелуричните (МТ) параметри при тези изследвания (*Heinson et al.*, 2000) ясно показва, че отсъства магмена връзка между кората и мантията, в резултат на което присъствието на магма в кората би трябвало да е случайно.

Физическите свойства на породите, като порестост, характерът на флуида, степен на частично стопяване и температура, могат да бъдат получени посредством оценката на електрическата проводимост. Тя е параметър особено чувствителен към съдържанието на течната фаза на породата. По отношение на температурата на мантията, електрическата проводимост е чувствителна към степента на частичното стопяване и към връзката между твърдата и течната фаза. В различните модели, изплаването на породата от мантията в литосферата, се отчита чрез преобразуване на петрологичните свойства на породата от издигащата се област на стопилката в съответни електрически аналози и последващо сравняване на съответен аналог при експерименталните данни.

Прогресът при конструирането на техническите средства, алгоритмите за обработка на данните и решаването на правите и обратни задачи, правят използването както на сухоземните, така и на морски ЕМ по-перспективни.

Особеностите на електрическата проводимост в най-ниските части на кората и горната мантия, могат да бъдат изследвани, като се анализират електромагнитните изменения, регистрирани на дъното на морето и на неговата повърхност, чрез т.н. метод на вертикално градиентно сондиране (ВГС).

Настоящата работа, представя резултатите от използването на ВГС при морските магнитни наблюдения на дъното на Егейско море при изследване на дълбочинната структура на литосферата.

Теоретични предпоставки и определения.

Дънното сондиране чрез използване на естествените електромагните полета, засега е доста рядко явление при изучаване на дълбочинния строеж на океани и морета.

Интерпретационните параметри (електромагнитните предавателни функции) при измерване на магнитното поле на морското дъно, могат да се получат както чрез наблюдение в отделна точка, така и като се използват синхронни наблюдения в "базова" точка. Поведението на електромагнитната предавателна функция характеризира различните геоелектрични свойства. В същото време честотната зависимост на електромагнитните параметри, дава информация за относителното

50

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

разпределение по вертикала на възможните електропроводящи слоеве под морското дъно.

Измерването на изменението на електромагнитното поле в морето е доста сложна техническа задача. Затова в случай, че дължината на вълната е по-голяма от дълбочината на водния слой или, което е все едно, ако затихването на електрическото поле във водния слой не е съществено (по-малко от 5%), електрическото поле може да се получи чрез измерване на измененията на хоризонталната компонента на магнитното поле в две нива - например на дъното и на повърхността.

Функциите на електропроводността също могат да бъдат нагледно възпроизведени графично с векторите на индукцията (ВИ) на У. Шмукер (1970), които представляват техните реални и имагинерни части през различните периоди. ВИ отразяват геометрията на аномалните токове, протичащи в различните слоеве на кората и мантията и като следствие - геометрията на основните проводящи структури на изследваната област.

Тук ще дадем описание на теорията и техниката на метода на вертикалното магнитовариационно градиентно сондиране, който се прилага в различни части на Световния океан (*Law & Greenhouse*, 1981; *Shneyer et al.*, 1988; *Palshin*, 1988; *Palshin et al.*, 1995; *Jegen & Edwards*, 1998).

При този метод, като правило, се използват регистрираните изменения на геомагнитното поле на дъното на морето и в най-близкия базов пункт за наблюдение, предизвикани от токовете в йоносферата и магнитосферата. Ако електрическата проводимост се изменя само по дълбочина, то която и да е хоризонтална компонента на полето на повърхността B_0 и на дъното на морето B_1 изразени като функции на ъгловата честота ω , е свързана с известен магнитотелуричен (МТ) импеданс на дъното на морето $Q_1 = \mu_0 E_1 / B_1$ според (Jegen and Edwards, 1998).

$$R(\omega) = \frac{B_1(\omega)}{B_0(\omega)} = \left[\frac{Z_0 / \sinh(\phi_0 h_0)}{Z_0 + Q_1 \tanh(\phi_0 h_0)}\right],\tag{1}$$

където R е параметърът на отклика на ВГС, E₁ е компонентата на електрическото поле на дъното на морето, перпендикулярна на B₁, $\phi^2_0 = i\omega\mu\sigma_0$, $Z_0^2 = i\omega\mu/\sigma_0$,

и σ_0 и h_0 са съответно проводимостта и дълбочината на морето.

Импедансът Q_1 може да бъде определен за N-слойна структура, с параметри на слоя h_i и σ_i , чрез рекурентната формула

$$Qi = Zi \left[\frac{Q_{i+1} + Z_{i} \tanh(\phi_{i}h_{i})}{Q_{i+1} \tanh(\phi_{i}h_{i}) + Zi} \right],$$
(2)

където $\phi_i^2 = i\omega\mu\sigma_i$, $Z_i^2 = i\omega\mu/\sigma_i$ и $Q_N = Z_N$

Задавайки стойността на параметъра на отклика R на ВГС за изследвания

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35 51

диапазон на честотите, изразът (1) може да се преобразува като се използват стандартните методи на магнитотелуричното сондиране за модел на слоеста Земя.

В случай, че структурата не е едномерна, интерпретацията се извършва с помощта на решението на правата задача, като се използват експерименталните оценки на отношенията на магнитното поле за конкретните модели.

Преимуществото от използване на хоризонталната компонента на магнитното поле се състои в това, че магнитното поле на морското дъно е обусловено от интегралните токове. То не е изкривено от локални дребномащабни нееднородности. Токът, нормален към нееднородностите (при Елинската вулканична дъга), е съсредоточен в тънкия морски слой и няма съществен принос за хоризонталното магнитно поле на дъното на морето.

Недостатък на дадения подход е ниската разделителна способност на метода при значения на 1- |R|, близки до единица, т.е. през дълги периоди, когато затихването на хоризонталното магнитно поле във водния слой не е голямо. Обаче съществено опростяване на методиката на измерване, а също така възможността да се използват данните получени от близкоразположени наземни магнитни обсерватории както данните от повърхностните наблюдения, правят градиентните сондирания привлекателни при изследване в океани и морета.

Геолого-геофизичен строеж на региона.

Южната част на Егейския басейн обикновено се нарича Критско море. Много от съвременните идеи, отнасящи се към геотектоническата еволюция на Еленид, се основават на геоложките, петрологичните и особено на геофизичните данни. Съществуващите геофизични модели на този регион са построени въз основа на магнитни и гравиметрични снимки, от дълбоки сеизмични сондирания и от изучаване на процесите, свързани със земетресения. Аероснимките, спътниковите и морските локационни наблюдения позволяват да се направи заключение за геометрията на нагънатата система и за процесите на удължаване, които стават в Елинската вулканична дъга (HVA) (*Angelier et al.*, 1982).

Сблъсъците между Евразийската и Африканска плочи доминират в Източното Средиземноморие през последните 70 милиона години. След главната, третична, фаза на този континентален сблъсък най-важният епизод в историята на литосферата е образуването на няколко микроплочи в Източното Средиземноморие. От средногорния миоцен до днешно време Африканската плоча субдуцира под Егейската микроплоча, виж фиг. 5в (*Galanopoulos*, 1993).

Главните характеристики на широко разпространения субдукционен модел, могат да бъдат обобщени по следния начин:

1. Направлението на относителното движение на Егейско-Африканската дъга представлява 211° Е.

 Субдуциращата плоча има дебелина около 100 км и ъгъл на потъване средно 35°-45°.

3. Дължината на фронта на натиск е от порядъка на 1500 км.

52

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

4. Седиментна дъга е формирана от планинската верига на островите Пинтос, Крит и Додеканез.

5. В Егейската област се наблюдава процес на бързо разширяване.

6. На север от Крит се наблюдава изтъняване на земната кора.

7. Вулканичната дъга (HVA) е успоредна на челната зона на свиване и е разположена на около 200 км зад нея.

Интензивното гънкообразуване, в резултат от процесите на удължаване, способства за повдигане на магмата в горните слоеве на литосферата и активиране на вулканичната дейност. Тя започва в Егейската област през олигоцена и остава до днес като участва при оформиране на HVA (*Futikas*, 1984).

Авторите на (*Jacobshagen & Macris*, 1974; *Macris*, 1977, 1978) предлагат за Егейския регион геофизичен модел, обясняващ описаните прояви в топлинното поле, полето на скоростите и тектоничната активност на Елинската дъга. Според модела под региона съществува гореща литотермална система, произтичаща от астеносферния астенолит, т.е. под Егейско море е възможно съществуването на огромен термален купол. Оттук може да се предположи, че на 50 – 80 км дълбочина има зона с по-висока електрическа проводимост.

Строежът на кората и на горната мантия, се изучава чрез много геофизични методи. Неговите основни черти могат да се формулират по следния начин:

1. Дълбочинните сеизмични сондирания показват, че дълбоководните падини са запълнени главно с плиоцен - четвъртичния наслаги. Въобще дълбочинната структура на региона на Егейско море се характеризира с намаляване значенията на скоростта на горната мантия.

Резултатите от томографските изследвания на разпространение на Р-вълните, показват нискоскоростна аномалия в литосферата на дълбочина от порядъка на 80 км под Критско море, в задната част на Егейската дъга (*Spakman et al.*, 1988).

2. Сеизмологичните данни при повече от 1000 събития показват, че горната мантия на Егейската област е загрята и нейната плътност е по-ниска от нормалната.

3. В Егейско море и западна Турция се наблюдават много високи стойности на топлинния поток - повече от 2 единици, при средна стойност за Източното Средиземноморие 0,88, от което може да се направи извода, че дълбочинният разрез на Източното Средиземноморие от външната страна на Егейската дъга е по-студен, отколкото от другата страна на дъгата, където топлинният поток е твърде значителен.

Възможното обяснение на това явление е, че горната мантия на Егейската област е нагрята от горещ астеносферен материал, който прониква през литосферата благодарение на конвекцията.

Експеримент

По време на 45-ия рейс на изследователския кораб "Димитър Менделеев" (*Abramova et al.*, 1997, *Abramova* 2001), на дъното на Егейско море бяха регистрирани временни вариации на геомагнитното поле, предизвикани от йоносферата и магнитосферата на Земята.

Освен това, през последните две десетилетия на миналия век, сътрудници на

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35 53

Център на геоелектромагнитно проучването съвместно с български геофизици проведоха обширни изследвания на дълбочинния геоелектрически строеж на територията на България. Общо в около 80 точки бяха направени дълбочинни магнитотелурични и магнитовариационни сондирания и магнитовариационни профилирания (*Zhdanov et al.*, 1990). Разположението на пунктовете за наблюдение в Егейско море е показано на фиг. 1: с кръгчета са означени местата на разположение на дънните станции М1 и М2, а с квадратче - гръцката обсерватория Пендел. Разстоянието между точката М2 и обс. Пендел е от порядъка на 340 km. На територията на България с линии са означени геотраверсите, по които се провеждаха ЕМ наблюдения.



Фиг. 1. Карта на Егейската област с означени пунктовете за наблюдение на електромагнитното поле: 1– място за наблюдение на магнитното поле на дъното на морето; 2- обсерваторията Пендел; 3 – изолинии на топлиния поток; 4 - геотраверси на територията на България; 5 геофизични профили в Егейската област: **АА'**, **DD'** (*Spakman et al.*, 1988); **СС'** (*Macris*, 1977)

Тук ще разгледаме резултатите от морските EM измервания в Егейско море, най-вече от гледна точка на прилагане на метода на ВГС.

Дънната станция в пункт М1 беше разположена на дълбочина 1195 м в северната част на Егейско море, в точка с координати 39° 26' СШ, 23° 34' ИД. Станцията М2 работеше в южната част на Егейско море, т.н. Критско море. Координати й са 35° 34' СШ и 26° 01' ИД, а дълбочина на разполагането 2120 м.

Наблюденията на вариациите на магнитното поле в морето се провеждаха с

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

дънни флукстейт магнитометри, конструирани в ЦГЕМИ ИФЗ РАН. Станциите регистрираха трите компоненти на магнитното поле (Н – северна, D – източна и Z – вертикална). Разделителната способност по амплитудата беше в граници на 0,5 – 1 нТл, по време - 0,4 – 0,5 мин, а по период на автономна работа – около 8 денонощия. Магнитометърът, регистриращото устройство и захранването бяха поставени в метални немагнитни контейнери, разположени на дъното на морето. На котва беше фиксирана повърхностна шамандура с радар и проблясващи светлини.

Измерванията в Критско море (точка M2) сполучливо съвпаднаха с магнитните възмущения, като позволиха да се получи седмичен висококачествен запис на измененията с богат честотен състав, със значителни амплитуди на измерваното поле и пълно отсъствие на индустриални шумове.

На фиг. 2 е показан образец на запис от вариациите на геомагнитното поле в М2.



Фиг. 2. Пример за запис на вариациите на геомагнитните компоненти H, D, Z, регистрирани от станция M 2 на дъното на морето.

При обработка на експерименталните данни бе използван комплект програми за анализ на временните редове (*Ashirova et al.*, 1989). Спектралната обработка на получените данни се заключава в изчисляване на комплексната функция на електропроводността в широк диапазон на периодите, в това число, определяне на параметъра R.

Резултати от наблюденията

В работата (*Abramova et al.*, 1997) са представени резултатите от обработката и тълкуването на данните от измерванията, получени по профил о. Крит – България, включващи както морски, така и сухоземни наблюдения. Някои характеристики, на съставляващите на магнитните тензори и комплексните индукционни вектори, са

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

показани тук, за да се разберат особеностите на поведение на магнитното поле, наблюдавани в Егейската област, използвани при метода на ВГС.

Фиг. 3 показва честотните характеристики на амплитудите (а) и направленията (б) на реалната Си и на имагинерната Сv части на ВИ за станция M2. Направлението на вектора е перпендикулярно към аномалния ток, т.е. показва, че той е ориентиран в посока запад-изток, практически по дължината на разположение на Егейския гребен.



Фиг. 3. Честотни криви на амплитудата (а) и фазата (б) на реалните (Cu) и имагинерните (Cv) части на индукционните вектори и на пълния магнитен вектор Cuv, получени от станция M 2.

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

Стойностите на ВИ са в интервала 1,0 – 1,8 за реалната и 0,1 – 0,4 за имагинерната компонента съответно. Ориентацията на реалния вектор през кратък период се изменя гладко и при по-големи периоди става практически субмеридионална. Пълният индуктивен вектор, почти в целият диапазон, е насочен на север, фиг. Зб. Съотношението на реалната и имагинерна част на вектора на индукцията, показва с достатъчна точност, че аномалното поле е двумерно.

Анализът на данните включва изчисляване на отклика R: стойността на отношението на дънното и базовото магнитно поле, като функция на честотата в две перпендикулярни направления: съответно перпендикулярно (ТЕ) и паралелно (ТМ) по дължината на нееднородността. Тези честотни криви са показани на фиг. 4.



Фиг. 4. Честотни криви на параметъра R (отношението на магнитното поле на дъното на морето към полето на повърхността): ехр - получен експериментално, mod – пресметнат чрез 2D модела.

Тъй като в точка M1 дълбочината на морето беше приблизително 1000 м, затихването на полето не дава възможност да се използва метода на вертикалното градиентно сондиране с достатъчна точност. Затова методът на ВГС е приложен само за станция M2.

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

Анализ на експерименталните данни и изводи

В работа на М. Еген (*Jegen & Edvards*, 1997) е представен подробен анализ на особеностите при прилагане на метода на ВГС в активните зони, който използваме за интерпретация на данните получени в Егейско море.

В частност е показано следното:

- диапазонът на честотите, в които характеристиките на астеносферните аномалии се проявяват най-значително, е 10 $^{-5}$ - 10 $^{-1}$ Гц;

- токовете, индуцирани от външното поле в океанския слой, са значително по-големи, отколкото в разположената по-долу кора;

- значенията на параметъра 1 - |R | имат стойности по-големи от 0.9 извън диапазона на честотата за типичните разрези на океанското дъно;

- хоризонталните магнитни полета на дъното на океана, индуцирани от външните токове и токът предизвикан в слоя морска вода, почти се компенсират взаимно;

- остатъчното поле на океанското дъно е обусловено от тока, индуциран в долното полупространство и характеризира проводимостта на литосферата.

Преди изследването на параметрите на проводимостта на слоевете под територията на България, и в частност в акваторията на Егейско море, се решаваше с правата 2D задача. При пресмятане на 2D модела беше използван числов алгоритъм, съставен от Ив. Варенцов (*Varentsov & Golubev*, 1985). В модела бяха включени области от акваторията на Егейско море и сушата на север, а именно територията на Родопския масив.

Изходният 2D геоелектрически модел, се базираше на сложния геофизичен модел, предложен от Я. Макрис (1977). Профилът АА' (фиг.1) преминава между България и северна Африка през о.Крит и практически съвпада с пунктовете на нашите сухоземни и морски магнитни наблюдения. Стойността на съпротивленията заложени в модела на астеносферния проводящ слой бяха изчислени чрез съотношението, което определя температурата на частичното топене на материала в горната мантия и свързаната с нея електропроводимост (*Vanyan*, 1997).

Моделите бяха пресметнати чрез известното реално разпределение на електропроводимостта на повърхностните структури, включващи също проводящия слой на кората под непроводящия планински масив на Родопите и астеносферния проводящ слой под Егейско море.

Тук ще се спрем накратко на описанието на резултатите от моделирането, пропускайки детайлите. Отначало бяха направени моделни оценки за влиянието на астеносферния диапир под Егейско море върху резултатите от наблюденията на електромагнитното поле на профила. За тази цел диапира се разполагаше на различни дълбочини между 65 и 100 км и се оценяваше ефекта му в точките на измерване на електромагнитното поле.

2D моделирането показа, че наблюдаваните данни не противоречат на наличието на проводящ астеносферен слой на дълбочини от 80 до 150 км. Обаче експерименталната крива получена чрез ВГС не съответства напълно на този модел. По-късно като взехме предвид резултатите от изследването на геофизичното поле в

зоната на субдукция, която по много геофизични признаци се намираше точно под

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

остров Крит и Критско море (*Haak et al.* 1989; *Galanopoulos*, 1993), внесохме уточнения в модела за кривата на ВГС в точката M2.

Тези предположения се състоят в следното: субдуциращата плоча е потънала на дълбочина около 200 км, виж фиг. 5в. По данни от МТ изследването на островите Милос и Нисирос от Елинската дъга (*Haak et al.* 1989; *Hutton et al.* 1989, *Galanopoulos*, 1993) слоят до дълбочина 150 – 200 км, със съпротивление $\rho \sim 150 - 200$ Ом м, се свързва с плочата, потънала в астеносферата. По-надолу лежи проводяща зона, обусловена вероятно от зоната на топене на тази плоча. Наистина, тези острови се намират по на север от точките на разположение на магнитнита станция.

По данни на сеизмичната томография, съдейки по положителната аномалия на скоростта на Р-вълните, именно в района, където се намира магнитната станция, настъпва издигане на веществото на мантията към повърхността. Резултатите от тези томографски изследвания (*Spakman et al.*, 1985) са основани на обширни материали от регистрацията на скоростта на Р-вълните в горната мантия на Елинската зона.

Изображенията на структурата на Елинската субдукционна зона на се изследваха чрез четири напречни сечения на горната мантия по профилите от *AA*' до *DD*'. Профилите *AA*', *BB*' и *CC*' са приблизително перпендикулярни, а профила *DD*' - паралелен на главното направление на Елинската разломна система.

На фиг. 56 са показани томографските образи на проникванията на структурата по дължина на профилите **AA'** и **DD'**, свързани с Критско море (*Spakman et al.*, 1985). Интервалът на дълбочините във всяко сечение, се изменя от 16,5 км до 605 км. Над всяко сечение са дадени неголеми карти за географското им идентифициране. Черните символи означават центровете на големи земетресения. Щриховката показва различната скорост на Р-вълните. Проявените аномалии показват следните главни особености. Северно от остров Крит се наблюдава голяма потъваща на север високоскоростна област. Нискоскоростната зона припокрива високоскоростната под Критско море. Под северната част на Егейско море, над нискочестотната аномалия, лежи още една високоскоростна област.

Положителната аномалия на скоростта, изглежда е свързана с потъващата плоча (слаб). Предвид съществуването на процес на субдукция на плочата под южната част на Егейско море, авторите тълкуват голямата високоскоростна аномалия като отражение на Елинската зона на субдукция, като фактор който избутва слаб надолу към най-ниското ниво на томографското изображение. Положителният знак на аномалията на слаб може би е свързан с разликата в температурите между студената (плътната) плоча и окръжаващата я нагрята мантия.

Внимателният анализ показва, че (виж сечение DD', рис.5б) на дълбочина около 200 км под цялото Егейско море се наблюдава нискоскоростна област. В района на Критско море тя се врязва към повърхността (сечение AA').

Високоскоростният "похлупак" на север се обяснява със студената евразийска литосфера, съвпадаща с масива на Родопите и на Мизийската плоча.

Въз основа на тези данни, беше коригиран и пресметнат геоелектрическият модел на сечението под Критско море, фиг. 5а. Степента на приближение на кривите от наблюденията и от моделите личи от фиг. 4. По резултатите от 2D моделирането и формалната оценка на импеданса, пресметнат по кривите на ВГС, може да се направи извода, че сумарната надлъжна проводимост на проводящия астеносферен слой под

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

Критско море е свързана с частичното стопяване на породата на горната мантия и не надвишава 1500 Sm, за разлика от по-рано предполагаемата стойност 3000 Sm пресметната по средните температури на астеносферната диапира.

По такъв начин прилагането на ВГС потвърди съществуването на зони на субдукция и позволи да се коригира стойността на надлъжната проводимост на астеносферния слой под Критско море.



Фиг. 5. а Геоелектрически модел на Егейската зона. Цифрите са стойностите на относителното съпротивление р. б Томографски образи на Егейската област по профилите AA' и DD'(*Spakman et al.* 1988). в Схема на зоните на субдукция на Африканската плоча под Егейската микроплоча (*Galanopoulos*, 1993).

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

Литература

- Abramova, L. M., 2001. Some results of marine magnetovariational observations in the Black and Aegean seas. *Proceedings of 3rd Int. Conference on Marine Electromagnetics "Marelec 2001"*. Stockholm, Sweden. 113-124.
- Abramova, L.M., Abramov, Yu. M., Shneyer, V.S., 1997. Electromagnetic Fields Study along the Crete-Bulgaria Profile. *Phys. of Solid Earth*, Engl. Transl., № 33. 155-161.
- Angelier, J., Lyberis, N, le Picon, X. et al., 1982. The tectonic development of the Hellenic arc and the Sea of Crete: a synthesis. *Tectonophysics*. N 86. 159-196.
- Ashirova N.G., Berdichevski M.N., Dubrovski V.G., 1981. Stochastic model of the magnetotelluric procedure for long-period variation range. *Phys. of Solid Earth.* №10. 69-76 (in Russian).
- Galanopoulos D., 1993. Preliminary magnetotelluric studies along the Hellenic Volcanic Arc: implications for the collision between the African plate and the "Aegean" microplate. *Phys. of the Earth and Planetary Interiors.* **81**, 139-153.
- Haak V., Ritter O. and Ritter P., 1989. Mapping the geothermal anomaly on the island of Milos by magnetotellurics. *Geothermics*. 18 (4), 533-546.
- Heinson G., S. Constable, and A. White, 2000. Episodic melt transport at a mid-ocean ridge inferred from magnetotelluric sounding. *Geophys. Res. Lett.* N 27. 2317-2320.
- Hutton, V.R.S, Galanopoulos D., Daves, G.J.K. et al., 1989. A high resolution magnetotelluric survey of the Milos geothermal prospect. *Geothermics*. 18 (4). 521-532.
- Jacobshagen, V. and Macris, J., 1974. Zur Geodynamik Greeklands und der Agais. Nachr. Deutsch Geophys. 78-86.
- Jegen, M. and R.N. Edwards., 1998. The electrical properties of a 2D conductive zone under the Juan de Fuca Ridge. *Geophys. Res. Lett.* 25. N. 19. 3647-3650.
- Law L.K. & Greenhouse J.P., 1981. Geomagnetic variation soundings of the asthenosphere beneath the Juan de Fuca ridge. J. *Geophys. Res.* 86. 967 - 978.
- Macris J., 1977. Geophysical Investigation of Hellenides. Hamb.: Geophys. Einzelschriften. Ser. A, V. 34. 123 p.
- Macris, J., 1978. Some geophysical consideration on the geodynamic situation in Greece. *Tectonophysics*. 74. 251-268.
- Palshin N.A., 1988. Bottom deep magnetotelluric soundings in the north-east part of Pacific Ocean. *Tihookeanskaya geologiya*. № 6. 103-106 (in Russian).
- Palshin N.A., Abramov, Yu. M., A. De Santis et al., 1995. Magnetovariational gradient sounding in Tyrrhenian Sea. *Phys. of Solid Earth*, Engl. Transl., № 4. 79-82.
- Schmucker U., 1970. Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. 13. 1-165.
- Shneyer V.S., Trofimov I. L., Abramov Yu .M. et al., 1991. Some results of gradient electromagnetic sounding in Doldrums Mid-Atlantic Ridge fracture. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. N 66. 259 -264.
- Sinha V.C., D.A. Navin, L.M. Mac Gregor, et al., 1996. Evidence for accumulated melt beneath the slow - spreading mid Atlantic ridge. *Phil. Trans. A Roy Soc.* N 355. 233-253.
- Spakman W., Wortel M.J.R. and Vlaar N., 1988. The Hellenic subduction zone: a tomographic image and its geodynamic implications. *Geophys. Res. Lett.* 15. № 1. 60-63.
- Van'yan, L.L., 1997. Electromagnetic sounding: Nauchnyi mir, Moscow, 198 pp. (in Russian)
- Varentsov, I.M. and Golubev, N.G., 1985. Finite-Difference Procedure for Solving Two-dimensional Forward Geoelectrical Problems in the Class of Regional Model. *Electromagnetic Sounding* of the Earth. IZMIR AN. 23-28 (in Russian).

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35

Zhdanov M.S., Abramova L.M., Varentsov Iv.M. et al., 1990. Deep electromagnetic soundings in the Bulgaria territory. *DAN USSR*. **312**. N 6. 1338-1343 (in Russian).

Vertical gradient electromagnetic sounding in the Aegean sea

D. Abramova, L. Abramova

Summary: This paper represents results of an electromagnetic vertical gradient sounding method (VGS) using for marine electromagnetic observations in the Aegean Sea to investigate the deep structure of the basement. Marine electromagnetic methods, in particular geomagnetic depth sounding lend to mapping the electrical conductivity structure of the seafloor. Physical properties such as porosity, partial melt content and temperature can be concluded from electrical conductivity estimates, and geological structure inferred in turn from contrasts in physical properties, including conductivity itself. In this respect, conducting layers location and temperature - depth distribution is the problem areas of high interest, as they could increase our understanding of the internal processes responsible for the characteristic features of these regions. Electrical conductivity is a parameter sensitive to fluid content in a rock and, at mantle temperatures, the degree and connectivity of partial melt. Features of the electrical conductivity in the lower crust and upper mantle can be investigated by analyzing electromagnetic variations recorded at the sea bottom and sea surface. The different models are evaluated by converting the petrology of the crust into their electrical analogs, and comparing the response of these analogs with experimental data from the Aegean Sea bottom magnetic station. Vertical gradient electromagnetic sounding in the southern part of Aegean Sea has shown presence of mantle electroconductivity anomaly, which is parallel to Aegean volcanic zone.

62

Bulgarian Geophysical Journal, 2009, Vol. 35