

## ГЕОФИЗИЧЕН МОДЕЛ НА ОФИОЛИТОВА ПЛАСТИНА, РАЗПОЛОЖЕНА В РАЙОНА НА СЕЛАТА АВРЕН, ГОЛЯМО И МАЛКО КАМЕНЯНЕ, ИЗТОЧНИ РОДОПИ

**Александър Цветков**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; atzvetkov@mgu.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Известно е, че в Източните Родопи беше доказано наличие на офиолитов тип скали – ортоамфиболити, серпентинизирани ултрабазити, метагабра и др. Те се отличават рязко по плътности и магнитни свойства от вместилиците ги скали. На юг от Крумовград се наблюдават две контрастни геофизични аномалии, изтеглени в север-южна посока. В участъка между Голямо Каменяне и Аврен е регистриран интензивен магнитен максимум, който се свързва с ефекта от силно магнитни серпентинизирани ултрабазити. Непосредствено на запад от него гравитационен максимум и по-слабо изразена магнитна аномалия се предизвикват от метагабра, които по геоложки данни са скали от океански тип земна кора. Аномалиите продължават на юг извън територията на България и според гръцки изследователи са предизвикани от ултрабазични скали от т.н. Амфибол-серпентинитова единица в горната част на метаморфния фундамент. Съставените плътности и магнитни модели показват, че геофизичните аномалии са предизвикани от две допиращи се плитки пластинообразни тела от серпентинити и метагабра с дебелина от порядъка на 1,5-2 km. В съответствие с геофизичното моделиране техните размери са значително по-големи от разкритията им на земната повърхност. Получените резултати потвърждават по-новите схващания, според които офиолитовите тела в изследвания район представляват части от голяма синметаморфна пластина, навлечена върху метаморфозирани гранити.

### A GEOPHYSICAL MODEL OF THE OPHIOLITIC SLAB LOCATED AROUND THE VILLAGES AVREN, GOLYAMO AND MALKO KAMENYANE, EASTERN RHODOPE

**Alexander Tsvetkov**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; atzvetkov@mgu.bg*

**ABSTRACT.** The presence of ophiolitic rocks in the Eastern Rhodope region – orthoamphibolites, serpentinitized ultramafic rocks, metagabbros etc., was determined. Their density and magnetic quantities differ significantly from the surrounding rocks. In the area south of Krumovgrad were observed two geophysical anomalies that extend in north-south direction. The east one represents intensive magnetic maximum between Golyamo Kamenyane and Avren and can be caused by the effect of strongly magnetic serpentinite ultramafic rocks. Close to the west was marked the gravity maximum and the non expressive magnetic high related to metagabbros. According to the geological data they are rocks of oceanic type Earth crust. The anomalies continue on south beyond the territory of Bulgaria and according to Greek researchers, are result of ultramafic rocks by the so called Amphibolite-Serpentinite Unit in the upper part of the metamorphic basement. The created density and magnetic models show that the geophysical anomalies are result of two touching shallow slab type bodies of serpentinite and metagabbros with a thickness of about 1.5-2 km. According to the geophysical modeling, their sizes are considerably larger compared to their outcrops. The obtained results corroborate the recent concept that the examined ophiolitic bodies in the research region represent parts of big syn-metamorphic slab that has been thrusting over the metamorphosed granites.

### Въведение

Известно е, че на различни места в Източните Родопи бяха установени тела от ортоамфиболити, серпентинизирани ултрабазити, метагабра, еклогити и др., които се разглеждат като офиолитов тип скали, фрагменти от океански тип земна кора. Интерпретацията на създаваните от тях интензивни гравитационни и магнитни аномалии в някои участъци, като например в района на селата Розино, Бели дол, Кондово (Nikova et al., 1995) показва, че тези скали формират в близост до земната повърхност пластинообразни тела със значителни хоризонтални размери и максимална дебелина над 1000 m. В съответствие с геофизичните данни най-вероятно те не са с алохтонен произход. Големи тела от серпентинизирани ултрабазити бяха установени на земната повърхност или в сондажи и на много други места в Родопския масив – при селата Голямо Каменяне, Добромира, Яковица, Средско и др. Интензивните гравитационни аномалии със значително плочно разпространение в района на Ивайловград,

Кърджали, с. Чорбаджийско и др. се свързват с наличие на пластинообразни тела от ортоамфиболити и други скали от същия тип с голяма обемна плътност.

### Физични параметри на офиолитите

За изучаване на физичните параметри на офиолитовите скали са използвани данните от лабораторни измервания на голям брой скални образци от повърхностни разкрития и сондажи, които са събирани през различни години, главно при провеждането на детайлни и средномащабни геофизични изследвания. Допълнително опробване е извършено и при новото геоложко картиране на Източните Родопи. Цялата информация е анализирана в геофизичните раздели на докладите от геоложката картировка. По-важните особености на петрофизичната характеристика на офиолитовите скали в изучавания район (Цветков в: Саров и др., 1995) се изразяват в следното:

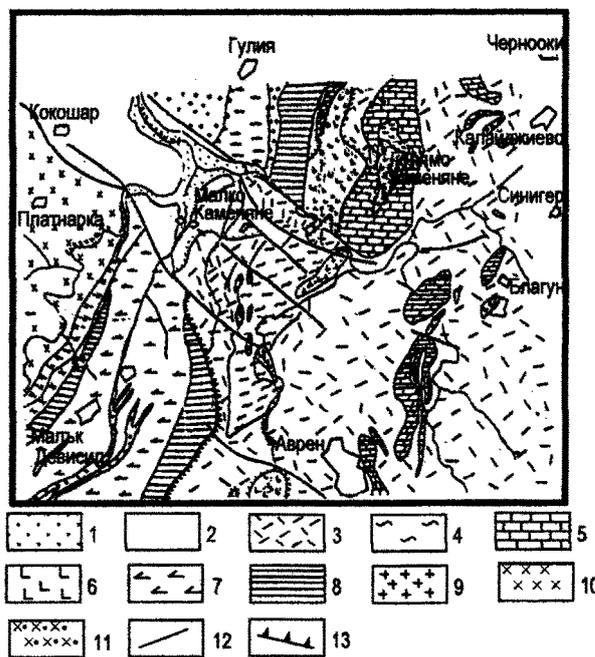
*Амфиболитите* се отделят като дълги до няколко километра лещовидни или пластовидни тела, които са в пространствена връзка с ултрабазични пластини или изолирани лещи. Голяма част от тях са с ортопроизход. По данни от 110 бр. образци от участъците на селата Гол. Каменяне, Аврен, южно от Чорбаджийско средната им плътност е  $2.86 \text{ g/cm}^3$ . Хидротермалната промяна води до намаляване на този параметър с  $0,1-0,2 \text{ g/cm}^3$ . На практика са немагнитни, но в отделни случаи, поради повишено съдържание на магнетит, магнитната им възприемчивост достига до  $2000.4\pi \cdot 10^{-6} \text{ SI}$ . *Серпентинизираните ултрабазити* представляват фрагменти от деформирани, разкъсани и будинирани пластини и блокове. За тях са характерни интензивни метаморфни преобразования с доминиращо развитие на серпентинизацията. Преобладават харцбургити, сравнително често се срещат дунити, по-рядко – пироксенити. В резултат на значителните тектонски въздействия са напукани, милонитизирани и брекчирани. По данни от 48 бр. образци от разкриващи се или пресечени със сондажи или минни изработки тела при селата Голямо Каменяне, Аврен, Егрек, Голям Девисил се характеризират с много висока магнитна възприемчивост – над  $2000.4\pi \cdot 10^{-6} \text{ SI}$  и сравнително ниска средна плътност –  $2.52 \text{ g/cm}^3$ . Високите магнитни свойства се дължат на феромагнитните минерали магнетит, магхемит, пиротин и др., които се отделят при серпентинизацията. Част от изследваните образци, определени като ултрабазити, очевидно не са засегнати от процесите на серпентинизация. Те се характеризират със значителна плътност (средно  $2,90 \text{ g/cm}^3$ ) и са практически немагнитни. Включването им в тази група обуславя по-сложно бимодално разпределение на магнитната възприемчивост и високи стойности на стандартното отклонение за този параметър. *Гранат-слюдените шисти* северно от с. Черничево се отличават с бимодалност в разпределението на плътността, чиято средна стойност е  $2,71 \text{ g/cm}^3$ , но се отделя група от по-тежки скали със  $\sigma_{\text{ср.}} = 2.85 \text{ g/cm}^3$ . Всички изследвани образци са немагнитни. *Метаморфозирани габра* са изучавани с ограничен брой проби (6 бр.) Те са с плътност  $2,80-2,85 \text{ g/cm}^3$  и магнитна възприемчивост от порядъка на  $500-600.4\pi \cdot 10^{-6} \text{ SI}$ .

Приведените данни показват, че голяма част от офиолитовите скали от южната периферия на Източнородопското понижение се характеризират с рязко различаващи се от останалите скали стойности на плътността и магнитната възприемчивост. По тези параметри те се открояват особено контрастно от автохтонно лежащите под тях метаморфозирани гранити, които са практически немагнитни, а плътността им разлика е от порядъка  $0,20-0,30 \text{ g/cm}^3$ . Отделят се и от останалите метаморфни скали в района - биотитови и двуслюдени гнайси, мрамори, параамфиболити и др. Това е причината, поради която офиолитовите тела се регистрират с интензивни аномалии върху картите на пълния вектор  $\Delta T$  от аеромагнитни снимки в  $M 1:50000$  и  $1:25:000$  и на картата на гравитационното поле  $\Delta g$  в  $M 1:50000$ . С магнитни максимуми се бележат серпентинизираните ултрабазити, а големите тела, изградени от ортоамфиболити, тежки ултрабазити (например дунити), еклогити, шисти с гранат и други при

Камилски дол, Пелевун, Кърджали, Чорбаджийско, Харманли и други места предизвикват гравитационни максимуми. Подобна картина в геофизичните полета се установява и в гръцката част на Родопския масив, където са отделени значителни по размери тела от ултрабазити и ортоамфиболити, които се разглеждат като офиолитов комплекс (Dimadis, Zachos, 1989) или като офиолити от т.н. Амфибол-серпентинитова единица в горната част на метаморфния фундамент (Maltezos and Loukyouannakis, 1993).

## Геолого-геофизична характеристика на района

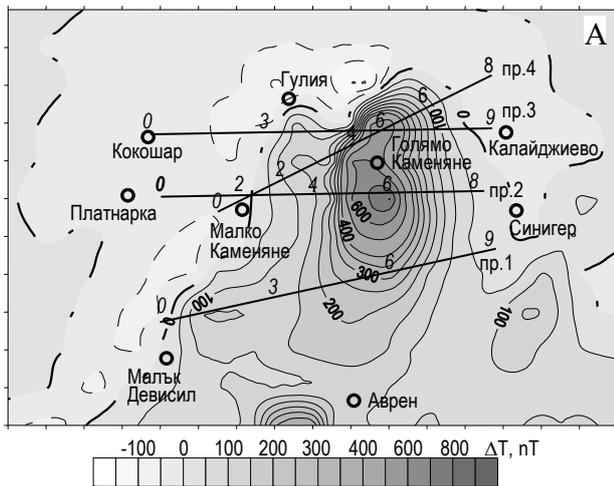
Характерен пример за наличие на значителни по размери офиолитови тела се наблюдава в района на селата Аврен, Голямо и Малко Каменяне в южния борд на Източнородопското палеогенско понижение. Както се вижда от геоложката карта (Саров и др., 1995), на около 10 km южно от Крумовград се разкрива пластина от серпентинизирани ултрабазити с преобладаващ дунитов състав (фиг. 1). Тя е с разкрита площ около 1,5 кв. км и е заобиколена от няколко по-малки тела. По геоложки данни това е част от ултрабазитова ивица с ширина около 5 km. Върху аеромагнитната карта на  $\Delta T$  по данни от аерогеофизични измервания в  $M 1:50000$  (фиг. 2А, Б) тя се бележи с интензивна положителна магнитна аномалия с максимална стойност над 800 nT.



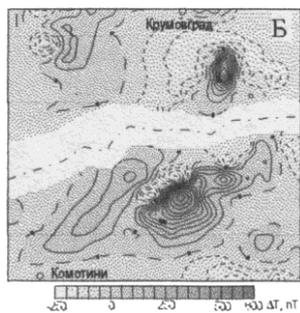
Фиг. 1. Геоложка карта на изследвания участък (Саров и др., 1995)

1 – кватернер; 2 – палеогенски седименти; 3 – амфиболити; 4 – биотитови и амфибол-биотитови гнайси; 5 – мрамори и калкошисти; 6 – серпентинизирани ултрабазити; 7 – метагабра; 8 – шисти с гранат; 9 – плагиометагранити; 10 – равномернозърнести метагранити; 11 – лептитоидни гнайси; 12 – разсеци и разсед-отсеци; 13 – синметаморфен навлак

Въпреки че в крайграничната ивица не са проведени геофизични изследвания, по вида на магнитното поле от двете страни на границата (фиг. 2Б) може да се съди, че тя вероятно продължава с още по-големи размери и на територията на Гърция.

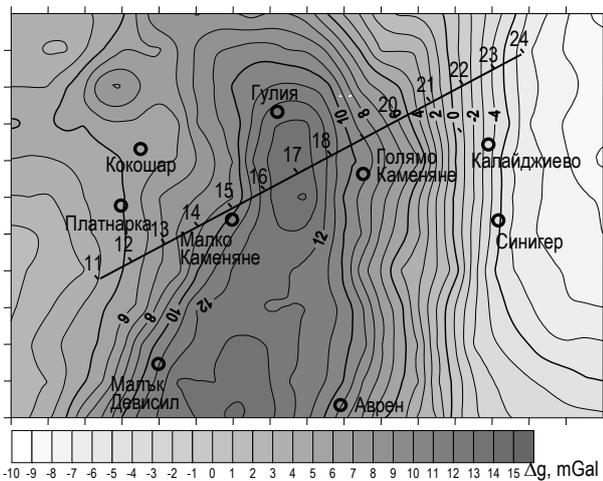


Фиг. 2. Разпределение на магнитното поле  $\Delta T$  по данни от аерогеофизични измервания: А) в участъка на с. Голямо Каменяне с разположението на избраните четири профила за двумерно моделиране; Б) в прилежащите територии на България и Гърция



На запад от линията Голямо Каменяне - Аврен върху геоложката карта са отделени метаморфозирани габра, считани преди новото картиране за мигматизирани амфиболити и биотитови гнайси. Техните петрохимични особености позволяват да се приеме, че имат магмен произход и представляват диференциат на океански тип базична магма (Саров и др., 1995).

В основата им се наблюдават лещи от еклогити (Кожухаров, 1987). Бележат се с относително слабо повишено магнитно поле (фиг. 2), което постепенно се разширява на юг-югоизток. В границите на аномалията се отделят локални максимуми (150-200 nT), свързани с разкрития на метагабра на земната повърхност.



Фиг. 3. Карта на гравитационното поле  $\Delta g$  в изследвания участък с разположението на профила, по който е съставен двумерен плътностен модел

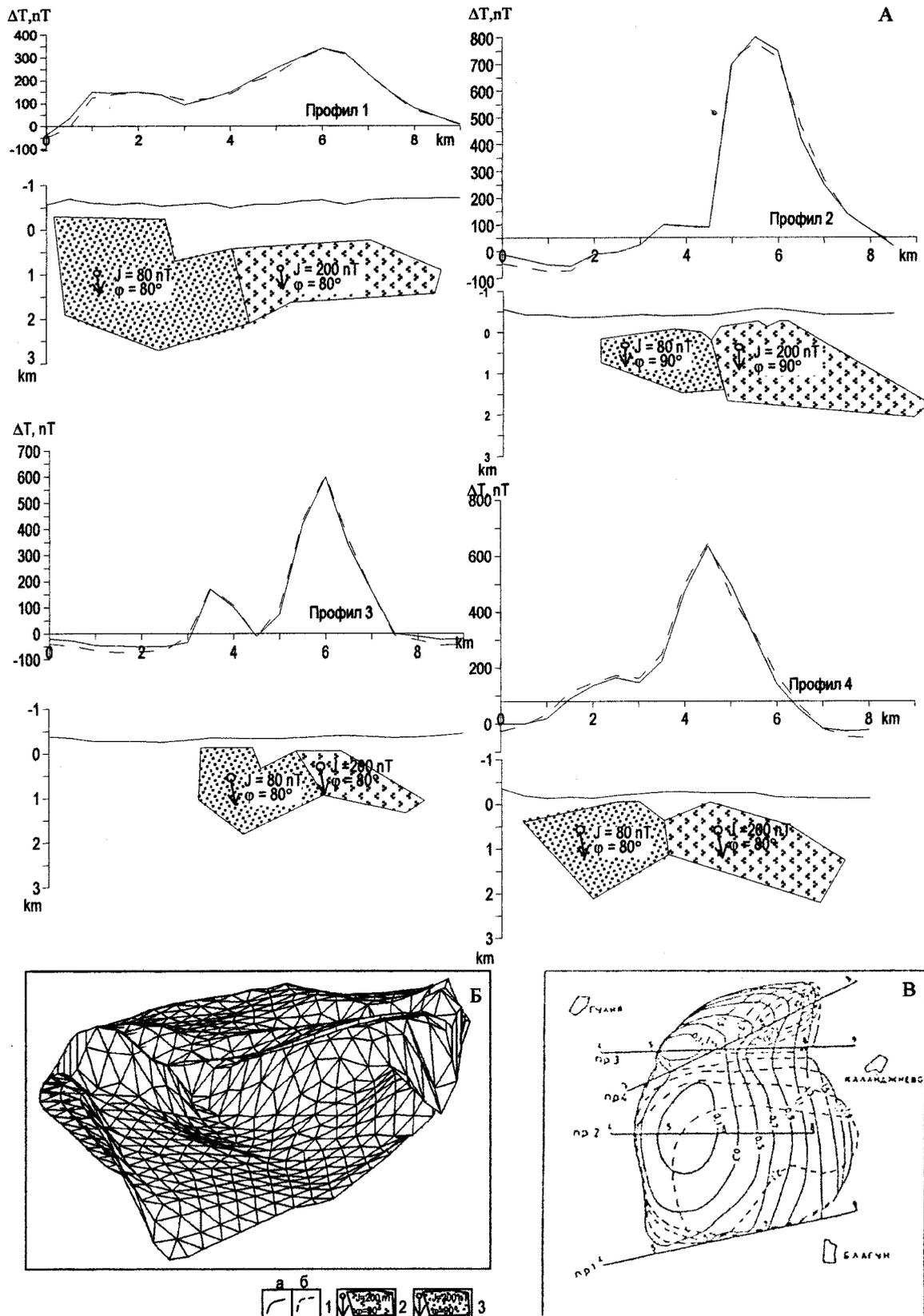
На фиг. 3 е представена и картата на гравитационното поле по данни от изследвания в М 1:50000 с корекция за релеф. Върху нея се наблюдава обширен максимум, обусловен от съвместните ефекти на тежките метагабра и ортоамфиболити, които трудно могат да се разграничат.

## Резултати от геофизичното моделиране

С оглед получаване на допълнителни данни за морфологията на офиолитовите тела са приложени количествени методи за интерпретация на геофизичните данни. Като краен резултат от извършените изследвания са съставени няколко двумерни магнитни и плътностни модели на изучаваните тела по метода на формалния подбор. Изчисляването на полето на моделите е извършено с помощта на програмите SIMAG-21 и SIGRAV-23, разработени от П. Ставрев и др. (1988, 1991). Възприетият подход при моделирането се основава на възможно най-детайлно изучаване на физичните параметри на скалите и привличане на наличните априорни геоложки данни при съставянето на първоначалните модели.

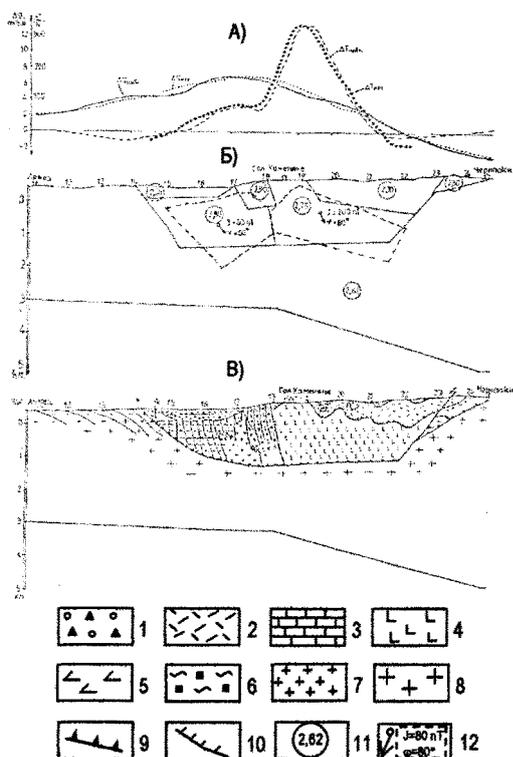
Магнитното моделиране е извършено по четири профила, пресичащи напречно изтеглените в север-североизточна посока характерни магнитни аномалии (фиг. 2А). Съставянето на модели по система от профили дава възможност за получаване на обемна представа за особеностите в морфологията на изследваните обекти. Резултатите от моделирането са представени на фиг. 4. Моделите представляват комбинация от две допиращи се тела – източно, силно магнитно, отговарящо на серпентинизирани ултрабазити и западно, с по-слаби магнитни свойства, свързано с метагабра. Големините на векторите на ефективната намагнитеност  $J$  (съответно 200 nT и 80 nT) са подбрани на основата на данните за магнитната възприемчивост на телата, а наклоните им са избрани в съответствие с наклона на нормалното магнитно поле в изследвания район. Съставените магнитни модели дават основание да се приеме, че офиолитовите тела са с пластинообразна форма и почти хоризонтална горна граница, като части от тях се разкриват на земната повърхност.

Тялото от серпентинизирани ултрабазити е със значително по-големи размери спрямо разкритията му на повърхността, като неразкритата част се развива в източна и южна посока. Тялото е изтеглено в север-южна посока и е с ширина 4,5 km в южната част на площта и 3 km на север от с. Малко Каменяне. Дебелината му е около 1,5-2 km. Наклонено е на юг и на изток. Най-дълбоко заляга в южната част на изследваната площ. Тук по профил 1 (фиг. 4А) средната дълбочина на горната му граница е над 600 m от земната повърхност. Допълнителна представа за формата и размерите на серпентинитовото тяло дават съставените по данните от четирите профила две други негови изображения. На фиг. 4Б е показано полученото с участието на С. Димовски и Ч. Гюров тримерно изображение с поглед от югозапад и отдолу, а на фиг. 4В е представена схема на дълбочините на горната и долната му граница в план.



Фиг. 4. Магнитни модели на офиолитовите тела в района, южно от Крумовград; А – двумерни модели по избраните профилни линии; Б – тримерно изображение на серпентинитовото тяло – поглед от югозапад; В – схема на дълбочините на серпентинитовото тяло (горна граница – с плътна линия, долна граница – с пунктир); 1 – магнитно поле  $\Delta T$ : а) наблюдавано, б) изчислено за модела; модели на магнито-активни тела данни за големината  $J$  и наклона  $\phi$  на вектора на естествена остатъчна намагнетеност: 2 – серпентинити; 3 – метагабра

Според получените от магнитното моделиране резултати пластината, изградена от метаморфозизирано габро, е с около 1 km по-малка ширина и сходна дебелина спрямо ултрабазичното тяло. Източната и западната ѝ граници са приблизително успоредни на тялото от серпентинити. Като се съди по магнитното поле, тялото продължава на юг-югозапад от изследваната площ, следвайки установените разкрития на тези скали. По профил 1 долната граница на пластината от метагабро достига дълбочина над 3 km. Това е най-голямата дълбочина на офиолитовите скали в района, установена по геофизични данни.



Фиг. 5. Геолого-геофизичен разрез по профил Лимец-Голямо Каменяне-Чернооки:

А – криви на наблюдаваното и изчисленото гравитационно и магнитно поле; Б – плътностен и магнитен модел; В – геоложки разрез (Саров и др., 1995) 1 – брекчоконгломерати; 2 – ортоамфиболити; 3 – мрамори и калкошисти; 4 – серпентинизирани ултрабазити; 5 – метагабра; 6 – шисти с гранат; 7 – плагиометагранити; 8 – равномернозърнести метагранити; 9 – зона на синметаморфно навличане; 10 – повърхнина на люспуване; 11 – контур на тяло от плътностния модел със средната му плътност ( $g/cm^3$ ); 12 – контур на магнитоактивно тяло от магнитния модел с данни за големината  $J$  и наклона  $\phi$  на вектора на естествената остатъчна намагнитеност

По един профил, преминаващ през селата Лимец – Голямо Каменяне – Чернооки е съставен и плътностен модел (фиг. 5). Част от него съвпада с профил 4 от магнитното моделиране. При съставянето му също е заложена идеята за наличие на офиолитова пластина, разкрития на тези скали. По профил 1 долната граница на пластината от метагабро достига дълбочина над 3 km. Това е най-голямата дълбочина на офиолитовите скали в района, установена по геофизични данни. На един и същ разрез са представени и магнитният и плътностният модел, което позволява да се съпоставят резултатите от двата вида моделиране. Широкият гравитационен максимум е отместен на запад от магнитния екстремум.

Той е обусловен от наличието на плътни скали – преди всичко метагабра, сред които се наблюдават и по-малки тела от ортоамфиболити, а вероятно и непроменени ултрабазити. Включения от ортоамфиболити са регистрирани и сред серпентинизирани ултрабазити и това обуславя сравнително високата обобщена плътност ( $2,75 g/cm^3$ ) на контура от плътностния модел на изток от Голямо Каменяне. По-долу в разреза, на основата на сеизмични данни (Велев, 1994) е допуснато наличие на по-дълбоко лежащи плътни скали.

Геофизичните модели се допълват с геоложки разрез (фиг. 5В) по линията на профила, съставен от С. Саров в съответствие и с геофизичните данни (Саров и др., 1995). Разрезът дава възможност да се види навличането на офиолитовите тела върху по-старите метаморфозирани гранити. По геоложки данни горната граница на ултрабазитите с амфиболитите и мраморите също е тектонска.

## Изводи

В заключение може да се каже, че геофизичните данни позволяват да се получат важни сведения за морфологията на офиолитовите тела, разкриващи се на юг от Крумовград. За пръв път тук се установява тяло с относително големи размери, изградено основно от метаморфозирани габра с висока плътност (от порядъка на  $2,80-2,85 g/cm^3$ ). Съгласно съставените геофизични модели, то се разполага около селата Малко Каменяне и Малък Девисил, непосредствено на запад от разкриващите се на земната повърхност серпентинизирани ултрабазити при с. Голямо Каменяне. По този начин може да се говори за наличие на нееднородна по състав офиолитова пластина в участъка между селата Лимец, Кокошар, Калайджиево и Благун, която включва допиращи се тела от серпентинизирани ултрабазити и метаморфозирани габра, с включения в отделни участъци на ортоамфиболити. По геофизични данни в избрания участък пластината има размери в екваториално направление от 5 до 9 km в план и от 1,5 до 2,5 km в разрез. Част от нея се разкрива на земната повърхност, а извън разкритията горната ѝ граница достига дълбочина до около 0,5 km. В съответствие с характера на магнитното поле (фиг. 2А, Б) наличие на неразкриващи се офиолитови скали следва да се очаква и на юг, в участъка на селата Голям и Малък Девисил и Аврен, вкл. и в гръцката част на Източните Родопи. Според резултатите от изследвания на гръцки специалисти, в района на Esohi – Kimi се оформя друго голямо по размери силно магнитно тяло от серпентинити с подобни размери и форма (Maltezou, Loukyouannakis, 1993).

Резултатите от проведената комплексна интерпретация на магнитни и гравиметрични данни в района южно от Крумовград показват, че разкриващите се тела от ултрабазити, ортоамфиболити, метагабра и др. представляват разкриващи се или плитки тела, които в съответствие с данните от новата геоложка картировка на Източните Родопи в М 1:25000 (Саров и др., 1994; 1995) се разглеждат като пластини, навлечени синметаморфно

върху метаморфозирани гранити. Навлачната повърхност се бележи с интензивен гравитационен градиент.

Натрупаните напоследък факти дават основание на редица автори от България, Гърция и Турция да приемат, че в резултат от колизия между две континентални плочи през късната креда в Източните Родопи са се обдучирали метаофиолитови фрагменти от океански тип земна кора – ортоамфиболити, серпентинизирани ултрабазити, метагabra, еклогити и др. (Ivanov, 1985; 1988; Иванов и др., 1990; Кожухарова, 1984; Burg et al., 1990; Саров и др., 1994; 1995; Dimadis, Zahos, 1989; Maltezou, Loukyannakis, 1993; Gorur et al., cited in Robertson and Dixon, 1984 и др.). Според Ж. Иванов и др. (1991) целият Родопски масив представлява навлачна постройка от синметаморфни и постметаморфни навлаци. Особеностите на геоложкия строеж в участъците, засегнати от хоризонталните движения, не са изяснени окончателно. Във връзка с това всяка нова информация за строежа и морфологията на отделни офиолитови тела и комплекси в Източните Родопи допринася за по-пълното изследване на геоложката еволюция и металогенната перспективност на този регион.

## Литература

- Кожухарова, Е. 1984. Произхождение и структурно положение серпентинизированных ультрабазитов докембрийской офиолитовой ассоциации в Родопском массиве. *Метаморфические изменения ультрабазитов.* – *Geologica Balc.*, 14, 6, 3-36.
- Желязкова-Панайотова, М. 1989. Серпентинизирани ултрабазити. – В: *Неметални полезни изкопаеми в България*, том II, С., Техника.
- Желязкова-Панайотова, М. и др. 1981. Ултрабазити Балканского полуострова и их рудоносность. – В: *Материалы XXVII Межд. геол. конгресса*, Москва, 9, 85-93.
- Саров, С. и др. 1995. *Доклад за резултатите от изпълнението на геол. зад. "Геоложко картиране в М 1:25000 и геоморфоложко картиране в М 1:50000 с комплексна прогнозна оценка на минералните ресурси на части от Авренската синклинала и Кесибирското подуване, в района на с.с. Подкова,*

- Токачка, Голямо Каменяне, Букова махала и др. на площ от 425 кв. км".* – Геофонд на МОСВ, IV-426.
- Ставрев, П., В. Недев, И. Христова. 1988. Програмна система интерпретации двумерных магнитных аномалий. – В: *33-й Междунар. геофиз. симпозиум, Прага, Труды В (II)*, 300-309.
- Ставрев, П., В. Недев, Р. Радичев. 1991. Програмна система интерпретации гравитационных аномалий. – В: *36-й Междунар. геофиз. симпозиум, Киев, Доклады, т. II*, 93-99.
- Burg, J. P., Z. Ivanov, L. E. Ricon, D. Dimov, L. Klain. 1990. Implications of shear sense criteria for the tectonic evolution of the Central Rhodopes Massif, Southern Bulgaria. – *Geology*, 18, 451-454.
- Burg, J. P. et al., 1996. Syn-metamorphic nappe complex in the Rhodope Massif. Structure and kinematics. – *Terra Nova*, 8, 6-15.
- Dimadis, E., S. Zachos. 1989. Geological and tectonic structure of the metamorphic basement of the Greek Rhodopes. – *Geologica Rhodopica*, 1, 122-130.
- Ivanov, Z. 1985. Position tectonique, structure geologique et evolution alpidique du massif des Rhodopes. – *Guide de l'excurtion (appendix). Reunion extraordinaire de la Societe Geologique de France en Bulgarie*, 45 p.
- Ivanov, Z. 1988. Apercu general sur l'evolution geologique et structurale du massif des Rhodopes dans le cadre des Balkanides. – *Bull. Soc. Geol. France*, 8, 227-240.
- Kolceva, K., G. Eskenazy. 1988. Geochemistry of metaeclogites from the Central and Eastern Rhodope Mts (Bulgaria). – *Geologica Balc.*, 18, 61-78.
- Maltezou, F., M. Loucouyannakis. 1993. Geophysical evidence for the subsurface distribution and mode of emplacement of ophiolites in the Eastern Rhodope region, N. Greece. – *Tectonophysics*, 218, 355-365.
- Nikova, L., A. Tzvetkov, D. Tzvetkova, V. Nedev. 1995. Gravity and aeromagnetic study of the inhomogeneities in the metamorphic rocks of the South-Eastern Rhodope region, SE Bulgaria. – *XV Congress CBGA, Athens*, N 4/3, 1130-1133.
- Yanev, Y., F. Innocenti, P. Monetti, G. Serri, 1995. Paleogene collision magmatism in Eastern Rhodopes (Bulgaria) - Western Thrace (Greece): Temporal migration, petrochemical zoning and geodynamic significance – *Geol. Soc. Greece, Sp. Publ.*, N 4 (XV Congress GBGA, Athens).

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ