https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N16

Geophysical fields in the Eastern Rhodopes Mountain and their connection to the rocks lithological-petrographic characteristics and the geological structures

Atanas Kisyov[1]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Applied Geophysics, e-mail: at.kisyov@gmail.com

Key words: potential fields, predicting, gravity field, aero-gamma spectrometry

Abstract
The process of solving all predictive tasks is always, to one degree or another, associated to an element of ambiguity. For example, the traditional concept of metallogenic prediction is based on the idea that taking into account only a few basic geological factors, the problem can be most effectively solved regardless of the fact that virtually all geological and geophysical data are statistical in nature. In addition, the functional relationships between the geological and geophysical parameters and the ore deposits are complex and multivariate. Therefore, the idea of directing the prediction strategy to the complex processing and analysis of all available information and determining the relationship between the structure of the studied fields (geophysical, geological, geochemical, etc.) and the specific geological conditions is becoming more and more convincing. The use of transformations of potential fields is widely used in order to determine the effect of various geological anomalies.

Геофизични полета в Източни Родопи и връзката им с литолого-петрографските характеристики на скалите и геоложките структури

Атанас Кисьов[1]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Приложна геофизика", e-mail: at.kisyov@gmail.com

Ключови думи: потенциални полета, прогнозиране, гравитационно поле, аеро-гама спектрометрия

Резюме
Решаването на всички прогнозни задачи е винаги, в една или друга степен, свързано с елемент на неопределеност. Например традиционната концепция за металогенно прогнозиране се основава на представата, че при отчитане само на няколко основни геоложки фактора най-ефективно може да се реши задачата независимо от обстоятелството, че практически всички геоложки и геофизични данни по своята природа имат статистически характер. Освен това функционалните връзки между геоложките и геофизичните параметри и орудяванията са сложни и многовариантни. Ето защо все по-убедително се налага идеята за насочване на стратегията на прогнозирането към комплексното обработване и анализиране на цялата налична информация и определяне на взаимна връзка между структурата на изследваните полета (геофизични, геоложки, геохимични и др.) и конкретните геоложки ситуации. За определяне на ефекта от различни геоложки смутители широко приложение намира използването на трансформации на потенциалните полета.

Източници на аномалии в Родопския масив

При геофизичните изследвания геоложките изводи се основават на резултатите от анализа и обработката (Tzankov, 2015) на изучаваните физически полета. При разглеждането на тези полета широко се използва понятието "геофизични аномалии", което се определя като отклонение на стойностите от нормалното поле, съответстващо на еднородния строеж на съответния участък от земната кора.
За формирането на геофизичните аномалии имат значение не само абсолютните стойности на физическите параметри на скалите, но и геоложките структури, в които те се намират. Ако скалите се различават по стойностите на физическите параметри, то обикновено не възникват затруднения при анализа на източниците на аномалии. Особено важна е ситуацията, когато средните стойности на плътността или намагнитеността не се отличават съществено и различията във физическите полета

следва да се търсят в различната структура на скалите, особеностите на геоложките неоднородности и други фактори.

В структурния геоложки строеж на Родопския масив гнайсите от докамбрийския метаморфен комплекс заемат важно място. За гнайсите е характерен разнообразният състав и неоднородност, което се отразява в значителен диапазон на вариации на плътността и магнитната им възприемчивост и съответно на различния характер на гравитационното и магнитно поле над тях. В регионален план гнайсите имат относително най-висока плътност. В общи. линии разпределението на гравитационното поле над тях се диктува от докамбрийския структурен план на Родопския масив.

На територията на Родопския масив, особено в западната му част, широко разпространение имат гранитоидите. Те са представени от южнобългарските и пирински гранити, които често се намират в сложни преходи с гнайсите. Гранитоидите се характеризират с понижение плътността по отношение на гнайсите от докамбрийския метаморфен комплекс и се отделят с добре обособени отрицателни гравитационни аномалии.

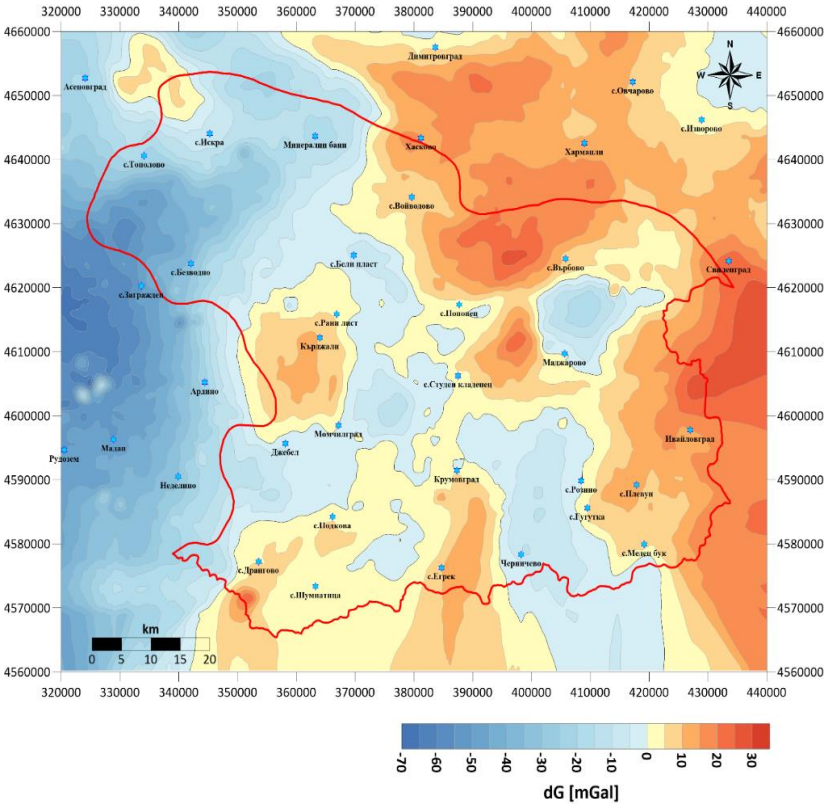
По магнитна възприемчивост гранитите практически не се различават от гнайсите, което намира потвърждение и върху картата на магнитното поле.

Скалите от седиментния комплекс, които широко застъпени в между планинските котловини на Родопския масив, се характеризират с понижена плътност и формират добре обособени отрицателни гравитационни аномалии. Ефузивните скали от алпийския комплекс на Родопския масив имат относително понижени плътности, което се отразява върху картата на гравитационното поле чрез формиране на отрицателни аномалии в районите, където проявленията им са с относително голяма дебелина. С повишената магнитна възприемчивост на тези скали са свързани някои положителни аномалии.

Съществено влияние върху гравитационното и магнитното поле оказва сложната разломна тектоника на Родопския масив (Georgieva and Nikolova, 2013).

Разломните проявления от различен порядък намират потвърждение върху гравитационната карта. Разломите с дълбоко заложение се маркират с добре изразени гравитационни преходи на регионалното поле. Разломите от по-нисък порядък се локализират с по-слаби преходи или изтеглени аномални зони.

Обща характеристика на потенциалните полета за територията на Източни Родопи



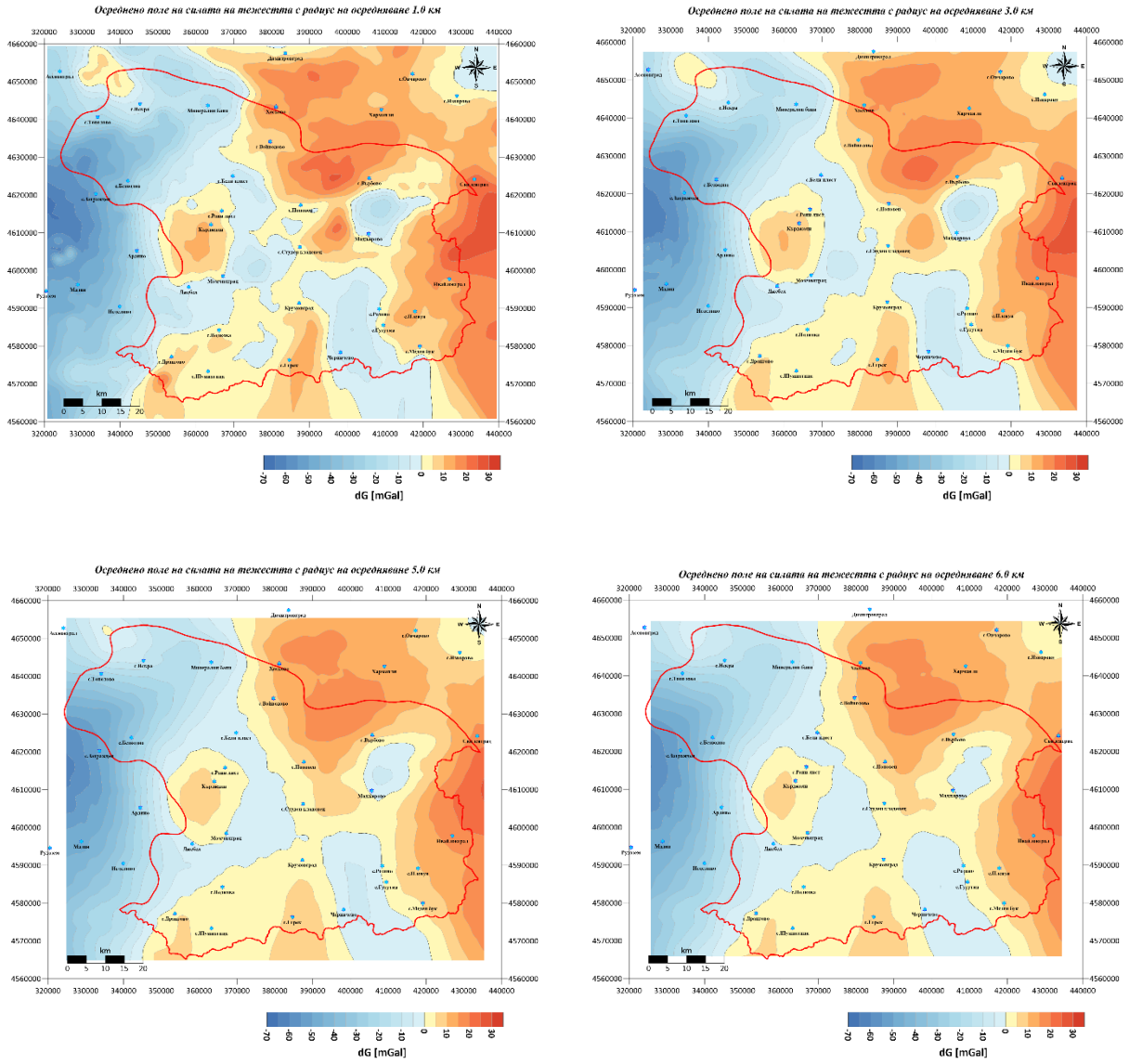
Фиг. 1. Карта на разпределението на гравитационно поле (аномалии Буге) за територията на Източнородопския район

Наблюдаваното гравитационно поле в аномалии Буге за територията на Родопския масив най-обобщено се характеризира със съчетаване на добре обособена, обхващаща Западни Родопи зона с понижени стойности на Δg и положително поле в Източнородопския район, разделен от интензивен гравитационен преход със субмеридионално простиране. Аномалиите от първи порядък са усложнени от многочислени аномалии от по-висок порядък с линейна и изометрична конфигурация, което придава на наблюдаваното поле сложен мозаичен вид (Фиг.1).

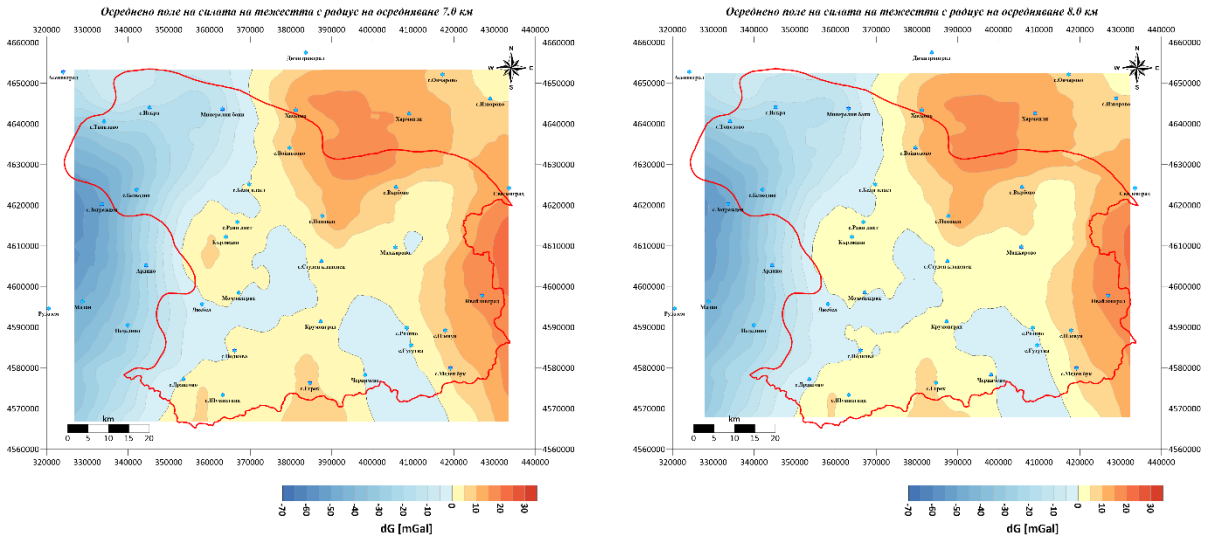
Съставните характеристики на гравитационното поле се изследват чрез неговите трансформации. Регионалните съставки намират отражение в осреднените полета и пренесените в горното полупространство стойности на наблюдаваното поле. Локалните аномалии се изявяват в остатъчните полета от осредняването и аналитичното продължение в горното полупространство, във вариационните карти по Андреев-Грифин, вертикалните производни на полето и пренасянето му в долното полупространство (Радичев и Димовски, 2003; Димовски и Радичев, 2004).
Анализът на трансформираните полета при различни радиуси на осредняване и нива на пренасяне утвърждава следните закономерности в гравитационното и магнитно поле на Източни Родопи.
Върху осреднено поле на силата на тежестта, което отразя главно разпределението на плътностните маси, на дълбочини няколко километра, се отделят два региона - западен с отрицателни стойности на полето и източен - с положителни (Фиг. 2 и 3).

Рило-Западнородопската аномалия е напълно оформен елемент на регионалното гравитационно поле на територията на България. Тя се отделя с добре очертани гравитационни преходи, има северозападно простиране и заема територия от приблизително около 12 000 км^2.

Източната положителна регионална зона обхваща Източни Родопи и Сакар. Тя се ограничава от запад, северозапад и север с интензивни гравитационни преходи, а на изток остава отворена. Областта на Сакарската антиклинала оформя относителен минимум с изометрична форма, който се обуславя от дълбоко заложеното й гранитно ядро.



Фиг. 2. Разпределение на осреднено поле на силата на тежестта при радиус на осредняване 1, 3, 5, 6 км



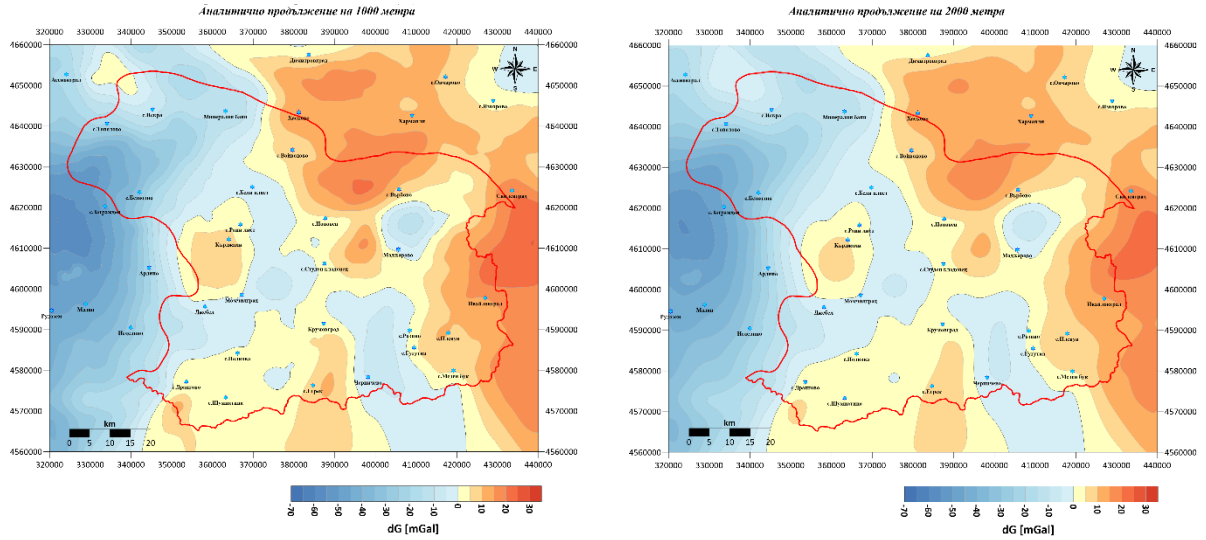
Фиг. 3. Разпределение на осредненото поле на силата на тежестта при радиус на осредняване 7 и 8 км

Полето на силата на тежестта при аналитично продължение в горното полупространство съдържа регионалните особености на осредненото поле, като амплитудата на аномалиите е по-малка (Фиг. 4 и 5). Бързо намалява хоризонталният градиент на гравитационните преходи и особено този на Централнородопския.

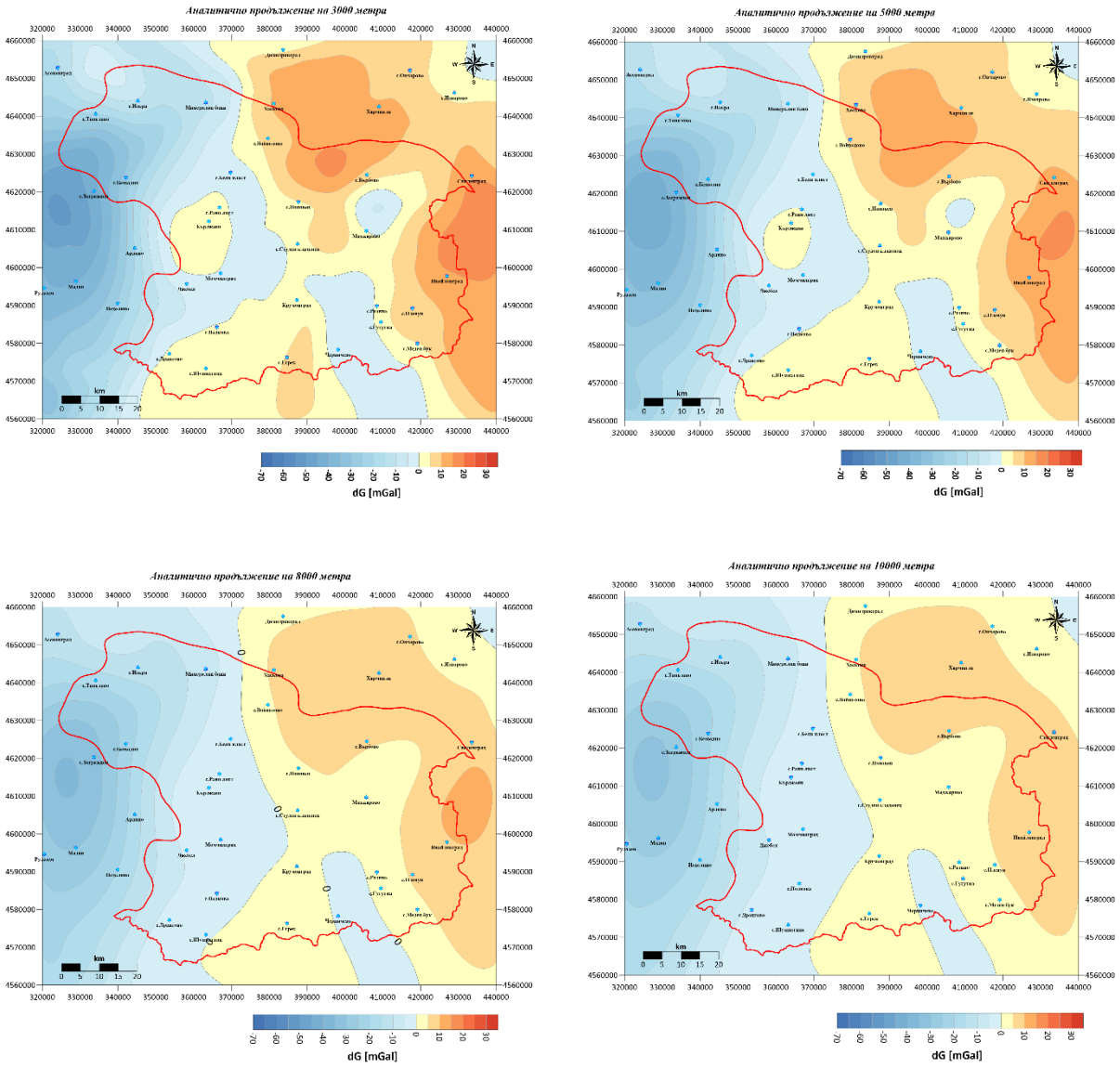
Разпределението на вертикалната производна на силата на тежестта отрязва влиянието на повърхностните зони (с дълбочинност до около 5 км.), като регионалният гравитационен ефект е силно ретуширан. Локалните аномалии се представляват на фона на окрупнените структурни, елементи на Родопския масив, като Рило-Западнородопския антиклинорий, Централнородопския антиклинорий, Източнородопския антиклинорий, Момчилградското понижение. Добро проявление като напречна структура има Брацигово-Доспатското понижение.

Вариационните аномалии по метода на Андреев-Грифин (Фиг. 6) както и остатъчните гравитационни полета от аналитичните продължения в горното полупространство (Фиг. 7) и от аритметичното осредняване отразяват тектонския строеж на приповърхностните структури на земната кора, включително до съвременния ерозионен срез.

Трансформираните полета взаимно се допълват по информативност. Най-обобщено по степен на локализация на аномалиите те се подреждат съответно: остатъчното поле от аналитичните продължения в горното полупространство, вариационните аномалии по Андреев-Грифин, остатъчното поле от осредняването (Димовски и Радичев, 2004).

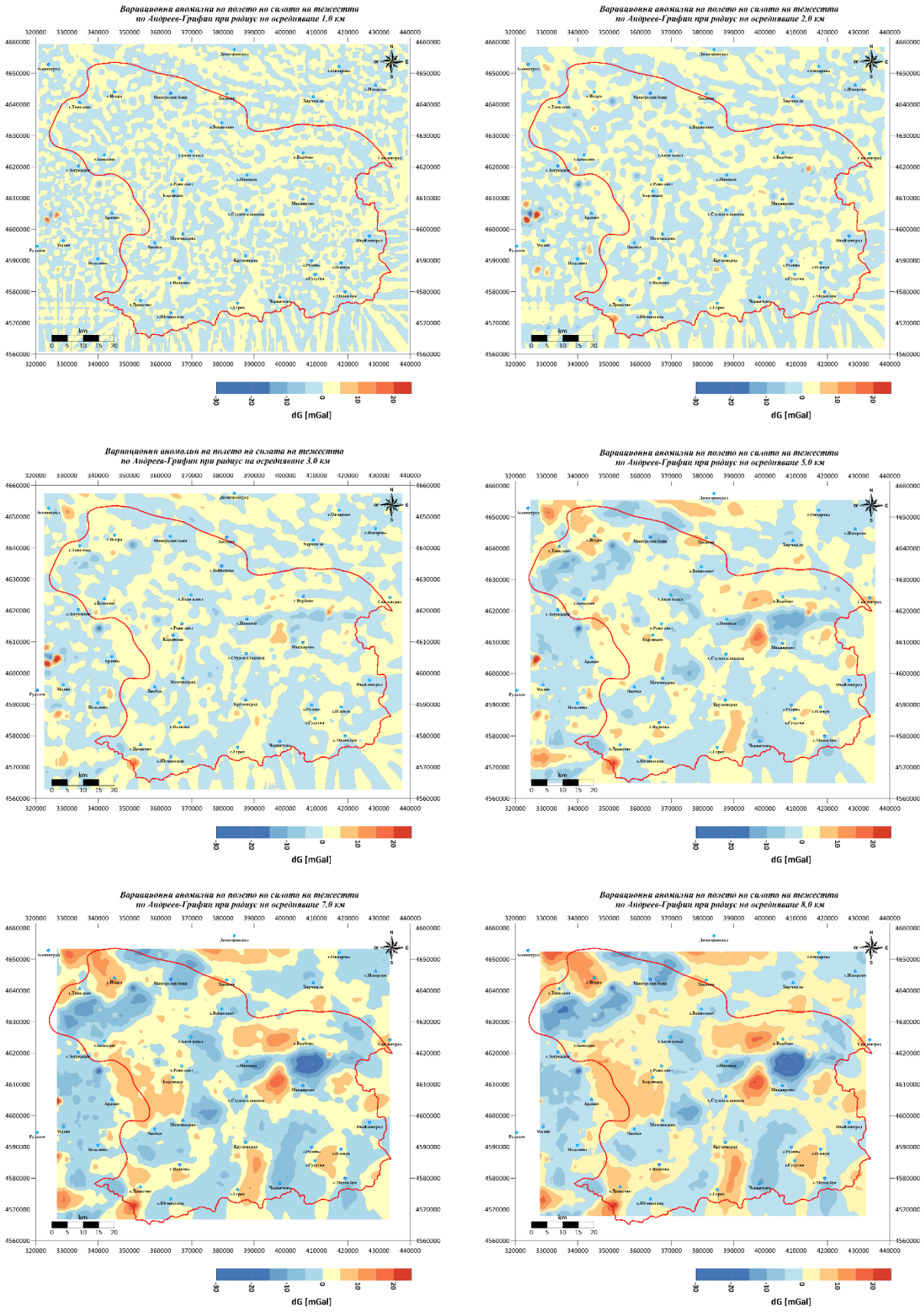


Фиг. 4. Разпределение на аналитично продължение на гравитационно поле в горното полупространство, на 1 и 2 км

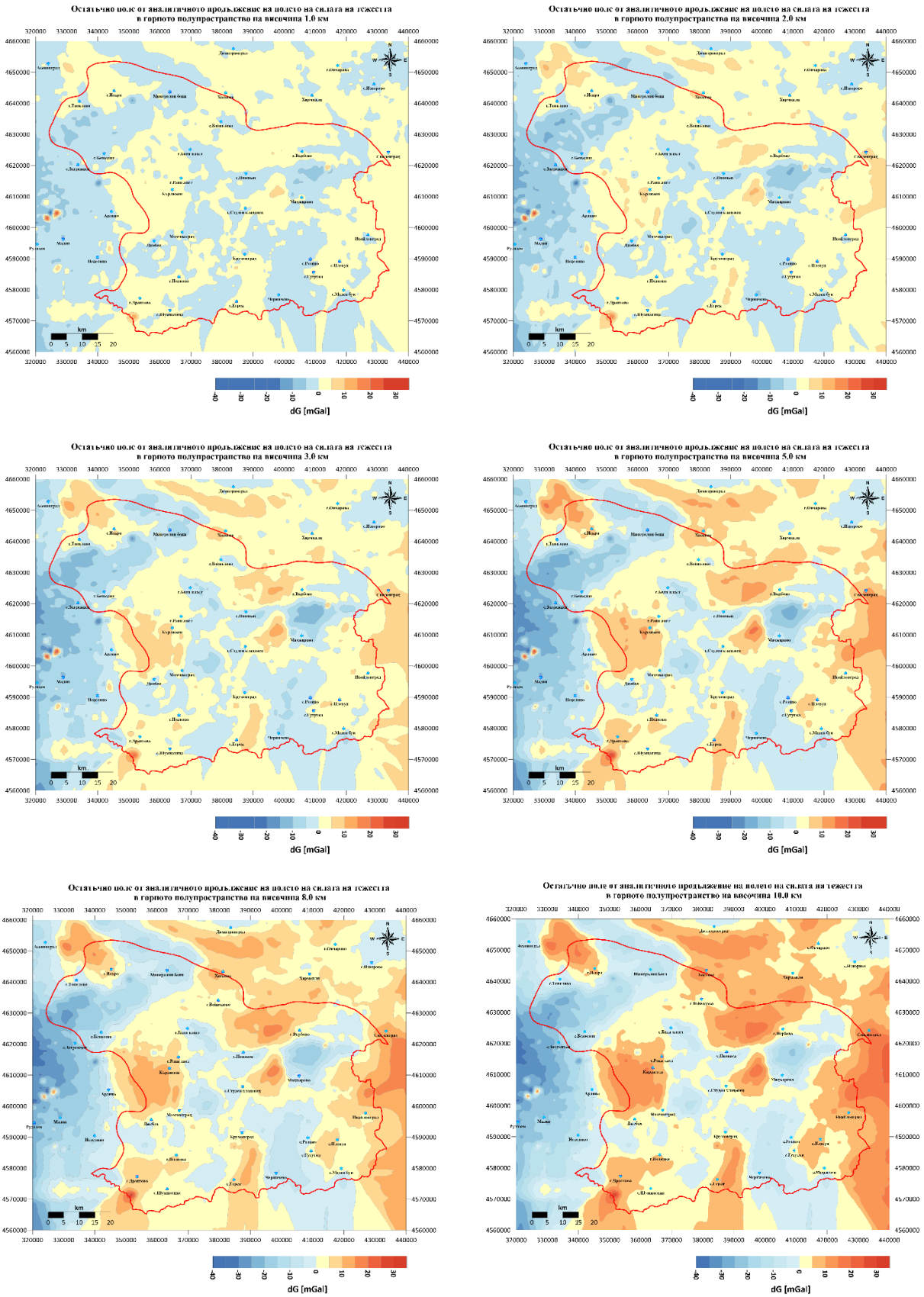


Фиг. 5. Разпределение на аналитично продължение на гравитационно поле в горното полупространство, на 3, 5, 8 и 10 км

Локалните гравитационни полета се характеризират със сложна морфология, което отразява структурно-тектонския строеж на повърхностните зони, изграждащи геоложкия разрез на Родопския масив (Stavrev et. all 2009; Trifonova et. all 2013). В общи линии върху картите намират проявление повечето от гънковите и разломни структури. Гравитационните преходи, маркиращи разломни зони с относително недълбоко заложение, най-добре се проявяват върху картата на вариационните аномалии по Андреев-Грифин (Фиг. 6) и остатъчното поле от аритметичното осредняване. При това, най-повърхностните тектонски проявления, както и следва от физични съображения, се детайлизират от остатъчното поле. Най-детайлна информация за приповърхностната диференциация на геоложкия разрез по плътностни свойства се получава от картата на аналитичното продължение в долното полупространство. Картата има сложна мозаечна структура и характеристиката на полето доуточнява някои особености в морфологията на повърхностния разрез.

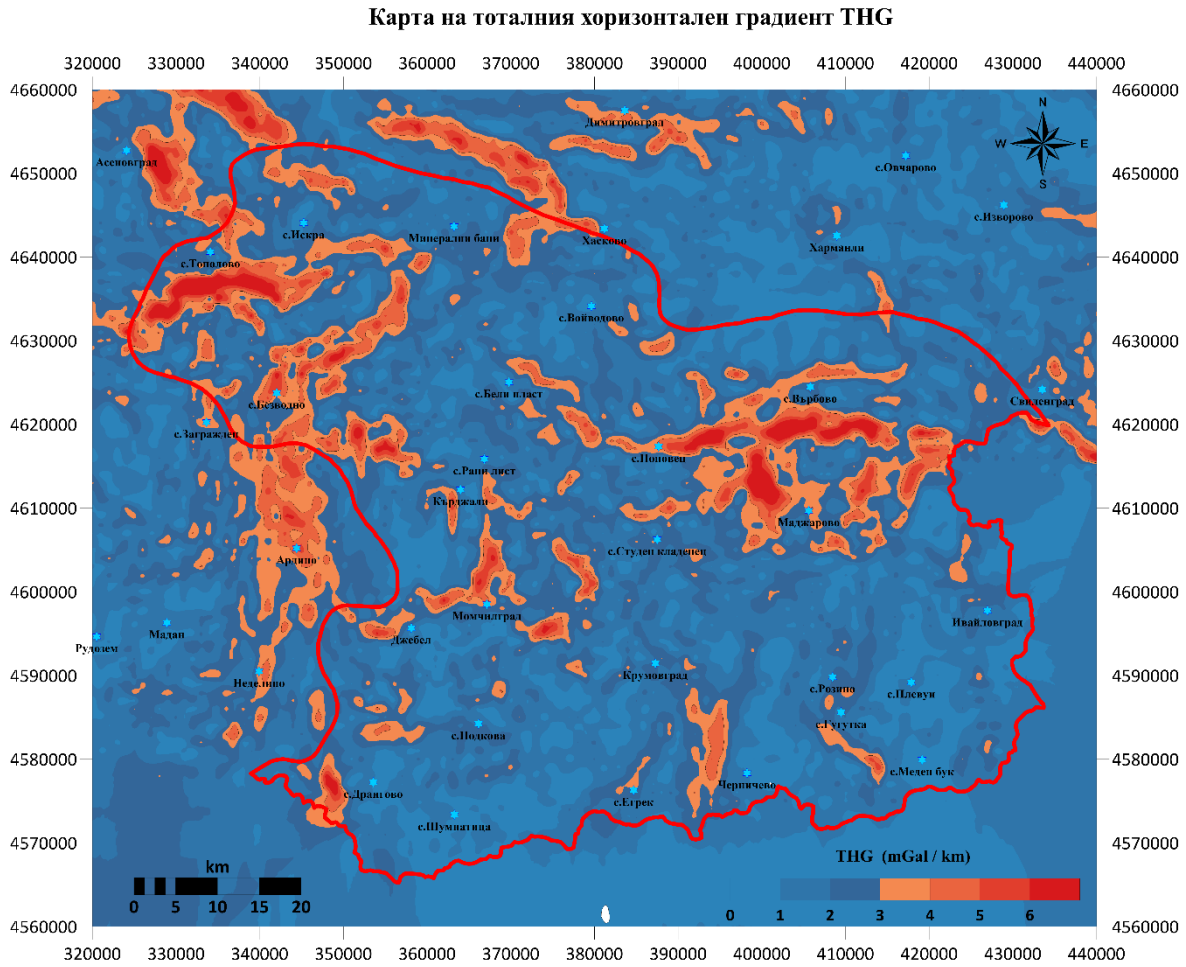


Фиг. 6. Вариационни аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин при радиус на осредняване 1, 2, 3, 5, 7 и 8 км



Фиг. 7. Разпределение на остатъчно поле от аналитичното продължение на полето на силата на тежестта на 1, 2, 3, 5, 8 и 10 км

Разпределението на тоталния хоризонтален градиент (THG) на гравитационното поле (Фиг. 8), картира местоположението и ориентацията на издължени вертикални или наклонени дълбоки дислокации, разломни структури, контакти на масивни блокове, интрузии, граници на грабенови и хорстови структури. Някои геоложки структури като антиклинали и синклинали могат да създадат подобни ефекти, но те са разпознаваеми след обикновен анализ на хоризонталния градиент и частни хоризонтални производни (Dimovski and Radichev 2002; Stavrev et. all, 2019; Metodiev and Trifonova 2016).



Фиг. 8. Разпределение на изчисления тотален хоризонтален градиент на гравитационно поле (THG, mGal/km)

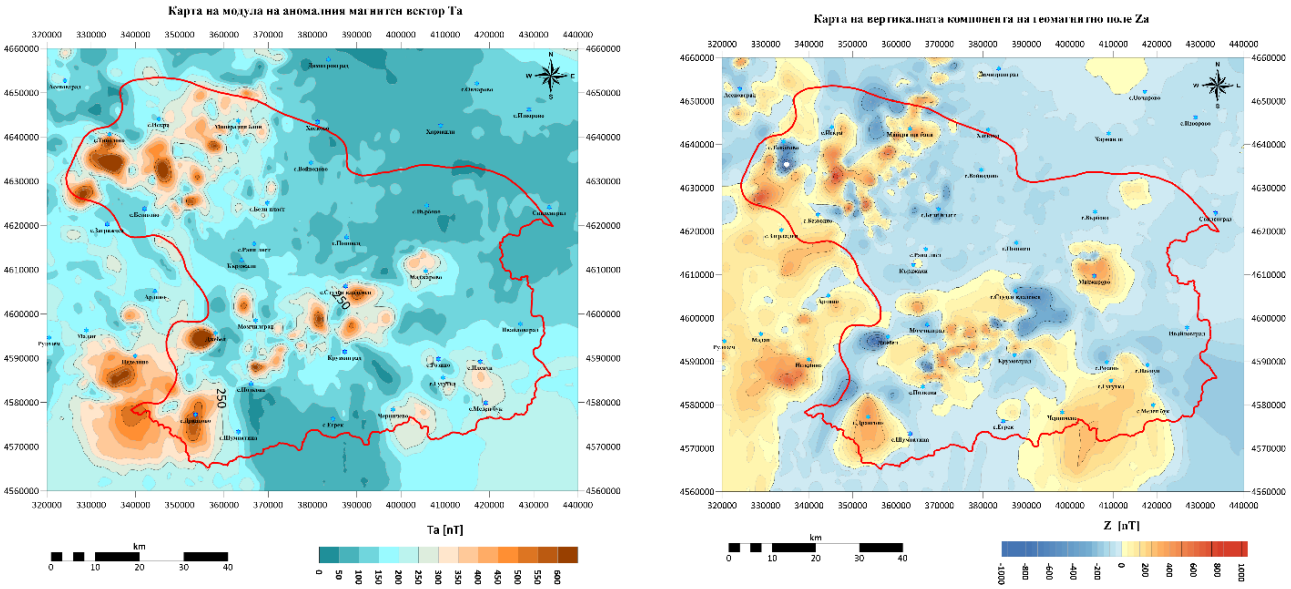
Магнитното поле на Родопския масив (Фиг. 9), е относително спокойно и се характеризира в регионален план с ниска интензивност, което отразява широкото разпространение на архайските и протерозойски метаморфити и крупни гранитоиди и батолити. На спокойния фон полето се изявява с нееднородна морфология.

В районите, където широко се разпространени метаморфозираните докамбрийски образувания, се наблюдава нормално или слабо отрицателно поле.

Границите, изграждащи ядра на Родопския масив, създават на места нормален и слаб положителен фон на полето.

В Източнородопското понижение разпространението на основни и ултраосновни скали се отбелязва от Момчилградско-Авренската положителна аномалия. На североизток се отделя регионална отрицателна аномалия (Хасково-Свиленградска), която остава открита по посока на Долнотракийската падина. Тази отрицателна магнитна аномалия съвпада с разкритията на мощни мезокайнозойски отложения.

Северната граница на Родопите и Сакар се маркира с интензивни линейни магнитни аномалии с обширно простиране. Те се обуславят от зона с максимално насищане от интензивен магматизъм, предимно с ултраосновен и среден състав на ларамиийската фаза на тектонска активизация.
Момчилградско-Авренската аномалия е предизвикана от серпентинови тела, които се характеризират с голяма магнитна възприемчивост. Аномалията в района на Маджарово е привързана към разкритията на риолитите и метаморфните скали, като положителното магнитно поле по всяка вероятност е свързано с орудяването на разломните зони.
Хасковската локална аномалия съответства на недълбоко залягащите магнитни смутители. Вулканичният пояс по северната граница на Родопите и Сакар намират проявление и на остатъчното магнитно поле. Младите интрузии с повишена магнитна възприемчивост в отделни райони залягат на сравнително малка дълбочина.
Ефузивните скали на Родопския масив се проявяват на магнитното поле предимно с положителни аномалии с различна интензивност. Югозападно от Девин, където са разпространени средномагнитните трахиандезити, риолити и техните туфи, се отделят с високо интензивни положителни аномалии. Набогатените с пирит и сфалерит риолити на Давидковското рудно поле създават положителни аномалии. Риолитите и риолитовите туфи от Източни Родопи се характеризират с относително по-ниска магнитна възприемчивост и не се отделят добре от магнитното поле. Във вътрешните грабени, на Родопския масив където са развити ефузивите с основен състав, интензивността на аномалиите се колебаят от 100 до 1000 nT.



Фиг. 9. Карти на модула на тоталния геомагнитен вектор Та и на вертикалната компонента на геомагнитното поле Za

Структурни особености на Източни Родопи по геофизични данни

Съвкупният анализ на данните за геотектонския строеж на Родопския масив, в частност неговата източна част, и тяхното отражение в гравитационните и магнитните полета показват важността на последните за металогенното райониране. Съществен интерес за рудната геология представлява дълбочинната зоналност на масива (Йосифов и Георгиева, 2018), добре изявена върху регионалните гравитационни полета и структурно тектонските елементи на горната част на земната кора, отразени върху локалните гравитационни полета.
Върху картата на локалните гравитационни полета, Североизточнородопското понижение, запълнено с приабонски и олигоценски седименти, вулканогенно-седиментни и кисели вулкански скали, се изявява с аномалия, състояща се от три локални минимума, от които централният е по-слабо интензивен. Западно разположеният минимум е изтеглен в запад-североизточна посока, а източният -

в северозапад-източна посока. От данните на количествената интерпретация дълбочините на понижението варират в западната част около 2 км, в средната - около 1 км, а в източната – 2 - 2,5 км.
Южно от Североизточнородопското понижение на фона на архайския комплекс се разполага сравнително голяма по площ и с неправилна форма положителна аномалия. В северната й част огъването на изолиниите отбелязва местоположението на Бойновския и Кобилянския гребен.
Момчилградското понижение се проявява на картата на остатъчното гравитационно поле с отрицателна аномалия, изтеглена в югозапад-североизточна посока (Цветков, 2005). На нейния фон, северно и южно от Момчилград се отделят два разнопосочни ориентирани минимуми: южният в изток-западна посока с дълбочина около 2 км., а северният в посока почти север-юг с дълбочина 3-3,5 км.
Обширното Маджаровско понижение се характеризира със сложна морфология на остатъчното гравитационно поле. Преобладават отрицателни аномалии, които вероятно се дължат на гънково усложнение в дълбочинния тектонски строеж. В западната част полето се деформира от проявлението на Боденската синклинала, която има субпаралелно разположение. Последната, по характер на изявеност на полето, се явява като свързващо звено между Североизточнородопското, Маджаровското и Момчилградското понижение (Цветков, 2005).
На картата на магнитното поле край Маджарово се обособява локален максимум, геоложката природа на който се свързва с Маджаровския вулканизъм.
Положителна локална аномалия оконтурва Авренската грабен-синклинала. Това проявление на тези негативна тектонска структура вероятно е свързано с доминиращото влияние на внедрените в нея относително по-плътни палеозойски серпентинизирани ултрабазити.
Тинтявското подуване се маркира със субмеридионално изтеглени отрицателни аномалии. Това проявление вероятно е свързано с относително ниско плътни аномалообразуващи маси, изграждащ ядрото на тази позитивна структура.
Мандришкото понижение, характеризиращо се със сложна повърхностна морфология се проявява върху картите на локалните полета с относителен минимум.
Остатъчното гравитационно поле отразява цялостно Харманлийската моноклинала с положителна аномалия. Локализирани максимуми в обсега на аномалията отразяват блоковия строеж на моноклиналата. Интензивната магнитна аномалия съвпада с Тънковското подуване.
Сакарската антиклинала, ядката на която е изградена от каледонски и херцински гранитоиди с относително понижена плътност, се проявява върху локалните полета с много добре обособена отрицателна аномалия, изтеглена в посока изток-запад. Метаморфната мантия около ядрото на антиклиналата формира върху остатъчното поле неправилни по форма положителни аномалии.
Разломните структури, обхващащи повърхностния геоложки разрез, са застъпени широко в Източнородопската зона и намират добро проявление върху локалните потенциални полета.
Кърджалийската разломна зона, наложена върху източната периклинала на Среднородопската антиклинала, представлява остатъчно поле с често сменящи посоката си, не много добре издържани гравитационни преходи.
В западната периферия на Тинтявското подуване интензивен гравитационен преход маркира Авренската разломна зона, свързана с внедряването на серпентинизирани ултрабазити. Преходът има обща дължина 16-17 км., ширина около 1 км и среден хоризонтален градиент 4 mGal/км.
Камилдолската разломна зона, развита по южната част на Маджаровското структурно понижение, се проявява върху остатъчно гравитационно поле с много добре изразен гравитационен преход, който бързо сменя ориентацията си от субмеридионална до почти субпаралелна.
Добре изявен гравитационен преход с простиране, клонящо към субпаралелно, маркира Ибредженската разломна зона. Преходът има ширина около 2 км, хоризонтален градиент 3 - 4 mGal/км и дължина 30 км.

Аерогама-спектрометричните данни са представени от съдържанието на уран, торий, калий-40, и сумарното гама-лъчение (Фиг. 8), както и F-фактор (представляващ отношението между съдържанията на Уран, Торий и Калий-40).

$$\text{F фактор} = \left(\frac{U.Th}{K}\right),$$

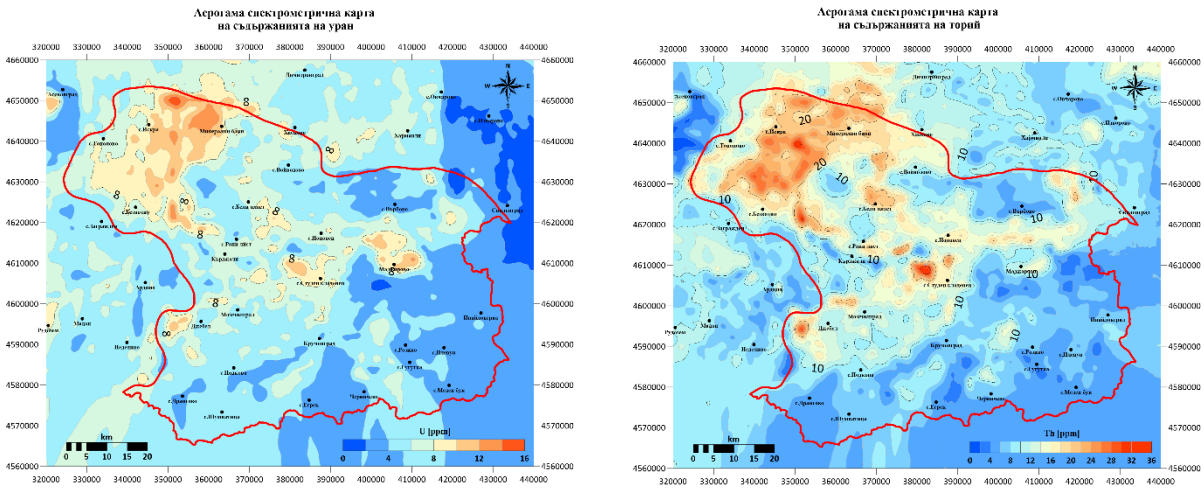
Данните получени от аерогама-спектрометричните измервания (Фиг.10 и 11), са твърде информативни по отношение изучаването на метесоматичните промени на скалите, характерни за златната

минерализация (Дайски и др.1986; Саров. 1994, 1995). На основата на резултатите от геоложката картировка са определени участъци с широко площно развитие на най-характерните за района на Източните Родопи, метаморфни и вулканогенно-седиментни скали, които са използвани за статистически анализ на аерогама-спектрометричните данни. Най-важните статистически данни са обобщени в Таблица 1.

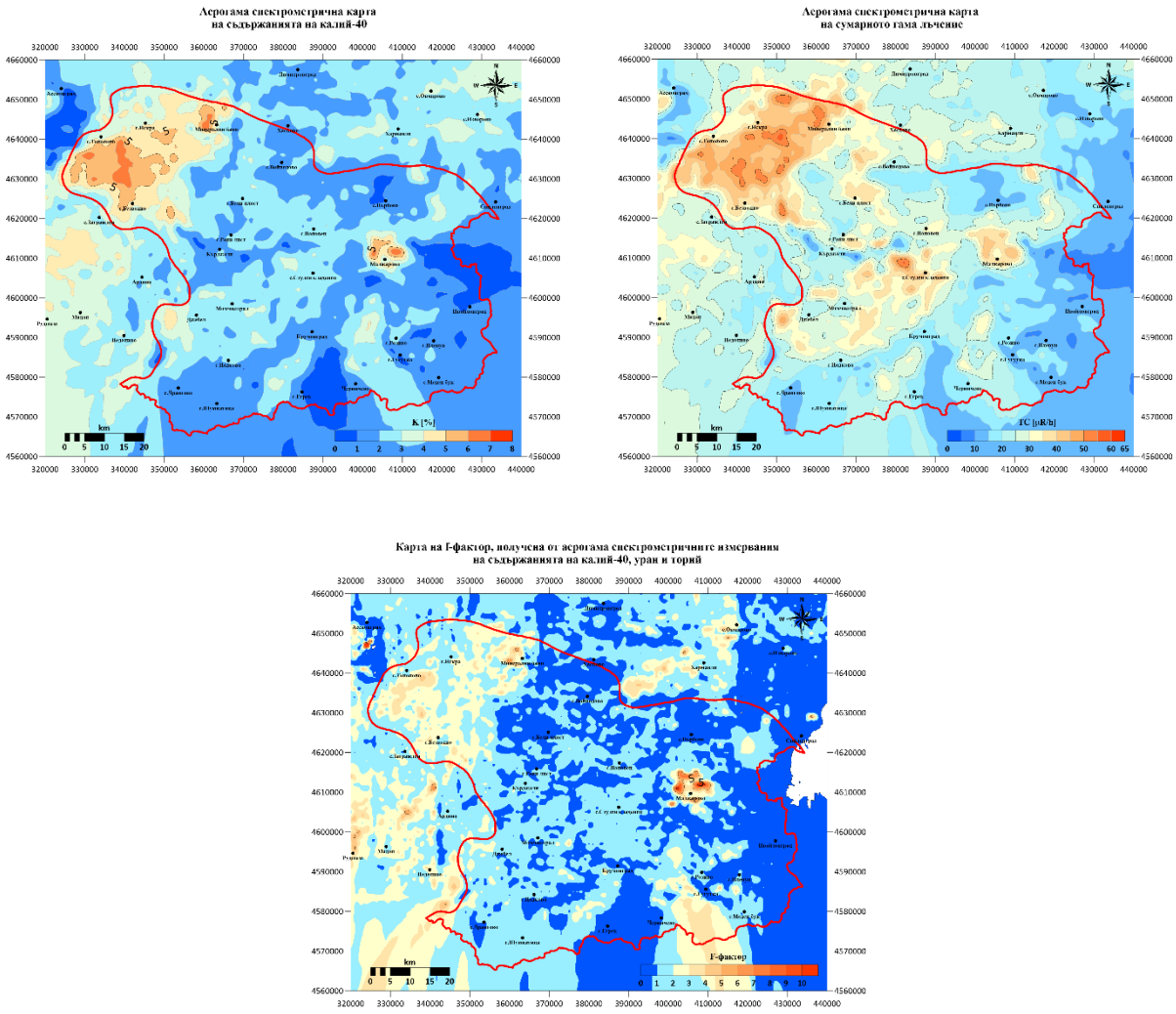
Таблица 1. Статистически данни за разпределението на радиоактивните елементи по аерогама-спектрометрични данни за основните литоложки разновидности в изследваната територия

Литоложка разновидност	***брой***	***Средни съдържания***			***Коефициент на корелация между K и Th***
		Калий %	Торий %	Уран %	
Пясъчници	111	1,88	8,40	4,20	0,73
Брекчоконгломерати	91	1,73	7,28	4,00	0,76
Кисели туфи и туфобрекчи	79	2,42	15,70	7,46	0,84
Риолити	56	3,00	19,20	8,00	0,78
Среднокисели туфи и туфобрекчи	108	2,10	10,20	6,10	0,54
Андезити	48	1,95	10,00	5,40	0,94
Андезитови лавобрекчи	43	1,81	7,78	4,35	0,69
Базалти	56	2,75	15,60	8,00	0,75
Гранити „чучулигински тип“	129	2,56	4,86	3,24	0,05
Мрамори	50	1,56	5,10	2,90	0,42
Амфиболити	88	1,11	4,70	2,80	0,67
Метагабра с ортоамфиболити	78	0,82	3,30	2,15	0,67
Шисти без гранат	86	1,43	5,61	2,97	0,83
Биотитови гнайси	102	1,39	7,00	3,00	0,63
Метагранити	78	2,23	7,54	4,08	0,61
Нискометаморфни шисти	33	2,11	6,20	3,64	0,73

С най-високи стойности на съдържанията на радиоактивните елементи U, Th и K-40 се характеризират киселите вулкански скали (риолити, кисели туфи и туфобрекчи) и базалтите. С повишени съдържания на K-40 се открояват и левкократните („чучулигински“ тип) гранити. Много ниската степен на корелация между калий и торий е свързана вероятно с повсеместната им напуканост и промяна. Най-ниски средни съдържания на радиоактивните елементи са установени за седиментните скали.



Фиг. 10. Карти на разпределение на съдържанието на уран и торий на територията на Източни Родопи



Фиг. 11. Карти на разпределение на съдържанието на калий-40, сумарното гама-лъчение (ТС) както и отношенията между съдържанията на уран и торий и калий (F-фактор) на територията на Източни Родопи

При извеждането на геофизичните признаци и предпоставки при търсенето на жилни златно-полиметални орудявания на територията на Източните Родопи, са използвани резултатите от изследванията в Попско-Белополското рудно поле, които включват изучаване на благоприятните структурно-литоложки, структурни, магмени и минералого-геохимични фактори за търсене на жилни златно-сребърно-полиметални минерализации, в които са включени следните геофизични критерии, характерни за жилни златно-полиметални минерализации от типа на находище Попско (Саров и др, 1994, 1995):

1. Участъци с високи стойности на т.н. F фактор, свързани с хидросерицитовите фациеси аргилизити. Те се оформят във вид на зони, маркиращи проницаеми рудоносни структури, благоприятни за златно-сребърна минерализация.
2. Ясно изразени северозападни зони на повишена напуканост и тектонизация на скалите.
3. Възли на пресичане на северозападни, субмеридионални и субекваториални нарушения, отделени по гравиметрични и магнитни данни като благоприятна среда за образуване на рудни стълбове.
4. Локални гравитационни минимуми и участъци с повишени съдържания на радиоактивните елементи U, Th и K-40, свързани с рудогенни субвулкански риолитови и риодацитови тела, благоприятни за жилни и прожилково-впръснати орудявания.
5. Интензивни локални магнитни максимуми, свързани с тела от серпентинизирани ултрабазити, чийто контакти са благоприятна среда за жилно орудяване.

6. Локални, обикновено по-слабо изразени, магнитни максимуми, обусловени от метагабра с повишени магнитни свойства, благоприятни за жилно орудяване. Броеницоподобно наредени аномалии от такива тела са установени на север от с. Попско, в близост до навлачната повърхност в северната периферия на Белоречкото подуване.
7. Локални положителни магнитни и гравитационни аномалии, свързани със субвулкански тела от андезитови и диоритови порфирити, благоприятни за прожилково-впръснато или жилно орудяване.
8. Локални, не особено интензивни, гравитационни минимуми, свързани с тела от левкократни гранити. Техните активизирани контакти са благоприятни за отлагане на жилно и прожилково-впръснато орудяване.

В обхвата на разкритите жили с повишени съдържания на злато и сребро са установени метасоматични промени от типа на серитизация, каолинизация, окварцяване, кварц-адуларизация. С някои от тях са свързани интензивните аномалии на F-фактора.
Изброените геофизични аномалии се намират в западната периферия на предполагаемо по гравиметрични данни гранитно тяло, което по своята геофизична характеристика отговаря на неголяма по размери интрузия.
Изведените най-характерни за района геофизични признаци и предпоставки на примера на Попско-Белополското рудно поле и отчасти рудопроявление Горноселци дават възможност да се набележат и други перспективни за откриване на златни, сребърни и полиметални орудявания в този и съседни на него участъци от Източните Родопи.

Извод

Комплексният анализа на резултатите от изследваните локални трансформанти на гравитационното поле, модула на тоталния геомагнитен вектор *Ta* и на вертикалната компонента на геомагнитното поле *Za*, както и на разпределението на радиоактивните елементи U, Th и K-40 от аеро-гама спектрометричните проучвания, позволява да се направят някои основни изводи:

- Използването на различни локални тарансформанти на потенциалните полета позволява надеждно картиране на местоположението и ориентацията на различни вертикални или наклонени дълбоки дислокации, разломни структури, контакти на масивни блокове, интрузии, граници на грабенови и хорстови структури, както и антиклинални и синклинални структури.
- Комплексната обработка, анализ и интерпретация на геоложката, геохимичната и геофизична информация, представлява мощен инструмент при решаване на прогнозни задачи при търсенето на потенциални рудоносни структури.

Литература

Georgieva, G., S. Nikolova. 2013. The Moho Depth and Crustal Structure beneath Bulgaria Obtained from Receiver Function Analysis, Comptes rendus de l'Acade'mie bulgare des Sciences, Vol 66, No5, pp.725-732

Dimovski, S., R. Radichev. 2002. Interpretation of the horizontal gravity gradient in the Central Rhodope region. 3-rd Balkan Geophysical Congress and Exhibition, 24-28 June 2002, Sofia, Book of abstracts, 263-264

Metodiev, M., P. Trifonova. 2016. Geophysical analysis of the Eastern Rhodope region, Compt. Rend. Acad. Sci, v. 69, № 5, 615-621

Trifonova, P., D. Solakov, S. Simeonova, M. Metodiev, P. Stavrev. 2013. Regional pattern of the earth's crust dislocations on the territory of Bulgaria inferred from gravity data and its recognition in the spatial distribution of seismicity, Pattern Recogn. Phys., 1, p. 25-36, doi:10.5194/prp-1-25-2013

Tzankov, Ch. 2015. SYstem for Modelling and INterpreting of GRavity ANomalies (SYMINGRAN). 8th Congress of the Balkan Geophysical Society. 5-8 October 2015, Chania, Greece. ISSN: 2214-4609.

Stavrev, P., S. Dimovski, A. Kisyov, P. Trifonova, M. Metodiev. 2019. Regional mapping of geophysical and geological data in the process of their integrated analysis and interpretation. 10th Congress of Balkan Geophysical Society, 18-22 September 2019, Albena Resort, Bulgaria

Stavrev, P., D. Solakov, S. Simeonova, P. Trifonova. 2009. Regional set of dislocations in the Earth's crust of Bulgaria according to gravity data, Conference Proceedings, 5th Congress of Balkan Geophysical Society, May 2009, cp-126-00091, https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.126.6507

Дайски, К., С. Павлов, Р. Рангелов. 1986. Прогнозиране на площи, перспективни за полиметални орудявания, по данни от комплексните аерогеофизични проучвания в Лозенското рудно поле. Списание на БГД, год. XLVII, книга 2, 188 – 196 с.

Димовски, С., Р. Радичев. 2004. Изследване на локални трансформанти на гравитационното поле. Годишник на МГУ, Том 47, Св. I, Геология и геофизика, 291-296. ISSN: 1312-1820

Йосифов, Д., Г. Георгиева. 2018. Строежни особености на горната мантия на територията на крупните рудни находища на цветни метали в България, Геология и минерални ресурси, брой:2-3, 2018, стр.:3-9

Радичев, Р., С. Димовски. 2003. Количествена интерпретация на хоризонталния градиент на гравитационното поле за прагови структури по данни от статистически анализ. Годишник на МГУ, Том 46, Св. I, Геология и геофизика, 409-414. ISSN: 1312-1820

Саров, С., Д. Цветанов, М. Овчарова, Й. Гергелчева, Н. Марков, Е. Миков, Л. Никова, А. Цветков, Д. Цветкова, В. Вълков, И. Калинова. 1994. Доклад за резултатите от изпълнението на геоложка задача: "Геоложко картиране в мащаб 1:25 000 и комплексна оценка на минералните ресурси в централната част на Белоречкото подуване, в района на селата Тинтява, Железино, Черничево и Ботурче на площ от 430 кв. км. Геофонд на МОСВ, IV-415

Саров, С. и др. 1995. Доклад за резултатите от изпълнението на геоложка задача: "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

Цветков, А. 2005. Геофизична характеристика на някои вулкански структури в централната част на Момчилградското понижение. Годишник на Минно-Геоложкия университет “св. Иван Рилски”, Том 48, Св. I, Геология и геофизика, 2005