

Gravity and magnetic explorations of porphyry-copper and gold-bearing ore mineralizations in mountains areas

Petar Stavrev¹ and Aleksander Tzvetkov¹

¹ University of Mining and Geology „St. Ivan Rilski”, Dept of Applied Geophysics, pstavrev@mail.bg, atzvetkov@mgu.bg

Key words: gravity, magnetics, exploration, ore, mountain

Abstract

Geophysical land surveys in mountains areas face problem due to the complicated relief of high level differences and strong height gradients, as well as because of difficulties in accessibility of observation points. Modern aeromagnetics can be applied instead, but the use of constant level reduce the signal from the remote objects of interest, while flight lines following local relief produce data of changeable heights like in a ground survey. Detailed ground gravity and magnetic surveys can be very useful in the process of exploration in case of opencast mining. Such conditions exist at the “Elatsite” ore deposit in Stara Planina mountain, Bulgaria. Gravity data analysis and interpretation there contribute to the delineation of faults and hydrothermal zones, while magnetic data are important base in the search for magmatic structures that create conditions for ore mineralizations. Field geophysical data and interpretation results are shown for the opencast mine “Elatsite” of 500 m quarrying depth and diameter of 2 km.

Гравиметрични и магнитометрични проучвания на меднопорфирни и злато-съдържащи рудни минерализации в планински райони

П. Ставрев, Ал. Цветков

Въведение

В района на находище „Елаците” и периферните му части са проведени поетапно от 1997 г. до 2008 г. гравиметрични и магнитометрични изследвания за изясняване на металогенната му перспективност (Трендафилов и др., 1997; Тонков, Исаев, 2005; Тонков и др., 2007 и др). Анализът и интерпретацията на геофизичните данни позволи да се получи важна информация за редица елементи на геоложкия строеж на района - разломни структури и техните възли, участващи на хидротермални промени, наличие на магмени тела, свързани с търсените рудни минерализации. Широко е използвано моделиране на геофизичните полета с привличане на наличните геоложки данни и резултатите от провежданите в различни години детайлни магнитни, гравиметрични и електрични проучвания (Цветков, 2005; Ставрев и Цветков, 2008 и др.).

Кратка геоложка характеристика

Най-голямо разпространение в изследвания район имат гранодиоритите с херцинска възраст от Веженския плутон и разположените на юг от тях долнопалеозойски филити, шисти и други скални разновидности, част от които са контактно променени (С. Калайджиев и др., 1984; Ж. Иванов и др., 2004; Георгиев, 2004 и др.). Сред тях често се срещат субвулкански и хипоабисални интрузивни тела – предимно монцодиоритови или гранодиоритови порфирити, чието внедряване се контролира от субекваториалния Кашански разлом. Магмените тела са играли съществена роля в процеса на рудообразуване и тяхното изучаване се счита за важна задача на металогенните изследвания в района (Петров, 2005). Други много добре изразени тектонски нарушения са с направление СЗ и ЮИ. В отделни участъци се разкриват горнокредни седименти.

Физични свойства на скалите

Плътносните и магнитните свойства на скалите в находището са изследвани чрез лабораторни измервания на около 700 броя образци от сондажна ядка и повърхностни разкрития, събирани и изследвани при провеждането на геофизични изследвания в различни години.

Таблица № 1. Плътност и магнитна възприемчивост на скалите в района на находище „Елаците”

№	Литоложка разновидност	Брой образци	Плътност, g/cm ³	Магнитна възприемчивост, x10 ⁻⁵ SI
1	Гранодиорити (Веженски плутон)	367	2,58	482
2	Шисти (неподелена Берковска група)	162	2,70	1332
3	Кварц-сиенодиоритови порфирити	62	2,59	470
4	Диоритови порфирити	21	2,58	726
5	Гранодиоритови порфирити	29	2,59	1114
6	Хорнфелзи	30	2,69	550
7	Пясъчници	31	2,53	7

Най-плътни са нискометаморфните скали – непроменени и контактено променени филити, шисти и др. със средна плътност 2,695 g/cm³. Оформената плътностна граница от 0.10 g/cm³ между тях и гранодиоритите на Веженския плутон, както и с дайките от различни видове порфирити със средна плътност 2,59 g/cm³, оказва доминиращо влияние върху гравитационното поле в находището. Друга изявена плътностна разлика от 0.06 g/cm³ се наблюдава между метаморфитите и седиментните скали, които имат средна плътност 2,53 g/cm³. Разкриват се южно от руднекк Елаците до към меридиана на връх Баба.

В строежа на района участват разнообразни скали, част от които са с повишени магнитни свойства. Такива са шистите и гранодиоритовите порфирити, след тях се нареждат диоритовите порфирити, хорнфелзите, диоритовите и сиенодиоритовите порфирити. Магмените и разнообразните метаморфизирани тела създават на места линейно изтеглени и интензивни знакопроменливи магнитни аномалии. Седиментните скали се открояват рязко с много ниския си магнитен ефект.

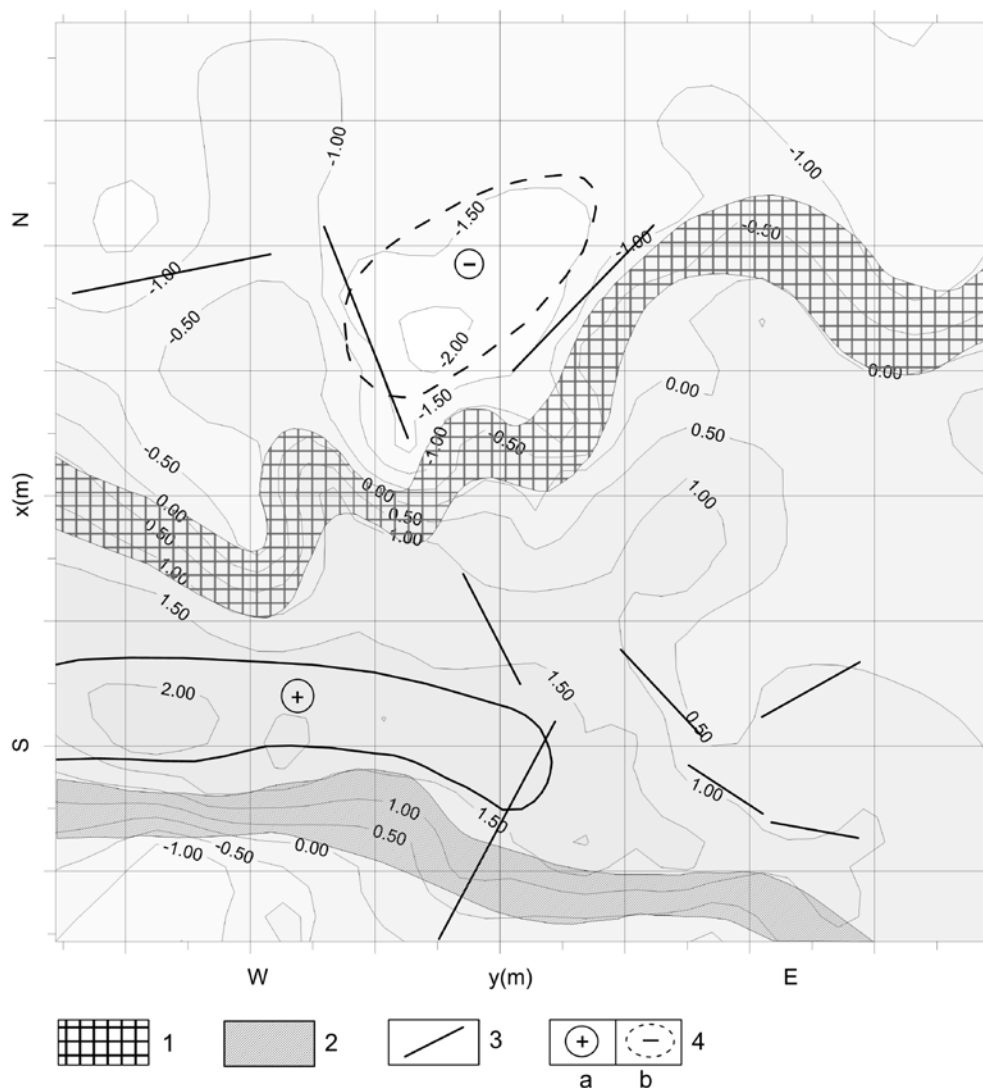
Анализ на геофизичните данни

Гравиметричните работи са извършени със средна гъстота на измервателната мрежа 16 т./км². Изчислени са аномалиите Буге в полето на силата на тежестта Δg с корекции за релеф в радиус до 250 km при стандартна плътност на междинния слой 2,67 g/cm³. Те са използвани за определяне на регионални и локални трансформанти на полето чрез аритметично усредняване с различни радиуси и изчисляване на хоризонталния градиент (Димитров, 1976, Димитров и Ставрев, 1986).

В резултат от магнитните измервания с гъстота 25-30 т./км² е определено аномалното магнитно поле ΔT_a с отчитане на международното референтно геомагнитно поле IGRF. Релефът на площта е силно насечен и на редица места е труднодостъпен за геофизични измервания. По тази причина в някои участъци се наблюдава неравномерност на гравиметричните и магнитометричните точки, което се отразява там на точността на проведената интерпретация. Освен с данни от измервания с протонен магнитометър се разполага също с резултати за полето на вертикалната магнитна компонента ΔZ и с електрични профилирания от минали години, които са използвани тогава за картиране на разломни зони, кварцови сулфидни жили и силно магнитни магмени и метаморфни скали, в района на изток от рудник “Елаците” (Цветков, 2005).

Полето на силата на тежестта в района съдържа предимно аномалии от вида на градиентен преход от едно към друго ниво на гравитационния интензитет, както и някои локални максимуми и минимуми (Фиг.1). Анализът на пълния хоризонтален градиент на гравитационното поле и на аномалиите Буге показва, че линейните аномалии на Δg следват изразените в рудника и околните площи разломни нарушения, които са с направление И-З и СЗ-ЮИ. Най-добре се откроява широкият и пространствено издържан гравитационен преход със субекваториална посока, предизвикан от ефекта на плътностната граница между гранодиоритите на Веженския плутон и по-тежките метаморфити. Наблюдават се усложнения в неговата форма, които в съответствие с геофизичните

данни се предизвикват от участъци с взаимно проникване на гранодиорити и метаморфити в дълбочина. Поради установената закономерност за локализиране на порфирните орудявания в



- 1-гравитационен градиент на контакта гранодиорити-метаморфити;
- 2-гравитационен градиент на контакта метаморфити-горнокредни седименти, южно от рудника;
- 3-оси на максимуми в хоризонталния гравитационен градиент по фрагменти от разломи, контакти и др
- 4-гравитационни аномалии, свързани с максимална изява на маси от: а) метаморфити, б) гранодиорити

Фиг. 1. Карта на локалното аномално гравиметрично поле в котлована и близката околност на открит рудник „Елаците” с очертаните линии и зони на разломни нарушения, на контакти и на взаимно проникване на гранодиорити и метаморфити в дълбочина с по-крупните техни средоточни масиви

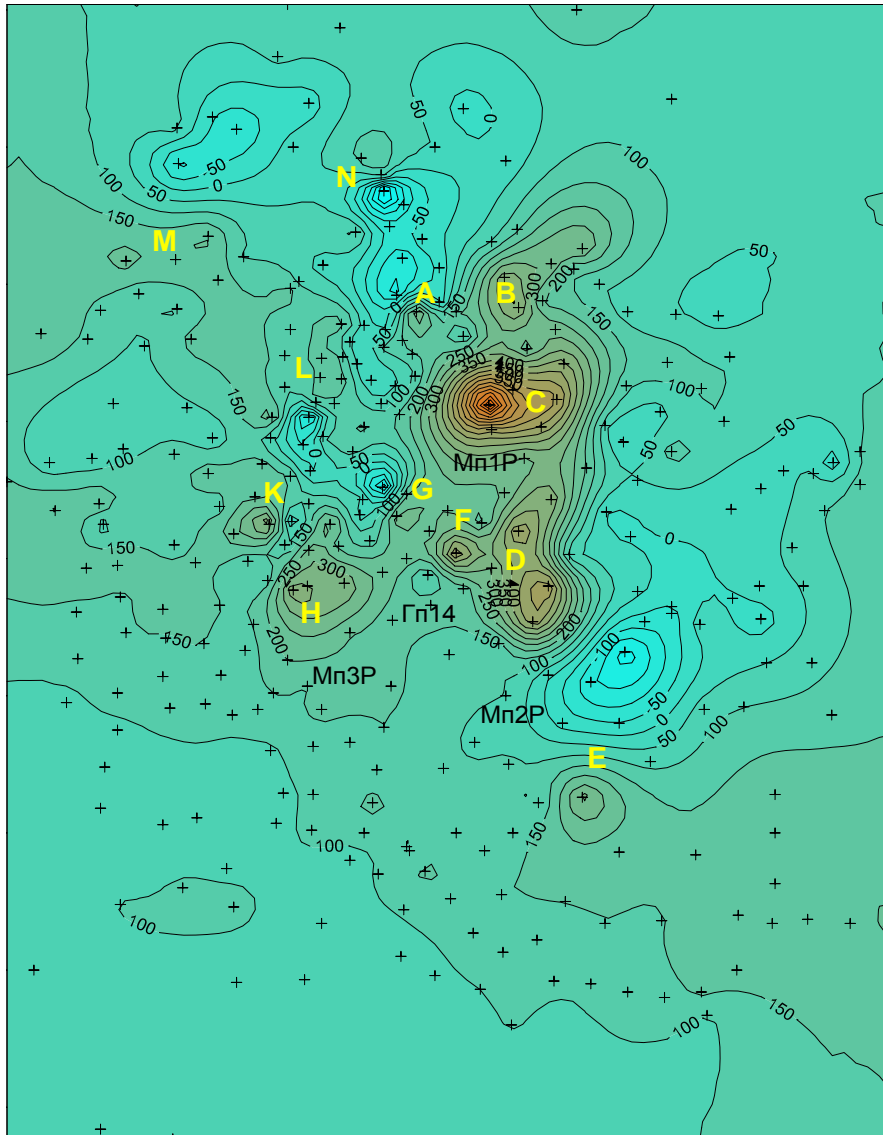
участъците на прекъсвания и отмествания на главната зона на срязване в находището (Ж. Иванов и др., 2004; Н. Петров, 2005) тези особености на гравитационното поле считаме за важен металогенен признак.

Интензивността на аномалното магнитно поле се изменя в диапазона от -350 nT до $+1000$ nT, без в рамките на картата да се проявява подчертан тренд. Обособяват се множество локални аномалии, на места близко разположени и интерфериращи (Фиг.2). Често те попадат в участъци на струпване на дайкови тела, които по принцип не са с големи размери. Липсата на ясна пространствена привързаност на контрастните локални магнитни аномалии с нито една от разкриващите се литоложки разновидности, води до извода, че вероятно те се предизвикват от по-

дълбоко разположени аномалообразуващи маси. В съответствие с геоложките представи за образуването на рудната минерализация в находище „Елаците”, най-вероятно това са шокообразни магматогенни тела, които са подхранвали образуването на хипоабисалните дайкови тела. За оценка на техните параметри бяха проведени моделни изследвания.

Моделиране на аномалното магнитно поле

Количествената интерпретация на аномалното магнитно поле в изследвания район е осъществена с използване на 2.5-мерни модели. Избран е моделът на смутител с трапецовидна форма, с който успешно се моделират разнообразни по форма интрузивни и ефузивни масиви, компактни и пластови тела с произволен наклон и др. Получават се оценки за дълбочината на залягане, наклона, обема и намагнитеността на смутителя, като се постига единственост на решението в рамките на възприетия модел.

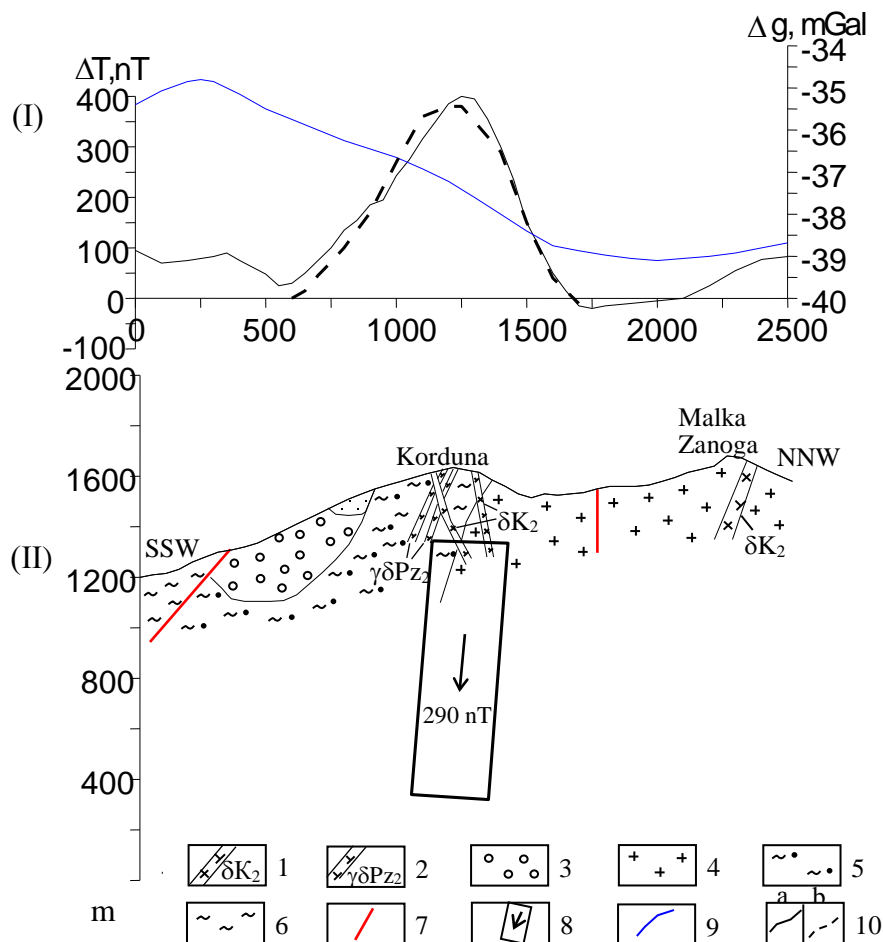


Фиг. 2. Карта на аномалното магнитно поле в котлована и близката околност на открит рудник „Елаците” с буквени означения на проявените магнитни аномалии

Оптимизацията на моделите е извършена с компютърните програми MINSFER2 и TRAPZT07 (Ставрев и Радичев, 1988–1989, Stavrev, 1991). Първата програма служи за формиране на начално приближение към магнитните и гравитационни интерпретационни задачи от руден тип. Втората е с

увеличен брой на оптимизираните параметри в 2.5-мерното моделиране. Предвидено е отчитане на денивелациите на терена, достигащи 500 m в открития рудник. Те са съизмерими с дълбочините и размерите на магнитните смутители, което усложнява качествена и количествена интерпретация на данните.

Едно от получените решения на обратната магнитна задача на североизток от открития рудник (Цветков, 2005) очертава почти вертикално залягащо магнитоактивно тяло (Фиг. 3) с дебелина кръгло 250 m, дължина 280 m, дълбочини на горната и долната граница съответно 250 m и 1250 m и намагнитеност 2.9 A/m (1 A/m = 100 nT).



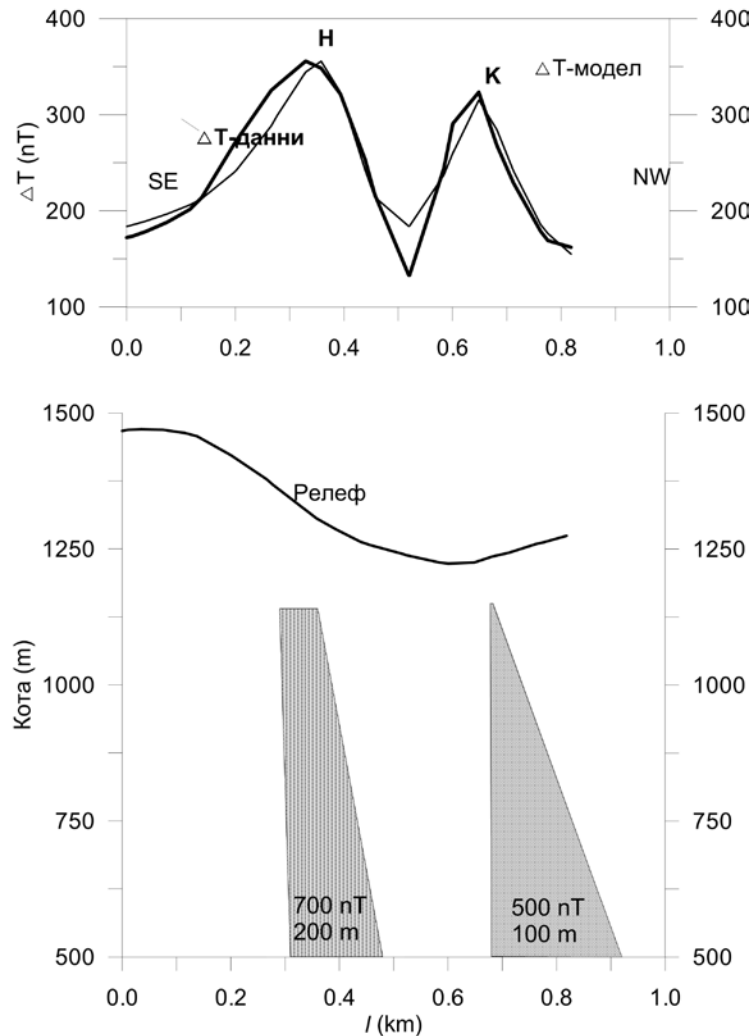
Фиг. 3. (I) Магнитен и гравитационен профил през връх Кордуна;
(II) Геолого-геофизичен вертикален разрез по линията на профила.

Означения:

- 1 – диоритови порфирити; 2 – гранодиоритови порфирити;
- 3 – дребнокъсови конгломерати; 4 – гранодиорити (Веженски плутон);
- 5 – контактно променени шисти; 6 – хлоритови шисти; 7 – разломи;
- 8 – модел на магнитното тяло с вектора на ефективната намагнитеност;
- 9 – гравитационна аномалия Δg ; 10- магнитна аномалия ΔT :
- а) – по данни от измервания, б) – изчислена за модела

Поради малката плътностна разлика с вместиращите скали тялото не създава забележима гравиметрична аномалия Δg . Прекараният по геофизични данни сондаж С-9 пресича на определената дълбочина шокообразно магмено тяло. То се следи в 200- метров сондажен интервал до забоя на дълбочина 300,2 m от земната повърхност.

Характерен пример за резултатите от съвместното моделиране на две интерфериращи аномалии в югозападния склон на открития рудник е представен на Фигура 4 (Ставрев и Цветков, 2008). За целта са използвани интерпретационен профил, свързващ двете аномалии и напречни профили през максимумите на аномалиите, отбелязани с Н и К (Фиг. 2), при денивелация на терена 250 m (Фиг. 4). Получените оптимални параметри представят магнитните смутители Н и К като вертикално изтеглени в дълбочина щокобразни тела. Те имат сравнително висока намагнитеност от 7 A/m и 5 A/m, близка до тази на базични и средно базични диоритови масиви.



Фиг. 4. Магнитен профил (горе) през максимумите на аномалиите Н и К и вертикален разрез (долу) на трапецовидните модели на магнитните тела Н и К, съгласно минимизацията на разликата между измерената аномалия ΔT -данни (удебелената крива) и изчисленото магнитно поле ΔT -модел (горе)

Дълбочината на горната повърхност на магнитните тела е съответно 200 m и 80 m от разкритата по време на измерванията повърхност на рудника, а на долната е към 600 m. Напречното хоризонтално сечение на тялото Н е средно 130x200 m, обемът му приближава 15 мил. кубични метра. Подобни са параметрите и на второто моделно тяло К. Според показаните моделни резултати причинителите на магнитните аномалии се очертават като субвертикални магмени тела на гранодиоритови и диоритови порфирити.

Заклучение. Проведените изследвания в района на обект „Елаците” показват, че при търсене и проучване на меднопорфирни и златосъдържащи орудявания резултатите от геофизичните методи успешно могат да се прилагат за установяване особеностите на геоложкия строеж – трасиране на

тектонски нарушения и техните възли, установяване на важни за металогенното прогнозиране черти в поведението на рудоконтролиращи разломи, отделяне и изучаване на участъци с интензивни хидротермални промени и др. Количествената интерпретация на магнитното поле позволява да се откриват и оценяват параметрите на шокообразните магмени тела, които според съвременните представи подхранват рудната минерализация в такъв тип находища. Получените резултати определят включването на геофизичните методи като важна част от комплекса на търсещите и проучвателни геоложки изследвания в находище "Елаците".

Авторите изказват благодарност на Ръководството на „Елаците - Мед АД“ за любезното разрешение да публикуваме данни и резултати от геофизичните и геоложки проучвания на обекта.

Литература

- Георгиев, Г. 2004. Геология на меднопорфирното находище Елаците. Год. МГУ, София, 47, 1, 75-82.
- Димитров, Л. *Гравипроучване*. 1976. Изд. Техника, София, 289 с.
- Димитров, Л., Ставрев, П. 1986. *Магнитни методи в геофизиката*. Изд. ВМГИ, МНП, София, 434 с.
- Иванов, Ж., Петров, Н., Лазарова, Н., Недкова, К. 2004. Структурна характеристика на находище "Елаците" – строеж и регионална позиция. Геодинамични условия на формиране на горнокредните магмени тела в областта и оценка на техния рудоносен потенциал. Ок. отчет по дог. 1567/2002.
- Калайджиев, С., Хаджийски, Г., Ангелов, К. 1984. Структурни условия за локализацията на меднопорфирното находище Елаците. Сп. Бълг. геол. д-во, 45, 2, 189-196.
- Лазарова, А. 2007. Структура, условия на формиране и тектонска позиция на Веженския плутон. Автореферат дисерт., СУ "Св. Кл. Охридски"
- Петров, Н. 2005. Механизъм на внедряване на горнокредните магмени тела в района на меднопорфирно находище Елаците. Год. СУ, ГГФ, кн. 1, т. 98, 43-64.
- Ставрев, П., Радичев, Р. 1988 – 1989. Алгоритми и програми за интерпретация на магнитни и гравитационни аномалии с 2 1/2 - мерни модели, Год. ВМГИ, XXXV, , св. 3, 27 - 38.
- Ставрев, П., Цветков, А. 2008. Изучаване закономерностите на геофизичните полета в рудник „Елаците“ на основата на качествена и количествена интерпретация на наличните данни. Доклад по договор с Геоинс ООД .
- Stavrev, P. 1991. Construction and optimization of models in 2 1/2 - D magnetic interpretation. 9th Intern. Sem. on Model Optimization in Exploration Geophysics, Free University of Berlin, VIEWEG, Berlin, 23 - 138.
- Тонков, П., Исаев, Ч. 2005. Доклад за извършените магнитни измервания на рудник "Елаците". Геоинс ООД, подизпълнител "Софгеолинт" ООД.
- Тонков, П., Исаев, Ч, Костова, Н. 2007. Доклад за резултатите от гравиметричните изследвания в находище "Елаците" и западно от него (Елаците-Пирона) . Геоинс ООД, подизпълнител "Софгеолинт" ООД.
- Трендафилов, Б., Цветков, А., Цветкова, Д. 1997. Доклад "Съставяне на гравиметрична карта в М 1:25000 в района на рудник "Елаците". Геотехмин – СВС "Консулт и инженеринг – ООД", подизп. НИИ "Геология и геофизика" АД.
- Цветков, А. 2005. Геофизична характеристика на площта "Елаците – Свищи плаз". Отчет по договор с Геоинс ООД.