Разломни структури, водни тела и рудна минерализация от електропроучвателните данни по югоизточния борд на рудник „Елаците”

Стефан Шанов[1], Иван Василев[2], Желязко Ялъмов[2], Марлена Янева[1]

[1] Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, s-shanov@geology.bas.bg; marlena@geology.bas.bg

[2] Ellatzite-Med AD, Geotechnical Department, i.vasilev@ellatzite-med.com; zhelyazko_yalamov@yahoo.com

Fault structures, water bodies and ore mineralization from electrical prospecting data on the south-eastern edge of the open pit “Ellatzite”

Stefan Shanov[1], Ivan Vasilev[2], Zhelyazko Yalamov[2], Marlena Yaneva[1]

Geophysical survey in 2013 and 2015 on the south-eastern edge of "Ellatzite" open pit and adjacent areas to the southeast to river Ravna was accomplished by the methods of vertical electrical sounding and DC electrical tomography profiling by measuring the electrical resistivity and polarization characteristics of the rocks. Chosen methodology allows minimum depth of the study to be about 74 m, and the maximum depth of the study to reach to 156 m. Geophysical cross sections (resistivity and polarization) indicate a heterogeneous rock structure with multiple faults that are developed at the contacts and within individual lithological units. Fault structures control the water bodies and areas with high content of ore minerals in the studied rock massif. Data file containing 46918 records of resistivity, induced polarization and electrical conductivity and corresponding coordinates of media (centers of elementary blocks profiles) is created.
A new index Kw is calculated as an indicator to determine the water saturation of the rock massif. All zones with index Kw ≤ 2 are assumed as water saturated. The standard index MF (metal factor) is also calculated to determine the zones with increased ore mineralization. Zones with MF>100 F/m are conditionally accepted limit for increased ore mineralization. Corresponding maps of horizons with elevation of 1090 m to 1510 m are composed, taking into account the spatial parameters of the fault network. On these maps the controlling role of the faults on the water bodies in the massif is displayed, as well as the relationship of zones of ore mineralization with some of the faults. 3D models of water index Kw and the metal factor MF from horizon 1285 m to horizon 1450 m in the research area are built.

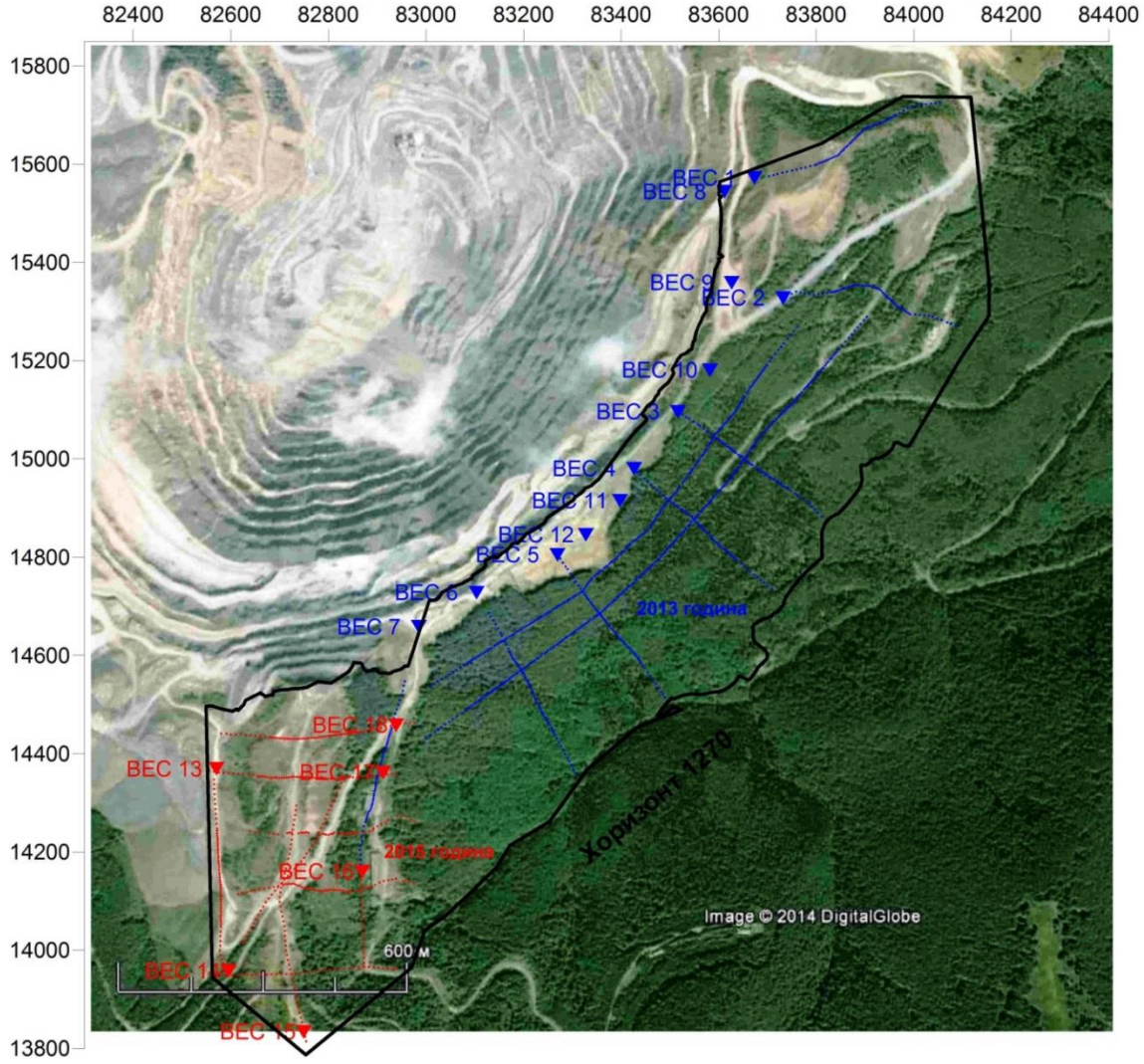
Ключови думи: Електрическа томография, Вертикално електрическо сондиране, Воден показател, Метален фактор

Въведение

В изпълнение на комплексната програма от дейности за обезпечаване на етапно отработване на открития рудник „Елаците” в периода 2013-2031 г. е предвидено и извършване на специализирани геофизични изследвания източно и южно от рудничния котлован до високите билни райони на Стара планина.
Рудникът е развит върху хетереогенен скален комплекс основно от магмени, метаморфни и по-малко седиментни скали. Основната минерализация е медно-сулфидна, преобладава порфирния тип орудяване. Целта на изследванията е да се получи възможно максимална информация за геоелектричния разрез в дълбочина с цел уточняване на структурно-тектонските, инженерно-геоложките и хидрогеоложките условия в района на рудника, както и установяване на рудни проявления в зоната на бъдещите съоръжения (системи за водохващане и отвеждащи подземни галерии).
Изследванията са извършени през 2013 г. и 2015 г. с техническите възможности на Геологическия институт при БАН. Приложен е методическият опит на колектива, провел предходните геофизични изследвания в различни участъци в и около рудника при съдействието и активното участие на специалистите от Геотехническия отдел на рудник „Елаците”. Изследванията включват:

1. Електрически томографски изследвания по 18 бр. профили до дълбочина от земната повърхност 80 m и с обща дължина 8700 m (електрическо съпротивление и предизвикана поляризация);
2. Вертикално електрическо сондиране в 18 бр. точки (електрическо съпротивление и предизвикана поляризация) до дълбочина от земната повърхност над 100 m.
3. Изготвяне на 3D модел и хоризонтални планове през 15 m с анализ и обобщаване на резултатите от геофизични изследвания.

Спецификата на задачите наложи да се приложат нестандартни решения, съобразени с релефа на местността, с геоложките и структурни особености на конкретната зона на медно-порфирното находище в етап на интензивна експлоатация. Едно от тях е интегрирането на вертикалното електрическо сондиране в електротомографските профили, с което се увеличи качеството на геофизичните изследвания. На практика са изготвени 20 бр. комбинирани електротомографски профила с получаване на информация за дълбочини над 200 m от повърхността. Общата дължина на профилите 10 632 m. Друго нестандартно решение е въвеждането на водния показател Kw за да може по-ясно да се разграничат зоните с повишено водно съдържание в скалите (водни тела).
На фиг. 1 е представена общата схема на електротомографските профили и местата на вертикално електрическо сондиране (ВЕС) от изследванията през 2013 и 2015 г.



Фиг. 1. Разположение на геофизичните проучвателни профили и точки от 2013 г. (син цвят) и 2015 г.(червен цвят) в югоизточната част на рудник „Елаците”, отнесени в план към контура на хоризонт 1270 през 2015 г. Основата е от Google Earth, 2014 г.

Използвани методи

За изследване на особеностите на геоложкия разрез се използва разнообразен набор от геофизични методи на проучване, в зависимост от конкретните задачи и от условията на терена. В райони от типа на този около рудник „Елаците" широко приложение намират електросъпротивителните методи с постоянен ток. От различните модификации на тези методи са избрани тези, които най-добре обезпечават решаването на конкретните задачи. По-долу се представят спецификите на използваните методи, като са направени необходимите допълнения и уточнения, свързани с решаването на задачите през 2013 г. и 2015 г.

Наборът от методи решава редица задачи, свързани със структурата на находището (разломни и контактни зони), рудната минерализация и подземните води. Основно са използвани методи за измервани два параметъра на електрическите характеристики на средата – привидно електрическо съпротивление и предизвикана поляризация.

Привидното електрическото съпротивлението класически се дефинира като интегрална характеристика на геоелектричните свойства на средата, попадаща между двата електрода, захранващи с постоянен електрически ток измервателната схема. За условията на рудник „Елаците" неговите стойности се променят в изключително широк диапазон. Прясната вода има ниско електрическо съпротивление от **10 до към 100 Ohm.m** в някои случаи. В напукани системи със свързани водни количества електрическото съпротивление се определя като ефект от смесена среда с доминираща йонна проводимост. В изследвания участък в разреза се срещат основните скални разновидности за месторождението – филити и шисти, гранодиорити, гранитпорфири, хорнфелзи. Електрическото съпротивление на филитите и шистите е от порядъка на **няколко стотин Ohm.m.** От предишни изследвания в рудника за този тип метаморфни скали са регистрирани съпротивления до **600 Ohm.m**. Гранодиоритите и хорнфелзите са с много високи електрически съпротивления – от порядъка на **няколко хиляди Ohm.m.** Специално при хорнфелзите тези стойности могат да достигнат и до **десетки хиляди Ohm.m**. В приразломните и контактни зони на отделните скални формации, както и в самите формации могат да се определят зони с понижени електрически съпротивления, които се дължат на рудна минерализация. Пясъчниците и конгломератите в най-южната част на изследваната площ, имат електрически съпротивления от **няколко стотин до няколко хиляди Ohm.m** в зависимост от степента на напукване и оводняване.

Вторият използван метод е този на **предизвиканата поляризация** или Induced Polarization (*IP*) в английската терминология, използвана в апаратурните комплекси и изчислителния софтуер. Измерва се спадането на електрическия потенциал (наречен „преходен потенциал") в скалите, след изключване на захранващия електрически ток. Спадът на потенциала е толкова по-бавен, колкото е по-високо съдържанието на електропроводящи минерали (например, различни рудни минерали). Ако проводимостта на скалите е йонна, т.е. носители са различни флуиди, най-често вода по разломи и пукнатини, то поляризация отсъства.

В конкретните изследвания зарядността *M* (*Chargeability*) се измерва като площ в даден времеви интервал $[t_i, t_{i+1}]$:

$$M = \frac{\Delta U}{U_0} \int_{t_1}^{t_{i+1}} U(t)dt$$

$U(t)$ е преходният потенциал за времето от t_i до t_{i+1}, а U_0 е потенциалът, измерен преди изключване на захранващия ток. Размерността на M е милисекунди [ms].

Наличието на вода в скалите понижава и поляризационните характеристики на средата. Рудната минерализация засилва поляризационния ефект. Т.е. при общо ниски електрически съпротивления на средата поляризационната характеристика ще покаже дали това е ефект от наличие на вода или на рудна минерализация. При определени условия рудната минерализация в напукан и оводнен скален обем може да повиши неговите поляризационни характеристики, но при наличие на вода йонната проводимост доминира електронната, защото тя е по-ефективната.

Поради недокрай изяснени теоретично причини, в някои случаи се регистрират отрицателни стойности на зарядността. Подобни регистрации се получиха и при настоящите изследвания. От физическа гледна точка това е невъзможно. В литературата са публикувани различни мнения за появата на този ефект

(напр. Parasnis, 1997; Sharma, 2004). Най-приемливото обяснение се свързва с факта, че стойността на преходния потенциал е само 1-2 % от зарядния. Когато почвата, в която се заземяват електродите, е с висока проводимост и/или захранващите кабели са много дълги, или няма добро заземяване на електродите, електромагнитната индукция по кабела създава потенциални разлики, които се наслагват с тези, създадени от реалния IP-ефект. При нисък или нулев поляризационен потенциал, чисто технически, вторичната индукция може да доведе до регистрация на нереалистични отрицателни стойности на IP поради капацитивно наслагване с обратен знак.
В настоящето изследване, както и в предходните в района на рудник „Елаците", се приема, че регистрираните негативни стойности (обикновено при най-големите разстояния между захранващите електроди) отразяват нулеви или много ниски стойности на реалния IP ефект. В такъв случай, на всички негативни измервания е присвоена стойност **0** (нула) за да се минимизира изкривяването на информацията при интерпретационния процес.

Апаратура

Пълният комплект апаратура използвана при изследванията включва:

- Terrameter – ABEM SAS 1000
- селектор на електроди – ES 10-64C
- многожилни кабели (4 бр. x 21 електрода, всеки с дължина 100 m)
- преносим компютър
- електроди и свързващи кабели (между основния кабел и електродите)

Апаратурната система е модулен тип, преносима при сложни терени, херметизирана и защитена от неблагоприятни външни въздействия и не изисква специална подготовка на трасето за измерване. За метод ВЕС преди всяко ново измерване ръчно се въвежда геометрията на взаимното разположение на електродите и след измерването данните се записват във файла за съответното ВЕС. При 2D електропрофилирането регистрацията става автоматично, като системата сама проверява качеството на заземяване на електродите преди началото на регистрацията. Чрез специални протоколи се задава схемата на измерване на електрическото съпротивление и/или на предизвиканата поляризация, което се определя от конкретната задача за решаване. В случая е приложена схемата Шлюмберже с т.н. модификация „Венер". При нея разстоянията между двойките захранващи AB и измерителни електроди MN се променят чрез автоматично превключване по зададената схема в протокола. Използването на схемата е императивно, защото и измерванията по метод ВЕС се правят по същата схема и това позволява тяхното интегриране в електротомографските профили.

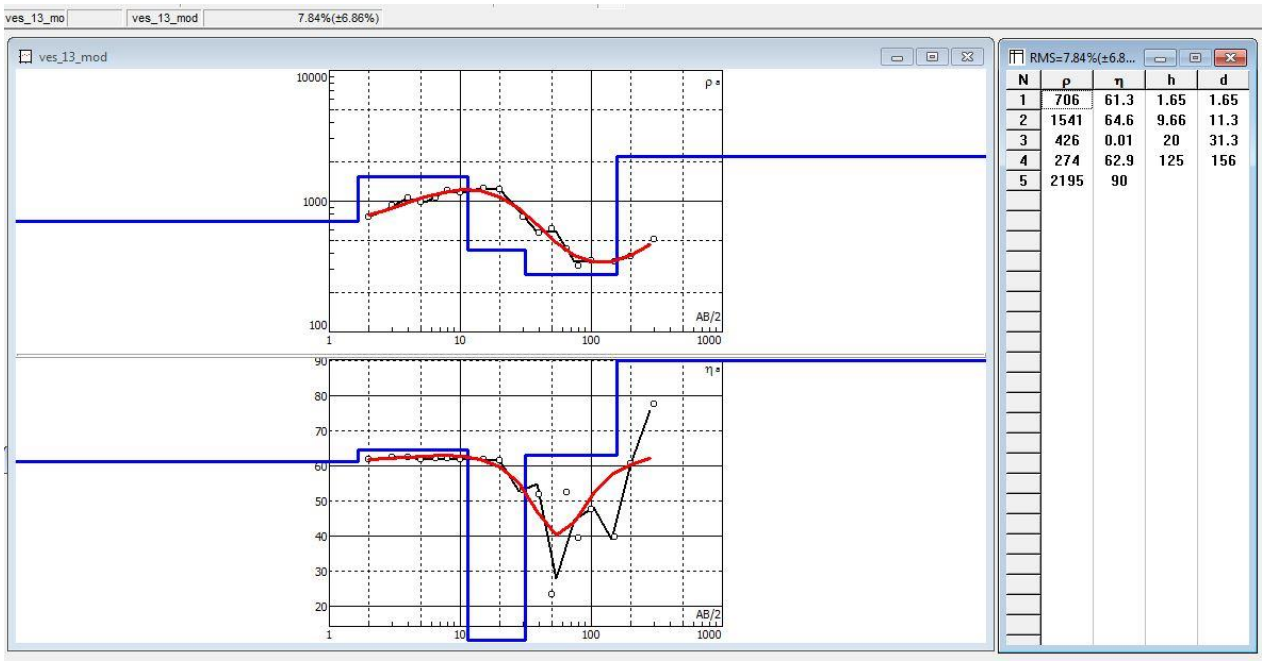
Използвани полеви схеми

Използвани са две стандартни схеми за измерване на привидното електрическо съпротивление и предизвиканата поляризация на скалите:

1. Вертикално електрическо сондиране (ВЕС) – класически електропроучвателен метод в 1-D пространство.

Същността на метода на вертикално електрическо сондиране се състои в изследване на зависимостта между привидното електрическо съпротивление и разстоянието между точката на наблюдение и източника на ток. Използвана е симетричната схема AMNB за провеждане на изследванията по метод ВЕС. Разстоянието AB се увеличава със стъпка, която в случая бе съобразена със разстоянието на електродите по профилите от електротомографското профилиране (5 m), както и с изискването нарастването му да става в геометрична прогресия с коефициент на прогресията от 1.3 до 1.5, с цел точките на графика на кривите ВЕС да бъдат равномерно разпределени при представяне им в двоен логаритмичен мащаб. Максималното разстояние между захранващите електроди е между 400 и 800 m, в зависимост от възможностите за техническо изпълнение в точката на измерване, което обезпечи получаване на информация за геоелектричния разрез до дълбочини от 100 до 150 m. Едновременно се измерват привидното електрическо съпротивление и предизвиканата поляризация.
Интерпретация на резултатите от вертикално електрическо сондиране е извършена с последния вариант на компютърна програма IPI2win+IP (версия 3.1.2c, 2008). При тази програма, разработена от В. Шевнин с използване на съвременни принципи на интерпретация (Хмелевской, Шевнин, 1992), се извършва автоматично решаване на правата задача, т.е. от предварително зададен модел на

геоелектричния разрез от интерпретатора се изчислява теоретичната крива на ВЕС. След това започват серия от интерактивни итерации, като целта е да се минимизира разликата между практически измерената крива и теоретично изчислената. Едновременно с това се автоматично се изчислява и моделът на предизвиканата поляризация в дълбочина.
За вертикалното електрическо сондиране резултатите са представени във вид на графици с измерените привидни (ρ_a) и моделните стойности на електрическо съпротивление и съответните дебелини на пресечените скални видове. Пример за представяне на резултатите е показан на фиг. 2

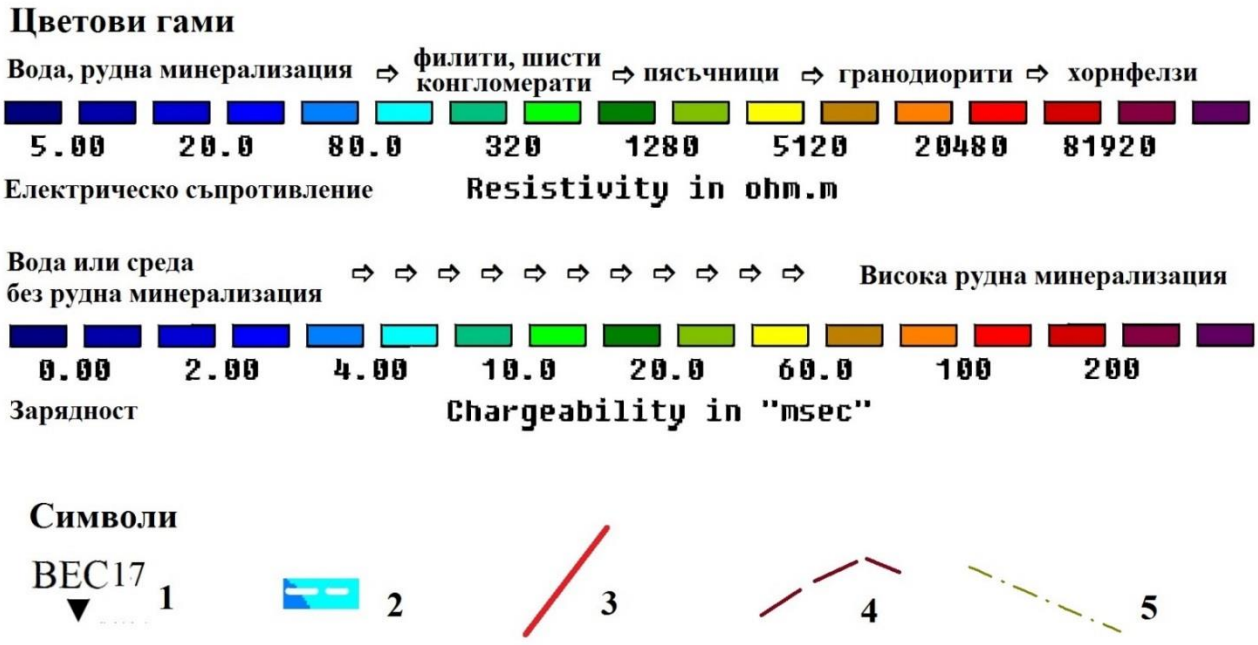


Фиг. 2 Пример за интерпретация на ВЕС 13. Представените графики са в логаритмичен мащаб за електрическото съпротивление (ρ) и в линеен мащаб за поляризацията (η). В дясната страна на всяка фигура е представен инверсния модел в табличен вид с показана грешка RMS на модела спрямо измерените стойности (процентно несъвпадение). Индексите са, както следва: N – номер на слоя от повърхността надолу; ρ – електрическо съпротивление [Ohm.m]; η – предизвикана поляризация; h – дебелина на слоя [m]; d – дълбочина до долнището на слоя [m].

2. Електротомография - 2-D геоелектрично проучване, който е насочен към картиране на геоелектричния разрез в двумерно пространство. Предимството му пред останалите електросъпротивителни методи е в детайлността при измерванията по дължината на профилни линии.

Измерванията се извършват по определена схема с постоянно разстояние между електродите, поставени фиксирано по дължината на профила. Чрез автоматично комбиниране на електродите като измервателни и захранващи се получава ефект на множество ВЕС по профила, разположени един от друг със стъпка, равна на разстоянието между електродите. По време на полевите работи се измерват електрическото съпротивление и предизвиканата поляризация. Данните се записват в апаратурата в текстов файл и могат да се експортират в преносим компютър за предварителна обработка още при полеви условия.
Геофизичната интерпретация е извършена с програма Res2Dinv с внесени поправки за релеф, което на практика е от съществено значение при обработка на материалите получени при измервания в неравни терени. Това е съвременна система за моделно изчисляване на стойностите на привидното електрическо съпротивление и предизвиканата поляризация, както и нелинейна оптимизация по метода на най-малките квадрати са използваните техники за инверсното преобразуване. Програмата поддържа и работи както с метода на крайните разлики, така и с метода на крайните елементи за моделирането. Крайният резултат се получава след серия от итерации и сравнявания на степента на сходство между измерените стойности и инверсните изчисления на привидното електрическо съпротивление от блоковия модел. Представя се като картина на измерения псевдоелектричен разрез

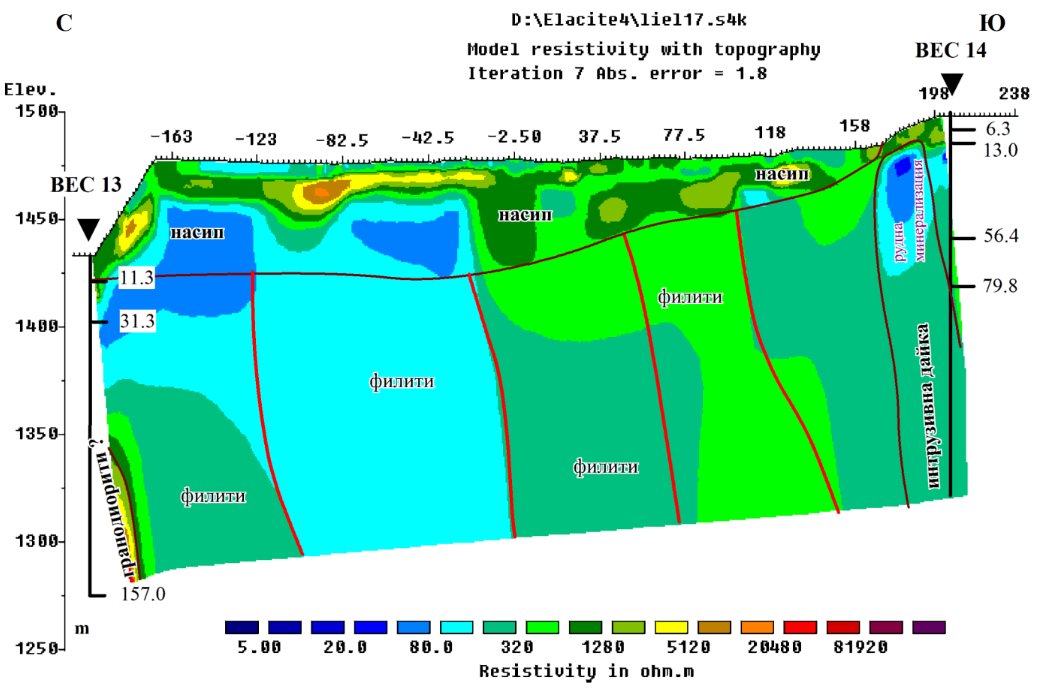
по привидно съпротивление, на моделния псевдоелектричен разрез по привидно съпротивление и моделния геоелектричен разрез по специфично съпротивление. Последният може да се покаже и самостоятелно с реална топография по дължината на профила в изолинии на електрическото съпротивление. По същия начин се получава и разрез по предизвикана поляризация. Профилите са комбинирани с точките на ВЕС за увеличаване на дълбочината на разреза. За всеки електротомографски профил е направен и анализ за наличие на водни тела. Показани са и разломните нарушения според електрическите свойства на средата. Отделени са и зоните, в които се предполага повишена рудна минерализация.
Всички профили се интерпретират с максимално използване на априорната геоложка информация и при еднаква цветова гама за коректно сравнение на геологията по профилите в обхвата на проучената площ (фиг.3). На фиг. 4 е показан интерпретиран електротомографски профил.



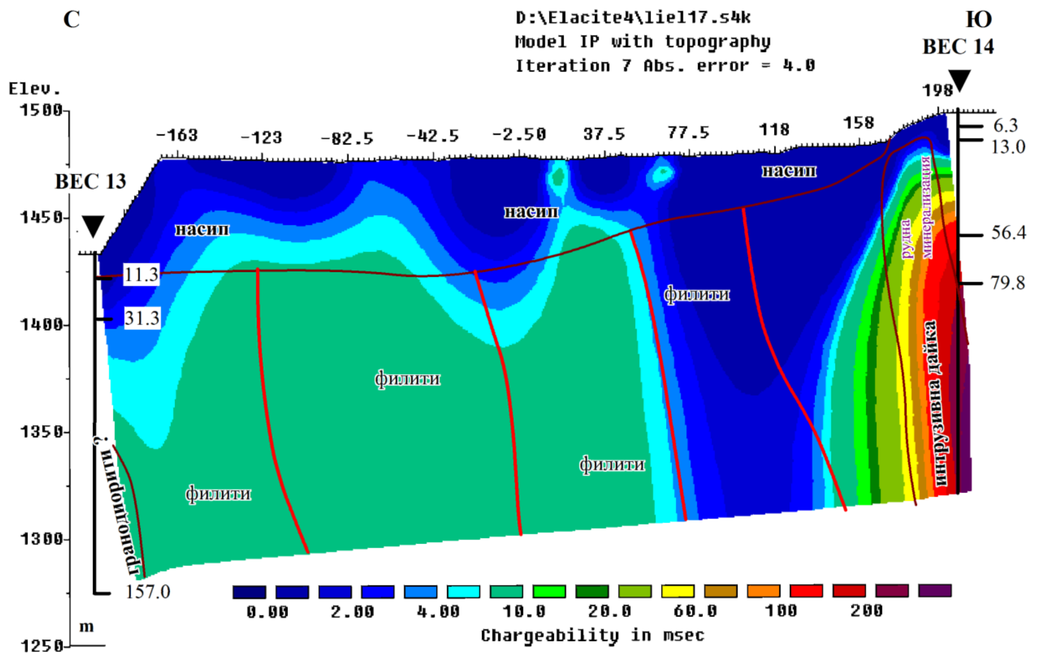
Фиг. 3 Цветовите гами на разрезите и легенда за символите по електротомографските профили: 1 – местоположение на ВЕС №; 2 – граница на водно тяло; 3 – разлом; 4 – граница на рудоносна зона; 5 – фолиация (по геоложки данни).

Производни коефициенти

В практиката е въведен така наречения „метален фактор" за определяне на зоните с рудна минерализация. За определяне на зоните с повишено водно съдържание се използва „водният показател" Kw, който е създаден по аналогия на „металния фактор" и това е основния методически принос на извършените изследвания. В настоящата статия той се представя за първи път, в литературата няма данни за негов аналог.
За оценка на водните тела в скалния масив и на зоните с повишена рудна минерализация се извърши реорганизация на данните от 2D томографските профили, като за всички данни от блоковите модели по профилите (на брой общо 46918) са определени пространствените координати X, Y, Z. Получената база данни позволява да се правят 2D разрези и карти, както и 3D модели с подходящ софтуер.
Интерполационните приложения на SURFER 8 и графичните възможности на MAPINFO 10 предопределиха тяхната водеща роля в оформяне на решенията и генериране на необходимите графични файлове с крайните резултати. За целите на изследването бяха изготвени серия карти за „воден показател (Kw)" и за „метален фактор (MF)" по хоризонти през 15 m.



А



Б

Фиг. 4 Интерпретация на електротомографски профил № 17. *А – по електрическо съпротивление; Б – по предизвикана поляризация*

<u>Метален фактор</u>

IP измерванията позволяват да се изчисли „металният фактор” (MF). Този показател, при използвания метод за измерване на предизвиканата поляризация се получава като (Loke, 1997):

$$MF = 1000\, M / \rho$$

Където зарядността M се измерва в ms, електрическото съпротивление ρ – в Ohm.m. Умножаването по 1000 се препоръчва за да се получи съгласуване на размерността на измерителните единици и за MF се получава измервателната единица s/Ohm.m (секунди/ом.м) или това е F/m (фарад/метър). Фактически,

MF е еквивалент на специфичния електрически капацитет на средата (Sumner, 1976; Шерифф, 1984). Методът се приема като удачен за изследване на порфирен тип орудявания. Граничната стойност, която би трябвало да определи дали отделената зона е индикатор за скален обем с висока рудна, не се дава в проверените литературни източници. Реалистично е, за отделните находища тази граница да е различна, но от публикувани разрези (например, Loke, 1997) става ясно, че MF>100 F/m вече е индикация за рудна минерализация от типа на тази, която е в рудник „Елаците".

Воден показател

По същата логика на използването на MF и за по-еднозначно възприемане и анализиране на информацията от електротомографските изследвания за електрическо съпротивление и предизвикана поляризация при анализите на данните за наличие или отсъствие на вода, през 2013 г. бе въведен един изкуствен показател Kw, който е десетичен логаритъм на произведението на електрическото съпротивление ρ и зарядността M за всеки елементарен блок.

$$K_w = Lg(\rho.M)$$

При него всички стойности под 2 означават наличие на вода (ниска поляризация от 0 до 2 ms и електрически съпротивления под 100 Ohm.m са индикация за наличие на вода). Показателят се оказа удачен за отделяне на зоните с водни тела, което се потвърди и от хидрогеоложките картировки в района на рудник „Елаците". По тази причина и през 2015 г. се изчисли Kw за всички проучени площи по хоризонти през 15 m. При изготвянето на интегралните карти с данни от 2013 г. и 2015 г. трябва се се има предвид, че изходната информация е получена през различни сезони и условията за формиране, както и пространственото положение на водните тела, особено близко до повърхността, са различни. Освен това, част от скалния масив, съществувал през 2013 г., вече е иззет и граничните условия за подземните води са променени в най-горната му част.

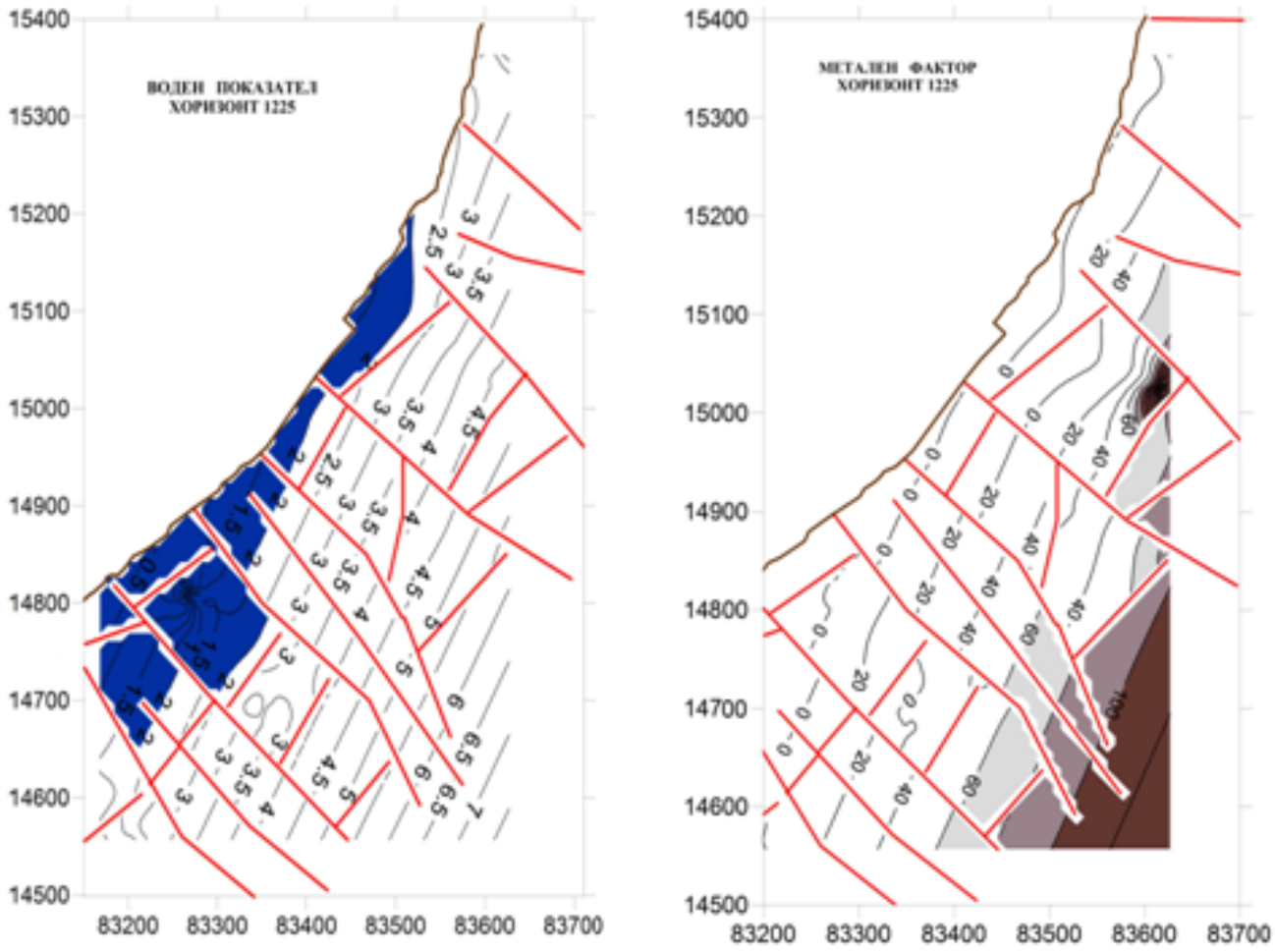
Построяване на 2D карти по производните коефициенти

По стойностите на електрическите съпротивления и предизвиканата поляризация на дискретни нива, отговарящи на работните хоризонти през 15 m в рудник „Елаците", са изготвени файлове с показателите Kw и MF. Стойностите на показателите за всеки хоризонт са взети от основния файл с всички данни за съответната кота ± 2.5 m.

За всеки хоризонт картите са изготвени с използването на програмата SURFER 8 и нейните опции за интерполиране с отчитане на разломните нарушения в план. Интегрирани са данните от 2013 г и от 2105 г. за изготвянето на общи карти по хоризонтите. Основните използвани интерполационни процедури са *Minimum Curvature* и *Kriging*. Изолиниите на дадения параметър и при двете интерполационни процедури се изчертават по създадената равномерна мрежа.

Контурите на всички хоризонти са определени по линията на външния им край на терена, по съответната изолиния по склона към р. Равна и към рудника. В тези контури се включват всички профили и точки на ВЕС от 2013 и 2015 г.

След изчисляване на коефициентите Kw и MF, за всеки хоризонт са изготвени карти с изолинии, като още на етапа на задаване на граничните условия се включва и файл с координатите на разломите. Всички разломи са определени по геофизични данни и са съобразени с данните от геоложкото картиране. На фиг. 5 са показани картите по показатели Kw и MF за хоризонт 1225.

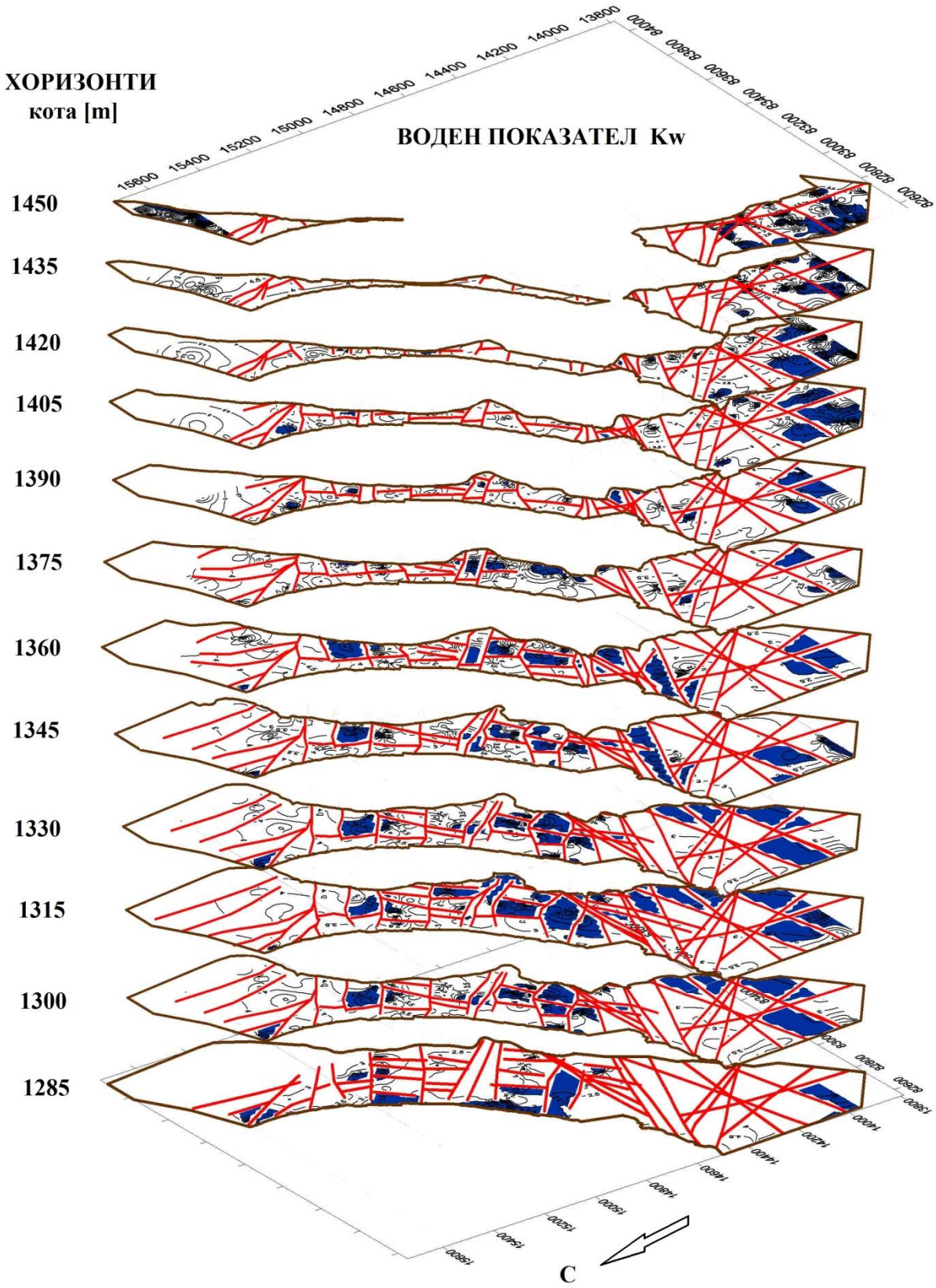


Фиг. 5 Карти по показатели Kw и MF за хоризонт 1225

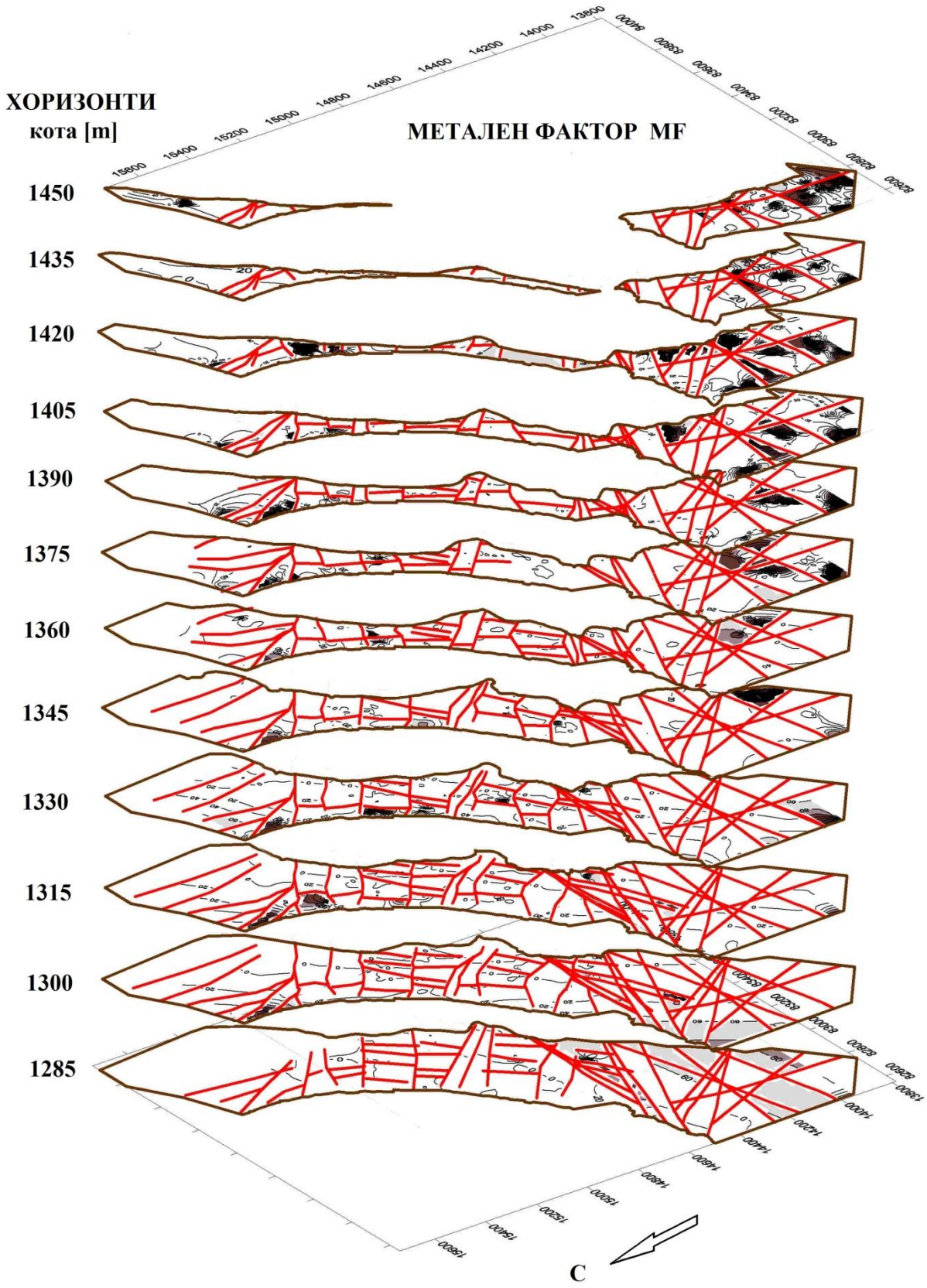
Построяване на 3D модели

Получените карти по показателите Kw и MF позволиха да се построят 3D модели за целия изследван масив към рудник „Елаците" (поглед от северозапад към югоизток) по хоризонти от 1285 m до 1450 m. На 3D модела за показател Kw (фиг. 6) ясно се очертават зоните, от които може да се очаква приток на вода при разширяването на рудника. Като цяло, тези зони се контролират от разломни нарушения. Вижда се тенденция водните тела от хоризонт 1300 m и нагоре по разреза да се дренират от р. Равна. Под кота 1300 m геофизичните данни подсказват за тенденция за дрениране на подземните води към котлована на рудника в централната и северната част на изследвания разрез.

На фиг. 7 е построен 3D модел за целия изследван масив към рудник „Елаците" по металния фактор MF (поглед от северозапад към югоизток), също по хоризонти от 1285 m до 1450 m. По-високите нива са малки участъци от измерванията през 2015 г., в които се включват и изкуствени стари насипища и не е сигурно доколко влиянието на изхвърляния материал е отразено в регистрираните електрически характеристики. От хоризонт 1345 m нагоре, в най-южната част на изследвания район се очертава вероятна рудоносна зона. Тя би могла да се свърже с набелязаната дайка по профили № 17 и 19 (виж фиг.4).



Фиг. 6 3D модел за целия изследван масив към рудник „Елаците" от хоризонт 1285 до хоризонт 1450 (поглед от северозапад към югоизток) по показател Kw.



Фиг. 7 3D модел за целия изследван масив към рудник „Елаците" от хоризонт 1285 до хоризонт 1450 (поглед от северозапад към югоизток) по показател MF.

Изводи

Избраната методика за геофизичните изследвания през по южния борд на рудник „Елаците" и прилежащите терени югоизточно към р. Равна чрез методите на вертикалното електрическо сондиране и електротомографско профилиране с постоянен ток, с измерване на електрическото съпротивление и поляризационните характеристики на скалите, позволи минималната дълбочина на изследване да бъде около 74 m, а максималната дълбочината на изследването да достигне до 156 m.
Геофизичните разрези по профилите (електрическо съпротивление и поляризация) показват наличието на хетерогенна скална структура с множество разломни нарушения, които са развити на контактите и вътре в отделните литоложки тела. Разломните структури контролират положението на водните тела в изследваната част от скалния масив, както и зоните с повишено съдържание на рудни минерали.
Създаденият файл с данни, съдържащ 46918 записа на електрическото съпротивление, предизвиканата поляризация и електропроводимостта и съответните координати на носителите на информацията (центровете на елементарните блокове по профилите) позволява да се генерират вертикални разрези и хоризонтални планове по електрическите параметри на масива.
Изведен е нов показател Kw за определяне на водонаситеността на скалния масив. Всички зони с показател $Kw \leq 2$ се приемат за водонаситени. Изведен е и стандартния показател MF (метален фактор) за определяне на зоните с повишена рудна минерализация. Очертани са зоните с MF>100 F/m (условно приета граница за повишена рудна минерализация). Построени са съответните карти и за двата показателя по хоризонти от кота 1090 m до кота 1510 m с отчитане на пространствените параметри на разломната мрежа. Показва се контролиращата роля на разломите за водните тела в масива, както и връзката на някои от разломите със зоните на по-висока рудна минерализация.
Построени са 3D модели на водния показател Kw и на металния фактор MF от хоризонт 1285 m до хоризонт 1450 m в изследвания участък. Отбелязва се тенденция водните тела от хоризонт 1300 m и нагоре по разреза да се дренират от р. Равна. Под кота 1300 m геофизичните данни подсказват за тенденция за дрениране на подземните води към котлована на рудника в централната и северната част на изследвания разрез. Водните тела в южната част на изследваната площ са разположени около зона с повишена рудна минерализация. Това вероятно е отражение на влиянието на разломните структури около внедрено дайково тяло, създали условия за проникване на води в тази част на масива.

Литература

Хмелевской В., Шевнин В., 1992. Электрическое зондирование геологической среды. Издательство Московсково Университета ч.II.

Шерифф Р.Е., 1984. Англо-русский энциклопедический словарь терминов разведочной геофизики. Москва, Недра, 352 с.

ABEM Instruction Manual, 2008. Terrameter SAS 1000/4000. ABEM Printed matter No93109.

Google Earth, 2015. Earth version 7.1.5.1557, US Dept. of State Geographer, Map Data © 2015 and © 2009 GeoBasis – DE/BKG

Loke, M.H., 1997. RES2DINV ver. 3.2. Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-squares method. *Minden Heights*, Penang, Malaysia, 54 p.

Parasnis D.S., 1997. Principles of Applied Geophysics, Fifth Edition, Chapman and Hall.

Sharma P.V., 2004. Environmental and engineering geophysics. Cambridge University Press, 476 p.

Sumner J.S., 1976. Developments in Economic Geology, 5: Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration. Elsevier, Amsterdam, 292 p.