МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. ИВАН РИЛСКИ"

Калин Иванов Русков

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИ МОДЕЛИ НА РУДНИ ТЕЛА В ЗИДАРОВСКОТО РУДНО ПОЛЕ

ΑΒΤΟΡΕΦΕΡΑΤ

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен "доктор"

Научна специалност "Геология и проучване на полезни изкопаеми"

Научен ръководител: доц. д-р Светлозар Бакърджиев

Научно жури:

София, 2011 г.

Характеристика на дисертационния труд

Обемът на дисертационния труд е 223 страници, в които са включени 122 фигури (графичен и снимков материал), 29 таблици и 19 приложения. Цитираните заглавия на литературни източници са 205, от които 103 са на латиница, а 14 са фондови материали.

Текстът на дисертацията е структуриран по следния начин:

Съдържание – 2 страници.

Списък на фигурите – 4 страници.

Списък на таблиците – 1 страници.

Символи и термини използвани в дисертацията – 1 страница.

Увод – 3 страници.

I. Обща геоложка и металогенна характеристика на Бургаския руден район – 18 страници.

II. Методология на изследванията – 22 страници.

III. Геология на Зидаровското рудно поле – 74 страници.

IV. Геостатистически анализ на данни от проучването на Зидаровското рудно поле – участъци Канарата и Юрта – 65 страници.

V. Изводи и приноси на дисертационния труд – 5 страници.

Литература – 14 страници.

Приложения – 13 страници.

Увод

Дисертационният труд, на тема "Геология и геостатистически модели на рудни тела в Зидаровското рудно поле", обхваща резултатите и обобщенията от изследванията на автора в областта на геоложките и геохимичните особености в изучавания район. Извършени са също така статистически и геостатистически анализи, чиято цел е описание на разпределението на главните рудни компоненти в участъци Канарата и Юрта от рудното поле.

Районът на изследването е разположен в северните части на Източносредногорската зона, към която през последните години се наблюдава повишен интерес от множество български и чуждестранни специалисти. Изследваните участъци до момента не са били предмет на специализирано геостатистическо изучаване, а голяма част от получените данни за геохимичните и изотопни характеристики на вместващите скали, както и за минералния състав на рудата, дават нова информация за района. Математическата обработка на данните има непосредствено практическо значение, тъй като резултатите от геометризацията на съдържанията, представени във вид на тримерни модели или карти с изолинии, могат да намерят приложение при проектиране на разработването на находищата на полезни изкопаеми, проучването им, както и за планиране на добива, търсенето и т.н. Напоследък подобен тип задачи се решават от специализирани, скъпоструващи програмни продукти, предназначени за моделиране и геометризация на качествените показатели. Такива програми намират все по-голямо приложение и в България от фирми за проучване и добив на метални полезни изкопаеми.

Основна цел на направените изследвания е детайлен анализ на геоложките и геохимичните особености на Зидаровското рудно поле, а също и описание на морфологията на рудните тела и пространствените характеристики в разпределението на главните

рудни компоненти. По-детайлно конкретните задачи, изпълнени за осъществяване на поставените цели, могат да бъдат формулирани по следния начин:

- Преобразуване на цялата събрана геоложка информация, както и на всички картни материали, в цифров вид – ГИС среда, с цел улесняване тяхната обработка, съхранение, редакция и интерпретиране. Въвеждане на данните в компютърен формат, подходящ за последвалите математически анализи. Извършване на предварителна компютърна обработка за проверка достоверността на използваните данни;
- Изследване на строежа и еволюцията на къснокредния вулкано-интрузивен комплекс, характерът на магматизма и структурните условия за рудообразуване. Получаване на нови данни за физикохимичните и геоложките условия за формиране на рудните тела в Зидаровското рудно поле и направа на някои изводи за геодинамичната обстановка;
- Разширяване на съществуващата информация относно структурните особености в района на Зидаровското рудно поле, въз основа на дистанционни изследвания по мултиспектрални сателитни изображения ASTER, аерофото снимки и цифров модел на релефа. Определяне на зоните с потенциално наличие на хидротермални промени от сателитни изображения. Създаване на пространствена база от данни;
- Разработка и усъвършенстване на методология за математическа обработка на данни от проучването на находищата на метални полезни изкопаеми. Използване на стандартни статистически и геостатистически процедури, които за нуждите на настоящото изследване са организирани в определена последователност;
- Анализ на пространственото разпределение и взаимоотношения между рудните компоненти, посредством използването на геостатистически методи, който анализ ще позволи да се направи интерпретация на геометрията на Зидаровското рудно поле;
- Определяне и характеризиране на зоналноста в разпределението на рудните елементи в отделните находища в рудното поле, както и по някои рудни зони, на базата на математическите модели;
- Изясняване и интерпретация на връзката между пространственото разпределение на рудните компоненти и вместващите скали;

По време на работата по дисертацията, авторът е участвал в редица научни и приложни проекти с международно участие, както и в множество симпозиуми и работни срещи. През периода 2002 – 2005 г. участва в проекта *GEODE ABCD (GEodynamics and Ore Deposit Evolution of Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride region)* подкрепен от Европейския научен фонд. В рамките на този проект са проведени голяма част от лабораторните изследвания в дисертационния труд. В периода 2005-2008 г. е част от колектива по изпълнение на проект на тема: "Магматизъм и рудообразуване в горнокредни порфирни и епитермални находища в Средногорската (България) и Артвин-Болнишката (Грузия) зони", финансиран от фонд "Научни изследвания" към Министерството на Образованието и Науката. От 2008 г. до настоящия момент участва в проект "Индикатори за атмосферната киселинност и глобалното затопляне в почвената подложка (на примера на Тракийската низина)", финансиран от фонд "Научни изследвания" към Министерството на Образованието и Науката.

Част от резултатите на представения дисертационен труд са публикувани в периодични научни издания (Русков и Бакърджиев, 2005; Ruskov et al., 2006).

I. Обща геоложка и металогенна характеристика на Бургаския руден район.

I.1 Въведение

Бургаският руден район е разположен в северните части на Източното Средногорие обхващайки част от крайбрежната зона на Югоизточна България.

За източния дял на Средногорската зона е характерно значителното разпространение на вулкано-интрузивни постройки. На нивото на съвременния ерозионен срез в Бургаския руден район са отделени над 20 палеовулкана от централен тип (Попов и др., 1993), в част от които са открити комагматични хипоабисални интрузиви и рудна минерализация. Характерна особеност за вулкано-интрузивните постройки е интензивното вулкано-тектонско разломяване, най-често от радиално-концентричен тип, което създава добри условия за образуването на рудни тела от жилен тип. Магматичните скали са отнасяни главно към субалкалната серия, като в някои части от разглеждания район са описани толеитови и алкални скали (Стойнов и Радонова, 1968; Маринов, 1980; Попов и др., 1980).

В предложените до момента схеми (Stanisheva-Vassileva, 1980; Dabovski *et al.*, 1991; Катепоv *et al.*, 2000b) Източносредногорската магматична област е разделяна на четири района: Странджански вулкано-интрузивен район, Ямболски-Бургаски вулкано-интрузивен регион, Северно Бургаски вулкански регион и Лудо Камчийски вулкански регион в Източния Балкан. Получените нови данни от Marchev *et al.* (2009), показват че липсва ясна петроложка граница между Ямболски-Бургаскя и Северно Бургаски вулкано-интрузивен регион (Marchev *et al.*, 2009, Georgiev *et al.*, 2009). Направените през последните няколко години високо прецизни U-Pb изотопни датировки на циркони (по Georgiev *et al.*, 2009) разкриват обхват на магмената активност от 92 до 78 Ма (турон-кампан), като е по-млада в Ямболски-Бургаския (81-78 Ма) и Странджанския вулкано-интрузивни райони (~86-78 Ма), отколкото в Лудо Камчийски вулкански регион (~92 Ма).

I.2 Геотектонска и металогенна позиция

В геоложко и металогенно отношение Бургаският руден район попада в пределите на източната част на Средногорската зона (фиг. 1.2.1), която е част от Апусени-Банат-Тимок-Средногорския магматичен и металогенен пояс (ABTS MMB), както беше дефиниран в последно време (Popov et al, 2000, 2002). През годините геотектонската позиция на Средногорската зона и въпросът за нейния произход са били предмет на редица публикации и изследвания. В голяма част от тях, предимно на български автори, районът е разглеждан като Банат-Средногорска металогенна (и тектонска) зона (пояс) (Костов, 1946; Popov, 1981, 1987, 1996; Попов, 1983; Богданов, 1983). В публикациите на румънски автори е описван като Банатитов пояс (провинция) или Банатитов магматичен и металогенен пояс (Giusca et al., 1966; Cioflica and Vlad, 1973; Berza et al., 1998; Ciobanu et al, 2002), а в сръбските - като Карпато-Балканиди или Тимочка зона (Andelkovic, 1967; Antonijevic et al., 1974; GruBtc, 1980). Отчитайки продължението на този пояс на изток, Дзоценидзе и Твалчрелидзе (1965) го дефинират като Средногорско-Понтийско-Сомхитска зона. На територията на България Апусени-Банат-Тимок-Средногорския магматичен и металогенен пояс е развит в И-З посока по протежение на около 500 km (фиг. 1.2.1).



Фиг. 1.2.1 Схема за положението, геологията и металогенията на Апусени-Банат-Тимок-Средногорския магматичен и металогенен пояс (по Ророv, 1996).

Изхождайки от геосинклиналната теория, горнокредният магматизъм в разглеждания пояс е определян като субсеквентен спрямо австрийската тектонска фаза (Stille, 1940; Giusca et al., 1966), инициален (Муратов, 1949; Бояджиев, 1965), ортогеосинклинален (Димитров, 1959), предорогенен (Попов, 1972) или инверсионен (Димитрова и др., 1975).

На базата мобилистичната тектонска теория, от началото на 70-те години на миналия век възникват различни тектонски концепции касаещи произхода на Апусени-Банат-Тимок-Средногорския магматичен и металогенен пояс. Част от авторите го разглеждат като пряк резултат от субдукцията в северозападна посока на Вардарския палеоокеан [Dewey et al., 1973; Boccaletti et al., 1974; Hsu et al., 1977; Aiello et al., 1977; Dabovski et al., 1991 и т.н.]. Според други автори той възниква над субдукционна зона с югозападен наклон [Radulescu, Sandulescu, 1973, 1980; Boccaletti et al., 1973; Herz & Savu, 1974; Bleahu, 1974; Bogdanov et al., 1974 и т.н.], като отделните автори го определят като островна дъга, активна континентална окрайнина, заддъгов или междудъгов рифт. Друга тектонска интерпретация на разглежданият магмен пояс е, че представлява екстензионна структура с рифтогенен характер, формирана след пълната субдукция на Вардарския палеоокеан и последвалите колизионни процеси през горната юра и долната креда и проявата на мантиен диапиризъм (Antonijevic et al, 1974; Boncev, 1976; Grubic, 1980, 1992; Popov, 1981, 1987, 1996; Berza et al., 1998; Popov et al, 2002).

Разглежданият пояс се характеризира с разпространението на комплекс от горнокредни вулкански и интрузивни скали, както и на асоцииращите с тях минерални находища от различен тип (Berza et al., 1998; Popov et al., 2002). Горнокредните магмени скали са развити във вулкански, субвулкански и хипоабисален фациес, като са установени четири петрохимични серии: калциево-алкална, толеитова, субалкална и алкална (Popov, 1981; Berza et al., 1998). От промишлено значение са и някои скарнови находища на мед, желязо, молибден-волфрам, олово-цинк, както и хидротермални медни, оловноцинкови и баритови находища.

I.3 Геология

I.3.1 Литостратиграфски особености

Бургаският руден район се характеризира с широко присъствие на горнокредни – средноеоценски вулкано-седиментни скали и свързаните с тях интрузивни тела (фиг. 1.3.1). Тези скали лежат дискордантно върху пъстра подложка от предкамбрийски метаморфити, палеозойски гранити, триаски и юрски нискометаморфни скали. Покриват се трансгресивно и дискордантно от приабонски, неогенски и кватернерни континентални и морски седименти (Попов и др., 1993). Покривката е запазена в отделни грабени и понижения.

В по-ранните публикации вулканските скали са описвани в качествено една стратиграфска единица под различни названия: "вулканогенен хоризонт" (Цанков и Кехайова, 1963; Кулаксъзов и др., 1964), "трахибазалтова формация" (Goĉev, 1970), "сенонски пирокластити и вулкански масивни скали" (Стойнов,1955), "вулканогенно-седиментна формация" (Кънчев, 1971) или "седиментно-вулканогенна толща" (Кулаксъзов, 1974; Карагюлева и Костадинов, 1977). Станишева-Василева (1971) отделя андезито-базалтова и оливин базалтова формации, а losifov et al. (1975) отделят андезитова и трахиандезитова формации. Ророv et al. (1979) за източните части на Бургаския руден район, отделят три вулкански формации със сенонска възраст: андезито-базалтова, трахиандезитора и Козалтова и калиево базична-базалтоидна. Съдържанието на калий се увеличава от ЮЗ към СИ (Boccaletti et al., 1978; Иванов, 1979; Ророv et al., 1979) и вулканските центрове мигрират в същата посока (Ророv et al., 1979).

През 1980 г. едновременно са публикувани две схеми за литостратиграфското разчленяване на горната креда в Бургаския район – на Петрова и др. (1980) и на Попов и др. (1980).

I.3.2 Петроложка характеристика на горнокредните скали



Фиг. 1.3.1 Геолого-структурна карта на Бургаския руден район (по Попов и др. 1993, с изменения на Кольковски и Добрев, 2007).

Постлютеска покривка: 1 – кватернер; 2 – неоген; 3 – приабон; Горен (карбонатно-теригенен) комплекс: 4 – Двойнишка теригенна свита (ипрес – лютес), 5 – Еминска флишка свита (горен кампан – палеоцен), 6 – глинесто-варовикова задруга (горен кампан – маастрихт); 7 – горнокредни интрузии: а)– Калкални, б)– толеитови; Среден (седиментно-вулканогенен) комплекс (кониас – горен кампан): 8-горнокредни гърлови и субвулкански тела; 9– вулканити (а) и пирокластити (б) от Бакаджишка, Драгановска, Медовска, Тънковска, Росенска, Новопаничаревска, Ахтополска, Казълджишка и Кубадинска свити; 10– предимно флишоидни седименти от Съдийскополска и Велекска свити; 11 – предимно седиментни скали с малко туфозен материал от Бистрецка, Пънчевска, Бродиловска свити и олистостромната задруга; 12 – Долен (карбонатно-теригенен) комплекс (ценоман – кониас) – Градишка и Зеленковска свити; Догорнокредна подложка: 13 – палеозойски, триаски и юрски скали; 14 – разломи: разсед (а) и навлак (б); Рудни находища: 15 – жилни Си-полиметални; 16 – жилни Си-пиритни; 17 – жилни Си-Мо-пиритни; 18 – Си-порфирни; 19 – скарнови Си; 20 – впръслечни Ті-магнетитови; 21 – пластообразни Мп-ови.

I.3.2.1 Магмени скали

През 80-те години на миналия век, на базата на сериалния и формационния анализ (Ророv et. al., 1979; Ророv, 1981), е извършен цялостен анализ на магматизма в Бургаския руден район. Въз основа на това изследване в Бургаския район се разграничават толеитова, субалкална и алкална серии. Към толеитовата серии се отнасят андезитобазалтовата и габро-диоритовата формации. Субалкалната серия включва трахиандезит-трахибазалтовата и габро-монцонит-сиенитова формации. Алкалната серия е представена от тефрит-трахитова формация.

I.3.2.2 Вулканогенно-кластични, вулканогенно-седиментни и седиментни скали

В Бургаския руден район са описани разнообразни по състав, строеж и генетични особености вулканогенно-кластични и нормално утаени скали. Някои от тях са широко

разпространени и са главна съставна част от разрезите. Определящо за влиянието на вулканизма върху седиментацията и образуването на вулканогенно-седиментни асоциации се явява съчетанието на различни ендогенни и екзогенни фактори (Попов и др., 1993).

II. Методология на изследванията

II.1 Теренни изследвания

Теренните работи са осъществени в периода 2002-2006 г. Събрани са над 60 късови проби от рудата в няколко от рудните зони на участък Юрта, както и от разкритията на повърхността на вместващите скали, с цел изучаване на минераложкия и петроложкия състав на изучаваните участъци. Една част от използваните образци са предоставени от геолога на фирма "Лорънс-Мартин-Зидарово".

II.2 Лабораторни анализи

От подбрани проби са направени над 50 аншлифи и дюншлифи, изработени в шлифовата лаборатория към МГУ "Св. Иван Рилски". Приложените в дисертацията снимки са направени на микроскоп Leitz ORTHOPLAN с фотоапарат OLYMPUS 5060.

За определяне на химизма на рудните минерали са направени микросондови анализи. По-голямата част са извършени в Дирекция Изпитвателна Лаборатория към ЕВРОТЕСТ-КОНТРОЛ АД в гр. София на сканиращ електронен микроскоп JEOL JSM 35 СF с рентгеноспектрален микроанализатор TRACOR NORTHERN TN – 2000, а останалите от д-р Калин Кузманов във Факултета по Геология на Университета в град Женева, Швейцария.

Геохимичните изследвания на вместващите скали са изпълнени на базата на: силикатни анализи за изясняване на процентното съдържание на основните оксиди (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, oб. Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, SO₃), атомно-емисионен (ICP-AES) анализ за Pb, Zn, Cu, Ni, Bi, Mn, As, Co, Mo, V, Ti, Sb, Sn, W и Ba, както и атомноабсорбционен (AAS) анализ за Au, Ag и Cr (ЦНИЛ "ГЕОХИМИЯ" - МГУ "Св. Иван Рилски" с ръководител инж. химик Галина Стоянова); рентгено-флуоресцентен метод (XRF) в Университета в град Залцбург, Австрия; LA-ICP-MS за определяне на елементите следи и редкоземните елементи (REE) от д-р Албрехт фон Куатд и д-р Ирена Пейчева в лабораториите на Института по Изотопна геохимия към Швейцарския Федерален технологичен университет в град Цюрих. Изотопните и геохроноложките изследвания са направени от автора, д-р Албрехт фон Куатд, д-р Светослав Георгиев и д-р Ирена Пейчева в ЕТН Цюрих.

II.3 Дистанционни изследвания

Дистанционните изследвания и използването на сателитни изображения със средна и висока разделителна способност намират все по-широко приложение в областта на геологическите науки. ASTER (Високотехнологичен Космически Термоемисионен и Отразяващ Радиометър) е изследователски уред, изстрелян от НАСА със сателита Тера през декември 1999 г. Представлява сензорна система с уникална комбинация от широк спектър на покритие и средно висока пространствена резолюция. През последните няколко години използването на ASTER данните се увеличили многократно поради тяхната сравнително ниска цена, широко покритие и уникална чувствителност по отношение на минералите свързани с хидротермални промени. Псевдо оцветените (false-color) композитни изображения, както и картите получени въз основа съставянето на прости отношения между каналите на ASTER, са много полезни за геоложко картиране, особено за разпознаването на скали и хидротермални изменения (Yamaguchi et al., 1998, 2001, 2003; Crosta et al., 2003; Crowley et al., 1989).

Цифровите модели на релефа (ЦМР) представят визуално надморската височина като яркост, чиято пропорция съответства на измерените височини. В дисертационния труд е използван цифровият модел на релефа създаден при мисията на космическата совалка през февруари 2000 г., известен като SRTM (радарна топографска совалкова мисия), цифров модел на релефа по аерофото изображения, както и ЦМР създаден по топографски карти в мащаб 1: 10 000.

II.4 Статистическа обработка на данните

При изучаване на пространствените закономерности в разпределението на главните рудни компоненти са използвани статистически и геостатистически процедури, които за нуждите на настоящото изследване са организирани в определена последователност. По този начин се създава цялостна методика за анализ на пространствено координирани данни. Всеки един от приложените анализи има характер на самостоятелно изследване, което обслужва различни геоложки задачи.

При първоначалната статистическа обработка на данните съдържанията на изследваните показатели са възприемани като случайни величини. Основната задача на този етап е първоначален анализ на разпределението на отделните химични елементи. Свойствата и характера на разпределенията са описани чрез съвкупност от извадъчни статистически моменти, характеризиращи средната стойност около която варират данните, степента на променливост и формата на разпределението.

II.5 Геостатистическо моделиране

Използваните в дисертацията геостатистически методи се базират на "противоположен" подход спрямо конвенционалната статистика. Ключова концепция на геостатистиката е тази за "регионализираната" променлива (Clark, 1979), която има свойства между случайната променлива и детерминистичната. Типични "регионализирани" променливи са функции описващи естествени феномени, които имат географски разпределения като надморска височина, промени в съдържанието на рудното тяло и др. (Davis, 2003). Поведението на "регионализираната" променлива е изследвано с помощта на полувариограма и след това е използвано при метода "кригинг".

III. Геология на Зидаровското рудно поле

III.1 Обзор на изследванията в района на Зидаровското рудно поле

Зидаровското рудно поле е разположено на около 25 km южно от гр. Бургас, в землищата на селата Зидарово, Извор, Димчево и Крушевец. Общата му площ е приблизително около 100 km². Релефът на района е хълмист и е пресечен от множество дерета. В границите му преминават реките Факийска и Изворска, които се вливат в Мандренското езеро.

Съвременни изследвания за изясняване геоложкия строеж и структурните особености на района са направени от Станишева-Василева и Василев (1972), Рашков и др. (1974, 1978), Маринов (1980), Маринов и Байрактаров (1981), Попов (1981), Bairaktarov et al. (1983), Гергелчев и др. (1992) и др. За пръв път за наличието на Зидаровската вулкано-плутонична структура (фиг. 3.1.2) от централен тип е споменато от Станишева-Василева и Василев (1972) и впоследствие е подробно описана от Рашков и др. (1974, 1978), Попов (1981) и др. Тумбев и др. (1972), анализирайки данните от комплексните геофизични изследвания, проведени в района, интерпретират рудното поле като елемент на големия гравитационен максимум, който е установен югоизточно от с. Извор.

В рудното поле са обособени две находища – Канарата, намиращо се в непосредствена близост до Зидаровския интрузив, и Юрта, което заема северозападната част на рудното поле. Двете находища имат различен минерален състав, като в участък Канарата преобладава медно-бисмутов тип орудяване, докато за участък Юрта са характерни медно-полиметални минерални асоциации със злато (Ковачев, 1980). За пръв път запаси от медни руди в участък Канарата са представени от Захариев и др. (1978ф) в доклад за резултатите от геоложкото проучване в периода 1973-1978 г., а от златнополиметални руди в участък Юрта от Захариев и др. (1984ф).

III.2 Геоложки строеж на участъци Юрта и Канарата

III.2.1 Общи сведения

Районът на Зидаровското рудно поле е изграден предимно от сенонски вулканогенни, седиментни и интрузивни скали (фиг. 3.2.1). Според стратиграфските изследванията на района, магматичните продукти на Зидаровската полигенна, полифациална вулкано-интрузивна структура (Попов, 1980; Станишева-Василева и Василев, 1972) или Зидаровския тектономагматичен център (Гергелчев и др., 1992) се отнасят към Карталкуската свита на Бургаската серия (Петрова и др., 1980) или съответно към Зидаровската подсвита на Новопаничаревската свита (Попов и др., 1980).

Образуването на Зидаровското рудно поле (фиг. 3.2.1) се обуславя от развитието на Зидаровската вулкано-плутонична структура от централен тип (Станишева-Василева и Василев, 1972; Рашков и др., 1974, 1978; Попов, 1981). Станишева-Василева и Василев (1972) подчертават голямото количество лавови и пирокластични скали, без да споменават за наличието на дайкови скали в района. На базата на общо геоложки и геоморфоложки признаци авторите отбелязват за присъствието на централен тип вулкан с калдерно развитие в района на с. Зидарово, като отделят две формации: андезитобазалтова и алкална оливин-базалтова. В развитието на последната са отделени два етапа – трахибазалтов и трахиандезитов. Като субвулкански фациес на втория етап е отнесен Зидаровския интрузив. Според Попов (1981), вулкано-плутоничната структура е образувана в резултат на магмена дейност с горнокредна възраст, като се отделят три самостоятелни етапа: ефузивен, субвулкански дайков и хипоабисален интрузивен. Последните съответстват на отделените от Рашков и др. (1978) трахиандезиттрахибазалтов, базалт-трахибазалтов и габро-сиенитов етапи. Вследствие на магмената дейност последователно се образуват Зидаровският вулкан, Зидаровският дайков пръстеновиден комплекс (Зидаровска рингова структура) и Зидаровският интрузив (Попов, 1981).



Фиг. 3.2.1 Геоложка карта на Зидаровското рудно поле (по Рашков и др., 1978, с изменения) с означено местоположението на изследваните представителни проби.

Вулканските скали на Зидаровската палеовулканска структура образуват комплекс с дебелина достигаща 2000 – 2500 m и са развити в ефузивен, експлозивен, субвулкански и гърлов фациес (Попов, 1981; Попов и др., 1993). Ефузивният фациес е представен от редуващи се лавови потоци и покрови с пирокластични материали, показващи закономерно пространствено развитие. Лавовите скали преобладават в централните части на района в близост до предполагаемото гърло на вулкана, докато в периферията доминират пирокластитите.

Отделени са четири тела, съставени от скали от гърлов и субвулкански фациес, които се разкриват на повърхността (Попов, 1981). Тези тела се намират в местностите Канарата (2 km северно от с. Зидарово), Пърлена кокошка (3 km североизточно от с. Зидарово), северно от вр. Карталкус (2,5-3 km източно от с. Зидарово) и в местността Тепето (на около 4 km северно от с. Зидарово).

Зидаровският пръстеновиден дайков комплекс, както е дефиниран от Попов (1980), е най-характерната особеност за Зидаровската вулкано-плутонична структура и е съставен от концентрични дайки, по-рядко радиални и диагонални (Попов, 1980; Bairaktarov et al., 1983). Дайките са образувани след приключването на ефузивната дейност и бележат нов етап на развитие. Образуването им се свързва с вулкано-тектонско разломяване, възникнало под въздействие на магменото огнище на Зидаровския вулкан (Попов, 1980). Дайковият комплекс е представен от многобройни дайки с разнообразен състав, образувани след приключването на активната дейност на Зидаровския вулкан и преди внедряването на Зидаровския интрузив. По състав дайките са близки до ефузивните скали и са представени от трахибазалти до кварцови трахиандезити.

Зидаровският интрузив представлява удължено в северозападна посока тяло, намиращо се в долината на р. Факийска (Симеонов и др., 1976, 1979). В разкритата си част интрузивът е с дължина 5 km и ширина около 1200 m, пресичайки вулканските и дайковите скали. Разкритията му са разположени в централните части на рудното поле, като се наблюдават резки контакти с вместващите скали. Интрузивът е описан от Маринов (1980), като съставен от две наставки. Първата включва есексити (алкални габроиди), а втората е представена от монцонити, монцодиорити и алкални кварц съдържащи сиенити. Химичният състав на скалите от Зидаровския интрузив е близък до този на вулканските скали.

Приключването на магмената дейност на Зидаровския палеовулкан е последвано от интензивна постмагмена дейност. Установени са различни по състав метасоматити – вторични кварцити, пропилити, калциево-алкални, които са покрити от плиоценски седименти (Кулаксъзов и др., 1962; Рашков и др., 1978; Маринов, Байрактаров, 1981).

III.2.2 Петрография на магмените скали

На съвременния ерозионен срез, в района на участъци Канарата и Юрта преобладават вулканските продукти, които съставляват над 80% от магмените скали. Представени са основно от порфирни скали със сив до тъмносив и черен цвят, на места с червеникав и зеленикав оттенък. По време на проведените теренни работи и от анализите на взетите проби са установени порфирни базалти до трахибазалти и трахиандезити.

Базалтите са най-често срещаните скали на повърхността. Характеризират се с тъмносив до черен цвят, на места с зеленикав оттенък и са процепени от неиздържани

по размери кварц-карбонатни жилки. Структурата им е порфирна, с пилотакситова и интерсертална основна маса. На места се наблюдава и офитова структура. Порфирната генерация е представена от клинопироксени, плагиоклази и по-рядко от оливин. Текстурата е масивна, миндална или шуплеста. Клинопироксените са късопризматични, от незначително карбонитизирани почти свежи индивиди до почти цялостно епидотизираниОсновната маса е съставена от сравнително едри, почти свежи и с ясна субпаралелна ориентировка, плагиоклазови микролити, пироксенови тънкопризматични микролити, голямо количество фино прашести рудни минерали и кристализирало вулканско стъкло. В основната маса на някои от образците се наблюдават миндали с неправилна форма, които са запълнени с кварц, епидот, калцит, цоизит и албит, които са характерна минерална асоциация за пропилитов тип промяна.

Трахиандезитите са левкократни скали, сиви до сивозеленикави на цвят, характеризиращи се с порфирна структура и масивна текстура. Разпространени са в граничните участъци между двата разглеждани участъка. Фенокристалите са представени от плагиоклази и напълно променен фемичен минерал, най-вероятно пироксен. Вулканското стъкло е частично кристализирало. Порфирната генерация е изградена почти изцяло от плагиоклаз, като порфирите са напълно променени в серицит и са със заличени ламели. Основната маса е с хиалопилитова структура и е съставена от интензивно променени плагиоклазови микролити, незначително количество рудни минерали и частично кристализирало вулканско стъкло. Наблюдава се интензивна хлоритизация.

При анализите на скалите от Зидаровския интрузив са установени габро, монцогабро, монцонит и сиенит. Съдържанията на алкалии в интрузива се движат в границите 5 до 8%. Разнообразието на скалите на Зидаровския интрузив, при близкия им химичен състав, най-вероятно се дължи на наложена по-късна метасоматоза.

III.2.3 Химичен състав на скалите от Зидаровската вулкано-плутонична структура

За класификация на вулканските скали е използвана TAS диаграма, основана на база общата алкалност и силициевото съдържание. TAS - класификационната диаграма е построена от комисия, ръководена от Le Maitre на базата на 24 000 химични анализа от CLAIR и PETROS бази от данни (Le Maitre, 1982 и 1989). На диаграмата се нанесени само фигуративните точки на състави на скали, съдържащи до 3% H₂O⁺ и CO₂% като всеки анализ се преизчислява до 100% за сметка на H₂O и CO₂.

Според TAS диаграмата (фиг. 3.2.2) вулканските скали от Зидаровската вулканоплутонична структура попадат в полетата на базалтите, трахибазалтите, базалтоидните трахиандезити и в по-редки случаи в тези на трахиандезитите.

На модифицираната от Le Maitre (1989) SiO₂-K₂O диаграма, вулканските скали се класифицират като висококалиеви (фиг. 3.2.3). Съдържанието на SiO₂ варира от 47,79 до 60,07 тегл.%. Наблюдава се тенденция за бързо нарастване на алкалното съдържание с повишаване на SiO₂.

Вариационните (Харкерови) диаграми показват тенденция за намаляване на съдържанията на MgO, MnO, CaO и Fe₂O₃ от базичните към средните скали, докато стойностите на K₂O, Al₂O₃, P₂O₅ и Na₂O се характеризират с положителна корелация спрямо SiO₂.



Фиг. 3.2.2 Класификационна TAS диаграма по Le Maitre (1989) на скалите от Зидаровската вулкано-плутонична структура: вулканити (триъгълници), субвулкански скали (точки), интрузивни скали (квадратчета).



Фиг. 3.2.3 SiO₂-K₂O диаграма по Le Maitre (1989) на Зидаровските вулканити (Ruskov et al., 2006). Условните знаци са като на фиг. 3.2.2.

III.2.4 Резултати от геохимичните, изотопните и геохроноложките изследвания

III.2.4.1 Елементи следи и дискриминационни диаграми

Една от поставените задачи в дисертационния труд бе изследване особеностите на магматизма и получаване на нови данни за физикохимичните и геоложките условия за формиране на рудните тела в Зидаровското рудно поле, както и направа на някои изводи за геодинамичната обстановка. За характеризиране геохимичните особености на изследваните скали са използвани нормализирани към хондрит и базалт от срединно океанските хребети (MORB) спайдерграми (Thompson, 1982; Pearce, 1983). Моделите на нормализираните разпределения са специфични за образците от типовите обстановки, поради което е направено сравнение на геометричните особености между графиките по данните от Зидаровското рудно поле и еталонни графики. Това е сравнение е направено с цел да се подкрепят представите за условията на магмообразувателния процес.

Спрямо хондритовите стойности обогатяването на леките редкоземни елементи (LREE) е от 20 до 51 пъти, а La_n/Yb_n варира между 4 и 8 (фиг. 3.2.4). Дайковите скали показват понижени стойности на LREE спрямо скалите от Зидаровския плутон. Средните (MREE) и тежките (HREE) редкоземни елементи (Eu до Lu) имат относително постоянни съдържания и хоризонтален ход на диаграмата. Стойностите на тези елементи превишават от 4 до 10 пъти съдържанията в хондритите. Не се наблюдава Eu аномалия, което е признак, че липсват процеси на плагиоклазово фракциониране в процеса на магмената еволюция.

Сравнението на хондрит нормализираните стойности на базалтите от Зидаровското рудно поле с известни модели показа, че трендът на разпределени на Зидаровските вулканити е най-близък до модела на калциево алкалните базалти (фиг. 3.2.5). Нормализацията е по Nakamura (1974).



Фиг. 3.2.4 Хондрит нормализирана спайдерграма на скалите от Зидаровското рудно поле – участъци Канарата и Юрта (нормализацията е по Nakamura, 1974).



Фиг. 3.2.5 Хондрит нормализирана спайдерграма на базалтите от Зидаровското рудно поле, сравнена със схематични хондрит-нормализирани модели за разпределението на редкоземните елементи (REE) в базалтови скали (по Каменов, 2003).

МОRВ-нормализираните съдържания на скалите от участъци Канарата и Юрта (фиг. 3.2.6) се характеризират с повишени стойности на елементите с нисък йонен потенциал (LILE – K, Rb, Cs, Ba, Sr), т.е. обогатени са на в сравнение с тези с висок (HFSE – Zr, Hf, Ti, Nb, Ta). Наклонът на кривата в посока към HREE става почти равен.

Направена е съпоставка на нормализираните по средни стойности за MORB разпределения на елементите следи за различни серии от обстановките, които не са свързани със субдукция (вътрешноплочови обстановки) и разпределението на елементите следи на базалтите от Зидаровското рудно поле. На графиката са включени данните за разпределението на алкална, преходна и толеитова серии. Подобно сравнение е направено и с нормализираните по средни стойности за MORB разпределения на елементите следи в базалти от свързаните с процеси на субдукция вулканско дъгови обстановки

Въпреки някои вариации в съдържанията на елементите следи по отношение на еталонните данни, микрохимизмът на горнокредните вулканити в района на Зидаровското рудно поле е сходен с този на високо-калиевите и калциево-алкални базалти свързани със субдукционна обстановка (фиг. 3.2.6). Всички модели на базалти от свързаните с процес на субдукция вулканско-дъгови обстановки са набогатени на елементи като Sr, K, Rb, Ba и Th по отношение на групата елементи от Ta до Cr. Разграничаващо за тези елементи е техният нисък йонен потенциал и следователно те имат по-голяма склонност да бъдат мобилизирани от водните флуиди.



Фиг. 3.2.6 Нормализирани по MORB модели за разпределението на елементите следи от типични базалтови серии, несвързани със субдукция (вариации във вътрешно плочови обстановки – WPB) по Pearce (1982), сравнени с базалтите от находище "Зидарово".

За допълване на представите за геодинамичната обстановка, при която са се образували продуктите на Зидаровската вулкано-плутонична структура, са използвани популярни дискриминационни диаграми.

За дискриминиране на вулканските скали е използвана въведената от Muller et al. (1992) йерархична схема за калиевите вулкански скали. При нея първоначално се открояват най-отчетливо различаващите се тектонски обстановки, а след това да се търсят други критерии за разграничаване там, където разликите са най-малки. При тези дискриминантните функции се отчитат съдържанията на TiO₂, Al₂O₃, P₂O₅, Zr, Ce, Y, като схемата се опира и на техните отношения, които са по-слабо чувствителни към систематичните грешки при анализите и теоретично не се влияят от ефектите на разреждане или концентрация на елементите. Диаграмите позволяват да бъдат разграничени скали от 5 тектонски обстановки: континенталните дъги (САР), постколизионните дъги (РАР), океанските дъги (които могат да бъдат инициални или млади – ІОР; и късни или зрели -LOP), както и вътрешноплочовите вулканити (несвързани със субдукцията и асоцииращи с горещи точки или с рифтова тектоника - WIP). Последователно са използвани диаграма в координати TiO₂/Al₂O₃-Zr/Al₂O₃, след което дискриминационна диаграма в координати Zr/TiO₂-Ce/P₂O₅. Вулканските скали от Зидаровското рудно поле, поставени на диаграма TiO₂/Al₂O₃-Zr/Al₂O₃, попадат в полетата на континенталните и постколизионните дъги (фиг. 3.2.7). На диаграмата Zr/TiO₂-Ce/P₂O₅ по-голямата част се отделят в полето на постколизионните дъги, а останалите в полето на континенталните дъги (фиг. 3.2.8).



Фиг. 3.2.7 Дискриминационна диаграма в координати TiO₂/Al₂O₃-Zr/Al₂O₃ по Muller et al.(1992).

САР – континентална дъга, РАР – постколизионна дъга, WIP – вътрешноплочови вулканити, IOP – инициална океанска дъга, LOP – късна океанска дъга.



Фиг. 3.2.8 Дискриминационна диаграма в координати Zr/TiO₂-Ce/P₂O₅ по Muller et al.(1992).

САР – континентална дъга, РАР – постколизионна дъга, WIР – вътрешноплочови вулканити.

За определяне тектонската позиция на интрузивните скали са използвани бинарните дискриминантни диаграми микроелемент-SiO₂ и диаграми в областите Rb-Y-Nb и Rb-Yb-Ta предложени от Pearce et al. (1984). Тези диаграми дават възможност да бъдат разграничени нормалните океанско-хребетни гранити (ORG), вътрешно-плочови гранити (WPG), вулканско-дъгови гранити (VAG) и синколизионни гранити (syn-COLG). Pearce et al. (1984) използва терминът гранити в широк смисъл за: "всички плутонични скали съдържащи повече от 5% модален кварц. При поставянето им на диаграми в координати Ү-SiO₂, Yb-SiO₂ и Rb-SiO₂, пробите от Зидаровския интрузив попадат съответно в полетата на със свързаните със субдукция гранитоиди - VAG+COLG+ORG и VAG. Дискриминантните диаграми с участието на Rb (Pearce et al., 1984) са направени с цел да се разделят VAG от syn-COLG и на ORG от WPG, като на тези диаграми няма припокриване на четирите типа обстановки. Постколизионните скали могат да попаднат във всички полета без това на ORG, а над-субдукционните ORG попадат в полето на VAG. Нанесените проби от Зидаровския интрузив попадат в полето на вулканско дъговите скали (фиг. 3.2.9). На тези диаграми пост-орогенните плутонични скали не могат да бъдат разграничени от вулканско дъговите и син-колизионните.



Фиг. 3.2.9 Дискриминационни диаграми за интрузивни скали (Pearce et al., 1984), с показани полетата на вулканските дъги (VAG), син колизионни (syn-COLG), вътрешно плочови (WPG), океански хребети (ORG).

а – Nb-Y; б – Ta-Yb; в – Rb-(Y+Nb); г - Rb-(Yb+Ta).

III.2.4.2 Изотопни отношения

За характеризиране на магмения източник в находище "Зидарово" са използвани данни за химизма на скалите, както и следните изотопни анализи: Sm-Nd, Rb-Sr и Pb-Pb по средни скални проби и хафниеви (Hf) на циркони с предварително определена възраст. Изотопните системи са изследвани в предварително подбрани, детайлно петрографски и геохимично характеризирани образци от интрузивните и вулкански скали в района на участъци Канарата и Юрта в Зидаровсото рудно поле.

Установените изотопни отношения ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd са изключително хомогенни за трите анализирани проби от Зидаровския интрузив. И трите стойности са около 0.5127.

Изчислените ε^{80} Nd стойности за интрузивните скали (между 1,75 и 2,49), както и тези за ε^{80} Hf (между 13,2 и 15,6) говорят за мантиен източник на магмите в Зидаровския район. Сходните стойности на ε^{80} Nd в габрото и монцодиоритите сочат общ източник за двете разновидности (Ruskov et al., 2006).

Измерените начални стронциеви отношения ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr във вулканските скали варират в интервала 0.7039 до 0.7076, като само в три от пробите отношението е над 0.706. По-високите стойности на отношението ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr могат да бъдат обяснени със смесване с по-стари скали.

Сравнени с данните от Централното Средногорие (von Quadt et al., 2005), скалите от Зидаровското рудно поле в по-малка степен са замърсени с континентални корови материали (Ruskov et al., 2006). Същият тренд се наблюдава и при сравнение на интрузивните и вулканските скали. Вулканските скали притежават по-примитивни изотопни състави, което се обяснява с по-бързата кристализация на вулканитите вероятно преди контаминирането им с корови материали в средно/горно корови магмени камери. Направените изследвания показват, че дайките и вулканитите са по-слабо обогатени с радиогенен Sr, което дава основание да се счита, че горната кора е най-вероятният източник на контаминация в интрузивните скали.

III.2.4.3 Геохроноложки данни

Данни за възрастта на вулканските, субвулканските и интрузивните скали, установени по К/Ar метод, са публикувани от Недялков (в Гергелчев и др., 1992), съответно 108, 92,5 и 82 Ма (алб-сантон). Сходна възраст на интрузива (83 Ма) се дава и от Каменов и др. (2000), също въз основа на анализи по метода К/Ar (грешка на анализа ±4 Ма).

Възрастта на интрузивните скали е определена по прецизен "конвенционален" U/Pb метод (ID-TIMS), както и по локален in situ LA-ICPMS метод. Датирани са седем цирконови кристала (удължени призматични), като е измерена скоростта на радиоактивния разпад на ²³⁸U към ²⁰⁶Pb. Получените резултати за три от кристалите са използвани за изчертаване на изохронна диаграма, като е дефинирана конкордантна ²⁰⁶Pb/²³⁸U възраст от 79.38±0283 Ма (фиг. 3.2.10). Получените данни се интерпретират като възраст на образуване на Зидаровския интрузив. Поради високата цена на този тип изследвания такива не са направени за вулканските и дайковите скали. Проведените изследвания по метода лазерна аблация La-ICP дадоха ²⁰⁶Pb/²³⁸U възрасти в интервала 360-408 Ма и ²⁰⁷Pb/²³⁵U възрасти в интервала 374-426 Ма, които са интерпретирани като наличие на унаследени минерални ядра.



Фиг. 3.2.10 Изохронна диаграма в координати ²⁰⁷Pb/²³⁵U към ²⁰⁶Pb/²³⁸U за циркони от Зидаровския интрузив.

II.3 Структурни условия за рудообразуване III 3.1 Общи сведения

Жилите с медни и полиметални орудявания се явяват като резултат от постмагмената хидротермална дейност, проявила се след внедряването на Зидаровския плутон. Основна роля в развитието на рудообразуването са играли вулкано-тектонските разломи или Зидаровският разломен сноп (Захариев и др., 1987ф). Рудните зони представляват разломни нарушения със сложна морфология, върху които е наложен хидротермален процес.

В рамките на рудното поле са разграничени няколко участъка, в които е проявена постмагмена хидротермална активност – Канарата, Юрта, Крушевец, Зидарово, Извор и Пърлена кокошка–Тепето. За тези участъци е характерна интензивна хидротермална промяна, както и наличие на рудна минерализация. Детайлни геологопроучвателни работи до момента са проведени единствено за участъци Канарата и Юрта, където са доказани промишлени запаси (Захариев и др., 2002ф, Захариев и Стоянова, 1997ф).

III.3.2 Дистанционни изследвания по мултиспектрални сателитни и аерофото изображения, анализ на цифров модел на релефа.

Използването на мултиспектрални сателитни снимки, в частност тези от инструмента ASTER, има потенциала да осигури детайлна информация за минералогията, химията и морфологията на земната повърхност. Разграничаването на различни минерали и скали е възможно въз основа на спектралните им характеристики при различни дължини на вълната (Rowan et al., 2003). Обработката на мултиспектралните изображения, за получаване на достоверна информация за повърхността, изисква последователност от процеси значително различаващи се от "стандартните" техники за работа с изображения. Особено важни в областта на геологията са каналите на ASTER в късовълновия (SWIR) и термалния (TIR) инфрачервени диапазони, в които могат да бъдат картирани широк ранг от минерали, разграничаването които налага да бъдат изпълнени процеси за премахване на атмосферните и температурните ефекти от данните (Hewson et al., 2003). В SWIR диапазона има възможност да бъдат отделени минералите: алунит, пирофилит, каолинит, илит-мусковит-серицит, MgOH-карбонатни минерали, докато в TIR региона могат да се отделят кварц, фелдшпат, карбонати, амфибол и глини.

Спектралната идентификация на потенциалните площи с хидротермална промяна е едно от най-разпространените приложения на дистанционните изследвания при проучването на полезните изкопаеми (Rowan et al., 2003). За получаване на по-точни резултати при обработка на мултиспектралните изображения предварително са изключени районите с растителност, водните площи, облаците. За засилване на спектралните различия между каналите на изображението, са използвани техните отношения (Crowley et al., 1989). Различните повърхности имат различни отражателни и сорбционни особености при всички дължини на вълните. Също така повърхностите имат абсорбционни характеристики при определени дължини на вълните. Тази абсорбционна особеност може да се използва при отношенията между каналите. На фигура 3.3.1 са показани потенциалните зони с хидротермални промени, наложени върху сателитната снимка. Участъците със син цвят указват местата с най-високи стойности на отношението между 4-и и 5-и канал на ASTER, в късовълновия инфрачервен диапазон. Отделените площи показват линейна ориентация в СИ и СЗ посока. Отношението между тези два канала е свързано с минерали характерни за зоните с интензивна аргилизация (алунит, пирофилит, каолинит). Други отношения между каналите на ASTER, използвани за отделяне на минерали свързани с хидротермални промени (по Yamaguchi, 2003), са 4/6 (каолинит, монморилонит), 4/7 (калцит), 4/3 (железни оксиди) и др.

При дешифрирането на аерофото изображенията, стерео изображението от AS-TER и цифровия модел на релефа, добре се очертават линейни морфоструктури предимно със СИ и СЗ посока, пресичащи се на СИ, СЗ и ЮИ от Зидаровския интрузив. От цифровия модел на релефа са получени карти в "полусенки", на които ясно се подчертават особеностите на релефа. При този тип карти се създава усещане за осветеност на обекта от някакъв виртуален източник на светлина и впечатление за обемност на изображението. Отделените морфолинеаменти показват ясна корелация с разграничените зони на хидротермална промяна (фиг. 3.3.2). В зоните на пресичане на различно ориентираните морфоструктури се наблюдава най-голямо площно разпространение на предполагаемите участъци с хидротермална промяна. В участъци Юрта и Канарата се наблюдава пресичане на линейни структури със СИ и СЗ посоки. Южно от село Зидарово, ясно различими на стерео изображенията са две кръгови структури разположени концентрично една спрямо друга.

От установените в района на рудното поле разломи, със СЗ направление е Диклемешкият разлом преминаващ между с. Крушевец и Канарата, пресичайки центъра на Зидаровския вулкан. От разломите със СИ посока най-значим е Крушевецкият (Попов и др., 1993). В южните части на района са описани субекваториален, северновергентен възсед и навлак със СИ направление.



Фиг. 3.3.1 ASTER изображение в реални цветове и отношение на каналите 4 към 5, характеризиращо потенциалното наличие на хидротермални изменения.



Фиг. 3.3.2 Карта в "полусенки" (азимут 315°, наклон 45°) – Зидаровско рудно поле, с показани отделените потенциални участъци с хидротермална промяна и разграничените линейни структури.

III.4 Минерален състав на рудите

III.4.1 Изученост

Върху минераложките особености на рудите от находище "Зидарово" са извършени сравнително не много на брой детайлни изследвания. Ковачев (1976, 1979, 1980, 1983, 1990) дава най-подробна характеристика на минералите и последователността на минералоотлагането, като определя над 50 минерала, разграничава 6 минерални асоциации с 14 минерални парагенези и отделя три етапа на минерализация: магмен, хидротермален и супергенен. На тези етапи, според автора, отговарят три стадия: желязофосфорен, медно-бисмутово-цинково-оловен, медно-железен (Ковачев, 1980).

III.4.2 Характеристика на рудните минерали

Най-широко разпространение в участък Юрта имат минералните парагенези изграждащи халкопирит-сфалерит-галенитовата асоциация (Ковачев, 1980) или галенитсфалерит-халкопиритовият стадий (Богданов и др., 1994), докато за участък Канарата са характерни тези от халкопирит-бисмутинитовата асоциация (Ковачев, 1980) или халкопирит-бисмутинитовият стадий (Богданов и др., 1994). Тези парагенези представляват промишлен интерес.

Въз основа резултатите от проведените собствени минераложки наблюдения и като се отчитат данните от предшестващите изследвания (Ковачев, 1980; Богданов и др., 1994; Tarkian and Breskovska, 1995), могат да се отбележат следните характерни особености на процесите на минералообразуване в рудното поле:

- Проведените в настоящата работа изследвания потвърдиха описаната в литературата хоризонтална зоналност в разпространението на минералните парагенези (Ковачев, 1980). В централните части на рудното поле (участък Канарата) пошироко разпространение имат минералните парагенези на халкопиритбисмутинитовата асоциация, докато в по-отдалечените участъци са характерни тези от халкопирит-сфалерит-галенитовата асоциация (участък Юрта);
- Присъствието на бисмутови и сребросъдържащи минерали е една от главните особености в минералния състав на Зидаровското рудно поле. При работата по дисертационния труд с микросондови анализи е потвърдено присъствието на емплектит, бисмутинит, тетрадимит, айкинит, крупкаит и купробисмутинит. Бисмутовите минерали обикновено се срещат прораснали помежду си и в парагенеза с халкопирит и кварц. Особеност на химизма на тези минерали е наличието на изоморфно сребро и селен. Изоморфно присъствие на сребро е срещано и в тенантит– тетраедритовата група, галенита и златото;
- Элатото е свързано с халкопирит-бисмутинитовата и халкопирит-сфалеритгаленитовата минерални асоциации. Направените изследвания потвърдиха, че първият тип злато се отличава с по-висока пробност и се среща в асоциация с бисмутови минерали. Вторият тип Au-Ag фази се отлагат сред галенит, сфалерит и халкопирит. Установени са и ниски съдържания на мед в него. Съдържанията на сребро нарастват в периферната част на Au-Ag фази. Характерно за по-ниско пробното злато е, че е разпространено в периферията на рудното поле и е в края на рудообразувателния процес.

IV. Геостатистически анализ на данни от проучването на Зидаровското рудно поле – участъци Канарата и Юрта.

IV.1 Използвани данни и предварителна обработка

Обхватът на поставените задачи наложи, като начален етап от работата, събиране и подготовка на значителна по обем архивна информация. Наличните до момента данни за района на изследването са в резултат на проведените геоложки картировки в различен мащаб, както и на търсещо-проучвателните и експлоатационни работи, свързани с участъци Канарата и Юрта от рудното поле. Извършени са голямо количество сондажни и минни работи, данните от които са използвани при съставянето на геостатистическите модели. Информацията за предварителното и детайлно проучване е събрана от Националния Геофонд към МОСВ (Захариев и др., 1992ф и 1997ф).

Поради недостатъчната чувствителност на използвания емисионно-спектрален анализ и ниските съдържания на елементите, в някои от пробите не е установено присъствие на част от изследваните рудни метали. В такива случаи на пробите са дадени съдържания отговарящи на половината от долния праг на чувствителност на анализа за съответния елемент. Освен заместването със стойност, съответстваща на половината от долния праг на чувствителност, други възможни решения са присъждане на стойност нула (т.е. няма съдържание) или изключване на дадената проба от по-нататъшна обработка и статистически анализ. Тъй като елиминирането на тези проби ще доведе до нереално "изкривяване" на статистическото разпределение на елемента и до известно завишаване на неговото средноаритметично съдържание, то този вариант е пренебрегнат. Разликите между двата гореспоменати варианти на заместване на практика не са съществени, тъй като и в двата случая приписваните стойности са много ниски – от областта на минимума на разпределение за анализирания елемент.

Обработените данни съдържат информация за съдържанията на Au, Ag, Cu, Pb и Zn, както и за пространственото положение (географските координати) на всяка една проба. За участък Канарата общият брой на използваните данни възлиза на 20 222 секционни проби от 250 бр. наклонени сондажи (Захариев и др., 1997ф). Сондажите са разположени в 59 проучвателни линии, които са прокарани приблизително през 50 m, при азимути 30-245° и наклони в границите 90-75°. За участък Юрта броят на използваните за анализите секционни проби е 3 457 (Захариев и др., 1992ф). Броят на използваните сондажи е 94, ориентирани по проучвателни линии в приблизителна мрежа 50х50 m и прокарани наклонено под среден ъгъл 75°. За характеризиране разпределението на съдържанията в рудни зони 50 и 32 на участък Юрта са използвани 957 броя проби за зона 50 и 235 за зона 32.

Създадени са цифрови модели на релефа в районите на двата участъка по топографски карти в мащаб 1:10 000. Цифровите модели са използвани при геостатистическото моделиране като ограничителна повърхност служеща за изключване на отнесените от ерозията части.

IV.2 Резултати от едномерен статистически анализ

За да бъдат направени коректни и адекватни на реалността математически модели, предварително е необходимо да бъдат изследвани входящите данни. Една от целите на този статистически анализ е и изключването на очевидни грешки в данните, допуснати в резултат на опробването и анализите, които могат съществено да повлияят на получените резултати и на направените впоследствие инепретации.

Едномерният статистически анализ е използван като първи стадий на предложената методика. На този етап данните са разглеждани като непрекъснати случайни величини, разпределенията на които имат известни характеристики като тяхната средна стойност, мерки за степента на променливост на данните, симетрията и формата на статистическите разпределения и др. Изследвани са четирите момента на нормалното разпределение (средно аритметично, стандартно отклонение, асиметрия и ексцес), както и някои непараметрични оценки като медиана, мода и др. Построени са хистограмите на изследваните метали и са сравнени с кривата на плътността на нормалното разпределение.

Всички разпределения притежават подчертано положително-асиметрични форми, т.е. по-голямата част от данните са в интервалите с ниски съдържания и в малка част от пробите са измерени високи съдържания на дадения елемент. Известно е, че положителните стойности на асиметрията сочат за наличие на "опашка" от данни в областта на високите стойности (положителна асиметрия). Асиметричността във формата на разпределението може да се обясни с привнос или износ на дадения елемент, а наличието на положителна асиметрия в кривата на разпределение може да бъде интерпретирано с привноса на вещество от наложен рудообразувателен процес, т.е. асиметрията може да бъде обяснена с наличието на ядро от нормални (Гаусово разпределени) съдържания, които са характерни за съответния вид скала, и въздействието на допълнителен генетичен процес (Попов, 2003).

Като показатели за средното равнище са оценени средноаритметичната стойност и медианата. Резултатите по всичките данни, както и за отделните участъци, показват значителни разлики в стойностите за тези два показателя. Медианата на практика е равна на минималната стойност на данните. Това се дължи на значителната разлика в обемите от данни с ниски съдържания и тези с високи, което е видно и от еднаквите стойности на долния и горен квартил. За участък Канарата са получени по-високи средно аритметични стойности за медта и среброто, докато за златото стойността е три пъти по-ниска от тази в участък Юрта.

За сравнение степента на променливост между различните елементи е използван коефициентът на вариация, който не зависи от мерните единици Данните се характеризират с изключително голяма степен на разсейване и нееднородност. Участък Канарата се отличава с по-ниска променливост за медта и по-висока за среброто, и златото, спрямо участък Юрта.

Коефициентите на вариация в разглежданите рудни зони имат значително пониски показания, което се дължи на по-високите средноаритметични стойности на рудните компоненти в тях. За рудна зона 50 стойностите му са съответно: мед – 109%, сребро – 133%, злато – 180%, докато за участък 32 те са: за медта – 184%, сребро – 162%, злато – 194%. Съдържанията на олово и цинк се отличават с по-голяма променливост от останалите рудни компоненти (в зона 32 коефициентът на вариация за тези два елемента е съответно 213% и 357%).

IV.3 Корелационни зависимости между елементите

Изложените до момента статистически показатели служат за описание на разпределението на всяка от изучаваните променливи самостоятелно. Следващата стъпка в цялостния анализ на масивите от данни е определяне на зависимостите между отделните двойки променливи. Като мярка за взаимовръзка между отделните величини е използван коефициентът на корелация на Пирсън, който е безмерно число (индекс) и може да приема всяка една стойност е интервала от -1 до +1. Този коефициент обикновено се приема за стандартна мярка при изследване на взаимовръзката между две случайни променливи измервани по метрични скали. За целите на този анализ са пресметнати стойностите на коефициента на корелация между отделните двойки компоненти и са построени графиките на техните зависимости.

Извършените анализи на взаимовръзките между отделните двойки метали са базирани на наличието на сходство или различие в тяхното пространствено поведение. От генетична гледна точка наличието на взаимовръзка между компонентите се обуславя както от миграционните свойства, така и от характера им на поведение в изследвания генетичен процес и взаимодействието с вместващите скали. Всички стойности на коефициента на корелация са положителни, което указва за правопропорционални зависимости между изследваните метали.

Резултатите от корелационния анализ отразяват наличието на пространствена зоналност в разпределението на изследваните компоненти.

За целия изучаван район най-високи са стойностите на коефициента на корелация между оловото и цинка (r=0,726), и между среброто и медта (r=0,465), като стойностите на коефициента на корелация между тези двойки елементи са по-високи за участък Канарата. Участък Юрта се характеризира с по-високи стойности на корелацията между оловото и среброто (r=0,571), цинка и среброто (r=0,560), оловото и цинка (r=0,511) и медта и среброто (r=0,360). Получените стойности могат да се интерпретират като наличие на полиметални Pb-Zn и Ag-Cu асоциации в участък Канарата, и полиметални Au-Ag и Pb-Zn-Cu-Ag асоциации за участък Юрта.

Самостоятелно са изследвани взаимоотношенията между рудните компоненти за рудни зони 50 и 32 на участък Юрта. За зона 50, най-висока е корелацията между златото и среброто (r=0.653), докато за зона 32 коефициентът на корелация има най-високи стойности за двойките Pb-Zn, Au-Pb, Au-Zn и Ag-Pb. За тази рудна зона е характерно пониската корелация на съдържанията на медта с останалите изследвани метали.

IV.4 Вариограмен анализ – установяване на пространствената променливост в данните

Създаването на геостатистически пространствени модели на разпределението на изследваните показатели се базира на предварителен анализ на променливостта в данните. Една от базовите статистически мерки на геостатистиката е полувариограмата, която служи за изразяване степента на промяна на регионализираната променлива по протежение на зададено направление (Davis, 2003).

Вариограмният анализ е съществена част от т.нар. пространствена статистика (Matheron, 1967; Rendu, 1981). Той се явява задължитен етап при моделирането по геостатистическия метод кригинг, при който се ползват параметрите праг, ранг и ефект

на включенията на избраната теоретична вариограма. В настоящата работа вариограмният анализ е използван за количествена оценка на пространствената променливост в разпределението на съдържанията на главните рудни метали. Изследвано е изменението на разликите в съдържанията на полезните компоненти, измерени при различни разстояния между пробите и в различни посоки от пространството. Използвано предимство на вариограмния анализ е отчитането на средните показатели на различни природни свойства, като анизотропия, наличието на тренд, характер и степен на зависимост между съседните проби при различни разстояния между тях, непрекъснатостта на орудяването и др.

При обработката на данните бе предпочетена експоненциална вариограма, тъй като от всички изпробвани модели този тип вариограми показа най-малка остатъчна грешка. За целите на анализа са използвани програмите *GSLIB* (Deutsch and Journel, 1992) и *SYSTAT*.

Пресметнати са експерименталните вариограми в четири главни хоризонтални направления— съответно в изток-западна, север-източна, север-южна и югозападна посоки (при 0°, 45°, 90° и 135°), като за всяко от тези направления са пресметнати вариограми под наклон 0°, 45°, 90° и 135°. По-този начин са оценени, за всеки един от разглежданите елементи, по 16 експериментални вариограми, които покриват всички посоки от пространството. Вариограмите са пресмятани чрез тримерно търсене на най-близките съседни проби, като са спазени следните условия: разстояния между пробите от 10 до 400 m през стъпка 10 m, хоризонтална и вертикална ивица на търсене 100 m. Застъпването на отделните участъци от пространството е избегнато като е задаван хоризонтален и вертикален ъглов толеранс на търсене 22,5° или половината от стъпката на наклона.

Важен елемент от вариограмния анализ е изследването на анизотропията в изменението на разглежданото свойство. За да се анализира анизотропията в план са построени 18 вариограми през стъпка 20° за всеки от изследваните елементи (фиг. 4.4.1).

При анализа на изследваните данни бе установено, че разстоянията при които пробите престават да си влияят и за трите изследвани елемента са функция от направлението на вариограмата, което говори за наличие на геометрична анизотропия. Това се дължи вероятно на издължената в една посока променливост на орудяването. За златото и среброто също така се наблюдава и добре изразена зонална анизотропия, различни стойности на максималната стойност на полувариограмата в зависимост от посоката, което може да се обясни с наличието на предпочитани направления на минерализацията. За тези два елемента се наблюдават по-ниски стойности на прага при ъгли на наклона 45° и 90°.

Вариограмните модели по съдържанията в участък Юрта показват понеравномерно изменение от тези за участък Канарата. Съдържанията на среброто имат най-ниски стойности на средно квадратичните разлики между съдържанията при ъгли на наклона 90°, за всички посоки, докато обхвата е най-голям при ъгли на наклона 45°, т.е. имаме най-голям интервал в който пробите си влияят.

Резултатите от двумерния вариограмен анализ, на данните от рудни зони 50 и 32 в участък Юрта, са предмет на самостоятелно изследване и са представени в глава IV.5.2 на дисертационния труд.



 а) Обобщена вариограма по съдържанията на Au
 Използван е експоненциален модел: ефект на включенията: 0,017; праг: 0,04; ранг: 280; брой стъпки: 20; ъглов толеранс: 90⁰;



в) Обобщена вариограма по съдържанията на Си Използван е експоненциален модел: ефект на включенията: 0,18; праг: 0,15; ранг: 160; брой стъпки: 20; ъглов толеранс: 90⁰



д) Обобщена вариограма по съдържанията на Ад Използван е експоненциален модел. ефект на включенията: 10; праг: 11; ранг: 200; брой стъпки: 20; ъглов толеранс: 90°;



б) Вариограмна структура в хоризонтално направление - Аи



г) Вариограмна структура в хоризонтално направление - Cu



е) Вариограмна структура в хоризонтално направление

Фиг. 4.4.1 Резултати от вариограмния анализ за участък Канарата

IV.5 Кригинг оценка – пространствени модели

Пространственото моделиране на съдържанията на изследваните компоненти е осъществено в два самостоятелни етапа.

Първоначално са използвани данни от етапите на предварително и детайлно проучване на разглежданите участъци в рудното поле (Захариев и др., 1992ф и 1997ф). Получените тримерни модели отразяват общите закономерности и морфология на рудоносния поток, а също така спомагат за характеризиране на сходството, респективно различието в разпространението на рудните компоненти и наличието на зоналност в рудното поле. Въз основа на тримерните модели са пресметнати общите обеми на всички блокове със съдържания на рудните компоненти надхвърлящи зададените гранични стойности.

Изменението на съдържанията в рамките на отделни рудни зони са детайлизирани посредством двумерни карти в изолинии показващи прогнозните стойности на елементите, както и вероятността за надхвърляне на зададена гранична стойност. Използвани са данни от експлоатационното проучване на рудни зони в участък Юрта, като за минимални стойности в моделите са използвани кондициите за изчисляване на запасите от медна и златна руда (Захариев и др., 1997ф).

За осъществяването на двата етапа на моделиране са приложени геостатистически методи за оценка на променливостта в данните и е направена проверка за коректността на получените резултати.

IV.5.1 Блоков Кригинг по данни от предварителното и детайлното проучване на участъци Канарата и Юрта

Една от основните задачи в дисертационния труд бе анализ на пространственото разпределение и взаимоотношения между рудните компоненти, посредством извеждане на тримерни модели. Изпълнението на такъв тип задача стана възможно в резултат на появилите се в последните няколко години специализирани програмни продукти, в които са внедрени възможностите на статистическия анализ и геостатистиката, като в същото време дават възможност за тримерна визуализация на получените оценки. На базата на събраната геоложка информация от предварителното и детайлното проучване на участъци Юрта и Канарата от Зидаровското рудно поле (Захариев и др., 1992ф и 1997ф) и на геостатистическата обработка на данните, е създадена цифрова база данни използвана за построяване на математически модел на разпределението на рудните елементи. За оценка на точките с неизвестно съдържание е ползван геостатистическият метод *Кригинг,* който следва след описания в глава IV.4 вариограмен анализ на пространствената променливост в разпределението на изучаваните елементи. За този метод се смята, че дава най-добра линейна неизместена оценка (Matheron, 1967).

Кригинг оценяването е извършено с програмата SYSTAT, използваща библиотеките на GSLIB (Deutch and Journel, 1998), като за всеки блок са използвани от 4 до 20 най-близки съседни проби.

В основата на създаването на геостатистическите модели стои тримерното подреждане на блокове с еднакви размери. Геостатистическият метод Кригинг е приложен като средство за интерполация и оценяване на стойностите в центъра на блоковете, използвайки неравномерно разположени в пространството проби с известни съдържания. Центровете на блоковете са разположени в равномерна мрежа. При моделирането, на всеки блок е приписана стойността, която е изчислена в центъра му. Пространствените данни са третирани локално чрез очертаването на съседните проби около всяка зона на интерес в цялата област. Методът Кригинг се различава от класическата линейна регресия по това, че не приема променливите за независими, нито че наблюденията са случайни величини. Необходимо е да се разполага с предварителна информация за модела на полувариограмата или пространствената ковариация. Може би най-важната особеност е, че дисперсията на грешките на кригинг оценките са минимални спрямо всеки метод за линейна оценка и могат да бъдат пресметнати навсякъде, където кригинг оценката е направена (Davis, 2003) и да бъдат представени като тримерен модел.

При анализа на данните от предварителното и детайлното проучване е използвана разновидността "блоков Кригинг". При този метод се извършва промяна на геометричната основа на регионализираната променлива от наблюдения на точки до оценка, която представя средната стойност на площи или обеми (Davis, 2003). Кригингът е използван също и за оценка на дисперсията на получените резултати. Дисперсията на кригинг оценката представлява дисперсията на получената при пресмятанията грешка. Съставени са тримерни модели, както по пресметнатите оценки (фиг. 4.5.1), така и по дисперсията на получената грешка за всеки от изследваните метали.

За целите на тримерното моделиране за участък Юрта са използвани единични блокове с размери 25х25х25 m, а тези за участък Канарата са с размери съответно 25х25х10 m за съдържанията на злато и сребро, и 25х25х15 m за медта, при дискретизация 4х4х4 точки за всеки блок. Блоковите геостатистически модели са оразмерени за общ обем с размери 4160х7965 m в план и 758 m в дълбочина между коти 105 и -653 на дълбочина. Обемът на единичните блокове за участък Юрта е 15 625 m³, докато за участък Канарата блоковете са с обем съответно 6 250 m³ и 9 375 m³.

Резултатите от кригинг оценката се получават в табличен вид. Всеки запис в таблицата представя даден блок чрез координатите на геометричния център на блока, в който е оценено съдържанието на съответния елемент и дисперсията на кригинг оценката. За визуализация на получените цифрови модели на съдържанията (фиг. 4.5.1) е използвана програмата RockWorks, в която са вкарани данните от кригинг оценката, като са запазени същите размери на блоковете използвани при оценката. Направените тримерни модели дават информация за геометрията на зоните с високи съдържания на изследваните компоненти, както и за разграничаване на най-богатите участъци. Важно предимство на тези модели е възможността да се варира с най-ниската стойност включена в модела, като по този начин да бъдат направени модели с различна минимална стойност, както и да бъдат пресметнати запасите от изследваните компоненти при зададени минимални съдържания. За всеки от изследваните компоненти е определен броят на блоковете включени в моделите и техния обем, а също така са пресметнати статистическите параметри на оценките.

Данните за разпространението в план на рудните компоненти са въведени в ГИС среда и са наложени върху аерофото снимката на района и геоложката карта. Отделените участъци показват линейна ориентация в план, имаща североизточна и северозападна посока, съответстваща на посоката на рудовместващите разломи.



а) блокове със съдържание на злато по високо от 0,2 g/t – участък Юрта (18 828 125 m³)



0,3 % – участък Юрта (8 921 875 m³)



3 g/t – участък Канарата (7 125 000 m³)

в) блокове със съдържание на сребро по-високо от д) блокове със съдържание на злато по високо от 0,4 g/t – участък Канарата (8 362 500 m³)

Фиг. 4.5.1 Тримерни модели по съдържанията на рудните елементи за участъци Юрта и Канарата



б) блокове със съдържание на сребро по високо от 1,5 g/t – участък Юрта (53 218 750 m³)



в) блокове със съдържание на мед по-високо от г) блокове със съдържание на мед по-високо от 0,3 % – участък Канарата (52 490 625 m³)



От направените пространствени модели могат да бъдат направени следните по съществени обобщения:

- Тримерните модели на данните от предварителното и детайлното проучване дават възможност да се определят особеностите и морфологията на рудоносния поток, както и разликите в разпределението на различните компоненти. Обособени участъци с по-високи съдържания на метал се образуват на различни дълбочини, като по-големи са в участък Канарата. В план, зоните с по-високи съдържания имат северозападна посока на разпространение, а за участък Канарата и североизточна посока. Зони с високи съдържания на мед са характерни за участък Канарата, в близост до Зидаровския интрузив, докато в участък Юрта медта е неравномерно разпределена. Броят на блоковете с по-високи съдържания на злато и сребро се увеличава към участък Юрта. Тези два елемента показват сходно пространствено разпространение.
- Моделите на разпределението на дисперсията сочат, че зоните с най-малка променливост между съдържанията на разглежданите елементи се припокриват и за трите елемента. В план, най-ниските стойности на променливостта са ориентирани в север-северозападна посока, а в дълбочина са почти перпендикулярни на повърхността. Получените графики кореспондират с резултатите от вариограмния анализ. За участък Канарата се отделят две зони с ниски стойности на дисперсията, достигащи на дълбочина до към 350-400 m. В участък Юрта има три такива зони, припокриващи се и за трите рудни елемента, които достигат на дълбочина до -500 m. Тези участъци отчетливо маркират зоните с повишени концентрации на рудните елементи, получени в резултат на наложени хидротермални и рудообразувателни процеси. Сравнени с плана на рудните жили в участък Юрта, съставен по данни от геологопроучвателния обект (Захариев и др., 1992), участъците с ниски стойности на променливостта в съдържанията съвпадат пространствено с найиздържаните по разстояние рудни зони – 48, 50 и 55. Най-ясно в план може да бъде отделена зоната припокриваща рудна зона 48.

IV.5.2 Модели на разпределението на Au, Ag, Cu в рудни зони 50 и 32, участък Юрта

За по-детайлното характеризиране на морфологията на рудните тела е направен анализ на данни от експлоатационното проучване в отделни рудни зони на участък Юрта от рудното поле. Използвани са съдържанията на елементите Au, Ag, и Cu от рудна зона 32, между хоризонти -9 и -130, както и от рудна зона 50, между галерии -130 и -190.

Изследваните две рудни зони са едни от най-важните по значение в участък Юрта. Заедно с рудни зони 36 и 48а те носят повече от 80% от общото количество на запасите (Милев и др., 2007). Рудна зона 50 е основната в участъка. Изучена е с помощта на галерии прокарани на четири минни нива: -9, -70, -130, -190, както и с надземни сондажи. Добре издържана е по посока и страна, и потъва на запад с на наклони на разломната плоскост 85-90°. Добива в тази рудна зона се води още от началните етапи на експлоатация. Рудна зона 32 е проучена на три минни нива: -9, -70, -130. Внедрена е в разломи със североизточна посока и е развита по трахибазалти, които са прослоени от туфи. Тази рудна зона потъва на северозапад с наклони 70-80°. Според степента си на изученост избраните две рудни зони са в краен етап на детайлно проучване.

Направено е предварително изследване на входящите данни, в програмата Arc-Gis, с цел да се изключат възможни грешки в данните и да се определи евентуалното наличие на закономерни тенденции в изменението на стойностите. Изведените тренд повърхнини показват ясно изразени тенденции в пространственото изменение на Ag и Au, които могат да бъдат описани с полиномни криви от втора степен. За съдържанията на мед отсъстват подобни закономерности. При последвалата обработка по метода кригинг в разширението Geostatistical Analyst на ArcGis, тези закономерности са изключени при пресмятане на прогнозните карти, с цел по-голяма локална точност при оценките (ESRI, 2001). Всички разпределения имат подчертано асиметричен характер.

Разпределението на елементите по рудните зони е представено с помощта на карти в изолинии, пространството между които е оцветено в зависимост от съдържанието. Средното разстояние между пробите по протежение на галериите е около 2,5 m. За изчертаването на изолиниите е използвана интерполация по геостатистическия метод *"кригинг"*, а за сравнение базовия метод на Шепърд за пространствена интерполация *"обратнопропорционален на разстоянията"*.

За разлика от стандартните статистически процедури, използвани за анализ на пространственото разпределение на данните и за съставяне на карти в изолинии, геостатистическата оценка по метода на *"кригинг*" предлага много по прецизна интерполация, тъй като оценката е предшествана от анализ на пространствената структура на данните. Средната пространствена променливост под формата на вариограмен модел. За целите на настоящето изследване е направена и оценка на грешката на оценяване – кригинг дисперсията. Използван е *"обикновен кригинг*", който е най-общият и разпространен метод от кригинг оценките. При него се приема, че константната средна стойност на изследвания компонент е неизвестна. Отчетена е анизотропията в изменението на съседните проби е по квадрант, като са използвани 5-те най-близки съдържания.

Резултатите от проведения вариограмен анализ, на данните от рудни зони 50 и 32, са представени на фиг. 4.5.2. Показани са като обобщени експериментални вариограми, както и съответните им експоненциални модели. Разстоянието при което пробите стават независими една от друга варира от 15 до 55 m. На фигурите е даден и броят на пробите използван за оценка на вариограмата при всяка стъпка.

За проверка на сходството между реалните и оценените съдържания е използвана процедурата "cross validation" в ArcGis Geostatistical Analyst. При нея полувариограмата е използвана да се предскаже стойността на всяка измерена проба, ако предварително съответната проба е изключена от общата съвкупност от данни. По този начин се създават оценки на точките с известни съдържания и се дава представа за достоверността на модела. Такива оценки на сходството са направени и за резултатите получени по метода "обратно-пропорционален на разстоянията". Сравнението между графиките по двата метода, както и стойностите на грешката при оценяването, потвърждават че оценките пресметнати с помощта на вариограмен анализ и предварително изследване на променливостта в съдържанията значително по-малко се отклоняват от реалните стойности.



Фиг. 4.5.2 Обобщени експериментални вариограми и съответните им експоненциални модели (рудна зона 32 – а, б, в; рудна зона 50 – г, д, е):

a) по съдържанията на Си, Обхват – 55; Праг – 0,20; Ефект на включенията – 0,14; брой на стъпките – 25;

б) по съдържанията на Au, Обхват – 40; Праг – 9, Ефект на включенията - 20; брой на стъпките – 25;
в) по съдържанията на Ag, Обхват – 55; Праг – 16, Ефект на включенията - 16; брой на стъпките – 25;
г) по съдържанията на Cu, Обхват – 15; Праг – 0,8; Ефект на включенията – 0,15, брой на стъпките – 40;
д) по съдържанията на Au, Обхват – 50; Праг – 80, Ефект на включенията - 60; брой на стъпките – 40;

е) по съдържанията на Ад, Обхват – 30; Праг – 30, Ефект на включенията - 40; брой на стъпките – 40;

Разпределенията на съдържанията на изследваните рудни компоненти в рудна зона 50, оценени по метода кригинг, са дадени на фигури 4.5.3, 4.5.4 и 4.5.5. За ограничаване на рудните тела са ползвани кондиционни стойности, които са били приети при експлоатацията на находището. Участъците с по-ниски съдържания са изключени от получените повърхности. Анализът на получените повърхности показа съществуването на тенденция за намаляване съдържанието на златото и сребро от централните участъци на рудните зони към фланговете им. Прогнозните карти за тези два елемента дават сходни характеристики на пространственото им разпределение. Съдържанията на медта са много по-неравномерно разпределени и имат завишени концентрации само в единични участъци. По-значимо е нейното разпространение в хоризонт -9 на рудна зона 32, докато в зона 50 се наблюдават само единични проби със съдържания над 0,5%.

За оценка на получените разпределения по метода "кригинг" са съставени карти по средната грешка при оценката. По този начин е определена и несигурността при оценката на всяка една точка от създадените повърхности. Възможността на кригинг процедурите за създаване на карти на грешката отличава метода от останалите процедури за пространствена интерполация. Най-големи отклонения се наблюдават в крайните участъци на зоните, както и между минните изработки. В тези участъци има най-малко данни и оценката е най-недостоверна. В участък 50 грешките са най-значими за съдържанията на мед, които притежават и най-неравномерно разпределение.

Съставени са и карти, показващи вероятността да бъдат надвишени минималните кондиционни стойности, за съдържанията на изследваните компоненти. Като гранични стойности са взети приетите при експлоатацията на находището минимални съдържания. За метод при интерполацията е използван "индикаторен кригинг" при който няма изискване данните да се подчиняват на определено разпределение. Вероятностните карти потвърждават установените тенденции, от направените прогнозни карти, в изменението на съдържанията на разглежданите компоненти. По-ниските вероятности са оценени във фланговете на зоните и в участъците за които няма събрана достатъчно информация. По-този начин ясно изпъкват зоните с недостатъчна или непълна степен на изученост. За съдържанията на злато и сребро преобладават участъците с вероятност от прехвърляне на граничната стойност в интервала 75-100%, докато за меда максималната стойност на вероятността това да се случи е 61%.

От геостатистическия анализ на данните от рудни зони 50 и 32 могат да се резюмират следните по-важни особенности:

- Прогнозните карти на разпределението на главните рудни метали, както и направената проверка на използваните методи, показаха, че моделите пресметнати по геостатистическия метод "кригинг" осигуряват значително по-достоверна оценка от стандартните статистически методи за интерполация;

- Прогнозните и вероятностни карти за елементите Au и Ag са със сходни пространствени характеристики на разпространение. Графиките за съдържанията на медта се отличават значително, като се характеризират с много по-неравномерно разпределение;

-В рудна зона 32 рудните тела залягат стръмно на С-СИ, докато в рудна зона 50 имат СЗ-ЮИ посока.



Фиг. 4.5.3 Разпределение на съдържанията на Си >0,5% между галерии 130 и 190 на рудна зона 50 – участък Юрта.



Фиг. 4.5.4 Разпределение на съдържанията на съдържанията на Ag >1 ppm между галерии 130 и 190 на рудна зона 50 – участък Юрта



Фиг. 4.5.5 Разпределение на съдържанията на Au >0,8 ppm между галерии 130 и 190 на рудна зона 50- участък Юрта

V. Изводи и приноси на дисертационния труд

V.1 Изводи

Извършените при разработката на дисертационния труд комплексни изследвания позволяват да бъдат обосновани следните по-важни обобщения и изводи:

- Според TAS диаграмата (Na₂O + K₂O SiO₂, тегл. %) по Le Maitre (1989), съставът на вулканските скали в изследвания район попада в полетата на базалтите, трахибазалтите, базалтоидните трахиандезити и в по-редки случаи в тези на трахиандезитите. Съгласно петрохимичните данни, магмените скалите се причисляват в рамките на шошонитовата и висококалиево-субалкалната серии. Характерно за скалите, изграждащи Зидаровската вулкано-плутонична структура, са положителните аномалии на K, Rb, Ba, Th и отрицателните за Ta, Nb, Zr и Hf.
- Сравнението със схематични MORB и хондрит нормализирани модели на редкоземните и елементите следи от извести обстановки, характеризира късно кредните базалти в Зидаровското рудно поле, като сходни на високо калиевите и калциево-алкалните базалтови серии от свързаните с процеси на субдукция вулканско дъгови обстановки.
- Фигуративните точки на изследваните вулканити не попадат еднозначно в едно поле на използваните дискриминационни диаграми. По-голямата част от точките се намират в полето на постколизионните дъги, а останалите в това на континенталните дъги по Muller et al. (1992). Получените противоречиви резултати, както и наблюдаваните различни трендове на вариационните диаграми, могат да бъдат

обяснени с нееднократна промяна на химизма на източника на магмите, носещ отпечатък от различни събития. Това не позволява дискриминационните диаграми да бъдат използвани самостоятелно за направата на изводи относно типа на тектонската обстановка при която са се образували продуктите на Зидаровската вулкано-плутонична структура.

- На диаграмите използвани за разграничаване на плутоничните скали от океанските хребети (ORG), вътрешноплочовите обстановки (WPG), вулканските дъги (VAG) и син-колизионните обстановки (syn-COLG), нанесените проби от Зидаровския интрузив попадат в полето на VAG. На тези диаграми пост-орогенните плутонични скали не могат да бъдат разграничени от вулканско дъговите и син-колизионните.
- От направените изотопни анализи може да се приеме, че скалите от Зидаровското рудно поле, сравнени с тези от Централното Средногорие, в значително по-малка степен са замърсени с континентални корови материали.
- Потвърдена е описаната от Ковачев (1980) минерална зоналност спрямо видимата част на Зидаровския интрузив. За участък Канарата са характерни минерални парагенези изграждащи халкопирит-бисмутинитовата асоциация, а за участък Юрта тези от халкопирит-сфалерит-галенитовата асоциация. Потвърдено е присъствието на емплектит, бисмутинит, тетрадимит, айкинит, крупкаит и купробисмутинит, като са установени техните взаимоотношения и изоморфни примеси. Бисмутовите минерали са взаимно прораснали и са образувани едновременно или по-късно от халкопирита. Изоморфните примеси в тези минерали са най-вече от сребро и селен. Самородното злато се среща и в халкопирит-бисмутинитовата, и в халкопирит-сфалерит-галенитовата минерални асоциации, като най-често се развива на границата между два минерала: галенит-кварц, галенит-халкопирит, галенитсфалерит. Високопробното злато е свързано с халкопирит-бисмутинитовата асоциация, докато по-ниско пробното злато е разпространено в периферията на рудното поле. Съдържанията на сребро нарастват в периферната част на Аи-Аg фази.
- Дистанционните изследвания на повърхността, направени по аерофото снимки, сателитни изображения и цифровия модел на релефа, позволиха да бъдат отделени редица линейни морфоструктури предимно със СИ и СЗ посока. От установените в района на рудното поле разломи, най-добре различим на цифровия модел на релефа е Диклемешкият разлом, имащ СЗ направление и преминаващ между с. Крушевец и Канарата. Участъците с предполагаема хидротермална промяна, получени от отношенията между каналите в късовълновия инфрачервен диапазон на мултиспектралните изображения ASTER, показват добра пространствена привързаност с разграничените линейни морфоструктури. Избраните отношения позволяват да бъдат разграничени минерали свързани с процесите на интензивна аргилизация.
- Разпределенията на изследваните рудни компоненти Cu, Au, Ag, Pb и Zn притежават подчертано положително-асиметрични форми, т.е. по-голямата част от данните са с ниски съдържания и само в малка част са измерени високи съдържания на дадения елемент. Този вид разпределения отразяват както нормалните стойности във вместващите скали, така и по-високите съдържания, дължащи се на наложени

рудообразувателни и хидротермални процеси. Най-добре изразена линейна взаимовръзка за участък Канарата се наблюдава между елементите олово и цинк, както и между среброто и медта. Участък Юрта се характеризира с по-високи стойности на коефициента на корелация между оловото, цинка и златото със среброто, както и на златото и медта. Всички установени зависимости са правопропорционални, определени от положителни стойности на коефициента на корелация, над прага на статистическа значимост за използвания брой данни.

- Тримерните модели, описващи разпределението на елементите Cu, Au и Ag в участъци Канарата и Юрта, отчетливо фиксират местоположението и морфологията на рудните тела и участъците с рудна минерализация и отразяват пространствената структура на хидротермалния поток. Наблюдава се ясно изразена пространствена зоналност в разпространението на изследваните метали. Златото и среброто имат най-високи стойности в горните хоризонти и периферията, като са характерни за участък Юрта. Блоковете с високи съдържание на мед са с много по-голямо количество в участък Канарата. В план, зоните с по-високи съдържания на разглежданите метали са ориентирани в североизточна и северозападна посока, което кореспондира с посоките на рудовместващите разломи.
- Съставените тримерни модели на дисперсията разкриват зоните с най-малка изменчивост в съдържанията на разглежданите елементи. Това са тези участъци маркиращи посоката на най-слаба променливост в изменението на стойностите. Разграничените участъци се припокриват и за трите елемента. Получените модели могат да се интерпретират като оценка на "сигурността" на оценката и отделят по-проучените участъци от по-слабо изучените. За участък Канарата могат се отделят две зони с ниски стойности на променливостта, достигащи на дълбочина до към 350-400 m. В участък Юрта се отделят три такива зони на дълбочина достигащи 500 m. Особено ясно се маркират зоните получени в резултат на наложени хидротермални и рудообразувателни процеси и характеризиращи се с повишени концентрации на рудните елементи. Отделените зони с ниски стойности на дисперсията в съдържанията съвпадат пространствено с най-издържаните по разстояние рудни зони – 48, 50 и 55, които са и най-детайлно проучени.
- Сравнението между реалните и оценените съдържания, на елементите в рудни зони 32 и 50 от участък Юрта, дава основание да се приеме, че използваните вариограмни модели са удачно избрани и описват добре съществуващата природна променливост.
- Резултатите от извършените статистически и геостатистически анализи, както и направените графични построения, дават основание да се приеме, че приложената методика е изключително мощно средство за изява на пространствени характеристики в разпределението на рудните компоненти в находищата на полезни изкопаеми. Геостатистическите модели са директно приложими в геологопроучвателната практика за пресмятане и кодировка по приетата международна класификация на запасите и ресурсите.

V.2 Приноси на дисертационния труд

Основните научни приноси на настоящето изследване могат най-кратко да бъдат групирани по следния начин:

- Предложен е собствен методологичен подход за оценка и анализ на пространствено координирани данни, включващ последователност от известни статистически и геостатистически анализи, всеки един от които има характер на самостоятелно изследване;
- Използвайки предложената методика са установени пространствените закономерности в разпределението на елементите Cu, Au и Ag и морфологията на рудните тела в участъци Канарата и Юрта от Зидаровското рудно поле, както и в рудни зони 32 и 50 от участък Юрта;
- С помощта на дистанционни методи е направена спектрална идентификация на участъците с потенциално присъствие на хидротермални промени. Разграничените зони показват добра пространствена корелация с отделените на аерофото изображенията и цифровия модел на релефа линейни морфоструктури;
- Създадена е пространствена база от данни включваща резултатите от проведените дистанционни изследвания, търсещо-проучвателните и експлоатационни работи в участъци Канарата и Юрта, геостатистическото моделиране, както и всички картни материали. Получената база от данни може да бъде допълвана и използвана при следващи работи в района;
- Получени са нови данни за химизма на скалите от Зидаровската вулканоплутонична структура и е направено сравнение в разпределението на съдържанията на главните и елементите следи във вулканските, субвулканските и интрузивните скали от рудното поле, с такива от различни известни тектонски обстановки. Микрохимизмът на вулканските скали е сходен с този на високо-калиевите и калциево-алкални базалти свързани със субдукционна обстановка. Установи се, че от използваните дискриминационни диаграми, не могат самостоятелно да бъдат обосновани изводи за тектонската обстановка при която са се образували продуктите на Зидаровската вулкано-плутонична структура, тъй като фигуративните точки на вулканитите от района не попадат еднозначно в едно поле на дискриминационните диаграми;
- Определена е възрастта на интрузивните скали, като за целта са направени прецизни мономинерални изотопни датировки (U-Pb по циркон) и са осъществени изотопни анализи за характеризиране на магмения източник. В сравнение с данните от централното Средногорие е установено, че скалите от Зидаровското рудно поле в по-малка степен са замърсени с континентални корови материали;
- Получени са нови данни за химизма на някои от рудните минерали: сфалерит, минералите от редицата тенантит-тетраедрит, Au-Ag фази, халкопирит, пирит, бисмутинит, емплектит, тетрадимит, айкинит, крупкаит, купробисмутинит.

Списък на публикациите свързани с дисертационния труд

<u>Русков, К.</u>, С. Бакърджиев. 2005. Пространствени закономерности в разпределението на съдържанията на мед, злато и сребро в Зидаровското рудно поле - участъци Юрта и Канарата. Год. МГУ, 48, 65-70.

<u>Ruskov, K</u>, A. von Quadt, I. Peytcheva, S. Georgiev, S. Strashimirov, S. Stoykov. 2006. Geochemical and Sr-Nd isotope constraints on the Late Cretaceous magmatism in the area of the Zidarovo ore field. *An. Univ. Min. Geol., vol.* 49, 131-136.

Благодарности

Авторът изказва благодарности на:

- Научният си ръководител доц. д-р Светлозар Бакърджиев за съветите и напътствията през целия период на работата по дисертационния труд;
- Проф. дгн. Петко Попов, доц. д-р Страшимир Страшимиров, доц. д-р Камен Попов, доц. д-р Бануш Банушев, гл. ас. Маргарита Василева, доц. д-р Станислав Стойков, гл. ас. д-р Георги Георгиев, както и на всички останали колеги от катедра ГППИ за препоръките и помощта която ми оказаха по време на изготвяне на отделни глави от дисертационния труд;
- Д-р Албрехт фон Куатд и Светослав Георгиев от Института по Изотопна геохимия към Швейцарския Федерален технологичен университет в град Цюрих, и на д-р Ирена Пейчева от централна лаборатория по минералогия и кристалография при БАН, за съдействието и помощта при провеждане на изотопните и геохроноложките анализи;
- Д-р Калин Кузманов от Факултета по Геология на Университета в град Женева, Швейцария, за извършените микросондови анализи;
- Колегите от ЦНИЛ "ГЕОХИМИЯ", от НИ Лаборатория по рентгенов, термичен и електронно микроскопски анализ и от шлифовата лаборатория към МГУ "Св. Иван Рилски" за проведените анализи;
- Ръководството на рудника към фирма "Лорънс-Мартин-Зидарово" АД за предоставените материали и съдействието което ми бе оказано по време на престоя ми там;
- Фондация SE Europe Geoscience за предоставената ми финансова субсидия, която използвах за провеждане на част от полевите наблюдения и лабораторните изследвания;
- Програмата ABCD-GEODE за предоставените ми финансови средства и благодарение на която имах възможност за провеждане на част от изследванията по дисертационния труд в лабораториите на Института по Изотопна геохимия към Швейцарския Федерален технологичен университет в град Цюрих.