



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”,
СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ: ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ – ГПФ
КАТЕДРА: ГЕОЛОГИЯ И ПРОУЧВАНЕ НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ

Маг. инж. Иван Константинов Маринов

ПРОСТРАНСТВЕНО ИЗУЧАВАНЕ И МОДЕЛИРАНЕ НА ФАКТОРИТЕ,
КОНТРОЛИРАЩИ РУДООБРАЗОВАТЕЛНИТЕ ПРОЦЕСИ В НАХОДИЩЕ
„МИЛИН КАМЪК“, ГР. БРЕЗНИК

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане на
образователна и научна степен **"ДОКТОР"**

Научна област: 4. Природни науки, математика/ 5. Технически науки
(шифър и наименование)

Професионално направление:
(шифър и наименование на направлението в посочената област)

Докторска програма:
(наименование на докторската програма)

Научен(и) ръководител(и) / консултант(и):

1. доц. д-р Камен Петков Попов
2. доц. д-р Калин Русков
3. проф. д-р Венелин Желев

СОФИЯ, 2022 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „.....“ къмфакултет на МГУ „Св. Иван Рилски“, София, на дд.мм.тггг т., съгласно Ректорска заповед № Р-..... от г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои пред Научно жури, утвърдено със заповед № Р- от т. на Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ и ще се проведе на дд. мм. гггг г. от часа в зала..... нафакултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209..

Утвърденото Научно жури е в състав:

1. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия – председател
2. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;
3. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;
4. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;
5. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен/вътрешен;

Резервни членове:

2. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, външен;
3. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия, вътрешен;

РЕЦЕНЗЕНТИ:

1. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия
2. Проф./доц. д-р/д.т.н. Име Фамилия

Дисертантът е редовен/задочен/ докторант / на самостоятелна подготовка/ към катедра „.....“ на факултет

Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от (научноизследователски проекти).....

Автор: маг. инж. Иван Маринов

Заглавие: Пространствено изучаване и моделиране на факторите, контролиращи рудообразователните процеси в находище „Милин Камък“, гр. Брезник.

Тираж: 20 броя

Отпечатано в Издателска къща „Св. Иван Рилски“ на МГУ „Св. Иван Рилски“, София.

Съдържание

Увод	5
1. Общи сведения за геологията на находище „Милин камък“	6
1.1. Географско и металоженно положение.....	6
1.2. Тектонско положение и структурна характеристика на находище „Милин камък“	6
1.3. Литоложка характеристика и минерален състав на находището	7
1.4. Хидротермални промени	8
2. Методика на изследванията на факторите, контролиращи рудообразователните процеси в находище „Милин Камък“	9
2.1. Определяне на основните структурни елементи в находище „Милин камък“	9
2.2. Определяне на регионалната структурна рамка и нейното влияние върху пътищата на движение	12
3. Фактори контролиращи орудяването	13
3.1. Изследване на регионални структури чрез дистанционни методи	13
3.2. Брезнишка и Клисурска кръгови морфоструктури.....	15
3.3. Структурна рамка на находище „Милин камък"	19
3.4. Триизмерно моделиране на литоложките и рудните тела.....	22
3.5. Тримерно структурно моделиране на разломните зони.....	27
3.6. Структурен контрол в рудообразователните процеси и рудни стълбове	31
3.7. Факторен анализ на геохимичните асоциации и триизмерно моделиране по данни от факторните тегла	34
4. Заключение и приноси.....	38
4.1. Заключение	38
4.3. Приноси.....	42
Summary	44

Благодарности:

На първо място искам да изкажа изключително големи благодарности за научния си ръководител доц. д-р Камен Попов и на доц. д-р Калин Русков, които методично и тактично ме напътстваха и направляваха през целия период на дисертационната работа. Тяхната организация, съвети ми дадоха изключително важни насоки за развитието на дисертацията. Помощ, без която написването би било невъзможно. Благодаря за търпението, свободата и моралната подкрепа!

Бих искал да благодаря и на проф. д-р Желев за безценните консултации, насоки и изключително важните дискусии за геологията на Западнотосредногорие, металогенията и връзката им с магматизма, за съветите по време на теренните работи. Също така искам да изкажа благодарности към Иван Байрактаров за ценните консултации и съветите по отношение на вулканизма в Западнотосредногорие, за определяне на окологърловите фацеси и позицията им спрямо вулканските апарати, както и за бележките касаещи петрографията.

Искам да изкажа и огромни благодарности на Йордан Генчев от „Асарел-Инвестмънт“ ЕАД и Пламен Дойчев от „Трейс Ресорсиз“ ЕООД за предоставените данни и безценните дискусии и съвети, без които нямаше да бъде възможно написването на дисертацията. Също така искам да изкажа и големи благодарности към геолозите от двете фирми за изключително полезните теренни маршрути, дискусиите и работата с тях.

Не на последно място благодаря на семейството си за моралната подкрепа и търпение.

Увод

Настоящият обект на изследване е находище „Милин камък“, намиращ се в местността „Бърдото“, южно от гр. Брезник. Той попада в рамките на Софийския руден район в Западното Средногорие. Металогенният потенциал в тази част от Средногорската тектонска зона, в сравнение с централната и източната части на тектонската зона, не е толкова голям. Установени са само две находища – „Милин камък“ и „Пожарево“. Всички останали рудни тела в рудния район са рудопроявления. Предвид неизяснения докрай потенциал, тази част на Средногорието е обект на засилен интерес, както от научна, така и от практическа гледна точка по отношение на рудодобива. Тя е обект на внимание на редица български и чуждестранни компании, чиито интерес е основно насочен към търсенето и проучването на златни находища в Софийския руден район. През последните няколко години в България и в останалият свят, основният интерес на тези компании е насочен към търсецо-проучвателни работи главно в епитермални находища, каквото е и находището „Милин камък“.

В последните години, потенциалът за търсене и проучване на руди и особено епитермални, започва да става все по-трудоемка задача, доколкото находищата на повърхността са вече проучени и оценени. За търсене на нови потенциални минерални руди е наложително работите да бъдат насочени към находища в дълбочина. Това от своя страна изисква да бъдат допълнително изяснени редица въпроси, които касаят структурните предпоставки за локализацията на рудните тела в дълбочина – характерът на рудопроводящите и рудовместващите структури, формата и положението на рудните тела, взаимоотношенията с вместващите ги скали, съставът и свойствата им, околорудните изменения и т.н.

В дисертационния труд е използван фактически материал, получен по време на търсецо-проучвателните работи в находището. Тези проучвателни работи датират от 80-те години, като по целенасочени и систематични са проучванията от периода 2004-2018 г. През този етап са извършени по-голямата част от сондажните и канавните работи. Прокарани са и подземни проучвателни изработки. Събраната информация, необходима за дисертационната работа, е основно от периода 2004-2018 г. От получените данни е направен опит за изясняване и оценка на структурната характеристика на находището и връзката му с вулканската постройка. Получената информация ще позволи да се допълнят данните по отношение на генезиса на епитермалното орудяване, както и да се обяснят основните предпоставки за образуване на рудните тела. Това от своя страна ще даде възможност да се обогатят насоките в търсецо-проучвателните работи на рудните тела и в съседните на това находище райони.

Цели и задачи на изследването.

Основните задачи, поставени в настоящето изследване, са:

- Систематизиране на данните, получени по време на детайлната проучвателна програма на находището;
- Изясняване на основната структурна характеристика;
- Определяне на рудовместващите структури;
- Изясняване на връзката между рудните тела и структурите;
- Определяне наличието на участъци с няколкократно по-високи съдържания – рудни стълбове;
- Изясняване на основните параметри и морфологията на рудните стълбове и тяхната връзка със структурните нарушения;

- Изясняване на зоналността на рудната минерализация;
- Оценка на влиянието на дорудните и пострудните деформации;
- Определяне на основните етапи на структурното развитие и деформации по време на еволюцията на Брезнишката палеовулканска постройка;
- Определяне на последователността и основни етапи на развитие на находище „Милин камък“.

За изпълнение на поставените цели е необходимо да се извършват следните задачи:

- Цифровизация на данните от по-старите проучвателни работи и геофондови материали;
- Създаване и управление на геоложка база данни, като основа за по-нататъшно моделиране на рудните тела;
- Създаване на имплицит и експлицит-модели на рудните тела, хидротермалните промени и рудовместващите скали;
- Генериране на структурен модел на разломните нарушения по морфология на рудните тела (такъв структурен подход за оценка на находището се извършва за първи път);
- Интерпретация на регионалната структурна рамка по данни от сателитни стереоизображения;
- Теренно обхождане с цел проследяване на линеаментите, получени при анализа на сателитните данни;
- Интерпретация на данните от разломните модели и рудните тела, и определяне на морфологията и характера на рудните стълбове.

1. Общи сведения за геологията на находище „Милин камък“

1.1. Географско и металогенно положение

Находище „Милин камък“ се намира във Вискяр планина, която е част от Завалско-Планската планинска редица на Средногорието. На север се ограничава от Бурелската и Софийската котловини, а юг граничи с Брезнишката котловина. Находището се намира на 55 km западно от гр. София, в района на гр. Брезник. Близките населени места са гр. Брезник, гр. Перник и селата Вискяр, Бабица, Слаковци, Ракита, Конска и Режанци. „Милин камък“ е на 750 m южно от гр. Брезник. Основната връзка е по второкласния републиканския път II-63, свързващ градовете Перник и Брезник. Южно от гр. Брезник, към гр. Перник и гр. Радомир, има и втора връзка чрез третокласния републикански път III-605. Връзката по първокласния републикански път I-0 се осъществява чрез второкласния път III-638, свързващ гр. Брезник с гр. Божурище и гр. София.

В металогенно отношение находище „Милин камък“ попада в рамките на Брезнишкото рудно поле на Софийския руден район в Западното Средногорие (Попов, Попов, 2022). Локализира се изцяло в горната вулканогенно-седиментна задруга, която е част от третия магмен импулс в Софийската структурна единица. В пространствено отношение, рудното поле се определя от развитието на вулканските центрове в горната вулканогенно-седиментна задруга, които по всяка вероятност са образувани от едно магмено огнище. Находището е от жилин тип и се локализира в пределите на Брезнишкия палеовулкан.

1.2. Тектонско положение и структурна характеристика на находище „Милин камък“

Находище „Милин камък“ попада в рамките на Средногорската тектонска зона, която е част от по-големия Апусени-Банат-Тимок-Средногорски магматичен и металогенен пояс. Съгласно схемата на Иванов (1988) и Zagorchev (1995, 2001), Западното Средногорие се разделя на три добре обособени късноалпийски тектонски единици – Меловска, Любашка и Софийска. Находището

е изцяло в рамките на Софийската единица. Последната се характеризира с развитието на интензивен горнокреден вулканизъм, съпроводен с образуването на множество вулcano-магматични продукти с обхват Кониас-Кампан. В останалите две зони не се наблюдава вулканска дейност. Главните структурни елементи са Пернишката разломна зона и Филиповския разсед, разположени южно от „Милин камък“. Те маркират южната граница на Софийската единица с Любашката. Според Гочев и др. (1970), Пернишката разломна зона е тясна и линейно издържана структура, с дълбочинно заложение и посока 140о. На север от находището се разполага Бурелската разломна зона, разглеждана като магмопроводяща и магмовместваща структура, като на повърхността се следи по разпространението на андезит-трахиандезит-дацитова серия (Маринова и др., 2010).

По време на ларамийското структурообразуване, в резултат на компресионни движения се развива основният гънково-блоков строеж на единицата. Характеризира се с различен ранг антиклинали и синклинали с югозападна вергентност и с посоки на шарнирите СЗ-ЮИ, следващи главните структурни елементи в Западното Средногорие (Маринова и др., 2010). През този период се развива основната синклинална структура, дефинираща структурната позиция на находище „Милин камък“ – Красавската синклинала. Посоката на шарнира е с азимут 120-135о и се очертава по огъването на кампанските и мастрихтските седиментни и вулканогенно-седиментни скали (Маринова и др., 2010). Скалите, изграждащи североизточното бедро, са вертикални до преобърнати, а тези на югозападното бедро – са по-полегати, с наклон до 65о. Тази позиция подчертава югозападна вергентност на синклиналата. Гънковата структура е допълнително усложнена и разкъсана по надлъжни и коси разседи и отседи (Маринова и др., 2010).

1.3. Литоложка характеристика и минерален състав на находището

1.3.1. Литоложка характеристика

Основната характеристика на скалите се определя от дейността на Брезнишкия палеовулкан и се представя главно от пирокластика. Според Байрактаров (1989), тези скали по състав са дефинирани като трахибазалтови и трахиандезитобазалтови. Широко разпространение имат дайковите скали, които са андезитобазалтови по състав (Зиновиев и др., 1997ф). Те са тъмни, плътни, със сивозеленикав цвят. Структурата им е порфирна по фемичните минерали и плагиоклаз, и сериалнопорфирна, призматичнозърнеста за основната маса (Зиновиев и др., 1997ф). Изцяло са вместени сред основната маса от лапилни и агломератови туфи. Субвулкански скали са установени югозападно от Бърдото, където сред агломератовите туфи са вместени няколко субвулкански тела, които формират верига със субекваториална посока (Velev et al., 2012). Те са с размери около 10 m в диаметър, с изразени концентрични и радиални пукнатини и според същите автори са определени като магмопроводящи канали. Зиновиев и др. (1997ф) отбелязват, че югозападно от „Милин камък“, до шосето за с. Батановци, сред седиментните скали се разкрива голямо тяло от латиандезитобазалти, които са изцяло вместени сред вулканогенно-седиментни скали, представени от алтернация от туфи, туфити, мергели и пясъчници. Като вземат предвид променителните продукти и структурата на скалите, тези автори приемат, че първичната скала е била сравнително базична андезитобазалтов тип, субвулканска до вулканска.

1.3.2. Минерален състав

Според изследването на Зиновиев и др. (1997ф) по търсещо-оценъчните работи в Брезнишката структурно-вулканогенна зона и по данните от микроскопските изследвания се определят първични и вторични рудни минерали:

- Към първичните рудни минерали се определят: пирит, галенит, сфалерит, самородно злато, халкопирит, тенантит, тетраедрит, борнит, халкозин, магнетит и др.
- Към вторичните рудни минерали се определят: желязо-титанови продукти, цеусит и др.

Установени са 4 стадия на минерализация: кварц-пиритов, кварц-злато-сулфидно-карбонатен, гипс-анхидритов и супергенен. С най-добра застъпеност се характеризира кварц-пиритовият стадий, докато останалите са с по-ограничено разпространение. Кварц-злато-сулфидно-карбонатният стадий е проявен в централните части, докато гипс-анхидритовият стадий е проявен в дълбоките части на всички прокарани сондажи. Crumey et al. (2001), по данни от ядрово сондиране, установяват относително богата рудна минерализация. Установената минерална асоциация е представена от енаргит, лузонит, тенантит, тетраедрит, бурнонит, пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, марказит, аргентит, халкопирит, голдфилдит, арсеносулванит, колузит, галенит-клаусталит, Au-Ag телуриди. Тази минерална асоциация е характерна повече за високосулфиден тип находище. Stojkov et al. (2007) дават данни за рудната минерализация в находище „Милин камък“. Авторите определят пирит, арсенопирит, халкопирит, галенит, сфалерит, тенантит, тетраедрит, пиротин, самородно злато, електриум, магнетит, хематит, марказит, илменит, халкозин, ковелин, малахит, куприт и церузит. Те не наблюдават типичните за високосулфиден тип находище рудна минерализация. Авторите определят находището като транзитен тип, между умерено до нискосулфиден тип.

Събева (2015) определя два етапа на рудообразуване – хидротермален и супергенен. Към хидротермалния етап включва три стадия: кварц-пиритов, кварц-полиметален и карбонат-златен. С най-голямо количество и повсеместно разпространение е единствено пиритът, а всички останали минерали са с подчинено количество.

- Кварц-пиритов стадий. Той се разполага повсеместно и е най-ранен стадий. Минералната парагенеза е представена от пирит, пиротин, хематит и кварц.
- Кварц-полиметален стадий. Подобно на предния стадий, той се разполага повсеместно в рудните зони. Минералната парагенеза е представена от голямо разнообразие на минерали – пирит, пиротин, марказит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халкопирит, тенантит, бурнонит, телуриди (хесит, петцит, алтаит), електриум. Нерудните минерали са кварц и карбонат. Рудните минерали се отлагат в следната последователност: пирит, марказит→галенит с електриум и телуриди→сфалерит→сулфосоли (тенантит, бурнонит) →халкопирит.
- Карбонат-златен стадий. Той е добре проявен в централните участъци на находището. Минералната парагенеза се характеризира с по-малко разнообразие. Представена е от стибнит и злато. Нерудните минерали са карбонат и барит.

Василева и Вангелова (2020) дават подробни данни за минералния състав на находището. Въз основа на рентгеноспектрални и ICP-MS-LA анализи, те установяват пирит, галенит, сфалерит, тенантит-тетраедрити (Zn тенантит, Zn тетраедрит, Zn тенантит-тетраедрити, Fe тенантит), халкопирит, Sb-съдържащ селигманит и самородно злато в хипогенната руда. В нерудната компонента установяват кварц, карбонати (калцит, магнезиален калцит, родохрозит, доломит, фероманган-доломит, сидерит, магнезиосидерит, олигонит, феромагнезиев кутнохорит) и барит. По-нови данни за находището от тези автори показват присъствие на Sb-съдържащ селигманит, Zn тетраедрит и карбонатните фази с изключение на калцит, доломит и родохрозит.

1.4. Хидротермални промени

Хидротермалните промени заемат голяма част от хълма „Бърдото“. Канурков и др. (1962) оконтурват за първи път площната хидротермална промяна в района на находище „Милин камък“. Те установяват две степени на промени – регионална площна пропилитизация и локални зони на хидротермална промяна, ограничена около тектонските нарушения. Велинов (1967, 2007) изучава хидротермалните процеси в района на гр. Брезник, като описва пропилити и алунитови вторични кварцити. Той определя следната зоналност, спрямо съществуващия ерозионен срез:

- Кварц-алунитов фациес – изгражда най-вътрешните участъци и оформя позитивната част на релефа. Представени са от кварц, халцедон, алунит, рутил, пирит и ярозит;
- Кварц-серицитов фациес;
- Кварц-епидот-серицитов фациес;
- Епидот-хлорит-албитов фациес – оформящи най-долните и външни зони.

Байрактаров и др. (1985ф) също правят опит за оконтурване на хидротермалните промени, като схемата им не се различава от тази на Велинов (2007). Те отделят следните метасоматити:

- Алунитови вторични кварцити;
- Кварц-серицити;
- Кварц-серицит-хлоритов тип;
- Пропилити.

Събева (2015) използва подхода на Каназирски (2011) за класифициране на метасоматитите в находище „Милин камък“. Тя определя пропилитизация, серицитизация, умерена аргилизация и интензивна аргилизация.

Пропилитизацията (пропилити) се разглежда като най-широко представената промяна. Тя е регионална и обхваща целия обем от скали, около района на Бърдото. Установява карбонат, хлорит, епидот и пирит, явяващи се като типоморфни за този тип изменение. Карбонатите са най-често срещани и достигат до 50% от обема, следвани от хлорита и най-рядко представен е епидотът, който е под формата на радиално-лъчести агрегати със зеленикав цвят.

Серицитизацията (кварц-серицитови метасоматити) се локализира в рамките на рудните зони. Представяват бели на цвят промени с минерална асоциация от кварц-серицит и пирит. Основната маса е от кварц и серицит. Серицитът се наблюдава под формата на дребни люспи, докато пиритът е изцяло впръснат в метасоматитите.

Умерената аргилизация (аргилизити) е представена основно от глинести минерали и пирит. Среща се значително по-рядко от горните две промени.

Интензивна аргилизация (вторични кварцити) Събева (2015) отделя в рудна зона 8. Също така се установява и силицификация, представена от стипоморфните минерали - кварц, доломит и барит (Дойчев и др., 2020ф). Калиевата фелдшпатизация се установява в седем сондажа по зони 1, 3 и 5, разполагащи се равномерно по цялата дължина на находището.

2. Методика на изследванията на факторите, контролиращи рудообразователните процеси в находище „Милин Камък“

2.1. Определяне на основните структурни елементи в находище „Милин камък“

За изясняване на основните структурни елементи, характеризиращи находище „Милин камък“ е използван масив от данни, получени от прокарани проучвателни изработки по време на геолого-проучвателните работи, извършени от „Трейс Рисорсиз“ и по време на теренни маршрути и наблюдения. Основната част от проучвателната работа в периода 2017-2018 г. е съсредоточена върху вземане на структурни данни от проучвателни подземни изработки и описание на сондажните ядки. В този времеви интервал е получена първична информация от 255 бр. сондажи и от 59 подземни сондажни изработки. Обработени са стерео изображения, получени от оптичния инструмент ASTER, разположен на борда на сателита Terra. Анализирани и визуализирани са основните линеаментни структури, разкриващи се в Западното Средногорие. Осъществени са няколко посещения в наклонената шахта „Бърдото“, както и по двете проучвателни галерии, с начало срещуположно от шахтата на кота 760 m. В периода 2018-2019 г., основната работа е съсредоточена върху извършване на теренни маршрути и наблюдения, проследяване на линеаментите около установените палеовулкански постройки, както и обработка на получените данни от повърхностните проучвателни изработки – канали и разчистки. През 2019 и 2020 г. е

създаден обобщен интегриран триизмерен модел (Wireframing) на структурните нарушения, литоложките и рудните тела. За осъществяване на системност при провеждане на проучвателните работи, с цел по-добра обработка, интегриране и анализ на получените GIS данни е съставена методика, включваща следната последователност и етапи при организацията на получените данни:

1. **Събиране на данни:** получените данни обикновено се събират от множество източници – повърхностни изработки - канали и разчистки, наземни и подземни сондажи, подземни проучвателни изработки и теренни маршрути.
2. **Съхранение на данни:** първоначално събраните данни са съхраняват на хартиен носител - геоложки тефтери. Първичната информация впоследствие се преобразува на цифров носител, под формата на табличен вид в подходящ файл (Excel и Word)
3. **Управление и преобразуване на данни:** интегриране на разнородната информация, получена от различни източници в една обща база данни, съдържаща определен брой релационни таблици. Управляваните по този начин данни, позволяват по-лесно да бъдат конвертирани и използвани за анализ с други програми – Surpac, Leapfrog, MapInfo, ArcGis, Excel.
4. **Анализ и моделиране:** обработване и опростяване на съвкупността от получените данни, с цел да бъдат извлечени и изяснени основните фактори, обуславящи рудообразователните процеси.
5. **Визуализация:** получените от всяко едно наблюдение данни, в окончателния процес на работа, се визуализират в опростен вид под формата на карти, планове, разреза, вертикални проекции и триизмерни модели (Wireframing), позволяващи създаването на обобщен интегриран модел.

При провеждане на теренните маршрути и наблюдения е приложена определена серия от стъпки, започващи с наблюдение и събиране на данни за всяко едно коренно разкритие, което подробно се описва и измерва. Структурните замери са взети под формата на двоен запис – страна на затыване/наклон. За всяка една точка на наблюдение в геоложки тефтер се записват координатите, получени от ръчен GPS Garmin 62S и подробното описание на литоложките типове, хидротермалните промени и структурните елементи. Особено внимание се отделя на разкриващите се структурни елементи, като:

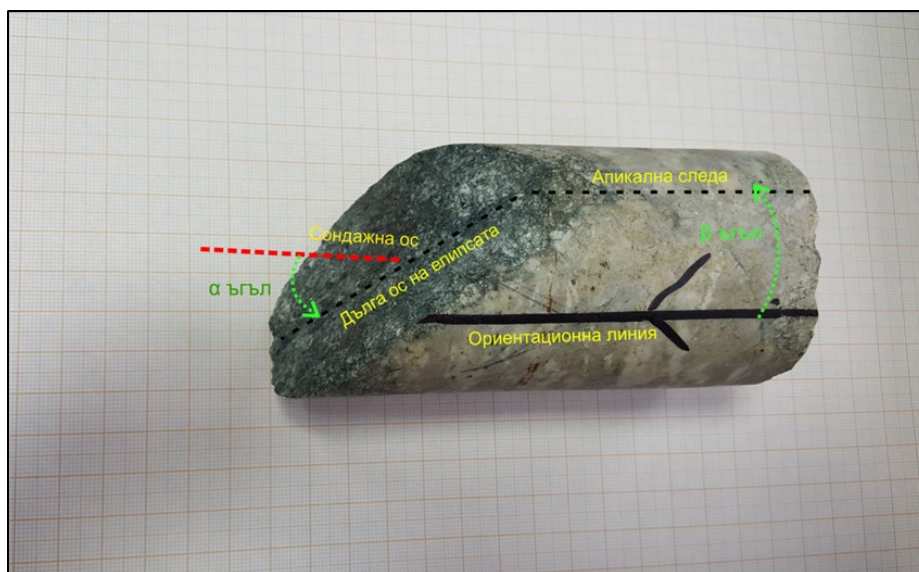
1. Тип на структурата - разлом, пукнатина, слоестост, структури на течение, наличие на лавови потоци и посоката им на придвижване;
2. Взаимоотношения между няколко структурни елементи, наличие на оперяване, пукнатини на скъсване или срязване около по-големи разломни нарушения;
3. Пълнеж, дебелина и състав;
4. Пространствено разположение и морфология на структурите.

Получената информация впоследствие се прехвърля и съхранява в електронни таблици в Excel формат. В таблиците всяка променлива (колона) отговаря на определено свойство, което дефинира основната атрибутивна информация.

За извличане на базова информация за структурните нарушения са използвани и данни, получени от ориентирани сондажи, които позволяват да се измерят структурните елементи и да се създаде пространствен модел на структурните нарушения, литоложките и рудните тела. След акуратно установяване на позицията на марката, ядката се маркира чрез поставяне на линия или бразда. Марката се поставя в края (дъното) на всеки рейс. Отбелязаните като ориентирани интервали от ядката се изкарват от сандъците и всяка част от рейса се нарежда последователно върху ориентационна маса. След внимателно подреждане и напасване на отделните парчета ядка, се изчертава ориентационната линия, като се внимава ориентационната марка да се разположи в най-високата ѝ част. За осигуряване на висока достоверност на марката (CO), ориентационната линия на поне три поредни интервала трябва да показва допустимо отклонение от 10 до 20 градуса (фиг. 2.1). За тези интервали се използва черна плътна линия. При по-голямо отклонение от 20

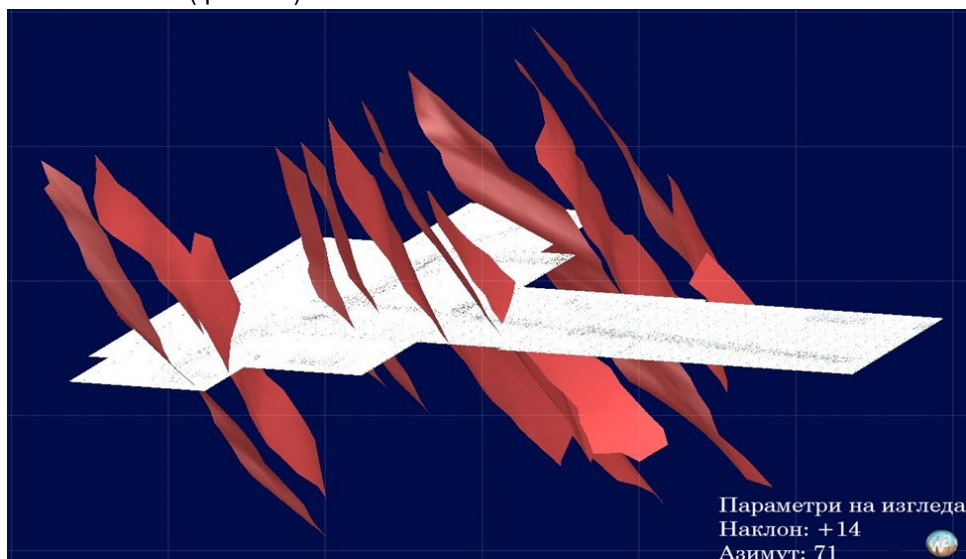
градуса, ориентацията на сондажния рейс се приема с по-ниска степен на достоверност (LC). За тези интервали се използва пунктирна черна линия. С по-висока достоверност се приема и неориентиран рейс, когато в съседните му два рейса, ориентационната линия съвпада и дава отклонение равно или по-малко от 10 до 20 градуса. След нанасяне на ориентацията, сондажната ядка се връща и подрежда обратно върху сандъците с цел определяне на ъглите – алфа и бета. Всички структури, подсечени от сондажните изработки, формират елиптичен напречен разрез, който се характеризира съответно с къса и дълга ос на елипсата и апикална следа на дългата ос на елипсата около оста на сондажа (Holcombe, 2016).

1. Алфа ъгъл: това е ъгълът, затворен между оста на сондажната ядка и дългата ос на елипсата (варира от 0 до 90°);
2. Бета ъгъл: това е ъгълът, затворен между ориентационната линия и линията на апикалната следа на дългата ос на елипсата, измерена по часовниковата стрелка (варира от 0 до 360°).



Фиг. 2.1. Схема на осите на ориентирани сондажи и ъглите α и β (сн. Ив. Маринов)

Въз основа на структурните данни се изчертават полилинии, от които впоследствие се генерират триизмерни повърхнини на структурните нарушения, триизмерни модели (Wireframing) на рудните зони и литоложките тела (фиг. 2.2).



Фиг. 2.2. Генерирани DTM повърхнини на разломни нарушения, създадени посредством изчертани полилинии

Повърхнините на структурните нарушения са създадени като цифрови DTM повърхнини в Surpac. Всяка DTM повърхнина се конструира чрез определен брой триъгълници, които свързват възлите/точките на полилиниите. Броят на възлите определя размерите и броя на триъгълниците, изграждащи повърхнините. Допълнителната атрибутивна информация, съпътстваща подземната картировка, първоначално се съхранява на хартиен носител. Впоследствие данните се прехвърлят на електронен носител, под формата на таблични екселски или текстови файлове. Всеки структурен замер се съхранява във вид на точкови данни (с променливи X, Y, Z)

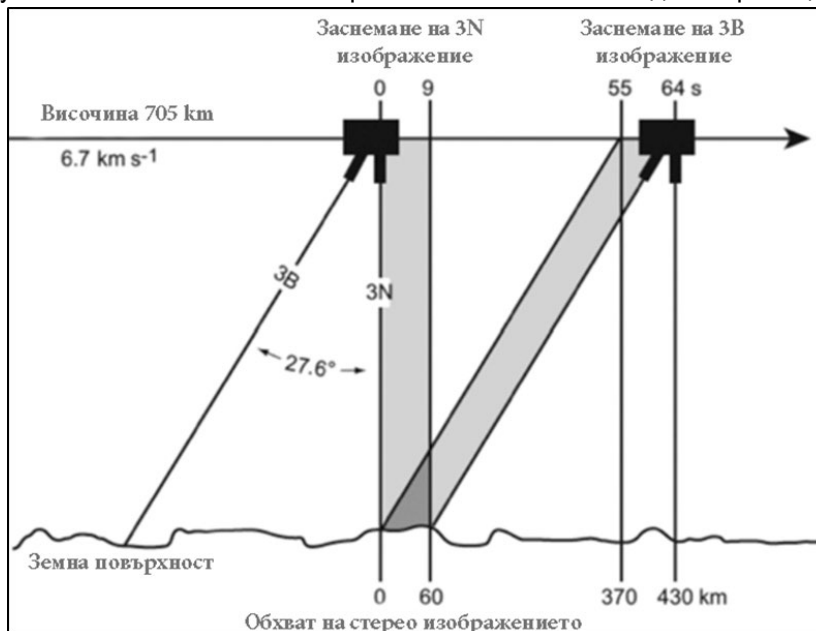
През периода 2019-2020 година, за целите на геохимичното проучване и установяване на пространствената корелация в находище „Милин камък“, е извършен факторен анализ. За определяне на геохимичните асоциации са използвани данните, получени по време на проучвателната сондажна програма, осъществена в периода 2016-2018 г. и предоставени от „Трейс Рисорсиз“ - ЕООД. За оценка на пространственото разпределение на установените геохимични асоциации, данните са обработени със софтуер Leapfrog за триизмерно моделиране. За интерполация на данните и създаването на Wireframing е използвана функцията Radial Basis Function (RBF), включена към пакета на Leapfrog. За изучаване на първичния геохимичен ореол са анализирани 36615 проби от общо 393 сондажа и 11 канави. Канавите са опробвани чрез метода на браздово опробване, с дължина на браздата до 2 m. Сондажните проби са анализирани чрез ICP анализ за 33 елемента. Част от анализирания елементи, които не участват в рудообразователните процеси и са под прага на чувствителността на анализа са изключени. За статистическата обработка на данните са включени общо 22 елемента (Ag, Bi, Cu, Sb, Cd, Zn, Pb, As, Au, Mn, Mo, Ba, Be, Cr, Ni, W, Co, Fe, Ti, V, Ca, Mg). Поради ниските съдържания в някои от пробите, които се намират под прага на чувствителността на анализа, са заместени наполовина спрямо долния праг на чувствителност. Статистическият анализ е извършен чрез използване на специализиран софтуер за статистически анализ - Jamovi и др.. Едномерният статистически анализ се прилага при определяне характера на разпределение на даден елемент спрямо някакъв параметър, докато клъстерният и факторният анализи се използват за групиране на елементите по сходство в съответното им пространствено положение. Главният метод, приложен за оценка на факторите, е методът на главните компоненти (PCA - Principal Component Analysis) с варимакс нормализирана ротация (varimax normalized rotation) за извличане на факторите.

2.2. Определяне на регионалната структурна рамка и нейното влияние върху пътищата на движение

Регионалната структурна рамка и нейното влияние върху пътищата на движение и съответно локализация на поствулканските хидротермални флуиди са изяснени чрез използване на данни, получени посредством дистанционни методи. Информацията, извлечена от тях, същевременно дава възможност да се изяснят и пространствените закономерности в конфигурацията на рудните тела и хидротермалните промени. За прилагане на дистанционните методи, за определяне на структурната рамка около находище „Милин камък“, е използвана следната последователност:

1. Обработка на първичните данни, получени от сателита. Създаване на подходящи стерео изображения за работа с анаглифни очила;
2. Линеаментно картиране – извличане на информацията, получена от епиполарните изображения, чрез изчертаване на векторни полилинии по набелязаните линеаменти;
3. Визуализация на обработените данни в опростен вид под формата на геоложки карти;
4. Интерпретация на резултатите и създаване на обобщен интегриран модел на локалната структурна рамка.

В настоящето изследване са използвани сателитни данни, получени посредством оптичния инструмент ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), намиращ се на борда на сателита Terra. Изображенията включват 4+1 бр. канали във видима и близко инфрачервена дължина на вълната; шест канала в късовълновия инфрачервен обхват; пет канала в термалния инфрачервения диапазон. Заснемането на земната повърхност е в резолюция съответно 15, 35 и 90 m (Поров, 2011). За създаване на стерео ефект за работа с анаглифни очила са използвани оптични стерео изображения, получени в диапазона на близкия инфрачервен канал - 3n и 3b. Първото изображение 3n е перпендикулярно спрямо земната повърхност или по ъгъла на надира. Второто изображение, получено от оптичния инструмент се получава след заснемане под кос ъгъл спрямо земната повърхност – 3b (фиг. 2.3). Двойката стерео изображения се получава в спектралния диапазон на 3-ти канал (0.76-0.86 μm). За извличането на основните структурни елементи е приложено линеаментно картиране в GIS среда чрез използване на ArcGIS софтуер на фирмата ESRI. Създадени са векторни слоеве за визуализиране на обработените данни в опростен вид и създаване на геоложки карти. Анализът в GIS среда се прилага върху изображения с отсъствие на облачна покривка. Паралелно с дистанционните методи за картировка на линеаментите структури е извършена детайлна полева работа и геоложка картировка, целяща да се идентифицират установените линеаменти и респективно част от тях да се проследят на терен.



Фиг. 2.3. Генерирани DTM повърхнини на разломни нарушения, създадени посредством изчертани полилинии

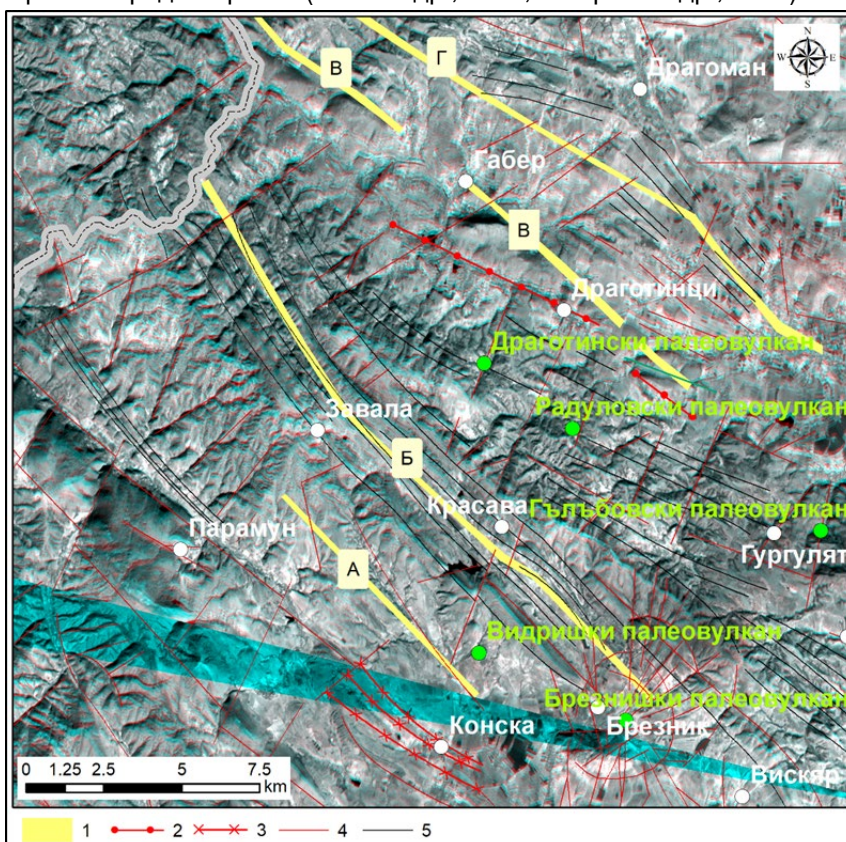
3. Фактори контролиращи орудяването

3.1. Изследване на регионални структури чрез дистанционни методи

Характерните локални структурни нарушения, които се наблюдават във и около находището „Милин Камък“, са с отчетлива изток-западна и североизток-югозападна посока. Тези структурни елементи рязко контрастират с отчетливо изразения регионален структурен тренд. В строежа на Западното Средногорие, главните регионални структурни елементи, включващи разломни нарушения – отседи и разседи и гънкови структури – антиклинали и синклинали, се характеризират с ясно изразена югоизток-северозападна посока. Главните първоразредни гънкови структури сред горнокредните вулканити, като Красавската синклинала, Гълъбовската антиклинала и Филиповската синклинала, както и множество гънки от по-висок порядък са с подчертана посока от 120° до 140° (Гочев и др., 1970). Главните разломни нарушения, като Бурелския разломен сноп към долната вулканогенно-седиментна задруга и Пернишкия разлом са с подчертана генерална ориентировка от 110°-125°

(Гочев и др., 1970). Към локалния структурен строеж на находище „Милин камък“, главните рудни зони - 1, 2, 3, 6 са с посока 90÷110°. Рудната зона 7, както и секущите разломни нарушения на главните рудовместващи структури, са с генерална посока 15÷45°. Тези локални структури стоят косо спрямо регионалните. За да се изяснят особеностите на строежа на находище „Милин камък“ и връзката между разломните структури и хидротермалните разтвори са приложени дистанционни методи за геоструктурна картировка. Резултатите от тях дават задоволително обяснение за открояващите се спрямо регионалния структурен тренд локална структурна мрежа, с посоки 90° и 20° и главните причини за развитието на локална структурна рамка, която се различава отчетливо спрямо регионалната.

Резултатите от обработката на трансформирани от .hdf данни в .geotiff формат и създадените векторни полилинии показват, че преобладаващите линеаментни структури са с подчертана посока от 120° до 140° (фиг. 3.1). Слоестостта маркирана като позитивни и негативни релефни форми се наблюдава отчетливо в трите главни първостепенни гънкови структури – Красавска синклинала, Гълъбовска антиклинала и Филиповска синклинала. На наличните стерео изображения ясно се наблюдават и са маркирани, като линейно издържани зони, главни разломни структури, като Пернишкия разлом и Бурелския разломен сноп, обозначени от Гочев и колектив (1970) като „балканидна“ (110 - 125°) или „краищидна“ (140 - 160°) ориентировка. Отчетливо забележима е и южната граница на Бурелския разломен сноп, представляващ клиновидна разломна зона стесняваща се на северозапад, засябен от юг с Бурелския разлом и на север от Драгомански разлом (Гочев и др. 1970). Видно е, че значителна роля в наблюдаваните линеаменти играят и структури, коси на горе споменатите, с посоки от 15° до 55°, също споменати от Гочев и колектив (1970), като разломи с Твърдишка (30 - 50°) и Ябланишка (60 - 70°) посоки. Тези коси структури, с разседен и отседен характер, срязват и разкъсват по-старите Ларамийски разломи и гънкови структури, характерни за Средногорието (Гочев и др., 1970, Загорчев и др., 1995).

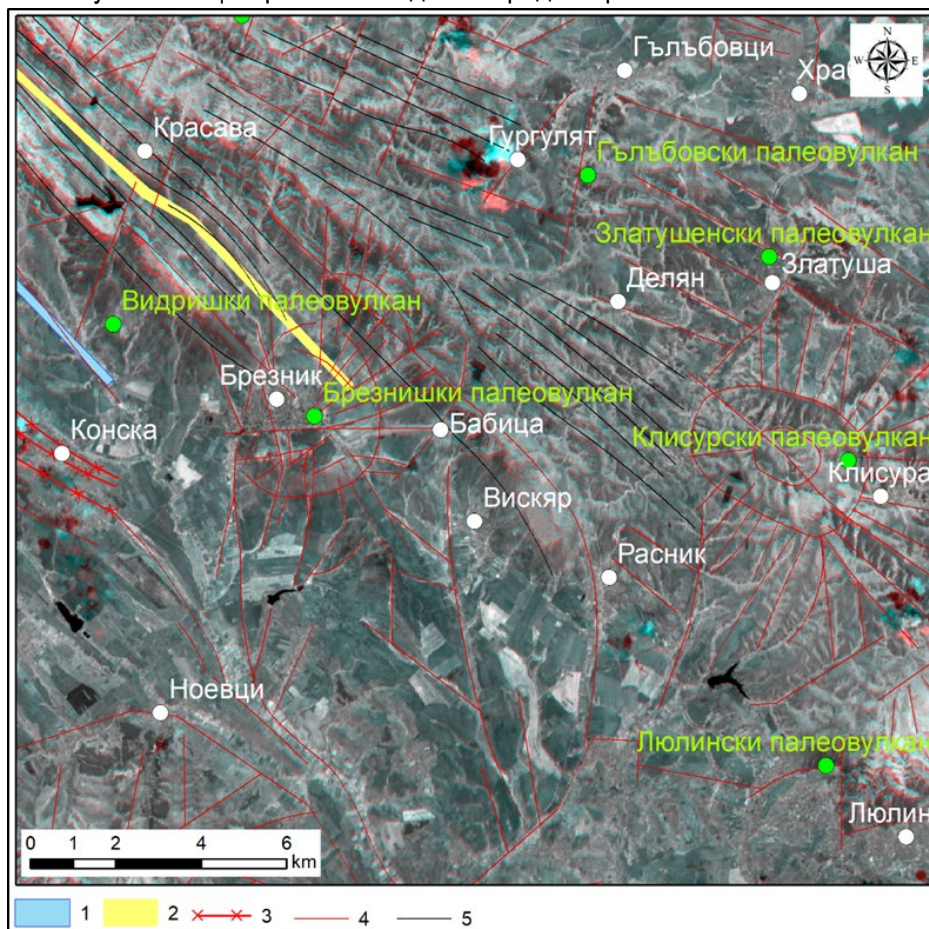


Фиг. 3.1 Стерео изображение на Западното Средногорие с нанесени регионални структурни линеаменти:

Легенда: 1 – Гънкови структури: А. Бабска антиклинала, Б. Красавска синклинала, В. Гълъбовска антиклинала, Г. Сливнишка синклинала; 2 - Бурелски разлом; 3 - Пернишки разлом; 4 - Линеаменти интерпретирани, като предполагаеми разломи; 5 - Линеаменти интерпретирани, като предполагаеми седиментоложки пластове

3.2 Брезнишка и Клисурска кръгови морфоструктури

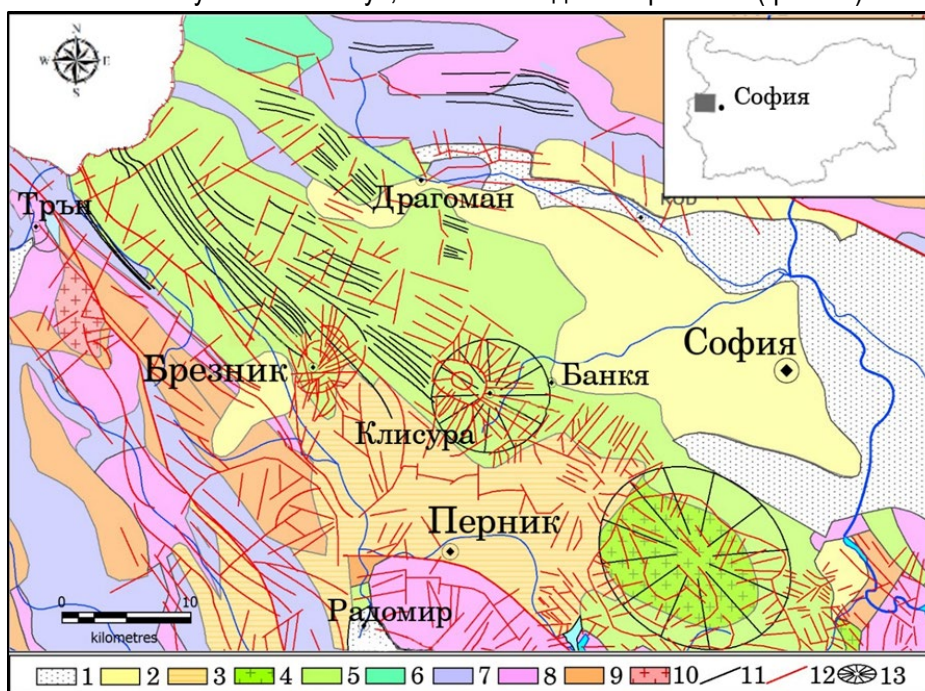
Резултатите от приложените дистанционни методи показват две ясно изразени кръгови морфоструктури с приблизително еднакви размери (фиг.3.2). Отличителна особеност за двете морфоструктури е локализацията им в интензивно нагънатите горнокредни вулканити от Софийската единица. Тяхното пространствено положение съвпада точно с позицията на предполагаемите вулкански центрове в Западното Средногорие.



Фиг. 3.2. ASTER стерео изображение на част от Западното Средногорие с нанесени регионални структурни линеаменти и разположение на двете кръгови морфоструктури
Легенда: 1 – Бабска антиклинала; 2 - Красавска синклинала; 3 – Пернишки разлом; Линеаменти интерпретирани, като предполагаеми разломи; 4 - Линеаменти интерпретирани, като предполагаеми седиментоложки пластове

Източната кръгова морфоструктура се ситиуира сред склоновете на Люлин планина и източната част на Вискяр планина, западно от гр. Банкя и около селата Клисурска, Мала Раковица и Радуй. Пространственото ѝ положение кореспондира приблизително с позицията на Клисурския палеовулкан, описан в дисертационния труд на Байрактаров (1989). Продуктите на палеовулкана изграждат част от вулканитите на долната вулканогенно-седиментна задруга (Дабовски и др. 2009). Стратиграфски, сред тази вулканогенно-седиментна задруга, се разполагат и известните горнокредни вулкански центрове на Драготинския, Радуловски, Гълъбовския и Златушенския

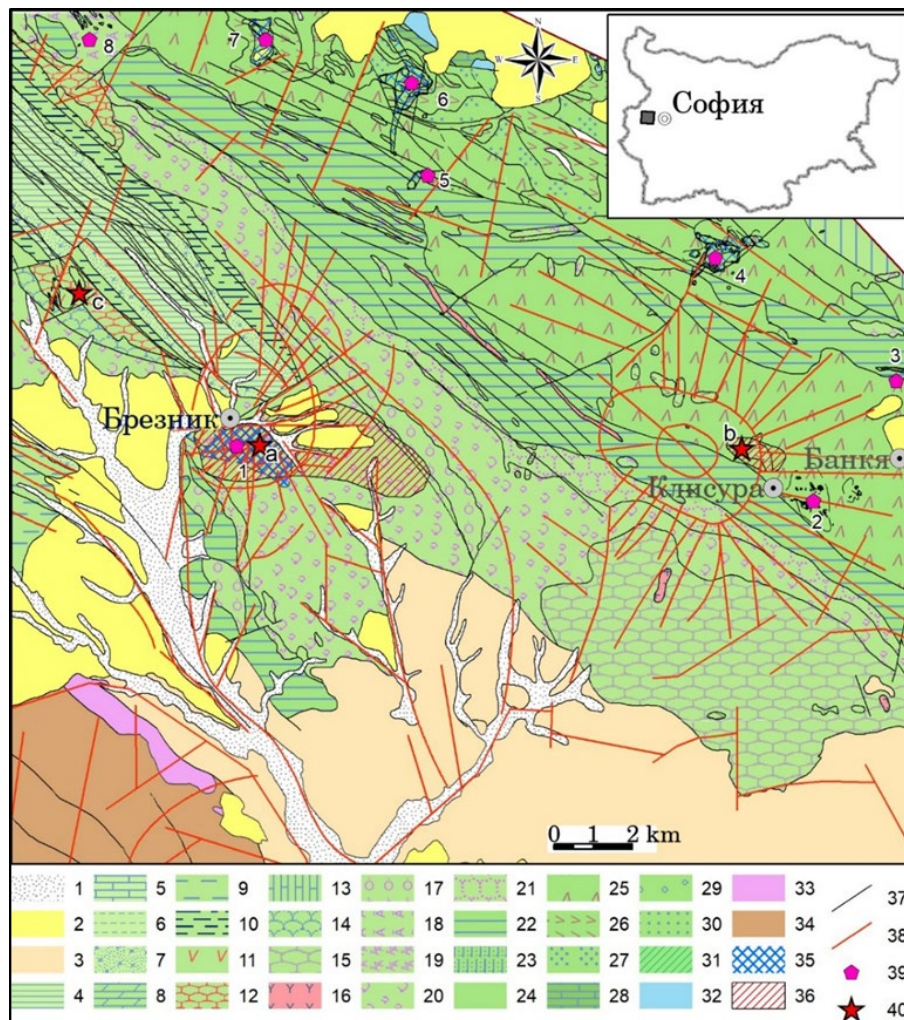
палеовулкани така, както и множество субвулкански тела и некове. Характерна особеност на споменатите вулкански центрове е тяхното разположение като тясна и издължена линейна ивица. Предвид пространственото положение на вулканските центрове, тази системност най-вероятно се дължи на магматично активната северозапад-югоизточна Бурелска разломна зона. На стерео изображенията, горе споменатите вулкански центрове не показват ясно изразени кръгови морфоструктури. По на изток множественото интрузивни наставки изграждащи Витошкия плутон показват структури с ясно разграничима окръжна форма. Тези очертания се дължат на куполовидната форма на Витошкия плутон сред съвременния релеф и дренажна система. В картата на Алпийския магматизъм в България (Dabovski et al., 1989) и Металогенна карта на златните находища в България (Милев и др., 2007), позицията на кръговата морфоструктура около Клисурса съвпада приблизително с вулканския конус, описан западно от гр. Банкя (фиг.3.3).



Фиг. 3.3. Геоложка карта на Западното Средногорие (по Милев и др., 2007 с допълнения)

Легенда: 1 - Кватернер; 2 - Неоген; 3 - Палеоген; 4 - Интрузивни комплекси в Западното Средногорие; 5 - Вулканогенно-седиментни скали; 6 - Долнокредни седименти; 7 - Юрски седименти; 8 - Триаски седименти; 9 - Палеозойски седименти; 10 - Старопланински гранодиорити и гранити (Девон - Долен Карбон); 11 - Линеаменти интерпретирани като предполагаеми седиментоложки пластове; 12 - Линеаменти интерпретирани като предполагаеми разломи; 13 - Вулкански конуси (по Милев и др., 2007)

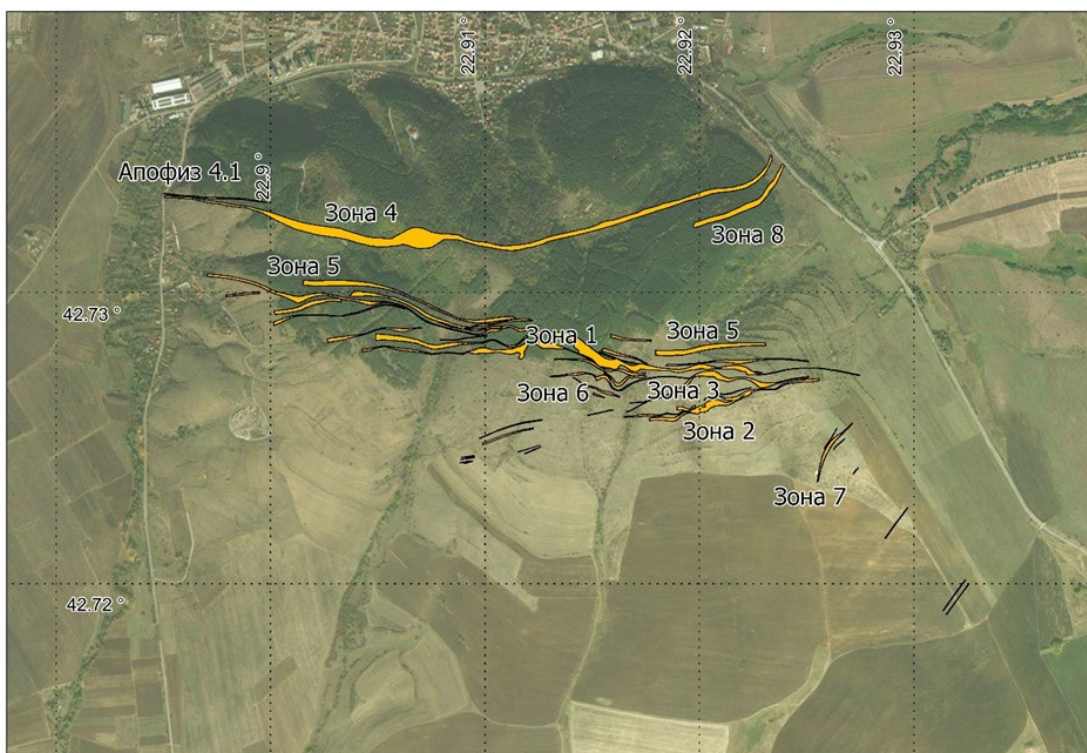
Западната кръгова морфоструктура се ситиуира около гр. Брезник и селата Вискяр, Бабица, Гоз, Арзан и Долни Романци. Дренажната система, на епиполярното стерео изображение, формира отчетлива кръгова форма с приблизителен диаметър около 9 km (фиг. 3.4). Кръговата морфоструктура се подчертава от ясно забележими концентрични и радиални разломи, които оформят локалната дренажна система. За разлика от Клисурската структура, подчертаваща се по-ясно с концентрични линеаменти, Брезнишката кръгова морфоструктура се характеризира по-отчетливо, с радиално разломяване. Тя директно съвпада с пространствената позиция на Брезнишкия палеовулкан и за разлика от Клисурския палеовулкан се локализира в горната вулканогенно-седиментна задруга.



Фиг. 3.4. Геоложка карта на околностите на гр. Брезник

Легенда: 1 - Кватернер; 2 - Неоген; 3 - Палеоген; 4 - Пясъчникова-мергелна задруга; 5 - Рифови варовици; 6 - Битуминозни шисти; 7 - Пясъчникова задруга; 8, конгломератово-пясъчникова-мергелна задруга; 9, пясъчникова-аргилитова задруга; 10, флишка задруга; 11, амфибол и амфибол-пироксенови андезити; 12, пирокластично-туфитна задруга; 13, детритно-органогенни варовици; 14, мергелно-туфитна задруга; 15 Люлински вулкански комплекс – агломератови туфи, пепелни туфи и туфити; 16 монцодиорити; 17, едропорфиритни латити и трахити; 18, трахибазалтни и шошонитови лави и лавобрекчи; 19, трахибазалти и шошонитови дайки; 20, пирокластична задруга; 21, пачка от псамо-алевролитови туфи; 22 туфитно-мергелна задруга; 23, мергелно-глинесто-пясъчникова задруга; 24, мергелно-варовикова задруга; 25, андезити и пирокластити; 26, биотит-амфиболови андезити, 27, варовикова-пясъчникова задруга; 28 варовикова-мергелна задруга; 29, конгломератно-пясъчникова задруга; 30 варовикова задруга; 31, мергелно-варовикова задруга (Долна Креда); 32, Юрски; 33, Триас; 34, Палеозой; 35, хидротермално променени скали; 36, проксимални вулкански фацисеси – лавови потоци, бомбени туфи и лапили; 37, Линеаменти интерпретирани като предполагаеми седиментоложки пластове; 38, Линеаменти интерпретирани като предполагаеми разломи; 39 находища и рудопроявления (1, златно-сребърно находище Милин Камък; 2, рудопроявление Клисуре; 3, рудопроявление Пожарево; 4, рудопроявление Златуша; 5, рудопроявление Гургулят; 6, рудопроявление Братушково; 7, рудопроявление Радуловци; 8, рудопроявление Пищене); 40, предполагаеми палеовулкански центрове (а, Брезнишки палеовулкан; б, Клисурски палеовулкан; с, Видришки палеовулкан)

Предвид позицията на двете кръгови морфоструктури и локализацията им в интензивно нагънатите горнокредни вулканити от Софийската единица, те са образувани в резултат на активната вулканска дейност по време на Кампана. Линеаментните структури, видими в съвременната дренажна система, са образувани по време на най-интензивните деформации свързани с вулканотектонския етап, непосредствено след вулканските ерупции. От друга страна, предвид размерите на структурите и последващите ги интензивни ларамийски и късноалпийски деформации, специфичната конфигурация на линеаментните очевидно показва останки от калдерно пропадане. Не е изключено част от разломяванията да са образувани по време на най-интензивните вулкански дейности, ерупции и последващи деформационни събития, оформящи ясно изразен вулканския конус. Отличителна черта за формираните по време на интензивните деформации, образуващи вулканския конус и последващите ги екстензионни деформации, свързани с калдерното пропадане, е образуването на проницаеми разломни структури, които служат за проводящи канали и/или рудовместващи структури за магматични продукти или хидротермални флуиди, постъпващи от магмената камера в дълбочина. Такива проницаеми структури се локализират около находище „Милин Камък“, разглеждано като умерено сулфиден тип (Събева, 2015). Установени са 8 бр. успоредно разположени рудни зони, с изток-западна посока и затъващи на юг. Структурният анализ и геоложкото моделиране, извършено в LeapFrog, показват три главни разломни системи (Маринов и др., 2018). Характерна особеност за тези разломи е тяхното пространствено съвпадение с концентричните и радиалните линеаментни структури, изграждащи Брезнишката кръгова морфоструктура. Вулканските продукти на Брезнишкия палеовулкан са силно променени, с интензивно киселинно излужване и последващо образуване на интензивна аргилизация, аргилизация и кварц-серицитизация. Отличителен белег на дайките и пространствено привързаните към тях рудни зони е тяхната дъговидна форма в план. Тези форми съвпадат пространствено с концентричните линеаменти наблюдавани на стерео изображенията (фиг. 3.5). Вулкано-тектонските разломи в находище „Милин Камък“ и неговите тела служат като проводящи пътища за дайките и последващите ги хидротермални флуиди.



Фиг. 3.5. Пространствено разпространение на аргилизираните рудни зони с характерна дъговидна форма в план

Локалното стресово поле, създадено по време на най-интензивната вулканска дейност и последващата екстензия и калдерно пропадане, се разглеждат като най-вероятно обяснение за структурната специфичност в посоките на рудовместващите структури в находище „Милин Камък“, които са с посока изток-запад в сравнение с регионалните, които са с посоки 120-140°. Друга характерна черта в находище „Милин камък“ е пространствената позиция на най-интензивно променените скали и рудни зони, които са сравнително близко разположени до централните части на Брезнишката кръгова морфоструктура. Това може да се съпостави като индикация за близкото разположение на златно-сребърното находище „Милин Камък“ към вулканския център. От друга страна, интензивно променените вулкански скали в рудопроявление Клисуря също показва отличителна връзка с кръговата морфоструктура, локализирана западно от гр. Баня. Специфична характеристика на проксималните вулкански фациеси, представени от бомбено-блокови и агломератови туфи, разполагащи се непосредствено встрани от вулканските некове, е тяхното разположение в близост до центъра кръговите морфоструктури. По време на Ларамийската фаза на Алпийския ороген, районът на Западното Средногорие е бил арена за интензивни гънково-навлачни деформации, водещи до образуването на югозападно вергентната Красавска синклинала. Второто тектонско събитие възниква по време на Илирийската фаза и води до образуването на североизточни и югозападни разседи и отседи, които разкъсват по-рано образуваните гънкови структури. Въпреки по-късната интензивна тектоника, наблюденията показват, че двете деформационни събития не скриват и съответно не преработват напълно линеаментите, формиращи двете кръгови морфоструктури и те все още са ясно видими в съвременния релеф, маркирани от дренажната система. В югозападните части на Брезнишката кръгова морфоструктура малка част от линеаментните структури не се наблюдават. Част от тях са покрити с Неогенски отложения на Граовското понижение/грабен. Въпреки липсата на разкритост, някои от тях могат да се интерполират към съседните структури и да се възстанови първоначалното им положение преди погребването им по време на Неогена.

3.3. Структурна рамка на находище „Милин камък“

За изясняване на въпросите, свързани с образуването и условията за локализация на рудната минерализация и съпътстващите ги хидротермални промени, в находище „Милин Камък“ са проведени структурни изследвания с главна цел - дефиниране на основните фактори, които обуславят орудяването. Ценен инструмент за тази цел е триизмерното моделиране на базата на литоложките и структурните данни, получени по време на проучвателните дейности, осъществени от „Трейс Рисорсиз“ - ЕООД. Информацията, извлечена от тях, дава възможност да се определят главните структурни етапи и условията в определени участъци на находището, които се разглеждат като благоприятни за рудоотлагането. Тези благоприятни участъци обуславят пространственото положение, формата и залягането на рудните тела. За целта са определени, както дорудните и пострудните структури, така и пространственото положение на главните рудовместващи структури. Те дават основание да се изяснят в по-пълна степен тектонофизичните условия и последователността им на образуване. Част от вниманието е насочено и върху процесите на следрудните деформации – характера на деформациите и отражението им върху морфологията на рудните тела. След изясняване и формулиране на основните структурни параметри, става възможен подходът за определяне на влиянието на морфологията на рудните тела в пространственото разпределение на зоналността и разпространението на отделните типове минерални парагенези. Тази зоналност в находището, съпътствана с допълнително триизмерно моделиране, се разглежда по-подробно в следващата глава. В комбинация с теоретичното значение на дорудните и рудовместващите структури е възможно да се определи приблизително областта на зараждане на магматичните и хидротермалните флуиди, както и пътищата им на придвижване. Въз

основа на данните, събрани по време на изследването и придружената допълнителна пространствена обработка на информацията, която е представена във вид на триизмерни модели под формата на твърди тела (wireframing), се дефинират факторите, контролиращи рудообразователните процеси в четири главни групи:

1. Фактори, отразяващи влиянието на вместващите скали - състав и свойства.
2. Геоложки структури – слоестост, зони на натрошаване, разломни нарушения и т.н.
3. Фактори, контролиращи специфични физико-химични условия по време на рудообразователния процес.
4. Фактори, влияещи върху нееднородния строеж в разпределението на рудния компонент и образуването на рудни стълбове – морфологията и вътрешния строеж на рудните зони, закономерности и т.н.

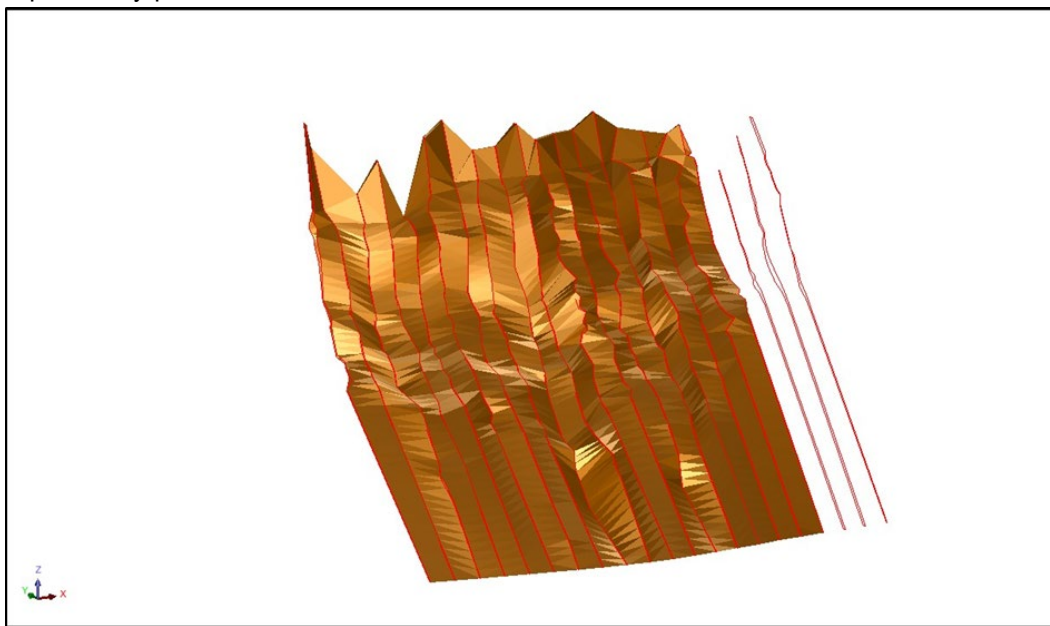
Заключителната информация от резултатите в триизмерното моделиране позволява да се установят базовите критерии в търсенето на аналогични рудни тела и/или други рудопроявления, локализиращи в близост до находище „Милин Камък“, както и кръговата морфоструктура, разположена около гр. Брезник. По този начин, чрез дефиниране на спецификата в структурния контрол е възможно да се разшири кръга на търсенето на подобни по възраст и генезис рудопроявления, които са близки по възраст.

3.3.1. Приложения на триизмерното моделиране, като инструмент за обработка на структурни и литоложки данни

В геоложкото триизмерно моделиране, за изграждането на рамков модел (solid wireframing) най-често се прибегва до използването на два главни метода – т. нар. „експлицитно“ (explicit) и „имплицитно“ (implicit) моделиране. Експлицитното моделиране използва по-консервативен подход, при който площите и обемите на геоложките тела се окупират като с прави линии се свързват всички крайни точки, в които те са наблюдавани. При имплицитното моделиране за очертаване на геоложките тела се използват интерполационни процедури. Съвременните минни и геоложки софтуерни програми като Surpac, Leapfrog, Datamine, Micromine, включват в пакетите си и двата метода. Използват се широко в минните и геологопроучвателните дейности и се характеризират със съответните предимства и недостатъци, като се разглеждат като ценен инструмент за извличане на геоложка информация и интерпретация. Концепцията в съставянето на триизмерен модел и съответно изборът за определяне на точния метод се дефинира преди всичко от съществуващата налична информация, от наличните данни, от геоложката обособеност в изследвания район, от пространствената резолюция, която дава необходимата акуратност в моделирането и т.н. Посредством двумерни повърхнините могат да се определят разломните нарушения и геоложките граници. Чрез триизмерните модели се описват обемните тела, като рудни зони, литоложки единици, хидротермални промени. Независимо от споменатите по-горе методи, които се използват широко, при наличието на прецизни данни за пространственото положение на двумерните повърхнини или триизмерните обемни тела, е възможно да се направи достатъчно надежден анализ на геометрията на рудните тела и следователно, едно по-добро разбиране на локалния структурен тренд.

Експлицитно моделирането се използва в случаите, когато за изчертаване на границите по структурни и/или литоложки данни от проучвателните изработки – подземни минни изработки, сондажи, канали, шурфи и т.н., се използва ръчно изчертаване. В тези случаи, за генериране на модел по литоложки граници като рудни тела, по граници на хидротермална промяна или по други геоложки структури, се прибегва до построяване на вертикални геоложки разрези, хоризонтални планове или наклонени разрези. Задачата в тези случаи се свежда до създаването на коридори с определен толеранс по разрезите и плановите, наполовина на мрежата на опробване. Необходима

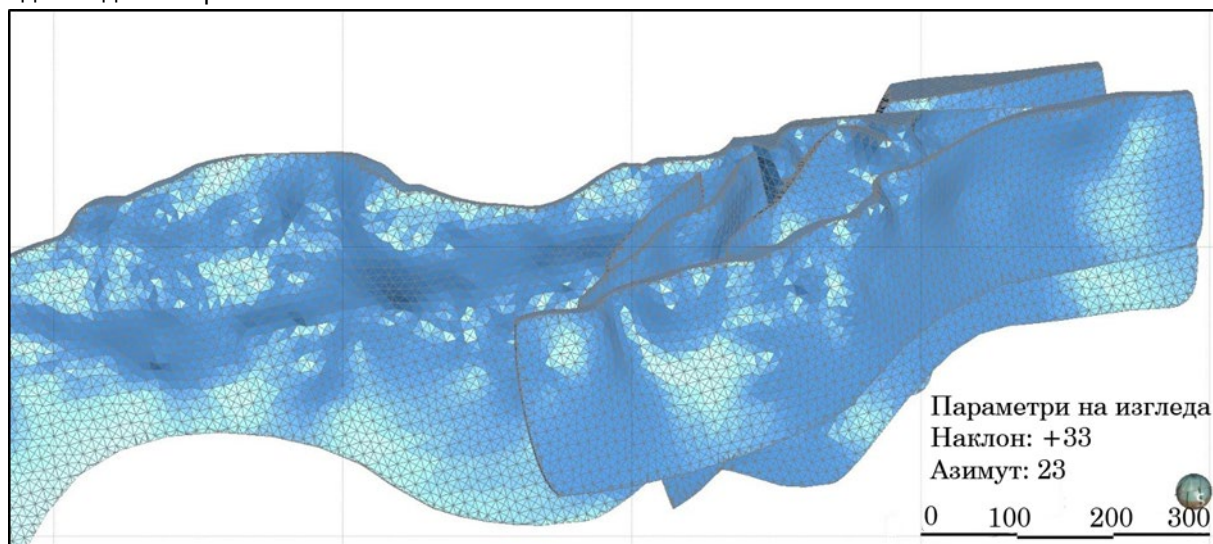
стъпка за коректното изчертаване е визуализирането по оста на сондажа на атрибутната информация, по която се извършва дефиниране на границите на литоложкия и/или структурния модел. За тази цел е необходимо информацията да се съхранява под формата на геоложка база данни, която е налична във всички GIS, минни и геоложки софтуерни пакети. За коректно проследяване на границите и създаване на достоверен обемен модел, генерираните точки, свързващи полилиниите, се привързват спрямо параметрите на създадения по-рано коридор – по план или по хоризонт. По този начин се гарантира създаване на достоверен геоложки модел с коректни граници. Създаването на солид (wireframing) става, чрез триангулация спрямо съществуващите точки, които дефинират полилиниите (фиг. 3.6). С процеса на триангулация се генерират триъгълници, към чиито върхове се разполагат точките от стринговете. Броят и размерът на триъгълниците се определя от броя на точките. С генериране на по-голям брой триъгълници, съответно по-малки по размер, се гарантира по-акуратен и изгладен геоложки модел. Главното преимущество на експлицитното моделиране, е че позволява ръчен контрол при изграждането на обемни триизмерни тела. По този начин се създава акуратен модел и се избягва създаването на интерполационен автоматично генериран модел, който не винаги е точен. Характерна особеност на триизмерните тела, създадени чрез ръчно свързаните полилинии, генерирани по разреза, са по-грубите очертания на солид моделите. Те се характеризират с по-остри ръбове и резки очертания в сравнение с имплицитните модели. В настоящата работа е използван софтуерният продукт Surpack за създаване експлицитните модели по рудните зони и литоложките единици – дайки и вместващите ги агломератови туфи.



Фиг. 3.6. Генериране на солид, изобразен в кафяво чрез триангулация по стринг линии, изобразени в червено

При имплицитният подход в моделирането, за изчертаване на границите по структурни и/или литоложки данни от проучвателните изработки – подземни минни изработки, сондажи, канали, шурфи и т.н, се използва напълно автоматизиран процес, базиран на предварително зададен алгоритъм. Методът се разглежда като алтернативна опция за построяване на триизмерни обемни тела - солид. Голямото предимство тук е че могат да се използват данните директно, като те се записват като атрибутни точкови или интервални данни, разположени по оста на проучвателните изработки. Тези данни могат да се съхраняват в геоложка база данни, като цифрови (съдържания на полезен компонент, посока или наклон на структурни замери, геофизичен запис) или символни (номинални). Номиналните данни се използват за генериране на геоложки модели по литоложки

и/или структурни данни, като за целта се използват само текстови запис (геоложки кодове). На основата на двата типа данни – цифрови и символни, компютърен алгоритъм калкулира пространствената корелация между пробите, намиращи се произволно в пространството и генерира мрежова (mesh) структура като триизмерна повърхнина (Vollgger et al., 2012) – (Фиг. 3.7). Като напълно автоматизиран метод, имплицитното моделиране позволява по-бързо генериране на триизмерни повърхнини. Те са достатъчно акуратни, гъвкави и резултатни в сравнение с експлицитните модели (Knight et al., 2007, Silveira Braga et al., 2019). Тяхното главно предимство е възможността, при въвеждането на нов номинален или цифров запис в геоложката база данни, моделът да се опреснява всеки път автоматично.



Фиг. 3.7. Триизмерен модел на дайковите тела в находище „Милин Камък“ с визуализирана мрежова структура (mesh)

3.4. Триизмерно моделиране на литоложките и рудните тела

3.4.1 Триизмерно моделиране

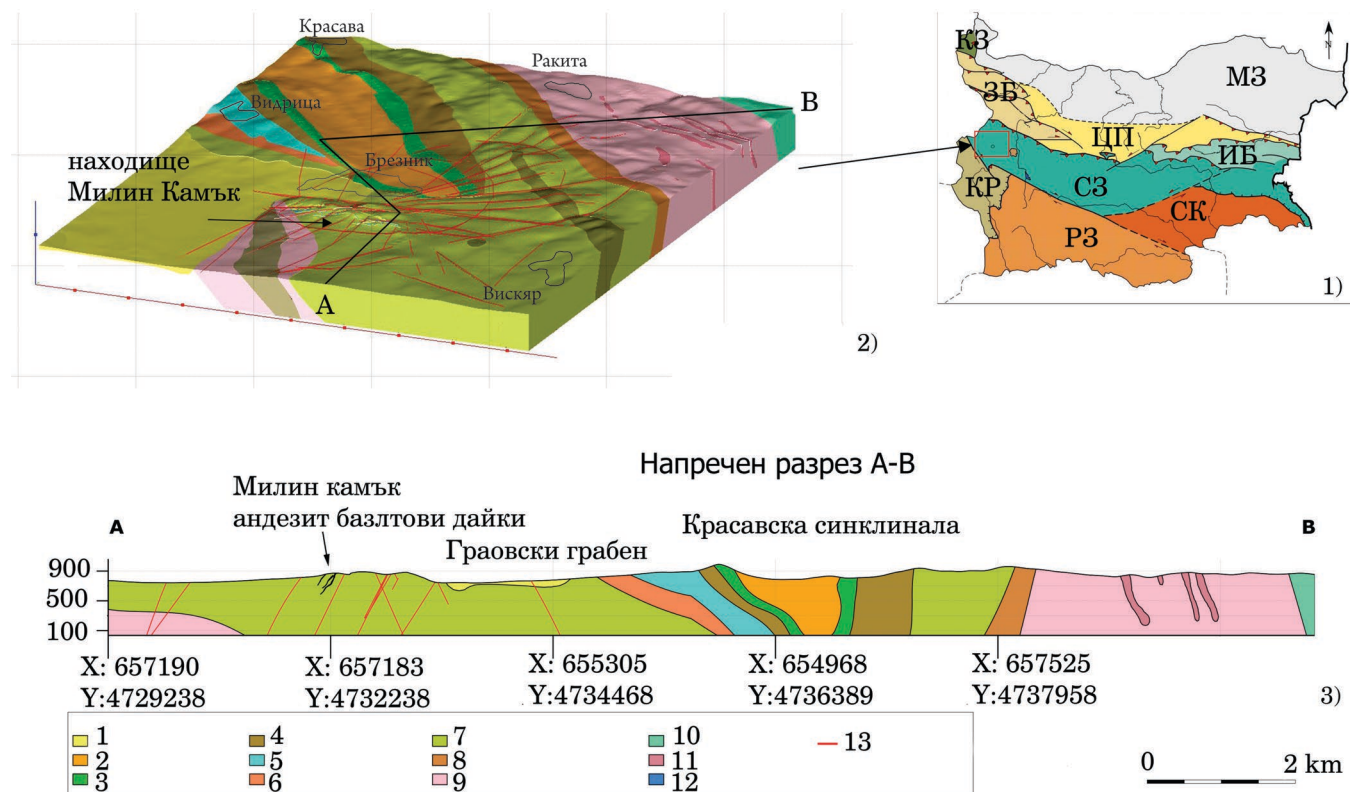
Резултатите от триизмерното имплицитно моделиране, анализите и техническите възможности позволяват извличане и интерпретация на пространствената ориентация и геоложките особености на главните литоложки единици и хидротермални промени, разкриващи се около златно-сребърно находище „Милин Камък“. За създаването на регионален литоложки и структурен модел е използван софтуерът Leapfrog Geo. За по-точно дефиниране на геоложките граници и предоставяне на по-акуратен облик на генерираните триизмерни изоповърхнини е използвана RBF (Radial Basic Function) интерполационна техника. Тази техника се разглежда като разновидност на кригинга, създадена с цел обработка на по-голямо количество данни за по-малък период от време. В задачата са използвани символни (номинални) данни. Геоложката информация е извлечена от геоложка карта в мащаб 1:50000, сондажни и канавни данни, и подземни проучвателни изработки. Наклоните на генерираните триизмерни изоповърхнини са базирани на структурните елементи, използвани от картировката в М 1:50000. Моделирането на регионалните литоложки тела е извършено приоритетно с по-ниска пространствена резолюция, поради по-малкия брой данни, големите обеми на телата и широкообхватното им разпространение. Конструирването на регионалния структурен модел се различава по методология от локалния модел.

Генерираните регионални триизмерни модели са използвани като солиден инструмент за синтез на генезиса на конструираните геоложки обекти чрез пространствен анализ (Pouliot et al., 2008; Wang and Huang, 2012). При този подход, за определяне на структурния тренд се преминава към следната последователност:

1. Конструирание на триизмерни имплицитни модели, базирани на пространственото разпределение на регионалните литоложки единици;
2. Генериране на триизмерно имплицитно моделиране, базирано на пространственото разпределение на локалните хидротермални промени и дайки в находище „Милин Камък“;
3. Комбиниране на триизмерните модели с разпределението на триизмерни разломни повърхнини, извлечени от линеаментните структури, изграждащи Брезнишката кръгова морфоструктура;
4. Интегриране на структурните данни и анализ на пространствената геометрия, с цел акуратно определяне на локалния структурен тренд.

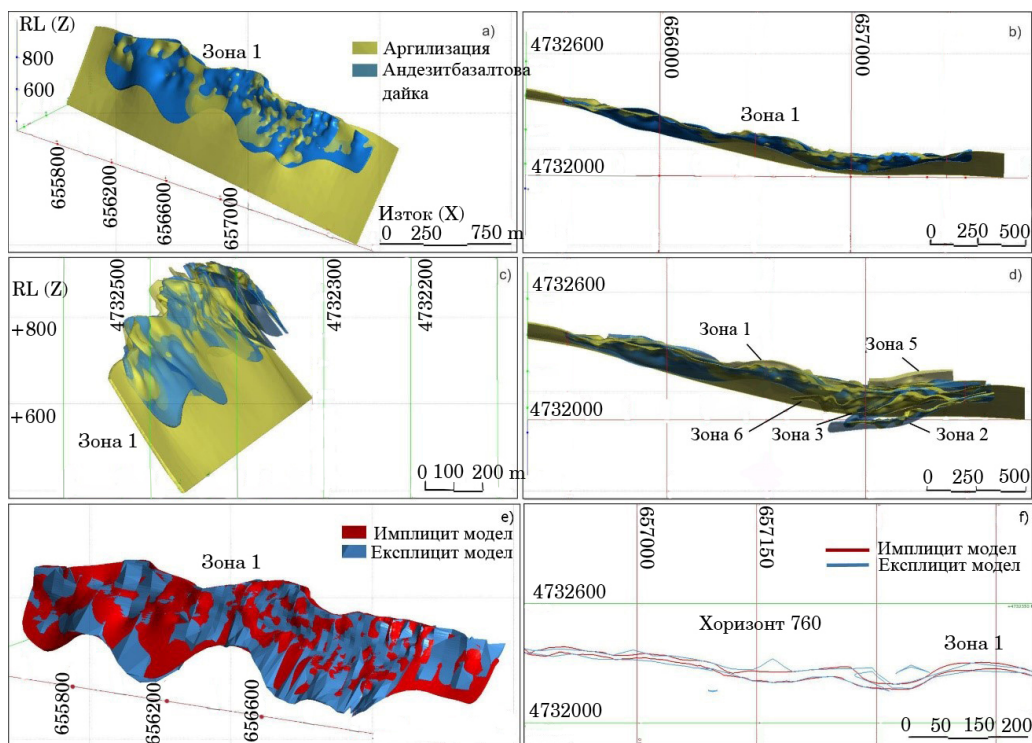
Създаденият регионален триизмерен модел онагледява разпространението на регионалните литоложки единици и в дълбочина. Добре изразена структура, ясно видима в моделирането, е Красавската синклинала (фиг. 3.8). Тя се характеризира с по-полегато затъване на пластове, с около $45\div 60^\circ$ на североизток и по-стръмно от 80° до 90° включително, до преобърнатите пластове, изграждащи северното бедро на синклиналата. От така създадените модели е видно, че регионалната синклинална структура е с югозападна вергентност. Въз основа на данните от триизмерното моделиране и съвременния релеф може да се допусне заключението, че в зависимост от разположението на литоложките единици в югозападното или североизточното бедро, ерозионният срез варира. Литоложките единици, разположени в югозападното бедро, се характеризират с по-нисък ерозионен срез, докато разположените в североизточното бедро са с по-висок. Това се дължи на факта, че югозападната вергентност на синклиналата навлича и преобръща вулканогенно-седиментните задруги върху югозападното бедро и погребва по-долно разположените литоложки единици. По такъв начин, линеаментните структури, разположени в югозападното бедро, са по-отчетливи и ясно забележими. От тук може да се направи заключението, че рудните тела, локализирани във вулкано-тектонските разломи, обусловени от синхронното развитие по време на най-интензивните деформации, свързани с вулканската дейност, са най-подходящи за локализиране в югозападното бедро на Красавската синклинала, където ерозионният срез е по-нисък. Находището „Милин Камък“ се локализира в тези участъци. Локализацията на рудни тела и хидротермални промени, вместени в радиални или концентрични вулкано-тектонските разломи, разположени в североизточното бедро, е по-малко вероятна, заради високия ерозионен срез. Следователно, проучвателните работи за откриване на нови рудни тела в бъдеще е възможно да бъдат насочени според регионалната структурна рамка.

Характерна особеност по време на развитието на вулканската дейност, по отношение на вулканогенния процес, е локализацията на ранни или късни субвулкански тела (Попов, 1979). Поради отсъствието на интензивна тектоника, свързана със заключителните фази на вулканската дейност и най-вече отсъствието на радиални или концентрични вулкано-тектонските разломи, ранните тела най-често са съгласни с наслояването. Генерираният триизмерен модел показва ясно изразен сил, разположен югозападно от „Милин Камък“, с латитов състав (Байрактаров, 1989). В по-късните етапи от развитието на вулканската дейност, по време на обособяване на Брезнишката вулканска структура, се получава интензивно разломяване и образуване на радиални или концентрични вулкано-тектонските разломи. Тази фаза води до образуването на късни субвулкански тела – дайки. Дайките са разположени като ясно изразен дайков сноп в находище „Милин Камък“. Триизмерното моделиране на дайковия сноп и заобикалящите ги хидротермални промени показват стриктно и строго определено общо разпределение в пространството (фиг. 3.9 и фиг. 3.10). Това подчертава факта, че те са вместени и споделят обща рудовместваща структура.



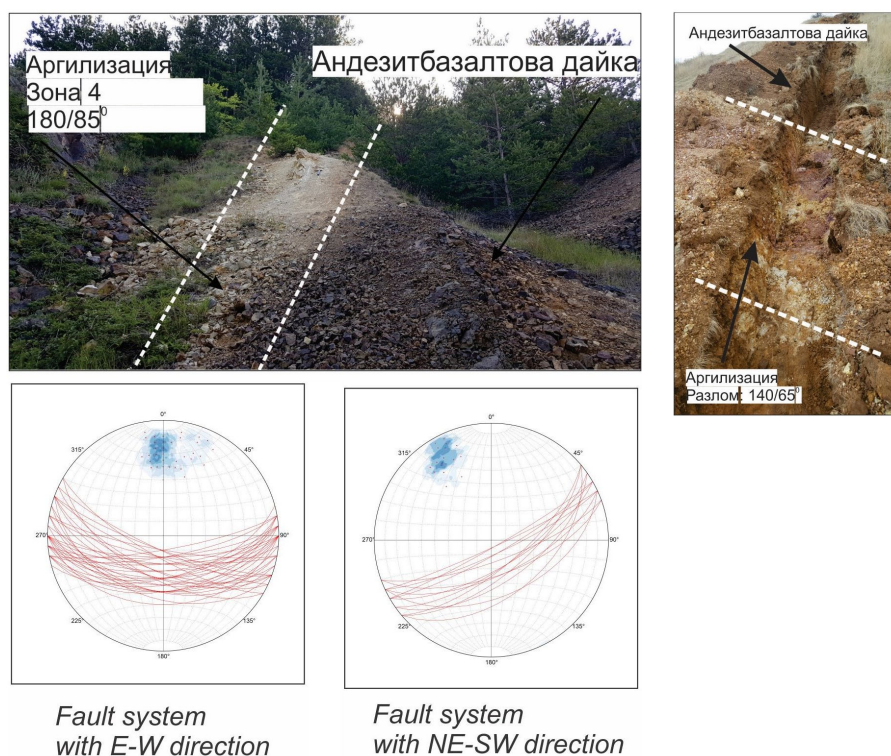
фиг. 3.8. Триизмерен литоложки модел на регионалните литоложки разновидности около находище „Милин Камък“:

1) - Тектонска карта на България (Иванов, 1998): МЗ – Мизийска платформа, КЗ – Кулска зона, ЗБ – Западнобалканска зона, ЦП – Централен предбалкан, ИБ – Източнобалканска зона, СЗ – Средногорска зона, КР – Краищиди, РЗ – Родопска зона, СК – Сакаро-Странджанска зона; 2) - Триизмерен модел на литоложки разновидности около Милин Камък с нанесени линеаментни структури (по Маринова и др., 2010 с промени); Напречен разрез по линия А-В по литоложкия модел: 1 – Неоген, 2 – пясъчниково-мергелна задруга, 3 – пясъчникова задруга, 4 – флишка задруга, 5 – пирокластично-туфитна задруга, 6 – мергелно-туфитна задруга, 7 – пирокластична задруга, 8 – пачка от псамо-алеовритни туфи, 9 – туфитно-мергелна задруга, 10 – андезити и пирокластити, 11 – шошонитови дайки, 12 – андезитбазалтови дайки, 13 – линеаменти интерпретирани като разломни нарушения



Фиг. 3.9. Сравнителни изображения между триизмерният модела на пространственото разпределение на аргилизацията и андезит базалтовите дайки:

- a) пространствено разпределение на аргилизацията около зона 1 и андезит базалтовата дайка; b) план показващ характерно дъговидно разпространение; c) пространствено разпределение на аргилизацията около всички зони и андезит базалтовите дайки; d) план показващ разпределенето на всички рудни зони и дайки; e) сравнение между имплицит- и експлицит-моделиране в андезит базалтовата дайка; f) в план с ясно изразени по-заоблени контури на имплицит-модела в сравнение с експлицит-модела



Fault system
with E-W direction

Fault system
with NE-SW direction

Фиг. 3.10. Снимка на разкрития на зони на аргилизация и андезит базалтови дайки, показващи стриктно и общо разпределение в пространството

Погледнати в план, дайките и хидротермалните промени показват полупръстеновидна (дъговидна) форма. Тази позиция съвпада с пространственото положение на част от южните концентрични линеаменти. Характерна особеност се явяват дайките и хидротермалните промени по 7 зона, която е с посока североизток-югозапад, съответстващи с посоката и пространственото положение на южните радиални линеаменти. От тук може да се направят изводите, че радиалните и концентричните линеаменти изграждащи Брезнишката кръгова морфоструктура, поне в южната си част, играят ролята на рудовместващи и рудопроводящи канали. Данните получени от сондажните и канавните, както и от подземните проучвателни изработки, предоставят достатъчно информация за генериране на триизмерен модел на регионалните структурна линеаменти оформящи кръговата морфоструктура в южната си част. За северните участъци, поради липсата на проучвателни изработки и лошата разкритост, линеаментите са представени само като двумерни полилинии. Генерираните триизмерни линеаменти позволяват да се направи последваща съпоставка с локалните структури наблюдавани в „Милин Камък“, разгледани в следващата глава.

3.4.2 Теренни наблюдения

За потвърждаване на резултатите получени от тримерното моделиране на литоложките и рудните тела са извършени теренни обхождания на съществуващите естествени разкрития и описание на повърхностни канавни работи. Около рудните зони и хидротермалните промени се установяват следните основни скални разновидности – андезитбазалтови дайки (късни субвулкански тела), андезитбазалтови лавови скали, седиментни скали лапилни и агломератови туфи.

Лапиловите и агломератовите туфи се срещат повсеместно в рамките на находището. Те са основната вместваща скала за рудните зони. Често са интензивно променени с напълно заличен първичен минерален състав и структури. В участъците, където променителните продукти са по-слаби или отсъстват, макроскопски скалите са отломъчни с брекчиевидна текстура, меланократни. Кластите са добре заоблени с размери вариращи от 2 см до над 15 см. Матриксът е представен от сиво-зеленикава на цвят вулканска пепел. Отсъства сортировка, разполагат се хаотично и не се следи ориентировка в дадено направление. Скалите поръзни и с висока проницаемост.

Андезитбазалтовите дайки се следят южно от възвишението Бърдото. Представяват секущи тела следящи се в повечето случаи непосредствено до рудните зони. Макроскопски са тъмни, плътни, сивозеленикави на цвят. Текстурата е масивна до порфирна с едри порфири по плагиоклаз, амфибол и късопризматичен пироксен. Дебелината им варира в широк диапазон от няколко см до над 5 m.

Андезитбазалтовите лавови скали се срещат по-рядко. По-данни от сондажите, макроскопски наподобяват много секущите андезитбазалтови дайки. Те са плътни, здрави, сивозеленикави и порфирни по плагиоклаз. Текстурата им е масивна и не се наблюдава наличие на кластичност. На места се наблюдава и порфири от късопризматичен пироксен и иглест амфибол.

Седиментните скали се разполагат югозападно от възвишението Бърдото, в най-западната част на находището. Представени са от алтернация от тънкослойни мергели и глинести варовици, с прослойки от грауваки и туфити. Характерна особеност в разпространението на дайката и рудните зони, е че изклинват при навлизане в седиментните скали.

Късните субвулкански тела играят главна роля за локализацията на рудните тела. В този случай рудопроводящите канали са същите, които са използвани и за внедряването на магмените тела, ограничени по вулcano-тектонските разломи. Обикновено рудните тела и съпътстващата хидротермална промяна се разполага в долните контакти на дайките. По време на застиването на магмените продукти в рудовместващите структури, дайките се свиват и по този начин се генерира ново пространство, благоприятстващо постъпването на по-късните хидротермални разтвори. Често около контактите на рудните тела и дайките се наблюдава хидротермално брекчиране. Последното

се дължи на факта, че дайките с андезитбазалтов състав по природа са по-крежки. Те се характеризират с ниска проницаемост и порестост и играят ролята на екран. Податливостта им на брекчиране се дължи и на по-високата им твърдост и коефициент на еластичност. Поради ниската си порестост и ролята си на екран, дайките често са слабо засегнати от серицитизация и аргилизация, докато вместващите ги силно порести лапилни и агломератови туфи са интензивно променени.

3.4.3 Изводи

Изготвеният триизмерен модел предлага отговор на някои от основните проблеми, касаещи специфичната ориентация на локалната структурна мрежа и природата на рудовместващите структури. От него могат да се направят следните по-важни изводи:

1. Конструираният триизмерен имплицитен модел предоставя достатъчно акуратно изобразяване на триизмерни разломни изоповърхнини и прецизно построяване на геоложките граници и пространственото разпределение на хидротермалните промени и литоложките единици в находище Милин камък.
2. Резултатите от интерпретацията на сателитни стерео-изображения позволяват да се построят триизмерни разломни повърхнини, базирани на линеаментното изчертаване на дренажните системи (описани в предната точка). Триизмерните разломни повърхнини показват отличителен радиален и концентричен модел, маркиращ вулканската постройка.
3. Въз основа на получените данни от повърхностните проучвателни изработки – канали и сондажи, както и въз основа на данни от подземните проучвателни изработки, може да се заключи, че концентричните линеаменти, локализирани около находище „Милин Камък“, с посока изток-запад затъват на юг с наклон от 65 до 70 градуса. Радиалните линеаменти с посока североизток-югозапад затъват на югоизток с наклон 65 градуса, а тези с посока североизток-югоизток затъват на югозапад със същия наклон.
4. Разпространението на дайковия сноп и локализираните около тях хидротермални промени съвпадат с пространственото положение на линеаментите в южната част на кръговата морфоструктура.
5. Пространственото разпределение на дайките и хидротермалните промени показва ясно, че споделят общи рудовместващи структури, които са част от радиалните и концентричните разломи.

3.5. Тримерно структурно моделиране на разломните зони

За определяне на локалния структурен тренд са използвани данни, предоставени от проучвателната програма на „Трейс Рисорсиз“ - ЕООД. За генериране на локален структурен модел са построени експлицитни модели по рудните тела и главните зони на аргилизация. За нуждите на модела е използвана информацията от повече от 450 сондажни изработки и над 160 канали. Данните включват голям брой замери на разломни нарушения, с различни дебелини и ранг. Въпреки огромният брой на измерените структури по сондажите е трудно да се генерира правдоподобен модел на локалния структурен тренд. За тази цел са използвани експлицитни модели за установяване на пространственото положение на жилните рудни тела и главните рудовместващи структури. Въз основа на геометрията на рудните тела са обособени участъци в пространството около рудните жили, които се очертават с рязка промяна в посоката и/или наклона на жилите. Тези чупки се характеризират със строга пространствена привързаност в отделни участъци на находището и са свързани със структурни нарушения. За определяне на закономерността в пространството, свързана с тези чупки е използван следният подход за създаване на триизмерни изоповърхнини на структурните нарушения:

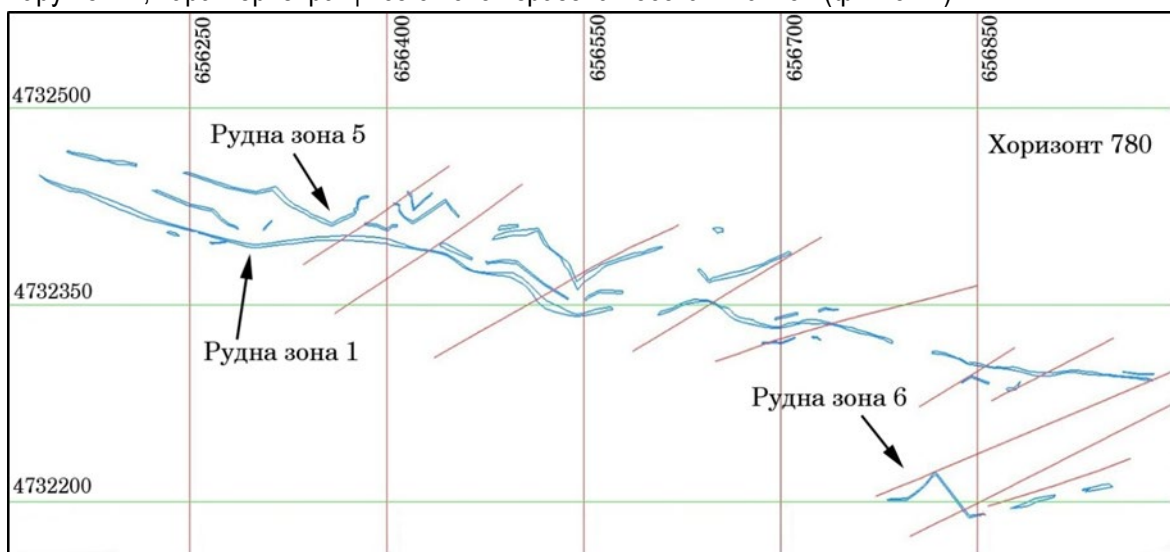
1. Генериране на геоложки разрези през 25 m, съпадащи с проучвателната сондажна мрежа и с толеранс 12.5 m. Създаване на серия от хоризонтални планове през 10 m, започващи от кота 620 m до 850 m, с толеранс 5 m;
2. Изчертаване чрез полилинии на участъците, където се наблюдава рязка смяна в посоката и/или наклона на жилите и зоните на аргилизация;
3. Генериране на DTM повърхнини, базирани по изчертаните полилинии;
4. Проверка на триизмерните структурни модели.

3.5.1. Създаване на експлицитни модели

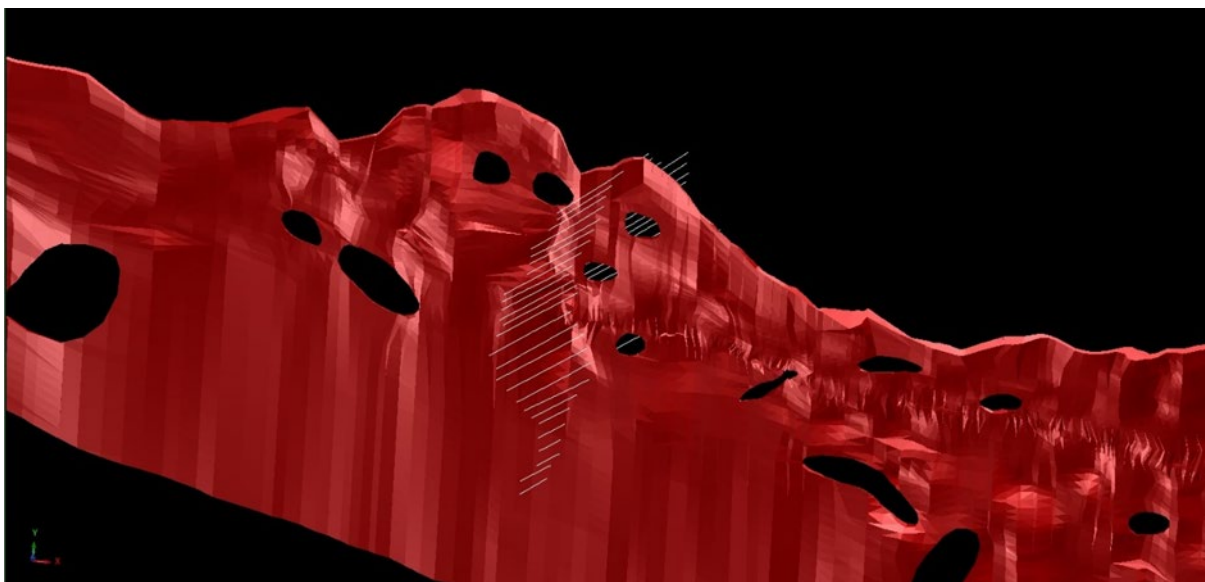
Експлицит-моделите са базирани на цифрови данни за моделиране на рудното тяло по съдържания на Au и на символни (номинални) за зоната на аргилизация. Генерирането на модела става по ръчно изчертаване, посредством полилинии, изчертани по вертикални разрези. Тези разрези са зададени по мрежата на проучване през 25 метра. Причината да бъде избран експлицитният модел вместо имплицитния в настоящето изследване е възможността да може да се упражни по-сторог контрол върху самия процес. Имплицит-моделирането се генерира въз основа на автоматична интерполация, базирана на метода на кригинга или обратно пропорционален на разстоянията. При тези модели е възможно някои от резките чупки в простирането на жилите да се дължи на зададените параметри на интерполация или от наличието на проби с по-високо или респективно по-ниско съдържание на Au. За да не се допусне вероятна грешка, дължаща се на автоматичен контрол върху моделирането, в дисертационната работа са използвани ръчно изчертани експлицит-модели.

3.5.2 Генериране на геоложки разрези и полилинии

След създаване на експлицитните модели по рудните тела и зоните на аргилизация, въз основа на предварително дефинирани профилни линии и хоризонтални планове се изчертават полилинии по осевите участъци на чупките в двумерна среда, свързани с промяната на простирание и геометрията на телата (фиг. 3.11). Тази процедура се повтаря разрез по разрез, план по план, докато чупката в простирането не изчезне напълно. По този начин процедурата се повтаря многократно, докато не се анализира всяка една промяна в наклона или посоката на залягане на рудните зони. Крайният вариант се преглежда в триизмерна среда и онагледява пространственото залягане на структурните нарушения, характеризиращи се с ясно изразена посока и наклон (фиг. 3.12).



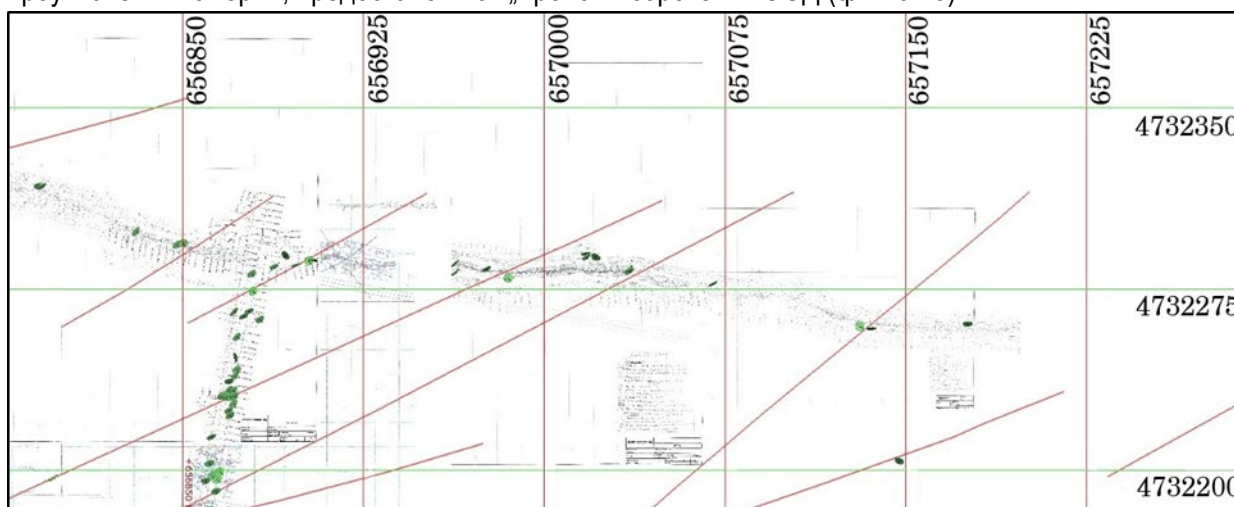
Фиг. 3.11. План на кота 785 m, с нанесени сечения на рудното тяло и разломните нарушения, нанесени като двумерни полилинии



Фиг. 3.12. Триизмерен изглед на разломно нарушение, изчертано по чупките на рудна зона 1

3.5.3. Проверка на триизмерните структурни модели

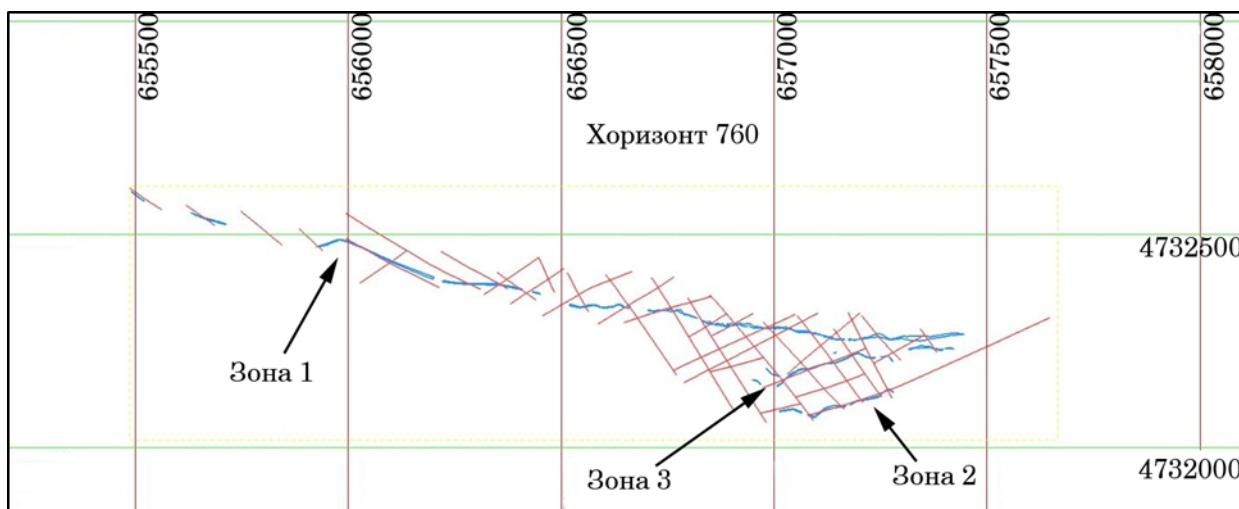
Въз основа на изчертаните полилинии по чупките на рудните зони се генерира цифров модел на повърхнина (DTM), която представлява пространственото залягане на разломните структури. След това, тези повърхнини са съпоставени със структурните замери, взети от сондажната ядка. При пресичането на разломната DTM повърхнина със сондажната ос, структурните замери позволяват да се извърши валидация въз основа на описанието на сондажната ядка. Всички генерирани DTM повърхнини по горе описания метод, са валидирани чрез структурните замери от сондажите. Разломните повърхнини са допълнително валидирани и чрез подземните планове от двете проучвателни галерии, предоставени от „Трейс Рисорсиз“ - ЕООД (фиг. 3.13).



Фиг. 3.13. Валидация на триизмерни разломни DTM повърхнина чрез подземни планове от прокараните проучвателни галерии с наложени структурни замери

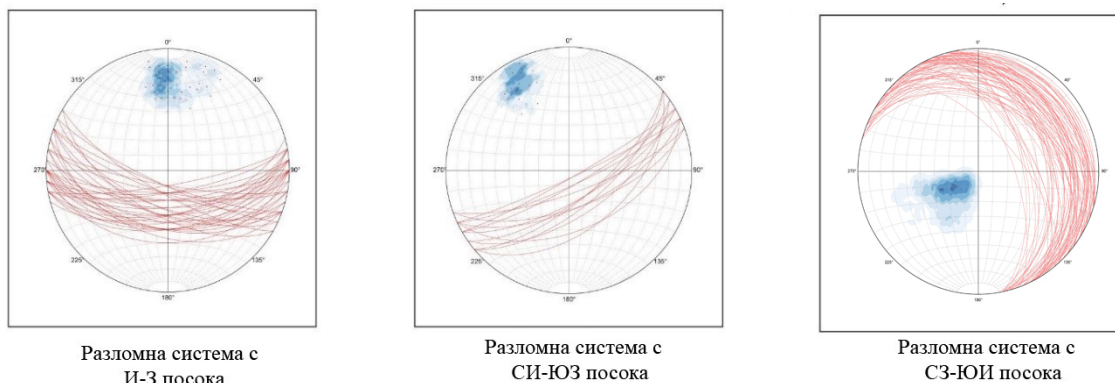
3.5.4. Анализ на получените модели

Получените резултати при създаването на триизмерни модели по разломните повърхнини показват отчетлив блоков строеж на находището (фиг. 3.14). Ясно изразена е системата от напречни разломи с посоки ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ.



Фиг. 3.14. Разломни нарушения на кота 760, показващи блоков строеж с посоки ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ

Тази система съвпада с направения статистически анализ на разломните нарушения по данни от структурните замери взети от сондажите (фиг. 3.15). Разломите с посоки ССИ-ЮЮЗ затъват стръмно на югоизток с наклон 65 градуса. По-слабо изразените нарушения са с посока ССЗ-ЮЮИ и затъват на североизток с наклон до 70 градуса.



Фиг. 3.15. Стереографска проекция на напречните ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ и рудовместващите изток-западни разломи

В двете прокарани проучвателни галерии се наблюдават напречни разломи, срязващи рудните жили със сравнително малка амплитуда – до 1-1.5 m. При нанасяне на триизмерните разломни DTM повърхнини към плановете от двете галерии е налице съвпадение на част от напречните разломи с тези на срязващите нарушения, наблюдавани в минните изработки. Предвид на по-малкото на брой срязващи нарушения, малката амплитуда на отместване и по-големият размах в чупките на рудните тела с рязка промяна в посоката и/или наклона на жилите, се предполага, че наблюдаваните разломни системи - рудовместващите И-З и напречни разломи, с посока ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ са дорудни.

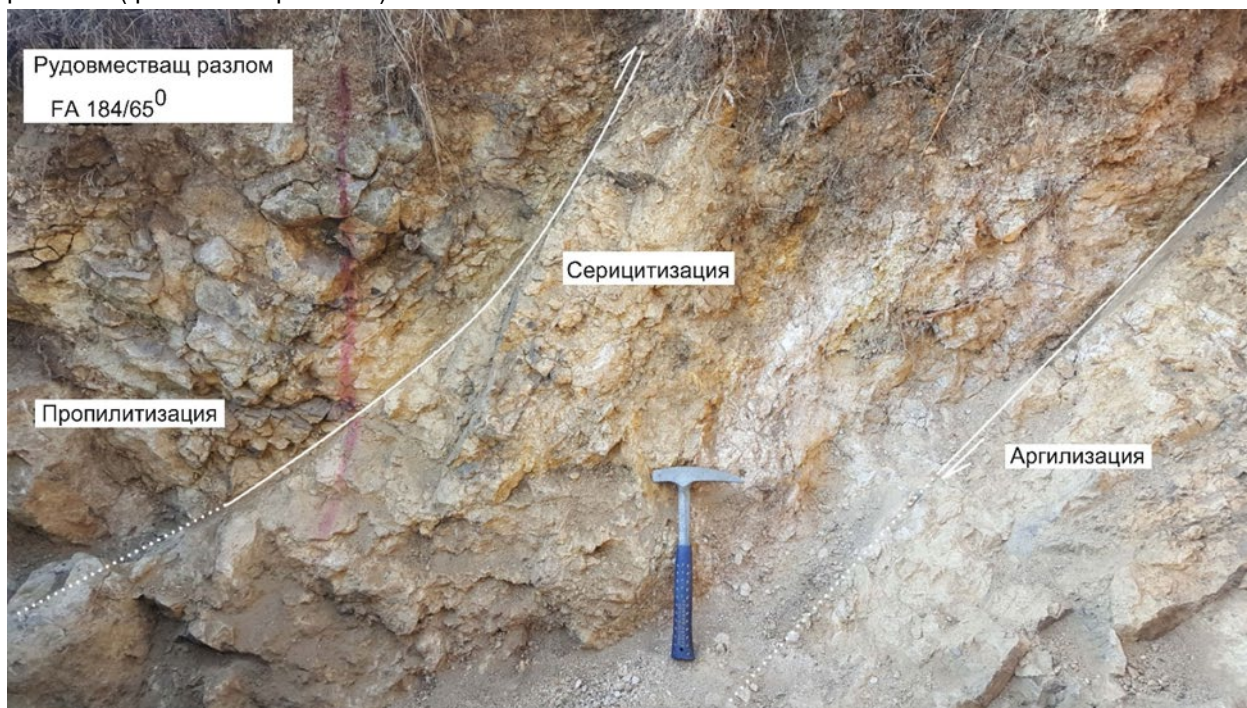
Характерна особеност за напречните разломи е наличието на контактна хидротермална промяна около стените им, без обаче да вместват рудни жили. Това вероятно се дължи на тяхната по-слаба проникваемост, а И-З са рудовместващи. Въпреки това, част от тях вместват рудни жили с дебелина от няколко сантиметра до два метра. Рудната зона 7 е с посока 40о и затъва на 130о, а напречните разломи със ССИ-ЮЮЗ посоки се явяват рудовместващи. От тук може да се заключи, че напречните разломи са също и рудовместващи. Вероятно, в по-късен етап част от напречните разломи са допълнително реактивирани и срязват, макар и с малка амплитуда рудните жили с

посоки И-З. Наблюдава се пълно съвпадение в пространственото положение и посоките на разломите, изграждащи блоковия строеж, с линеаментите оформящи Брезнишката кръгова морфоструктура. Разломите с И-З посока имат полудъговидна форма и съвпадат с концентричните линеаменти. Разломите със ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ посоки съвпадат с радиалните линеаменти. От тук може да се направи заключението, че причините за създаване на дорудния блоков строеж се коренят в локалното поле на напрежение, генерирано по време на най-интензивните деформации свързани с дейността на Брезнишкия палеовулкан.

3.6. Структурен контрол в рудообразователните процеси и рудни стълбове

За изясняване на основните характеристики в структурния контрол на рудообразователните процеси в находище „Милин Камък“ са направени триизмерни геоложки имплицитни модели по главните промишлени рудни зони. За оценка на пространственото разпределение по Au, Pb и Zn е използвана RBF интерполация, налична в софтуерния пакет на Leapfrog Geo. За тази цел са използвани данни от съдържанията по Au, Pb и Zn в над 250 сондажа, прокарани през периода 2016-2018 г. и разпределени по мрежа на проучване 25 x 25 m. Тези модели впоследствие са наложени към структурното моделиране, описано в предходната глава.

Въз основа на имплицитните модели и структурните данни са локализирани главните рудни стълбове, характеризиращи се с завишени съдържания на Au, Pb и Zn. Анализът на структурните данни показва ясно изразена система от три разломни направления – изток-западни рудовместващи разломи, с посока на затъване на юг и косо разположени, стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ разломи (фиг. 3.16 и фиг. 3.17).



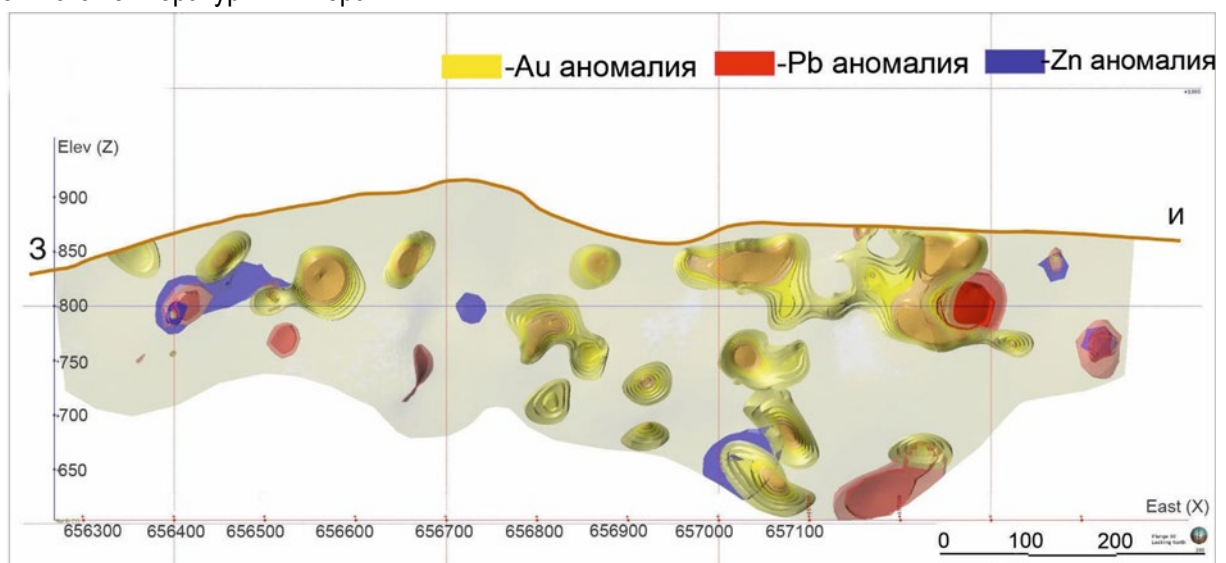
Фиг. 3.16. Снимка на разкрития на изток-западни рудовместващи разломи, с посока на затъване на юг (сн. Ив. Маринов)



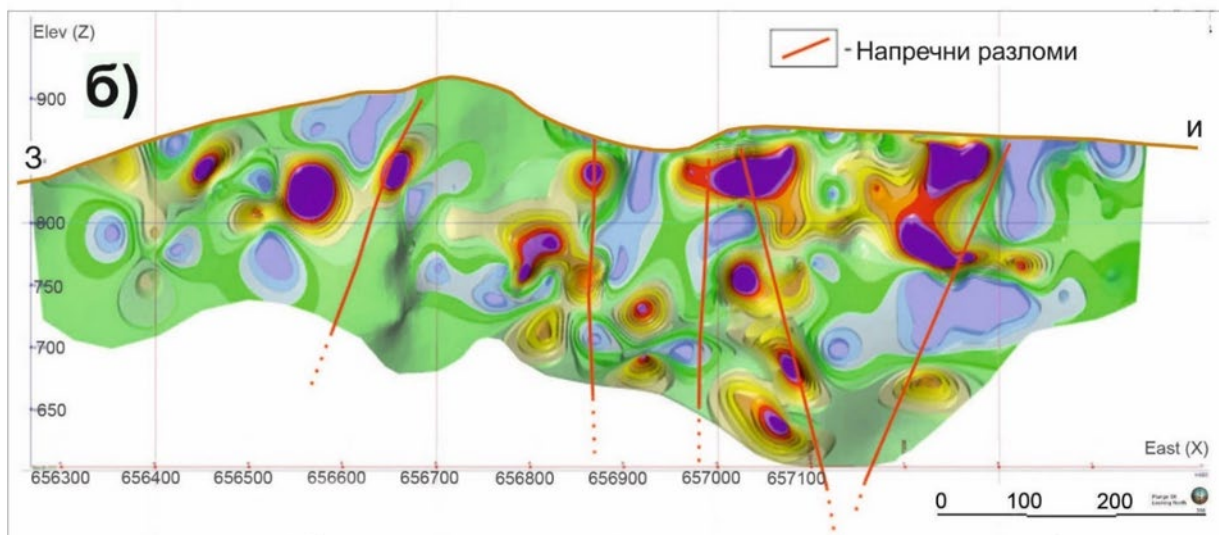
Фиг. 3.17. Снимка на разкрития на косо разположени СЗ-ЮИ разломи (сн. Ив. Маринов)

Тези структурни нарушения се характеризират с изразен крехък характер – катаклаза, брекчиране и тектонска глина. Направеният имплицитен модел по главната промишлена рудна зона – Зона 1, показва стъпаловидно залягане на рудната жила на юг – от 65° до 70°. В дълбочина, след ниво от 840 m, жилата става относително по-стръмна – от 75° до 80°.

В централния участък на находището, стъпаловидният строеж е изразен по-контрастно, с отново по-полегато залягане, от 65° до 70° след кота 690 m. Интерполационният модел показва няколкократно по-високи съдържания на Au, Pb и Zn, концентрирани в определени структурни нива (Фиг. 3.18.). Наличието на златни рудни стълбове се обуславя от повишената проницаемост, получена в резултат на пресичане на рудовместващи структури с изток-западна посока и косо разположени, стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ разломи (Фиг. 3.19). Основната характеристика на рудните стълбове е присъствието на зоналност с по-високи съдържания на Au в централните участъци и повишено съдържание на Pb и Zn в периферията, вероятно представени от по-ниско температурни минерали.

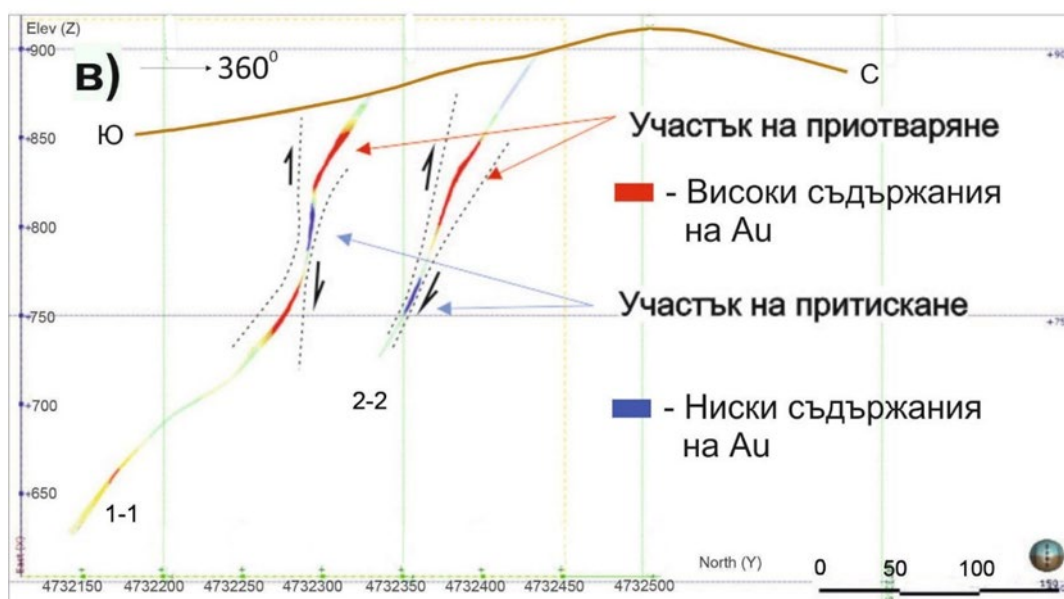


Фиг. 3.18. Разрез на рудни стълбове по Au и геохимична зоналност по Pb и Zn



Фиг. 3.19. Разрез на рудни стълбове, получени в резултат на пресичане на структури със стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ разломи и рудовместващи изток-западни разломи

В пределите на рудните тела, рудната компонента рядко е разпределена равномерно и се характеризира с участъци с неколkokратно по-високи съдържания (Попов, 1979). В зависимост от характера си биват концентрационни и морфоложки. Към първия тип се отнасят рудните стълбове със значително по-високи съдържания на полезния компонент в сравнение със съседните участъци. Към втория тип се отнасят стълбовете със значително по-голяма дебелина на рудните тела. Спрямо отнесените два типа рудни стълбове, тези локализиращи в находище „Милин Камък“ се характеризират с ясно изразена права корелационна връзка към двата типа. Обикновено участъците с по-голяма дебелина на полезната компонента се характеризират и с по-високи съдържания. Локализиращи са два модела рудни стълбове - в участъци на пресичане на рудовместващи структури с изток-западна посока и косо разположени, стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ и в участъци на приотваряне на рудовместващи разломи. Вмествашите ги скали в тези зони са брекчирани и по-интензивно напукани. Към рудните стълбове в участъците на приотваряне се наблюдават четири ясно изразени рудни стълбове, от които на структурни нива 840, 765 и 670 m съдържанията на Au са най-високи. Те съвпадат с промените в наклона на рудните жили от стръмни до сравнително по-полегати. Това води до допълнително приотваряне на рудовместващите разломи и създаване на среда с още по-голяма проникваемост (фиг. 3.20).



Фиг. 3.20. Схема на участъците на приотваряне и притискане по възседна компонента

Характерна особеност в промените в наклоните на главните рудовместващи разломни зони е създаването на чупки, в които съдържанията са най-ниски. В тези чупки, притискането е най-високо и следователно се създава среда с най-ниска проницаемост. Тези участъци с интензивно притискане, намиращи се непосредствено след рязка промяна в наклона на жилата, служат за опора между двете крила на разлома и рудната жила е с малка дебелина и ниски съдържания. Подобни взаимоотношения се наблюдават и в останалите рудни зони. Обратният случай е с промяната в наклона от стръмни в полегати зони и образуване на участъци на приотваряне. Рудната жила там се характеризира с най-голяма дебелина, стигаща до над 5 метра. Обикновено имат лещовидна форма, удължена по направлението на огъване на разлома.

Въз основа на тези данни е възможно да се реконструира кинематиката на рудовместващите структури с посока изток-запад, съгласно посоката на движение по него. Тези разломни нарушения затъват на юг и имат възседната компонента. При възседите се приотварят полегатите участъци, намиращи се непосредствено над чупките по рудовместващите разломи. При разседите е обратно – приотварят се стръмните участъци. Ако се вземе предвид локализацията им в южното бедро на югозападно вергентната Красавска синклинала, където наклоните на пластовете са с посока на затъване около 40° на СИ, и се възстановят в нормалното им положение от преди нагъването им, то разломните нарушения ще се характеризират с разседна компонента и ще затъват не на юг, а стръмно на север. При това положение, реконструираните структурни данни от преди нагъването и ротацията им спрямо гънката, ще кореспондират със затъването им към центъра на Брезнишката кръгова морфоструктура. Вероятно, първоначалното затъване на тези структури на север се дължи на колапса и пропадането на вулканската постройка. На по-късен етап, в резултат на последвалата ротация по време на гънкообразуването, наклоните на изток-западните структури ротира от север на юг.

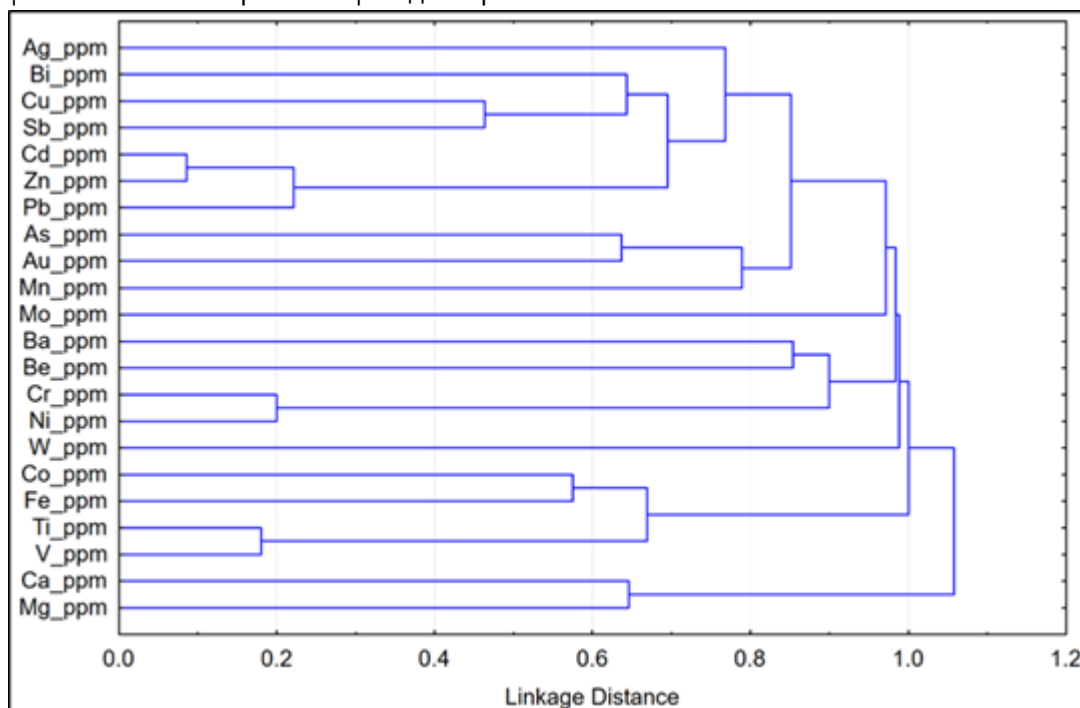
Характерна особеност при придвижването на хидротермалните разтвори по рудовместващите структури е тяхното възходящо движение към по-горните структурни нива. В резултат на това, хидротермалната промяна е по-мощна и интензивна по висящите крила на възседите или разседите. В района на гр. Брезник, обикновено хидротермалната промяна е по-интензивна и мощна в долнището на рудните зони. Ако се възприеме по-горното заключение за първоначалния характер на изток-западните структури като разседи, затъващи на север към центъра на палеовулканската постройка преди ротацията им, то висящото крило на разседите по правило е по-интензивно променено, отколкото лежащото. В по-късен етап по време на ротацията, висящото крило привидно става „лежащо“. Това обяснява защо, предвид кинематиката на изток-западните структури, долнището им е по-интензивно хидротермално променено в аргилизация и серицитизация.

3.7. Факторен анализ на геохимичните асоциации и триизмерно моделиране по данни от факторните тегла

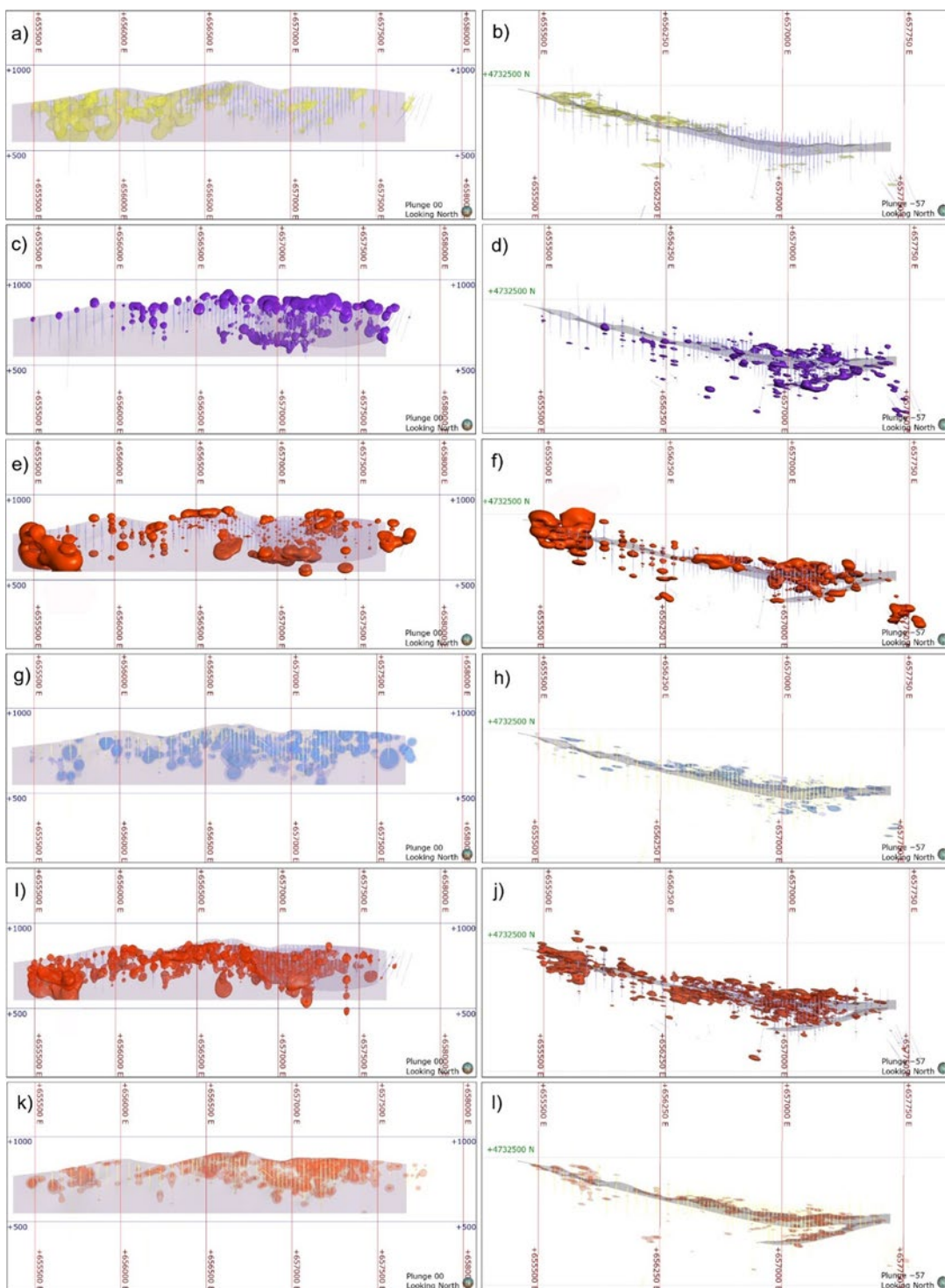
За определяне на зоналността в находище „Милин Камък“, по данни от химическите анализи, е извършен факторен анализ. Този анализ дава възможност да се оцени пространственото разпределение на геохимичните асоциации и да се обвърже с установената структурна рамка, от стръмни, до полегати напречни ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ и рудовместващите изток-западни структури. За пространствената оценка на геохимичните асоциации са създадени шест имплицитни модела чрез RBF (Radial Basic Function). Създадените модели отговарят на разпределението на 6-те групи геохимични асоциации.

Едномерният статистически анализ е използван за определяне характера на разпределение на всеки химичен елемент, докато клъстерният и факторният анализ се използват за групиране на елементите по сходство в съответното им пространствено положение. Въз основа на факторният

анализ е възможно да се пресметнат теглата на всяка проба в дадения фактор (Роров, 2002; Роров, 2016). Това предимство позволява да се направи триизмерно моделиране по отношение на факторните тегла за всяка отделна проба и да се установи пространствената връзка между тях. Преди да се подходи към групирането на елементите във фактори, е приложен клъстерен анализ с цел да се изяснят йерархично корелационните връзки между отделните елементи. За целта е използван метод на претеглено групиране (фиг. 3.21). Броят на групите в клъстер анализа дават възможност предварително да се изясни необходимия брой на възможните фактори. Ако се използват по-малко на брой фактори, елементите включени в групите ще са повече (Роров, 2002). В настоящето проучване е приложен метода на главните компоненти, с варимакс нормализирана ротация. За всеки един от факторите, спрямо стойностите от факторните тегла е направено триизмерно моделиране (фиг. 3.22). Резултатите от факторния анализ за 22 елемента са дадени в таблица 3.1, където представените фактори са разпределени по 6 оси. Най-значимите факторни тегла, които показват силна връзка (над 0.5) към дадената група са удебелени. По-ниските тегла, които отразяват известна тенденция за принадлежност към дадена група (0.5-0.4) са в удебелен курсив. Тези, които показват слабо изразена връзка (0.2-0.4) към дадена група са дадени в курсив. В най-долната част на таблицата са показани дисперсията за всеки отделен фактор и пропорционалната част спрямо общата дисперсия.



Фиг.3.21. Дендрограма от клъстер анализа по съдържанията на 22 химични елемента



Фиг.3.22. Разпределение на геохимичните асоциации: а, напречен разрез и б, план на [Cd, Zn, Pb] асоциация (Фактор 1); с, напречен разрез и d, план на ([V, Ti] Fe, Co), – Ca асоциация (Фактор 2); е, напречен разрез и f, план на ([Ni, Cr] +Co асоциация (Фактор 3); g, напречен разрез и h, план на ([Cu, Sb] Bi)+Ag, Pb ±As, Fe, Au, Ba, Zn асоциация (Фактор 4); ik,, напречен разрез и j, план на - [Be, Ba], positive ± Mg, Fe, Ca асоциация (Фактор 5); k, напречен разрез и l, план на ([As] Au) Mn, ± Fe, -([Mg] Ca) ±Fe асоциация (Фактор 6).

Таблица 3.1. Факторен анализ – факторни тегла на химичните елементи, отразяващи групирането им в геохимични асоциации

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6
Ag_ppm	0.129538	-0.034905	-0.014001	0.460687	0.008553	0.120547
As_ppm	0.042227	0.050795	0.062438	0.296357	0.028852	0.709866
Au_ppm	-0.111833	-0.022826	0.020344	0.256040	0.083714	0.547751
Ba_ppm	-0.125752	0.020482	0.055676	0.209070	-0.615572	-0.054150
Be_ppm	0.105433	0.036271	0.168534	-0.261221	-0.722406	0.136835
Bi_ppm	0.161150	0.034319	0.038025	0.620976	0.058981	0.099131
Ca_ppm	-0.176895	-0.478813	0.113403	-0.123995	0.260469	-0.479001
Cd_ppm	0.919101	-0.018240	0.013075	0.209265	0.031119	0.103896
Co_ppm	-0.023048	0.650070	0.317638	-0.043445	0.179290	0.055518
Cr_ppm	0.003650	-0.034024	0.907819	0.068698	-0.148048	0.000789
Cu_ppm	0.059131	0.028717	0.046833	0.777120	-0.095395	0.100236
Fe_ppm	0.104801	0.661194	0.024511	0.293580	0.293082	0.222901
Mg_ppm	-0.174965	0.134517	0.136188	-0.066101	0.313753	-0.622256
Mn_ppm	0.116927	-0.043619	0.015330	0.031830	0.042296	0.497457
Mo_ppm	0.064661	-0.013296	0.076506	-0.059073	0.106736	0.146235
Ni_ppm	0.010439	-0.027687	0.937645	0.032096	-0.001681	-0.004474
Pb_ppm	0.838153	-0.027846	0.003228	0.319745	0.029539	0.075001
Sb_ppm	0.238737	-0.040914	-0.000828	0.736246	-0.072103	0.099695
Ti_ppm	-0.072426	0.801004	-0.176495	-0.122495	-0.157082	-0.217914
V_ppm	-0.078108	0.865131	-0.099284	-0.072003	-0.134671	-0.176053
W_ppm	0.090085	0.027573	0.089191	-0.019597	0.110057	0.070748
Zn_ppm	0.915405	-0.012106	0.018586	0.202217	0.057566	0.124182
Отчетена дисперсия	2.640530	2.512934	1.931445	2.334715	1.305999	1.923549
Част от дисперсията %	0.120024	0.114224	0.087793	0.106123	0.059364	0.087434

Получените резултати от многомерния факторен анализ и триизмерното моделиране на факторните тегла за всяка отделна проба позволяват да се изяснят геохимичните асоциации и пространствена привързаност на групи елементи, характеризиращи се с определено сходство. Установени са 6 факторни групи от елементи отразяващи зоналността в пространственото им разпределение в находище „Милин Камък“, като резултат от приложените методи. Асоциацията [Au, As] Mn $\pm$ Fe с отрицателна корелация Ca, Mg, отразена от фактор 6, представлява главното рудно тяло и съвпада с участъците с най-високите съдържания на Au. Разпространението на фактора е по протежението на цялата рудна зона 1, както и зона 2. Към останалите зони геохимичните аномалии са по-слабо представени. По протежението на зона 1, факторните тегла са най-силно изразени в източните участъци и хипсометрично в по-горните нива на рудната зона - над кота 720 m. От минераложка гледна точка групата най-вероятно представлява фино диспергираното невидимо Au в пирит. [Pb, Zn, Cd] асоциация от фактор 1 се проследява главно в най-западната част на зона 1 и част от зона 2. В останалите участъци на зона 1, както и останалите зони, аномалиите по факторните тегла са слабо проявени. Разпространението на тази геохимична асоциация обикновено е там където асоциациите от фактор 1 са най-слабо застъпени. От минераложка гледна точка групата явно маркира разпределението на минералите от кварц-галенит-сфалеритова асоциация. ([Cu, Sb] Bi) Ag $\pm$ Pb, Fe, Au, As асоциация от фактор 4 има сходно пространствено разпространение с аномалиите по фактор 6 издължено по рудна зона 1 и 2. Към останалите зони геохимичните аномалии са по-слабо представени. Факторните тегла са по-силно изразени в централните участъци на зона 1 и в дълбочина, в сравнение с тези от фактор 6. Геохимичната асоциация очевидно маркира

разпределението на минерали, представени от кварц-сулфосолна-пирит-галенит-сфалеритова асоциация. Останалите геохимични асоциации [Ti, V] Fe, Co от фактор 2, [Ni, Cr] $\pm$ Co от фактор 3, [Be, Ba] от фактор 5. Триизмерното моделирането по факторните им тегла не показва ясна пространствена привързаност към нито една зона. Вероятно не са свързани с хидротермалните процеси и са повсеместно разпространени сред лапилите туфи и дайки. В заключение, извършеното триизмерно моделиране на пространственото разпределение на елементите по сходство показва ясно, че елементите от фактори 1, 4 и 6 са свързани с хидротермалните рудообразователни процеси и са издържани в рамките на рудните тела. Наблюдава се и определена пространствена зоналност – фактор 1 се локализира основно в западните участъци на рудна зона 1, встрани от геохимичните асоциации, характерни за фактори 4 и 6, докато последните два фактора до известна степен пространствено се застъпват. Всички фактори свързани с хидротермалните процеси показват ясна пространствена връзка с рудоместващите изток-западни структури, докато към напречните стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ не се наблюдават ясни пространствено засебени тела.

4. Заключение и приноси

4.1. Заключение

Извършеният анализ и интерпретация позволяват да бъдат направени следните заключения и изводи, относно локалната структурна рамка, предопределена от еволюцията на Брезнишкия палеовулкан. Тази структурна рамка отразява основните структурни елементи и фактори, касаещи рудообразователните процеси в находище „Милин камък“.

1. Регионална структурна рамка

1.1 Регионалната структурна рамка се предопределя от влиянието на локално стресово поле, създадено по време на най-интензивната вулканска дейност и последващото вулканско-тектонско разломяване и калдерно пропадане. Установяват се две ясно изразени кръгови морфоструктури с диаметър до 9 km, които се бележат от съществуващата дренажна система спрямо съвременния релеф. Те оформят позитивните релефни участъци. Тези две морфоструктури се локализируют изцяло в интензивно нагънатите горнокредни вулканити от Софийската единица и тяхното пространствено положение съпада точно с позицията на предполагаемите вулкански центрове в Западното Средногорие. Характерна особеност е разположението на проксималните вулкански фациеси, представени от бомбено-блокови и агломератови туфи. Тези фациеси се разполагат в непосредствена близост до центъра кръговите морфоструктури.

1.2 След вулканско-тектонския етап, последващите ги ларамийски и илирийски деформации не преработват напълно линеаментите, формиращи двете кръгови морфоструктури и те все още са ясно видими в съвременния релеф, маркирани от дренажната система.

1.3 Източната кръгова морфоструктура се ситуираща изцяло в долната вулканогенно-седиментна задруга. Пространственото ѝ положение кореспондира приблизително с позицията на Клисурския палеовулкан. Морфоструктурата се подчертава отчетливо от разположението на концентричните линеаменти и се локализира в най-югоизточната част на Бурелската разломна зона. Останалите вулкански центрове, разположени около този магматично активен Бурелски разлом не показват ясно изразени кръгови морфоструктури, като вероятната причина за това е вулканизма да е от линеен тип, развит по разломни зони. В последващата поствулканска преработка по време на ларамийското структурообразуване, вулканските постройки са преработени и еродирани. През този период, интензивните гънкови деформации извеждат вулканско-плутоничните центрове от нормалното им

положение и ги сближават една спрямо друга, като това е вероятната причина за заличаване на първичните вулкански структури.

1.4 Западната кръгова морфоструктура се ситуираща изцяло в горната вулканогенно-седиментна задруга. Пространственото ѝ положение кореспондира с позицията на Брезнишкия палеовулкан. Морфоструктурата се подчертава от ясно забележими концентрични и радиални разломи, които оформят локалната дренажна система. За разлика от Клисурската структура, изразена по-ясно от концентрични линеаменти, Брезнишката кръгова морфоструктура се характеризира по-отчетливо с радиално разломяване. Линеаментните структури, видими в съвременната дренажна система, са образувани по време на най-интензивните деформации, свързани с вулканотектонския етап след затихване на вулканската дейност. Тези структури служат за проводящи канали и/или рудовместващи структури за магматичните продукти и хидротермални флуиди, постъпващи от магмената камера в дълбочина.

2. Локална структурна рамка в находище „Милин камък“

2.1 Вулканотектонските разломи в находище „Милин камък“ служат като проводящи пътища за дайките и последващите ги хидротермални флуиди. Локалното стресово поле, създадено по време на най-интензивната вулканска дейност, свързана с еволюцията на Брезнишкия палеовулкан и последващото разломяване и калдерно пропадане, се разглежда като най-вероятно обяснение за структурната специфичност в посоките на рудовместващите структури в находище „Милин камък“. Тук те са с екваториална посока за разлика от регионалните, които са с посоки 120-140°.

2.2 Най-ранните субвулкански тела са съгласни с наслояването и са образувани преди активния вулканизъм. Югозападно от рудна зона 1, трахиандезитовото по състав субвулканско тяло представлява сил, внедрен в седиментни скали, представени от алтернация на туфи, туфити, мергели и пясъчници. В по-късните етапи на развитието на вулканската дейност, по време на обособяване на Брезнишката вулканска структура, довежда до интензивно разломяване и образуване на радиални или концентрични вулканотектонски разломи. Тази фаза води до образуване на късни субвулкански тела – дайки.

2.3 Пространственото разпределение на дайките, хидротермалните промени и рудните зони ясно показва, че споделят общи рудовместващи структури, които са част от радиалните и концентричните разломи. В този случай, рудопроводящите канали са същите, по които са внедрени магмените тела, ограничени по вулканотектонските разломи. Поради тази причина, един от литоложките фактори за наличието на проницаема среда за внедряване на хидротермалните разтвори се обуславя от застиването на по-ранните андезитбазалтови дайки, последващо свиване и образуване на нови високопроницаеми пространства по рудовместващите разломи, благоприятстващи постъпването на по-късните хидротермални разтвори.

2.4 Характерна черта е пространствената позиция на най-интензивно променените скали и рудни зони, които са сравнително близко разположени до централните части на Брезнишката кръгова морфоструктура. Това утвърждава привързаността на находището към вулканския център.

2.5 Разломните повърхнини показват отчетлив блоков строеж, с ясно изразена система от рудовместващи структури с посоки изток-запад и система от взаимно спрегнати напречни разломи с посоки ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ. Разломите с посоки ССИ-ЮЮЗ затъват стръмно на югоизток, с наклон 65 градуса. По-слабо изразените нарушения са с посока ССЗ-ЮЮИ и затъват на

североизток с наклон до 70 градуса. Тези структурни нарушения се характеризират с изразен крехък характер, образуващи участъци с катаклаза, брекчиране и тектонска глина.

2.6 Част от напречните ССИ-ЮЮЗ разломи са и рудовместващи. В по-късен етап, част от напречните разломи са допълнително реактивирани и срязват, макар и с малка амплитуда рудните жили с посоки изток-запад.

2.7 Наблюдава се съвпадение в пространственото положение и посоките на разломите, изграждащи блоковия строеж, с линеаментите, оформящи Брезнишката кръгова морфоструктура. Разломите с И-З посока имат полудъговидна форма и съвпадат с концентричните линеаменти. Разломите със ССИ-ЮЮЗ и ССЗ-ЮЮИ посоки съвпадат с радиалните линеаменти. От тук може да се изведе заключението, че причините за създаване на дорудния блоков строеж се коренят в локалното поле на напрежение, генерирано по време на най-интензивните деформации свързани с дейността на Брезнишкия палеовулкан.

2.8 Локализирани са два типа рудни стълбове - в участъци на пресичане на рудовместващи структури с изток-западна посока и косо разположени, стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ и в участъци на приотваряне на рудовместващи разломи. В рамките на находището се установяват, както концентрационни, така и морфоложки типове рудни стълбове.

2.9 Рудните стълбове, получени в резултат на пресичането на рудовместващи структури с изток-западна посока и косо разположени, стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ разломи се характеризират с висока проницаемост и с присъствието на зоналност с по-високи съдържания на Au в централните участъци и повишено съдържание на Pb и Zn в периферията.

2.10 Към рудните стълбове в участъци на приотваряне се наблюдават четири ясно изразени рудни стълба, от които на структурни нива 840 m, 765 m и 670 m съдържанията на Au са най-високи. Те съвпадат с промените в наклона на рудните жили от стръмни до сравнително полегати. Това води до допълнително приотваряне на рудовместващите разломи и създаване на среда с още по-голяма проницаемост.

2.11 Въз основа на положението на рудните стълбове и геометрията на рудовместващите изток-западни разломи, кинематиката следва да се е определи като възседна. Като се вземе предвид обаче тяхната позиция в южното бедро на югозападно вергентната Красавска синклинала, където наклоните на пластовете са с посока на затъване около 40° на СИ, и се възстановят в нормалното им положение от преди нагъването им, то разломните нарушения ще се характеризират с разседна компонента и ще затъват не на юг, а стръмно на север. При това положение реконструираните структурни данни от преди нагъването и ротацията им спрямо гънката ще кореспондират със затъването им към центъра на Брезнишката кръгова морфоструктура.

2.12 По-ниският ерозионен срез в рамките на находището по всяка вероятност се определя от положението на рудните зони спрямо югозападно вергентната Красавска синклинала. Рудните тела се локализируют в югозападното бедро, където пластовете затъват сравнително по-полегато, спрямо вертикалните до преобърнати пластовете в североизточното бедро. По този начин ерозионният срез е по-нисък за скалите разположени в югозападното бедро и това способства за съхраняване на епитермалните сулфидни минерализации, които обикновено са разположени по-високо в разреза.

2.13 Триизмерните геохимични модели изведени чрез факторен анализ, показват, че по протежение на рудовместващите изток-западни структури се очертава латерална зоналност, докато по напречните стръмни до полегати ССИ-ЮЮЗ и СИ-ЮЗ структури не се наблюдава изразена пространствена зоналност, вероятно поради малки размах на орудяването.

3. Последователност и основни етапи в структурното развитие

Получените резултати позволяват да се обобщи генерално следната последователност по отношение на етапите в алпийското структурно развитие на изследваната площ (фиг. 4.1).

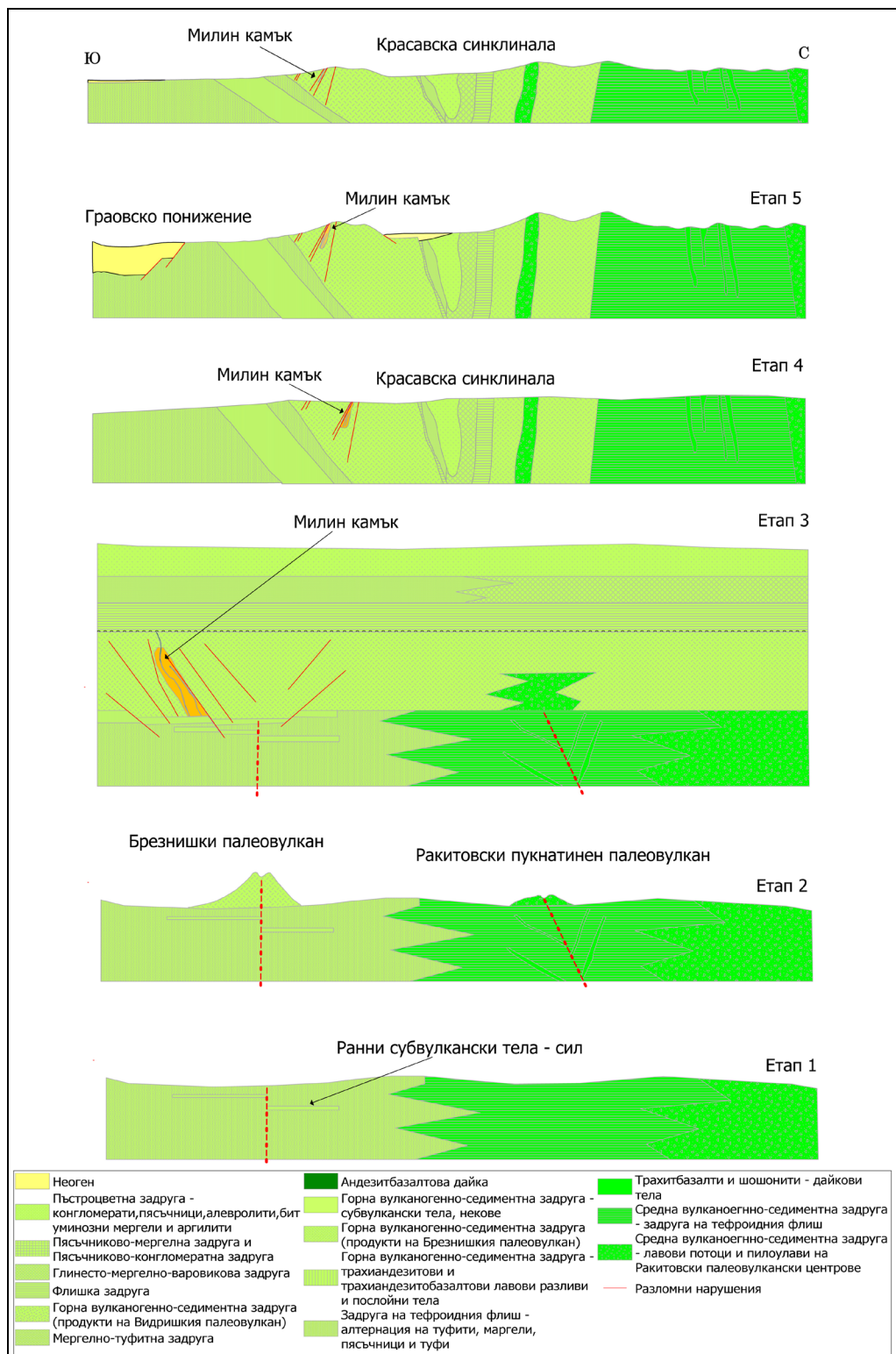
1. Първият и най-ранен етап се бележи от началните импулси, свързани с еволюцията на Брезнишкия палеовулкан. В този етап, поради отсъствието на силно проницаема среда, която да позволи внедряването на магмени продукти, се обособяват ранни субвулкански тела, които са съгласни с наслаяването. Вероятно едно от тези тела е трахиандезитовото по състав субвулканско тяло, внедрено в седиментни скали, представени от алтернация на туфи, туфити, мергели и пясъчници. Тази последователност, стратиграфски се разполага непосредствено под агломератите и лапиловите туфи на Брезнишкия вулкан.

2. Вторият етап започва с развитие на вулканизма и образуване на Брезнишкия палеовулкан и последващото вулкано-тектонско разломяване на фундамента. В резултат на интензивната вулканска дейност на палеовулкана, се обособява ясно изразена вулканска структура, съпроводена с образуването на интензивно радиално и концентрично разломяване в екстензионни условия. Тези вулкано-тектонски разломи са послужили като канали за внедряването на късните андезитбазалтови по състав дайки, вместени сред лапилните и агломеративи туфи. В по-късен етап в еволюцията на вулканската дейност, след внедряването на дайките започва придвижване на късните хидротермални разтвори, свързани със заключителната фаза на вулканската дейност. Разломните нарушения, по които е станало внедряването на дайките, са послужили и като рудовместващи структури за рудните тела. При застиването на дайките те се свиват, в резултат на което се отварят нови допълнителни пространства за придвижване и отлагане на рудни минерализации. Споделянето на общи проводящи канали за дайковите скали и рудните тела предопределя сходното им пространствено разположение.

3. Третият етап се маркира непосредствено след затихването на вулканизма и смяна на седиментационната обстановка от вулканска пирокластика към разнообразни по състав кампан-маастрихтски теригенно-карбонатни скали. Границата е ерозионна и седиментните последователности се явяват като покривка за интензивно хидротермално променените вулкански туфи изграждащи вулканската постройка.

4. Четвъртият етап се бележи от ларамийското структурообразуване, след приключване на вулканската дейност и кампан-маастрихтската теригенно-карбонатна последователност и се свързва с образуването на Красавската синклинала. През този етап, в резултат на компресионни движения, рудните тела и дайките са подложени на допълнителна деформация и ротация. Първоначално субвертикални и стръмно затьващи на север, рудовместващите разломи са ротирани до сегашното им положение със затьване на юг. Вероятно през този етап СИ-ЮЗ разломи са допълнително реактивизирани и скъсват с малка амплитуда изток-западните рудовместващи структури.

5. Последният пети етап се бележи с образуването на Граовското понижение в резултат на блоково разчленяване и образуване на хорстови и грабенови структури. Разседни разломи скъсват най-западните части на рудни зони 1 и 4, а неогенските седименти ги покриват.



Фиг. 4. 1. Генетичен модел на находище „Милин камък“ и връзката му с Брезнишкия палеовулкан
 Етап 1 – внедряване на ранни субвулкански тела; Етап 2 – образуване на Брезнишкия вулкан, вулканотектонско разломяване и внедряване на късни дайки; Етап 3 – отлагане на поствулкански седименти; Етап 4 – ларамийско огъване; Етап 5 – блоково разломяване; Етап 6 – ерозия и формиране на съвременното състояние

4.3. Приноси

1. Въз основа на структурните и геоложки данни е извършен систематизиран и критичен анализ за оценка на влиянието на структурните деформации и литологията върху хидротермалния

процес, локализацията на рудните тела и зоналността. На базата на този анализ е направено триизмерно моделиране на разломните нарушения, рудните зони, хидротермалните промени и литоложките тела.

2. Въз основа на линеаментно картиране по данни от сателитни стерео-изображения са проследени основните регионални структурни елементи в Западното Средногорие.
3. Локализиран са две кръгови морфоструктури, по данни от сателитни стерео-изображения, които съвпадат пространствено с позицията на Брезнишкия и Клисурския палеовулкани.
4. Определен е вероятният генезис на морфоструктурите и изграждащите ги радиални и концентрични линеаменти, като резултат на локално поле на напрежение, генерирано при експлозивната дейност и еволюцията на палеовулканските центрове.
5. Дефинирани са основните разломни системи в находището.
6. Установени са взаимоотношенията на разломните нарушения и рудните зони, както и връзката им с хидротермалната дейност и морфологията на рудните тела.
7. Определени са участъците на рудните зони със значително по-голяма неравномерност и обогатяване на Au – рудни стълбове. Определени са и двата модела – концентрационни и морфоложки, образувачи съответните типове рудни стълбове.
8. Дефинирана е кинематиката на И-3 разломни нарушения, като е отчетена и ротацията им спрямо гънковите структури.
9. Изследвано е пространственото изменение в съдържанията на химичните елементи в находището. Въз основа на статистически анализи са изведени геохимичните асоциации и зоналността в разпределението на елементите. Установена е взаимовръзка между характера на рудовместващите разломи и геохимичната зоналност.

Публикации свързани с темата на дисертационния труд:

- Маринов, И., Н. Темелакиев, П. Дойчев, К. Попов. 2018. Фактори, контролиращи рудообразователните процеси в златно-сребърно находище Милин Камък, Западно Средногорие. – Сп. Бълг. геол. д-во., 79, 3, 125-126.
- Marinov, I., K. Popov, N. Temelakiev. 2019. Volcanic ring morphostructures in the Western Srednogorie, Bulgaria. – Ann. Univ. Mining and. Geol 62, 5–10
- Marinov, I., K. Popov, K. Ruskov, D. Nikolova. 2019. Factor analysis of the geochemical associations in Milin Kamak ore deposit, Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 80, 3, 142-144.
- Temelakiev, N., K. Ruskov, I. Marinov. 2019. 3D modeling of the Ag-Mo-Au deposit Babyak in Western Rhodopes: Implications from the geostatistical analysis and spatial distribution of the elements. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 80, 3, 148-150.
- Marinov, I., K. Ruskov, K. Popov N. Temelakiev. 2020. 3D implicit modelling of alteration rocks and lithological units in the Milin Kamak Au-Ag deposit: results and applications. – Ann. Univ. Mining and. Geol 63, 226–231.
- Ruskov, K., I. Marinov, K. Popov. 2020. Application of dynamic anisotropy for the resource estimation improvement in Pisani Skali ore occurrence, Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 81, 3, 172-174.

SPATIAL STUDY AND MODELING OF THE FACTORS CONTROLLING THE ORE-FORMING PROCESSES IN THE MILIN KAMAK DEPOSIT, BREZNIK

Summary

Milin Kamak Au-Ag deposit is located in the Bardoto area, south of the town of Breznik, about 55 km west of the town of Sofia. From metallogenic point of view the Milin Kamak deposit is part of Breznik ore field of the Sofia ore region in the Western Srednogie. It is located entirely in the upper volcanic-sedimentary unit, which is part of the third magmatic impulse in the Sofia structural unit. The ore mineralization is vein-hosted among lapilli tuffs and is located within the Breznik paleovolcano. It consists of 8 ore veins with directions E-W and dipping to the south with slopes ranging from 45 to 75°. The hosted lapilli tuffs are strongly hydrothermally altered in argillic, sericitic and propylitic rocks. In the present work, factual material obtained during the prospecting works in the deposit from the period 2004-2018 is used. From the obtained data an attempt was made to clarify and evaluate the structural characteristics of the deposit and its connection with the volcanic structure. The main tasks set in the present study are:

- Confirmation of the structural frameworks and its control over the ore grade distribution;
- Determination of ore-hosted faults and assessment of the impact of pre and post-ore deformation;
- Determining the existence of sections with several times higher gold contents - ore column;
- Explanation of the main parameters and morphology of the ore columns and their linking with the structural frameworks;
- Determination of the ore zoning with structural frameworks;
- Determining the main stages of structural development and deformations during the evolution of the Breznik paleovolcano and Milin Kamak deposit;

To achieve these goals, remote sensing methods were used - satellite data obtained from the ASTER optical instrument, attached on the board of Terra satellite. Seven georeferenced images in - 3n and 3b channels in near infrared channel were processed. Implicit and explicit modeling has been used to clarify the main structural elements and marks its spatial relationships. To assess the spatial distribution of the identified geochemical associations, the data were processed with Leapfrog software for 3D modeling. The performed analysis and interpretation allow to draw the following conclusions:

- The regional structural framework is determined by the influence of the local stress field created during the most intense volcanic activity and the subsequent volcano-tectonic fracture and caldera collapse. Two distinct ring morphostructures with a diameter of up to 9 km have been identified, which are marked by the existing drainage system compared to the modern relief. The eastern ring morphostructure corresponds to the position of the Klisura paleovolcano, while the western ring morphostructure corresponds to the Breznik paleovolcano.

- The local structural framework is predetermined by the volcano-tectonic faults associated with the Breznik paleovolcano. These faults serve as channels for movement of ore hydrothermal fluids. The fault surfaces show a distinct block structure, with a clearly defined system of ore-hosted structures with east-west directions and a system of transverse faults with NNE-SSW and NE-SW directions. Two types of ore column are located - in sections of intersection of ore-hosted structures with east-west direction and obliquely located, steep to sloping NNE-SSW and NE-SW and in sections of opening of the ore-hosted faults. Both concentration and morphological types of ore columns are established.

- The three-dimensional geochemical models obtained through factor analysis show that lateral zonation is outlined along the ore-hosted E-W structures, while no spatial zonation is observed along the transverse steep to sloping NNE-SSW and NE-SW directions structures, probably due to small spread of ore-forming process.

The conclusions will allow to add new data regarding the genesis of epithermal mineralization, as well as to explain the main features for the formation of ore bodies, as well as to define the factors controlling the ore-forming processes. This will provide a possibility to improve the guidelines in the exploration work of ore bodies in the areas adjacent to the deposit.