



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ

“СВ. ИВАН РИЛСКИ”

ГЕОЛОГОПРОУЧВАТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА: Геология и проучване на полезни изкопаеми

Мартин Добромиров Добрев

Влияние на следрудни деформации върху формата и пространственото положение на рудните тела в находище Челопеч

АВТОРЕФЕРАТ (РАБОТЕН ВАРИАНТ)

към дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

Професионално направление 5.8 – проучване, добив и преработка на полезни изкопаеми

Научна специалност Геология и проучване на полезни изкопаеми

Ръководител: доц. д-р Светлозар Бакърджиев

София, 2018

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на катедра „Геология и проучване на полезни изкопаеми“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – гр. София, от 22.01.2018 г.

Пълният обем на дисертацията е 125 страници, от които 15 страници приложения. В основният текст са включени 66 фигури, 3 таблици и 4 цитирани формули
Използваната литература се състои от 93 труда, от които 38 са на български, 5 на руски и 50 на английски език.
Цитираните фондови материали са 4.

Публичната защита ще се проведе на 18.04.2018 г. в Геологопроучвателният факултет на МГУ „Св. Иван Рилски“ – София с научно жури в състав:

1. Доц. д-р К. Попов
2. Доц. д-р С. Бакърджиев
3. Проф. д-р Р.Наков
4. Проф. д-р П. Попов
5. Доц. д-р Янко Герджиков

Автор на дисертационния труд: маг. инж. Мартин Добрев

Заглавие: „Влияние на следрудни деформации върху формата и пространственото положение на рудните тела в находище Челопеч“

Ръководител на докторанта: доц. доц. д-р Светлозар Бакърджиев

Публикации по темата на дисертацията: три

Материалите за предстоящата защита са на разположение на заинтересуваните лица в сектор „Следдипломна квалификация“.

Съдържание:

1. Увод	4
1.1 Общи сведения за находището	6
1.2 Тектонско положение на находище "Челопеч"	6
1.3 Метасоматични промени	8
1.4 Структурни модели и генезис на находището.....	8
1.5 Сведения за нагъвателните процеси в района на находище "Челопеч"	10
Влияние на следрудни деформации върху формата и пространственото положение на рудните тела в находище Челопеч	11
2. Методика на изследванията	11
2.1 Методика за изграждане на структурен модел	11
2.2 Методика за реконструкция на Челопешката синклинала	14
3. Резултати	17
3.1 Дефинирани основни разломни зони в обхвата на находището.....	17
3.2 Реконструкция на Челопешката синклинала	23
3.2.1 Модел на синклиналата.....	24
3.2.2 Връзка между нагъването и разломните зони в находището	30
3.3 Генериране на продуктивен хоризонт	32
3.4 Дефиниране на продуктивен палеохоризонт	32
3.5 Връщане на продуктивния хоризонт в начално положение	34
4. Дефиниране на перспективни рудни зони	34
5. Заключение и научно-практически приноси	36
5.1 Заключение след палеорекострукция на синклиналата	36
5.2 Приноси на дисертационния труд:	36
5.3 Практически приноси	38

1. УВОД

Обект на настоящия дисертационен труд е находище Челопеч. Изследванията обхващат района на едно от най-големите златно-медни находища в България. Настоящата работа е комбинация от структурното развитие на находището и неговото влияние върху пространственото положение и морфологията на рудните тела. Разглежданите събития са имали пре-, син- и пострудно влияние, както върху региона така и върху рудната минерализация.

В дисертационният труд е използван голямо количество фактически материал, събиран през дългогодишната експлоатация и проучване на находище Челопеч. Основна цел е организацията на голямо количество структурни данни и интерпретацията им за да се направи преоценка на възможностите за търсене и проучване на нови рудни тела в района. Чрез използване на различни видове геоложка информация, дисертацията се стреми да направи връзка между геоложките данни от повърхността и тези, събирани при подземната структурно-геоложка картировка. Поставените цели в рамките на труда са:

- систематизиране и анализ на структурно-геоложки данни
- дефиниране на основни разломни зони в находището
- изследване на връзката между минерализацията и структурните нарушения
- оценка на въздействието на пострудните деформации върху морфологията на рудните тела.
- реконструкция в района на находището и положението на минерализацията преди нагъвателните процеси.
- за нуждите на практиката да се определят перспективни за находището зони за експлоатационно проучване

За изпълнение на поставените цели са поставени следните задачи:

- дигитализация и категоризация на голямо количество структурно-геоложки данни.
- параметризация на тримерен структурно-геоложки модел на нарушенията в находището.
- трасиране на основните разломни зони в находището.
- интерпретация на връзката на рудната минерализация със структурните нарушения.
- създаване на модел на пострудната деформация на база сондажни данни и формата на покриващите находището седименти.
- потърсена е връзка между следрудни движения по основни разломни и нагъвателните процеси.
- палеореконструкция на основните рудни зони в находището преди наложените върху минерализацията нагъвателни процеси.
- на база на палеореконструкцията да се отдели продуктивен хоризонт, който обхваща хоризонтите с най-интензивно рудоотлагане.
- върху продуктивният хоризонт обратно да се наложи деформацията
- анализ и интерпретация на резултатите с цел дефиниране на перспективни за търсене и проучване зони.

В процеса на експлоатация на находище „Челопеч“ продължава събирането на геоложка информация. Анализът и компилирането на тези данни позволяват преразглеждане на перспективните за проучване на нови рудни тела зони. Като цяло изследванията върху геолого-структурната обстановка са усложнени при находищата с подземен добив. Не винаги връзката на разломи от различни минни хоризонти е ясна. Дигитализирането на структурните нарушения в находището създава условия за проследяване на пространственото положение и интерпретация на по-големите разломни зони.

За установяване на контролиращите минерализацията фактори трябва да се вземат предвид всички пре-, син- и пострудни геоложки събития. Настоящият анализ разглежда геоложки събития, играли роля в образуването на находището в съвременния му облик. Предпочитаната ориентация на дългите оси на рудните тела в план са с NE-SW и NW-SE посока. В повечето случаи те затъват на SE по подобие на отделените основни разломни зони. От неравномерното разпределение на високите съдържания на полезни елементи в рудните тела и концентрацията им в близост до основни разломни зони, може да се предположи рудоконтролиращ ефект на структурите върху минерализацията. Направен е опит да се оцени значението на литологията, като контролираща и вместваща минерализацията.

В разломните зони в находището се наблюдава пострудна реактивация, при което се установяват неголеми възседни и отседни движения.

Детайлното изследване на структурните нарушения, създаването на генерализиран модел на главните структурни зони и изясняването на времевата им връзка с рудообразователния процес, води до по-добро разбиране на геоложкия строеж. По задълбоченото им изследването предлага възможности за насочване на проучвателната програма в находището.

Представените резултати и заключения са обвързани със съществуващите генетични модели за геоложкия строеж на находището в, които синклиналата се приема за пострудна. Представените модели се базират на голям обем фактически материал събиран в процеса на експлоатация на находище „Челопеч“. Данните са любезно предоставени от геоложкия отдел и ръководството на Дънди Прешъс Металс Челопеч.

Благодарност:

Бих искал да изкажа благодарност на научният си ръководител доц. д-р Светлозар Бакърджиев и доц. д-р Калин Русков за доверието, свободата за развитие и насоките към дисертационният ми труд.

Благодаря на преките си ръководители инж. Петя Кузманова и инж. Николай Симонски, за отношението и работната среда за да стане възможно настоящото изследване. Благодаря на геоложкия отдел на рудник „Челопеч“ за градивните критики и предоставените данни. Благодаря на инж. С. Михалев и инж. Е. Чокова за отделеното време при оформянето. На ръководството на Дънди Прешъс Металс Челопеч съм признателен, че позволи използването на специализирани софтуери за изготвяне на геоложките модели и първичните данните.

Благодарност към проф. д-р Венелин Желев за полезните дискусии и насоки както в университета така и на терен. Признателен съм към проф. д-р С. Страшимиров и доц. д-р С. Стойков за насоките. Задължен съм на проф. д-р Й. Кортенски за организацията през годините на следването ми и полезните съвети. Благодаря на доц. д-р Диян Вангелов и доц. д-р Янко Герджиков за интересните дискусии и насоки на терен и в университета. На ас. Димитър Съчков за консултациите.

Не на последно място искам специално да благодаря на цялото си семейство за търпението и подкрепата.

1.1 Общи сведения за находището

Находище „Челопеч“ се намира в Етрополска Стара планина, на границата със Златишкото поле. На 85 km източно от София (Фиг. 1). Най-близките населени места са: с. Челопеч, с. Карлиево, с. Чавдар, с. Църквище, гр. Златица и гр. Пирдоп. През територията на рудничния и обогатителен комплекс на „Дънди Прешъс Метълс Челопеч“ АД преминава ж.п линия №3, съвсем близо е и автомобилен път Г.П №1, свързващи гр. София и гр. Бургас.



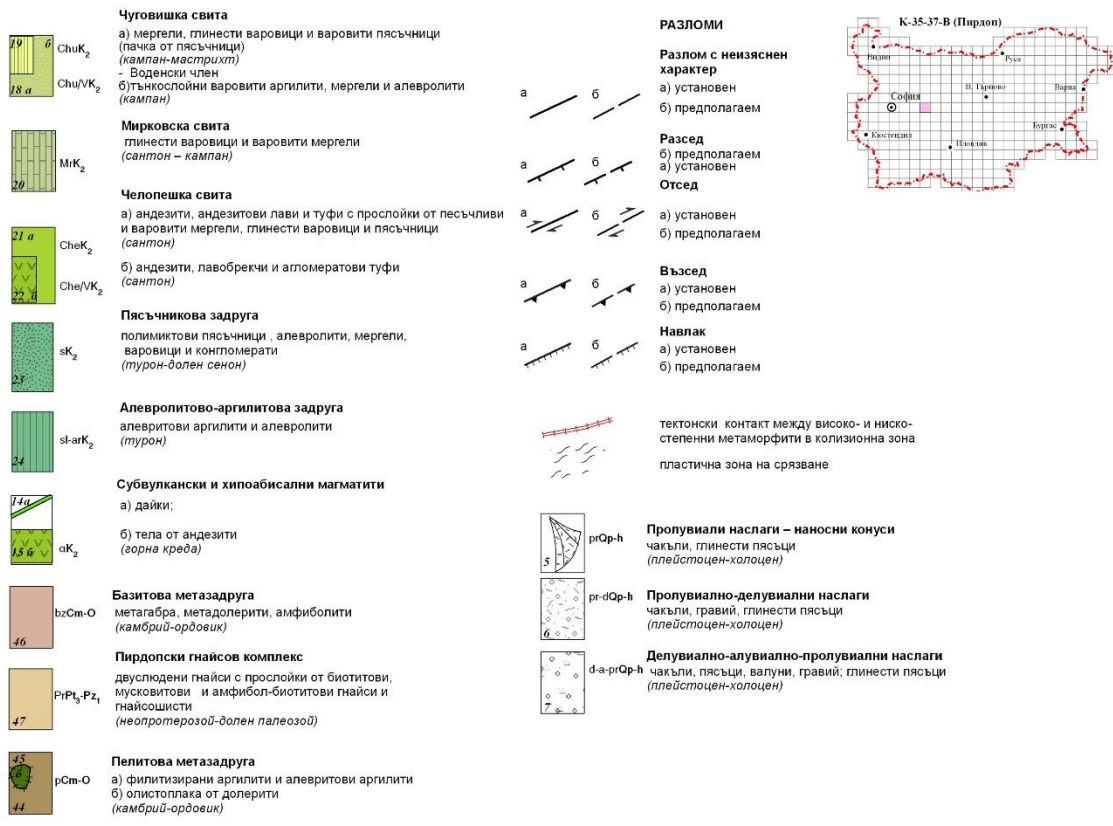
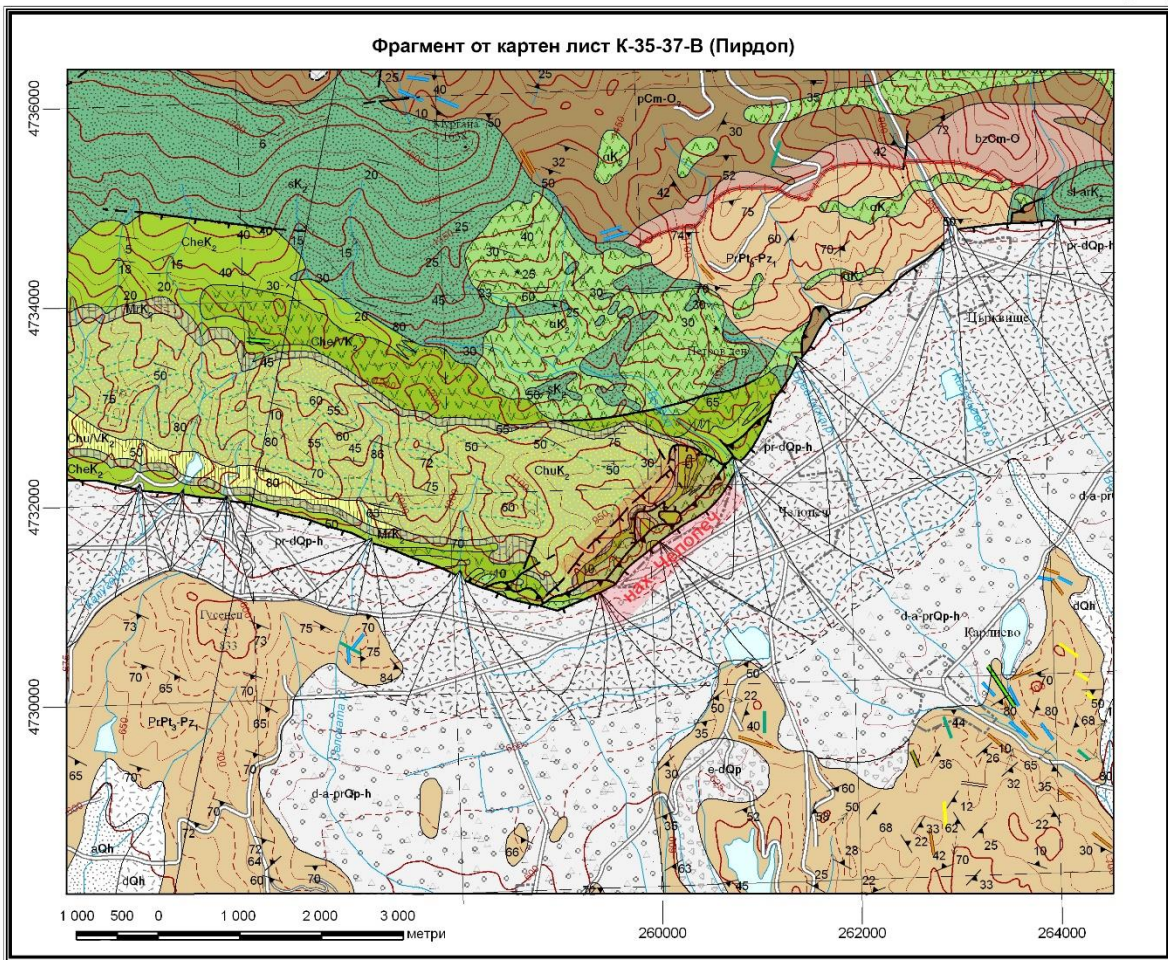
Фигура 1. Географско положение на нах. "Челопеч" и изглед на запад с профил и геоложката обстановка на находище „Челопеч“

В металогенно отношение находище Челопеч се намира в Елашко-Челопешкото рудно поле. Находището спада към медно-златно-пиритен тип на вулканогенно-медно-пиритна рудна формация от Централно Средногорския руден район (Кр. Ангелов, И. Мутафчиев, 1977). Определя се още като епитермално, високосулфидизирано от кисело-сулфатен тип. Каназирски (2011), Chambefort (2006)

Находище "Челопеч" се развива изключително сред горнокредни вулканогенни, вулканогенно-седиментни и седиментни скали, отложени в грабен-синклинално понижение с екваториална ориентация, което се намира между Свогенската антиклинала на север и Централния Средногорски антиклинорий на юг (Ек. Бончев, 1970). Находището е разположено в южния пропаднал блок, на юг от Петровденския разсед. Рудните тела са свързани със силно окварцени зони сред вулканити (адезити, туфи и брекчи).

1.2 Тектонско положение на находище "Челопеч"

Според популярните схеми за тектонско райониране на България (Бончев, 1971; Йовчев и др., 1971) районът на Челопешкия вулкан обхваща част от Старопланинската (Западнобалканската) и Средногорската структурни зони. Находището се намира между двете зони в подножието на Стара планина. За тяхна граница се приема Задбалканският разлом, приет като Задбалкански разсед. Според Попов и Попов (2000), вулканската структура се намира в зоната на свързване на Старопланинската и Средногорската тектонски зони, като през късната креда е била част от Банат-Средногорски рифт, проявява се субалкален магматизъм и свързаните с него орудявания. В неотектонски структурен план в района на находището влизат Старопланинския и Средногорския блок, разделени от Задбалканския разсед.(Фиг. 1 дясно).



Фигура 2. Геоложка карта на находище Челопеч (Фрагмент от картен лист К-37-37-В (Пирдоп))

1.3 Метасоматични промени

Съществуват множество публикации свързани с околорудните изменения на находище "Челопеч". (Петрунов 1994, 1995; Arribas, 1995; Petrunov, 1997; Petrunov et al. 2000; Popov et al. 2000; Simova et al., 2001; Georgieva et al., 2002, 2004; Chambefort et al., 2002; Jacquat et al., 2002; Bonev et al. 2002; Moritz., 2002, 2004; Arizanov&Terziyski, 2003; Bogdanov&Popov, 2003). Находището е дефинирано като епитермално, високосулфидизирано от кисело-сулфатен тип. Каназирски (2011) счита находище Челопеч за високо-умереносулфидизиран тип епитермално находище, използвайки данни на Радонова (1969, 1970); Мутафчиев и Чипчакова (1969); Радонова и Велинов (1974); Лилов и Чипчакова (1999); Simova et al. (2001); Georgieva et al. (2002) и др.

Установени са няколко комплекса променени скали, като най-външната част на находището е дефинирана като пропилитизация (хлорит, серицит и карбонати). Тя е широко разпространена в скалите от рудното поле. В близост до находище „Челопеч“ пропилитизацията се характеризира с присъствието на адулар. В графични приложения към дисертацията от 1.1 до 1.11 в рамките на пропилитизацията (с щриховка) е отделена и зона с повишено присъствие на хематит (по сондажни данни), което е характерно за периферията на находището).

С доближаване към вътрешните части на находището се отделя серицитов тип промяна (серицитизация) (Каназирски, 2011). Установени са сред пропилитите в субвулканските интрузиви и вулcano-сидиментния комплекс. В близост до находището тези зони на серицитизация включват и вторичните кварцити.

В ядрото на системата са отделени „вторичните кварцити“ (руска терминология) или „интензивна аргилизация“ (advance argilic) (Mayer, Hamley, 1967, Каназирски, 2011) Тези промени са част от икономическата минерализация в експлоатационните блокове на находището.

Резултатите от предишни изследвания на измененията в находище "Челопеч" доказват генетична връзка на промените с рудните тела. В плановете от приложения от 1.1 до 1.11 с щтриховка са представени обобщени метасоматични промени по сондажни данни, като в син цвят са границите на вторичните кварцити (експлоатационните блокове).

На Приложение 4 към дисертацията е представен S-N разрез през западен участък на находище Челопеч, където е представен обобщен модел с положението на околорудните промени и кинематика по някои разломни зони. В приложение 4 е представена и връзка на аргилизацията с някои разломни зони в находището.

1.4 Структурни модели и генезис на находището.

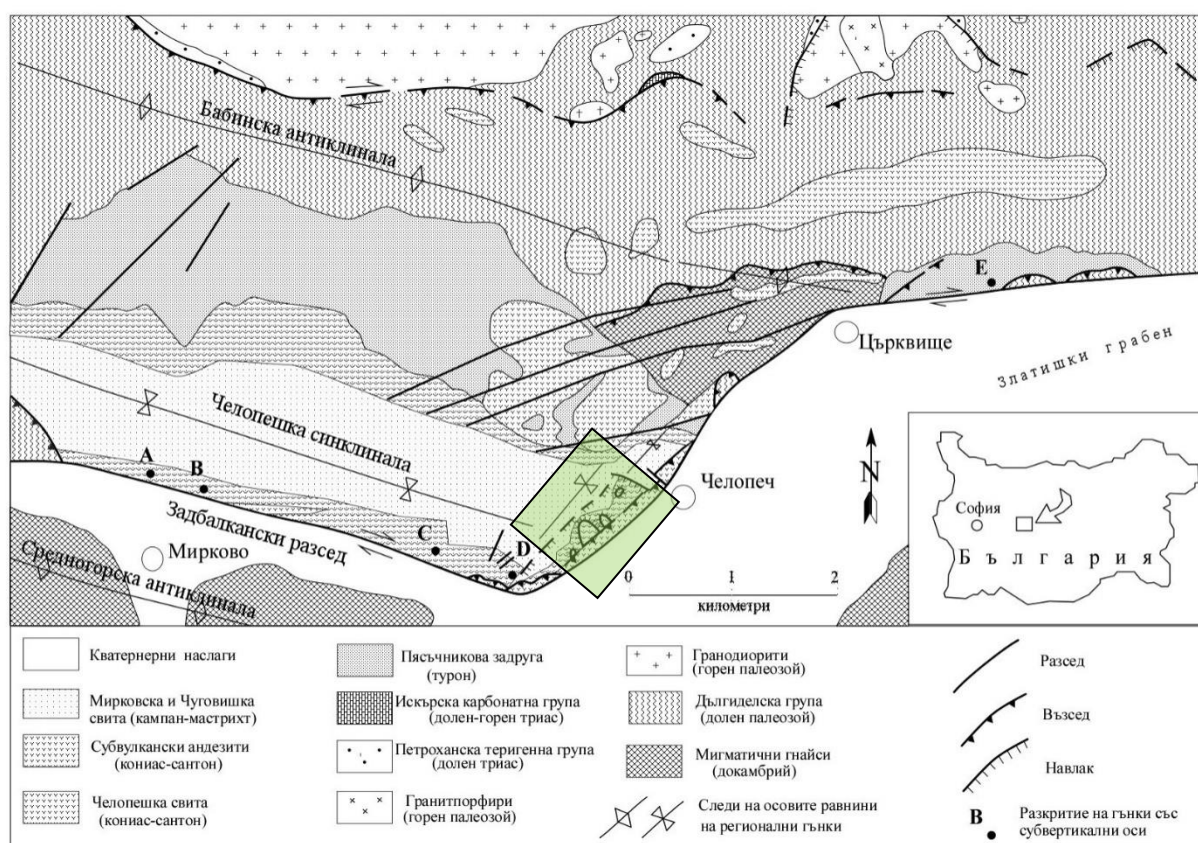
Настоящата работа може да се приеме, като допълнение към досегашните изследвания за структурата и генезиса на находище Челопеч. Моделът с придържа към картата на Желев и др. от 1999 когато е последната детайлна ревизионна картировка на района на находището. На базата на новополучените и след реинтерпретацията на по-стари данни, авторите предлагат модел за развитието на района, който лежи върху моделите за деформации, свързани с отседи.

Стойков (2003) разделя Челопешкия вулкан на три фази. Мургански куполообразни тела сред туронски гравелити и пясъчници. Лавови потоци, които преминават в агломерати. Воздолски вулканити, изградени от лавови брекчи и зацепени в периферията си с пясъчни прослойки.

Най-новите палеонтологички и радиогеохронологички изследвания показват, че Челопешкото рудно поле е с туронска възраст. В пясъчниковата задруга са намерени два рода фосили, характерни за турона. Докато във Воздолските пясъчници е намерен само един от тях, което подкрепя идеята за туронски магматизъм в района. Това се застъпва с изотопните изследвания на Стойков (2003) U-Pb по циркон на лавовите потоци и Воздолските вулкани $91,3 \pm 0,3$ Ma (турон).

Аризанов (2005) обобщава моделите, като приема връзка на вулканизма и рудната минерализация с отседни движения по Задбалканския разлом. През късната креда (Турона) между двата сегмента на разлома с посока 50° се образува отворено пространство от типа на "издърпаните" басейни. В началото се отлагат теригенни наслаги (пясъчникова задруга и конгломерати). По-късно района вмества експлозивните и ефузивните продукти на Челопешкия вулкан. Внедряват се линейно удължени вулкански тела $40-50^\circ$. В края на вулканизма, в централната (гърловата) част се внедряват удължени андезитови тела. Точно с тяхното внедряване се свързват главните хидротермални промени, които предразполагат средата за следващи рудообразувания. (Фиг. 12) Масивните пиритни тела са с ориентация $30^\circ-40^\circ$ (Аризанов и Терзийски, 2004), като те са образувани главно през най-ранния етап на хидротермалния процес. Реактивирането на разломи по време на хидротермалния процес е предизвикало различно ориентиране на рудните тела, както и различно съотношение на полезните компоненти. На Фиг. 10 и Фиг. 11 са представени структурни модели на находището публикувани в *(Analys tour 2012, DPM)*

По-нови представи за генезиса на находището са представени в работата на Marton et al. 2016, където минерализацията в находището се свързва с брекчови тръби когато до повърхността е стигала поне една маар-диатрема с фреатомагматичен експлозивен характер.



Фигура 3 Геолого-структурна схема на Челопешката вулканска структура (по Антонов&Jeleв, 2001 с допълнения и изменения). В зелено са рамките на зоната, в която е направена реконструкция на пострудните деформации от глава 4.2

1.5 Сведения за нагъвателните процеси в района на находище "Челопеч"

В района на находището са установени фрагменти от гънкови структури. Челопешката синклинала, Средногорската и Бабинската антиклинали резултат от късноалпийски структурообразователни процеси (обяснителна записка към геоложката карта в М1:50000)

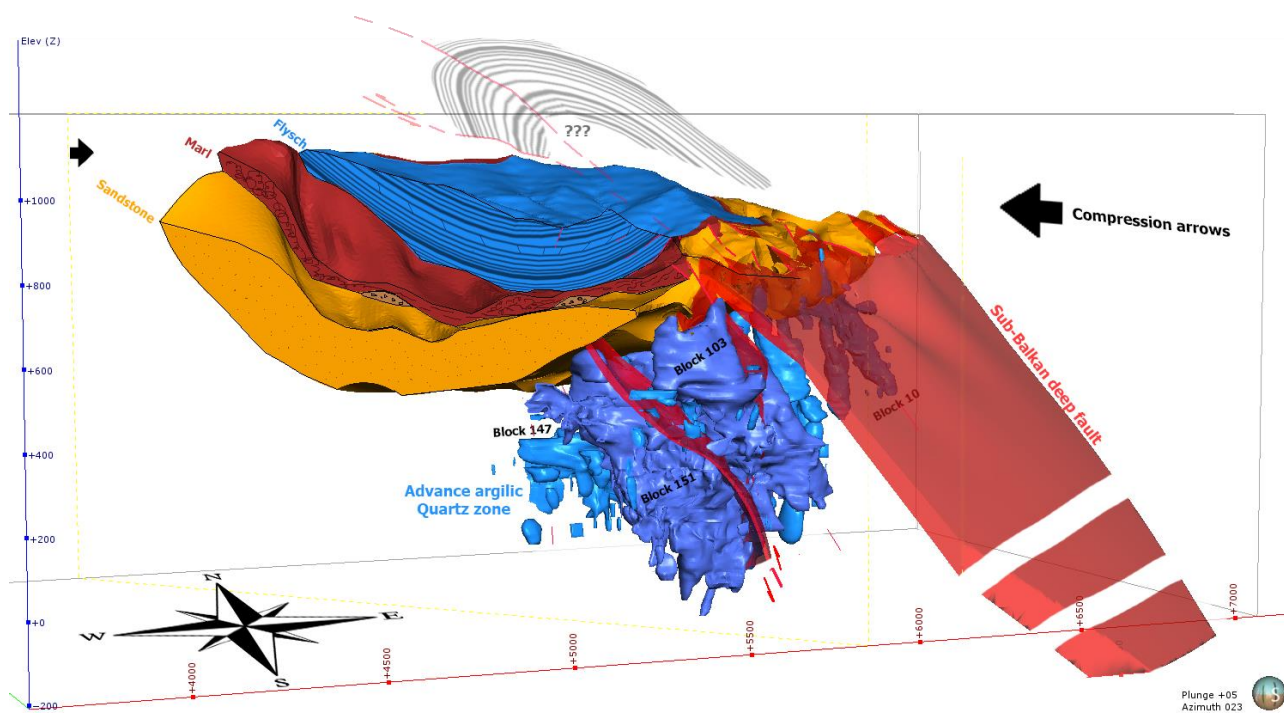
Пръв Toula (1881) установява Челопешката синклинала. Западната част на синклиналата е описана от Ц. Димитров (1936). Наименувана е и по-добре охарактеризирана от Николаев (1947). Подробно описани са източните части на синклиналата непосредствено в района на находище "Челопеч" от Моев и др. (1976) и Антонов и Моев (1978), като е представена в карта М1:10 000.

Последователността на късноалпийските структурообразователни процеси са разглеждани от множество автори (Е.Бончев, 1940; Цанков, 1961; Мутафчиев, 1967; Караюлева и др. 1974; Антонов, Моев, 1978 и др.). Резултатите описват алпийските гънки като резултат от субхерцински (долносенонско), ларамийски и пиринейско (илирско) структурообразуване. Различните етапи се отделят на базата на геометричните им взаимоотношения.

Детайлна картировка на южните склонове на Етрополска и Златишко-Тетевенска планина (Желев и др. 1999) потвърждава наличието на две гънкови генерации с генерална посока 110-120 и 45-55, като са установени и още една генерация мезоскопски гънки със стръмни и субвертикални шарнири, развити непосредствено на север от Задбалканският разлом. В обобщен вид еволюцията на късноалпийския структурен ансамбъл има следната подредба:

- В интервала кониас-сантон се формира Челопешкия стратовулкан (воздолски член на Челопешката свита);
- В края на сенона се внедряват субвулкански дайкови тела във вулканската постройка с което е свързана и най-интензивната хидротермална промяна и промишлено орудяване;
- През късния сантон, кампана и мастрихта вулганизмът приключва и се отлагат седиментите на (Мирковската и Чуговишката свити);
- След мастрихта, в условия на NNE-SSW компресия се формира гънкова генерация с посока 110-120.
- След ротация на напрегнатото поле, в условията на NW-SE компресия, по кулисно разположените сегменти в близост до възсед и възсед-навлачни рампи се образуват асиметрични мезоскопски гънки със стръмни шарнири.
- В района на находището в резултат от десен отсед се формира транспресионна зона с посока около 50 . Гънково-разломната парагенеза от която са запасени само въздолската и Будахсъртската синклинала, Челопешкия дуплекс и др. е наложена върху по-ранната гънкова генерация. Това налагане на повече от една нагъвателни фази в региона на находището допълнително усложнява модела на реконструкция използван в настоящата работа.

Средногорската антиклинала установена от Ст. Бончев (1910). Описана като "Гълъбецка антиклинала" Димитров (1936). Изследвана и наименована като "Средногорски антиклинорий" (Яранов, 1960, Бончева и Караюлева, 1961, Зафиров, 1966 и др.). Споменава се също и като "Средногорски хорст-антиклинорий" (Чунев и др. 1971). Тя граничи на север с "Челопешката синклинала".



Фигура 4 Тримерен изглед на седиментите над находището

Геометрията на синклиналата в обхвата на настоящата работа е формирана съобразно данните от сондажите, като най-информативни за седиментите се явяват тези прокарани от повърхността. На Фиг. 13 е представен триизмерен изглед на формата на седиментите над минерализираните зони на находището. Северното бедро на синклиналата се намира в по-спокойна тектонска обстановка. Южното бедро е в значително по-сложна структурна обстановка, където личи влиянието на Задбалканския разлом. То е и в близост до ръба на съвременната грабенова структура, деформирано е от различни тектонски режими в региона на находището. Създаването на реалистичен модел на гънката над находището е важна отправна точка на настоящото изследване. По-задълбочена интерперетация на данните от свитите покриващи находище „Челопеч“ биха могли да насочат търсецо проучвателните дейности за откриване на нови рудни тела.

Влияние на следрудни деформации върху формата и пространственото положение на рудните тела в находище Челопеч

2. Методика на изследванията

2.1 Методика за изграждане на структурен модел

Съвкупността от геоложка информация за структурните нарушения в масива е отразена в плановете (на хартия) за всички прокарани минни изработки. Структурният модел се базира на тези данни и използва съвременни технологии за представяне на структурните нарушения, като тримерни обекти (TIN повърхности и обемни тела).

Тримерният модел на структурните нарушения е създаден в минния софтуер GEMS на компанията Geovia Inc..

Геоложката картировка на минните изработки в рудник „Челопеч“ е непрекъснат процес. Събраната информация е представена в над 130 плана в мащаб 1:200. Наличната структурно-геоложка информация е анализирана и работното пространство в минния софтуер GEMS е

структуриран според нуждите на модела. Създадената атрибутивна таблица, съдържаща детайли от подземната картировка, които да спомагат селективното извличане на информация от модела.

Структурните нарушения са представени, като (TIN) повърхности (Съчков, 2016) и обемни тела с определена ориентация. Те имат уникален идентификационен номер, за който в базата данни се съхранява следната информация:

Местоположение на измерената структурата – (блок, хоризонт)

ID – идентификационен номер на разлома

Ранг на разлома (F1, F2, F3) по време на картировката структурните нарушения се класифицират според големината и влиянието си в скалния масив.

- F1- са тези с най-малко влияние (пукнатини, жили) дребни нарушения които трудно се следят през изработката и не са установени в други изработки.
- F2 – разломи, които ясно се проследяват през изработката.
- F3 – разломи със значително разкритие в минните изработки, истинска дебелина над 0.2 м, лесно проследими в близките изработки, със запълнение от тектонска глина и/или тектонска брекча, често привързани с мощни зони на интензивно натрошаване. Такива са и основните разломни зони в находището.

При измерванията на структурните нарушения е използван двоен запис „страна/наклон“, измерванията са въведени в атрибутивната таблица.

Страна (в градуси 0-360)

Наклон (в градуси 0-90)

Взаимоотношения – тук се съдържа информация за това в какво отношение е разлома спрямо околорудните изменения и по-специално вторичните кварцити, вместващи рудните тела.

Кинематика – данни за движенията по разломите (възседи, разседи, отседи, ротационно, смесено).

Истинска дебелина на структурното нарушение – действителната дебелина на структурното нарушение (в см ако има данни).

Запълване – съдържа информация за запълнението на структурите с минерализация или тектонски продукти (тектонска глина, брекча).

Софтуерните продукти, чрез които е изграден модела са Gems и MapInfo с приложение Escom Discover. И двата софтуера дават възможност за геореферирание на растерни изображения.

Последователност на работа:

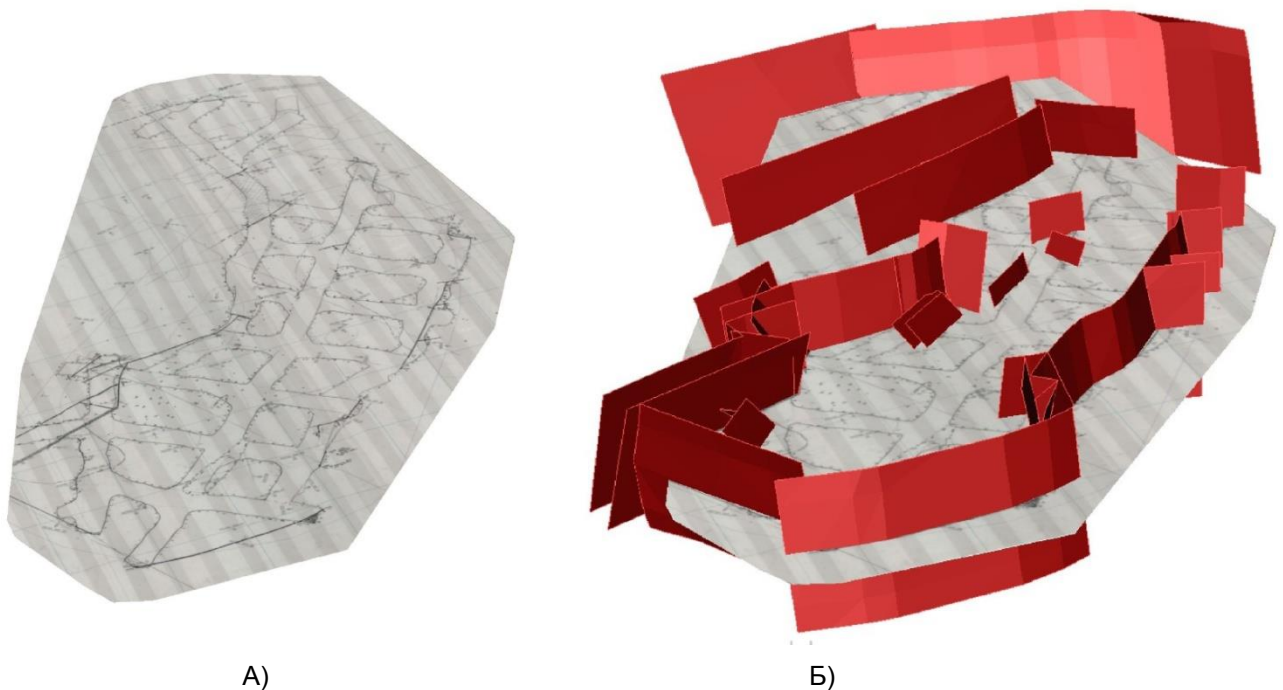
Първи етап: Плановете с данните от картировката се сканират и регистрират в софтуера, като е използвана локална координатна система. Вече регистрирани плановете се използват, за дигитализация и корекция в последващите етапи от генерирането на структурния модел (Фиг 5).

Втори етап: Същинска дигитализация на нарушенията като полилинии.

Трети етап: Генериране на ориентирани повърхности на базата на вече създадените полилинии.

Четвърти етап: Въвеждане на допълнителната информация към повърхностите в базата данни.

Пети етап: Визуална проверка на местоположението и ориентацията на нарушенията спрямо минните изработки. С това е извършена валидация при процеса на дигитализация.



Фигура 5. Триизмерен (3D) изглед на георефериран план от подземната картировка, наложен върху повърхност, описваща пода на минен хоризонт 300 (А) с генерирани структурни нарушения (Б)

В структурния модел са съобразени възрастовите взаимоотношения между структурите в масива. Премехват се излишните сегменти отместени от по младите структури. Където липсва информация за възрастта и пресичането на повърхности се случва в обема на целиците, повърхностите се пресичат свободно като по този начин се представят различните възможности за интерпретация. С информацията от съседните изработки или минни хоризонти се потвърждава и попълва интерпретацията.

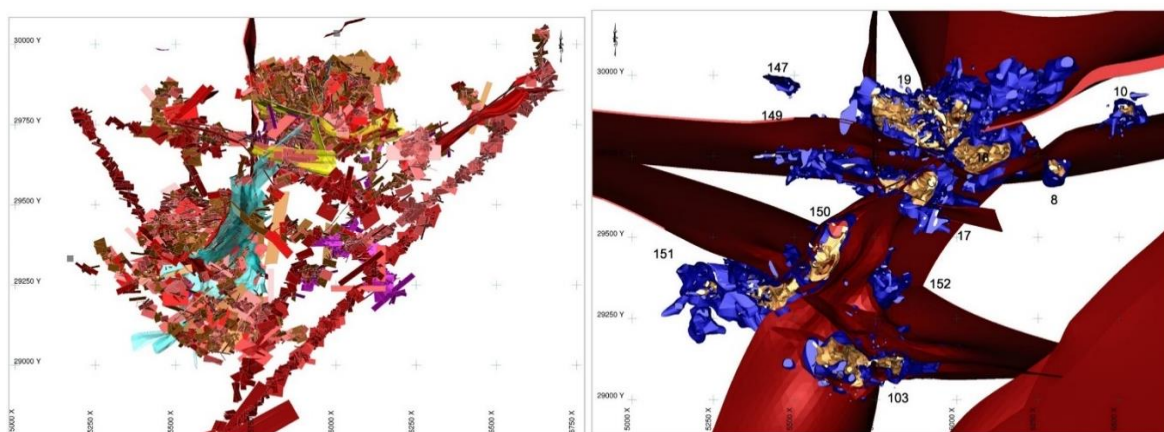
Интерпретацията на разломните повърхности в целиците достигат на половината от разстоянието до съседния хоризонт, което позволява да се характеризира целия обем на масива. Чрез този подход могат да се отделят структурни нарушения със съществено значение в масива, разкрити на различни минни хоризонти. Използваната методика позволява разпознаването на отделни измервания, като част от една и съща структура.

За изграждане на модела на нарушенията в находището са използвани измерванията от подземната картировка в комбинация с данните, събрани в процеса на описване на сондажна ядка. Сондажните данни допълват информацията в зоните където липсват минни изработки. Структурни измервания се извършват само в интервалите с висока достоверност на ориентацията.

Ориентацията на сондажна ядка в рудник Челопеч е извършвано посредством Ezy-Mark™ ORIFINDER® ориентационни инструменти. Системата позволява да се определят степени на достоверност при ориентирането на ядката, което помага на сондьорите и геолозите да определят качеството на ориентацията, получена с Ezy-Mark.

Всяко структурно нарушение (пукнатина, тектонска зона, литоложка граница, слоистост, фолиация и т.н.) се разглежда като повърхност с елипсоидно спрямо ядрата сечение, с посока и наклон. Събраната информация позволява статистическа обработка и служи за построяване на диаграми на преобладаващите структурни трендове за различни участъци в масива.

Данните от подземната геоложка картировка, цифровани по представената методика, в комбинация с данни от сондажната ядка, са използвани за генерирането на основни разломни зони в находището. Най-често в минните изработки разломните зони са установени с ранг (F3) преминаващи през повече от два хоризонта и доказани по сондажни данни. Представени са, като издължени тримерни тела (Фиг. 6, дясно) и описват тектонски обработени зони от масива. Често такива зони в находището се явяват граница между вторичните кварцити, които се приемат като основна рудовместваща метасоматична промяна в находището. В други случаи основните структурни нарушения отделят различни добивни блокове (151-150-103 и др.). Моделът позволява зоните да се актуализират при наличие на нови данни.



Фигура 1. Общ изглед на дигитализираните повърхности от подземната картировка и основните разломни зони

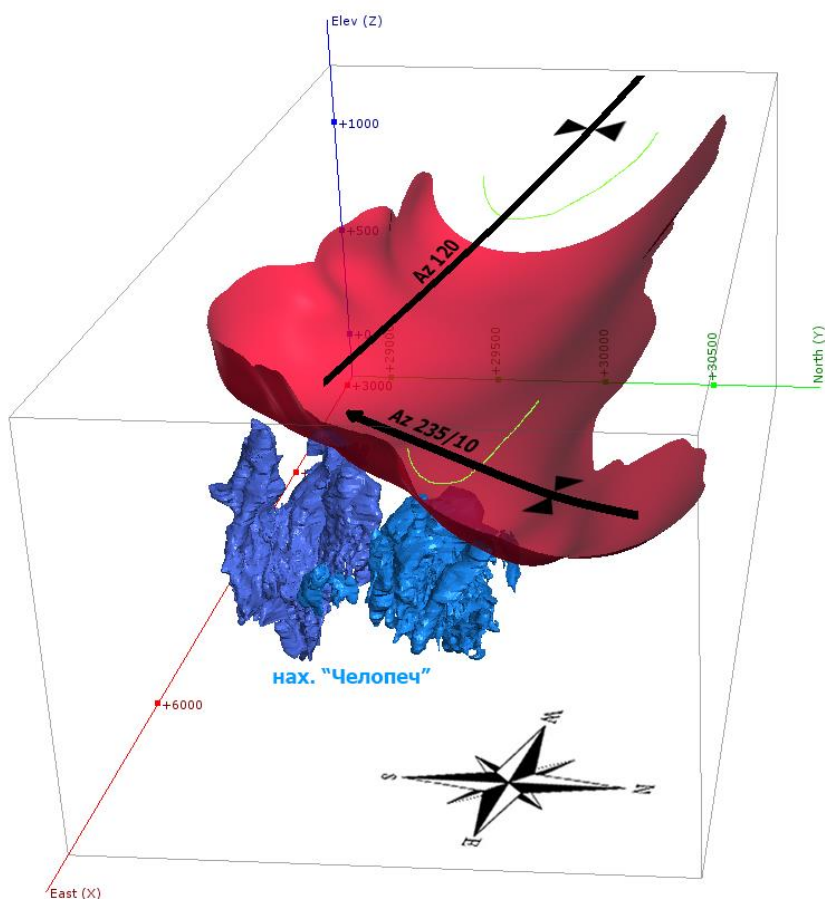
2.2 Методика за реконструкция на Челопешката синклинала

Запазените гънки (запазени от процеса на ерозия) разкриват част от кинематичната еволюция на района. Методиката в настоящата дисертация се базира на геоложки тези, които трябва да бъдат приети, за да има смисъл прилагането ѝ.

Първо е формирането на Челопешката синклинала, като част от геоложката еволюция на района. Приема се образуването ѝ в резултат на пост-рудна късноалпийска деформация. В случая реконструкцията представлява разгъване на синклиналата чрез софтуерен инструмент намиращ широко приложение при оценката на находища, вмествени в седиментни скали с наложена деформация, гънкови формации и пластови находища в нагънатата обстановка. Предизвикателство е такъв тип находища да бъдат моделирани и оценени. Затрудненията при находища с наложен нагъвателен процес идват от това, че данните за формата на рудните тела почти никога не отразява тяхната геостатистическа пространствена зависимост. Например, ако в едно пластово находище свързваме отлагането на полезен компонент със седиментационни процеси, то пространствената взаимовръзка между високите съдържания може да бъде „маскирана“ от един или няколко по-късни нагъвателни процеса. По този начин се създават предпоставки за неправилно отделяне на различните статистически домейни в изследвания обект. В настоящия труд не се преминава на етап на оценка на ресурси и запаси в находището, тъй като не е в обхвата на настоящата работа.

Нагъването, което изследва дисертацията, се приема като пострудно и няма отношение към първоначалния етап на рудообразуване. Палеорекострукцията предлага алтернативно представяне на геоложките данни. Резултатът представя морфологията на известните рудни тела за периода преди нагъвателния процес. Данните се намират в отделна част от координатната система, където са представени в нормални пространствени взаимоотношения. За района на находище „Челопеч“ тази реконструкция връща обстановката след покриването на вместващите скали от Мирковската и Чуговишката свити. Деформациите, причинени от нагъвателния процес могат да се приемат за значителни в района на находището. Именно разглеждането на обстановката преди образуването на синклиналата ни позволява да преоценим възможните рудопроводящи, рудоконтролиращи и рудовместващи фактори в процеса на минерализация.

Челопешката синклинала (Фиг. 7) в района на находището е една от най-разпознаваемите структури. Както вече беше споменато синклиналата е пострудна. В рамките на използваната методика може да се определи като гънка Class1B (Фиг. 8) (по Ramsay 1967).



Фигура 7.3D изглед с осите на мезоскопски гънки в района на находището
Classification of layer types based on dip isogons

Class 1: Isogons converge toward fold interior; inside arc tighter than outside.			Class 2: Isogons parallel. Inside and outside arcs identical ("similar fold")	Class 3: Isogons diverge toward fold interior; outside arc tighter.
Class 1A: Hinge thinner than limbs	Class 1B: Constant thickness ("parallel fold")	Class 1C: Hinge thicker		

Фигура 8. Класификация на гънките (Ramsay 1967)

Както се спомена една от целите на настоящия труд е да разгледа по-задълбочено ефекта на деформация, ротация и дислокация на рудните тела, причинен от пострудните нагъвателни процеси. Съществуват достатъчно сондажни данни за северното и южното крило на изследваната синклинала и изграждащите я седименти, което позволява да се моделира и представи в тримерен модел.

В процеса на реконструкция, като входящи данни се използва информацията от сондажите и минните изработки в находището. Използват се (TIN) повърхнини на рудните тела, хидротермалните промени и литологията в локална координатна система. Част от тях са трансформирани в облак от точки, като в този вид са подходящи за обработка в използвания софтуер (GEMS). Реконструкцията на нагънати геоложки обстановки не е нова практика и намира приложение в множество специализирани минни и ГИС софтуерни продукти. По същество използва ортогонална трансформация на данни. Трансформира оригиналните координати на данните (в случая точки в пространството), използвайки предварително моделирани, насочващи трансформацията параметри. За всички географски координатни системи е характерно, че X координатата съответства на Изтока, Y координатата на Север и Z на надморската височина.

Реконструкцията в най-общо представлява две двумерни ротации. При едната се извършва ротация на оригиналните данни (X_0, Y_0) по часовниковата стрелка с ъгъл α за ориентация на X оста по изток и Y по север. За момента Z оста не се променя. Ротацията по часовниковата стрелка за осите X и Y се разглежда в план над координата Z. Първата ротация се извършва по формула:

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \end{bmatrix}$$

Clayton 2004

Като резултат X_r е финален резултат, докато Y_i е преходен. Следващата ротация е на Y_i и Z около X_r оста. Като резултат получаваме ротацията спрямо изток на Y оста и Z оста, перпендикулярна на слоистостта в гънката. Разглежда се трансформацията по Z и ротацията по часовниковата стрелка с ъгъл β спрямо X_r оста.

$$\begin{bmatrix} Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_i \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Clayton 2004

Двете ротации могат да се представят заедно в една матрица. Резултата представя X оста като ротации по Изток, Y като ротации по Север, а Z ротациите винаги са с цел Z координатата да остане перпендикулярна на слоистостта в гънковата структура.

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Clayton 2004

За връщане на разгънатите данни в нормален вид (при деформиране на продуктивния хоризонт (Фиг.61) се обръща матрицата и се получава:

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(-\alpha) & -\sin(-\alpha) \cos(-\beta) & \sin(-\alpha) \sin(-\beta) \\ \sin(-\alpha) & \cos(-\alpha) \cos(-\beta) & -\sin(-\beta) \cos(-\alpha) \\ 0 & \sin(-\beta) & \cos(-\beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix}$$

Clayton 2004

С тези матрици се трансформират координати като се привързват към изток, север и надморската височина на модела на деформация при гънкови структури. Резултата може да се анализира, обработи и върне в нормално състояние.

Към трансформациите на Z се добавя константно отместване (-1000 м) с цел информацията да не се наложи върху старите данни и резултатите да са по-разбираеми.

3. Резултати

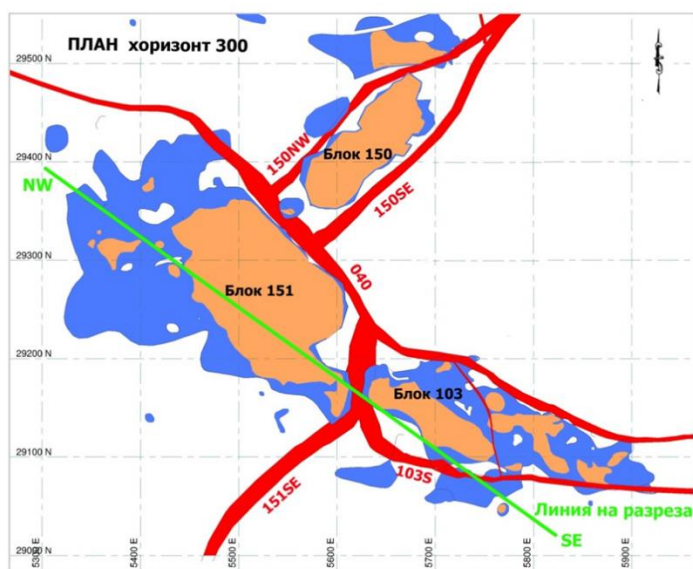
3.1 Дефинирани основни разломни зони в обхвата на находището

При комбинирането и интерпретацията на структурно-геоложки данни (от сондажна ядка и подземна картировка) са отделени следните основните разломни зони в находището трасирани през различни минни хоризонти и проследени посредством данни от сондажите:

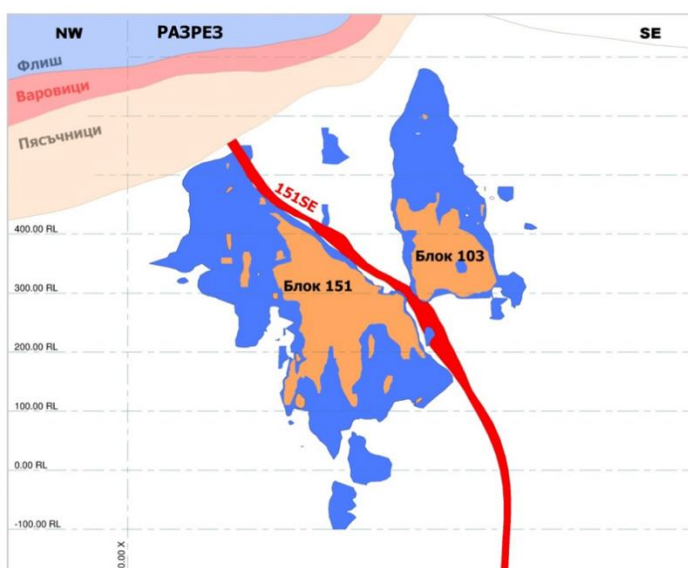
Разломни зони в Западен участък: "040", "150SE", "150NW", "151SE", "103SW" (Фиг. 9);

Дефинирани основни разломни зони в Централен участък: "19SW", "19W", "19Fz1", "19Fz2", "19Fz3", "19Fz4", "18SE", "17SW", "17NW", "17E" (Фиг. 13)

Името изхожда от позицията им спрямо минерализираните блокове в находището (с изключение на "040", от ориентировката си).



Фигура 9. Схематичен план на хоризонт 300 с разломните зони в Западен участък (горе) Разрез перпендикулярен на разломна зона "151SE" (долу)



Легенда:



Окварцена зона

на блок 103



Рудно тяло

- *Разломна зона "040"*

Разломната зона между блокове 150 и 151 е едно от отдавна установените и изявени структурни нарушения в находището. Зоната е вместена между окварцените обеми на блокове 151 и 150. Генералната ориентировка на разломната зона е със страна 040° и стръмен наклон $75-85^\circ$ (Фиг. 22). В различните изработки, с които е пресечена, измерванията варират от 5° до 10° . Понастоящем интерпретацията на разлома, като обемно тяло, започва от кота 430 и продължава в дълбочина до кота 70. Действителната му дълбочина е неизвестна, но предвид, че това е едно от основните структурни нарушения в находището, се приема за значителна. За отделянето ѝ като разломна зона спомогат данните от подземната геоложка картировка на минните изработки от блокове 150, 151 и Западна наклонена галерия. Голям обем данни за зоната се наблюдават и от сондажите. Зоната е значителен елемент от цялостната картина на Западен участък и се приема като граница между вторичните кварцити, вместиращи минерализацията на блокове 150 и 151.

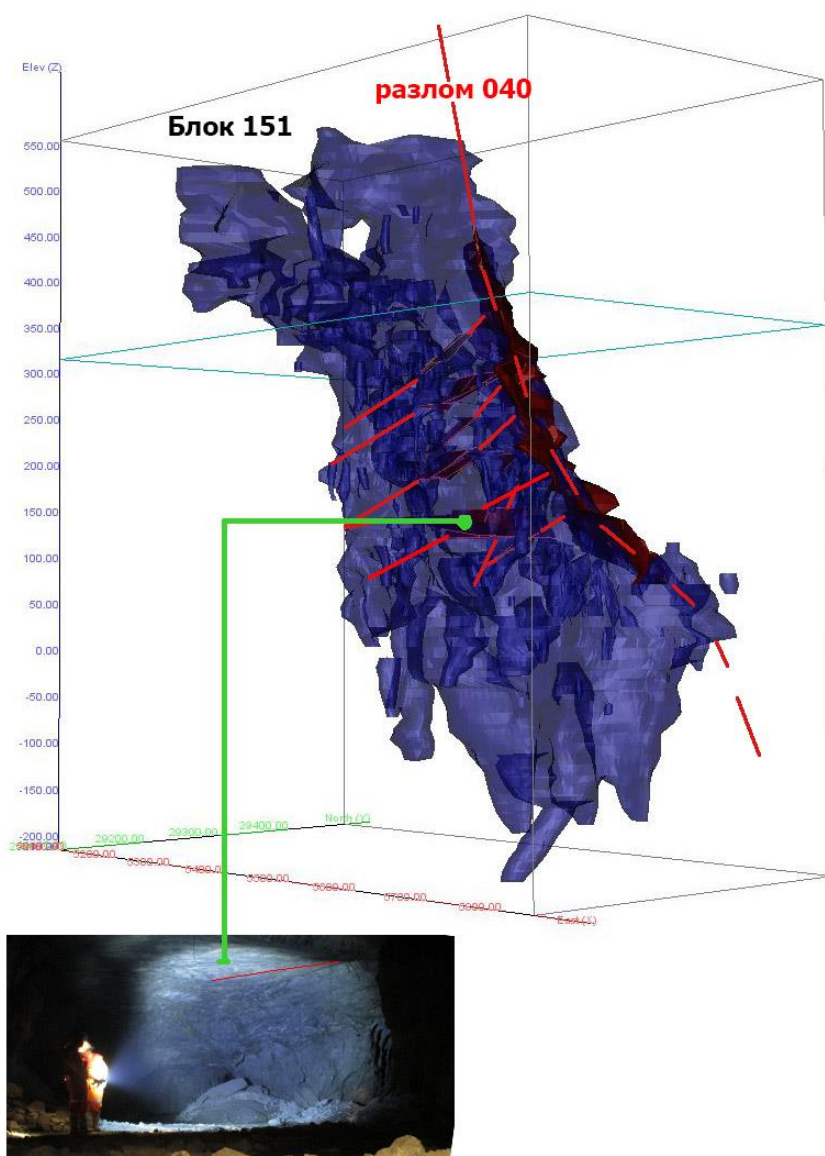
Във високите си хоризонти (>330) разломният сноп има страна 040° , най-вече в зоната между блокове 150 и 151 в югоизточната си част. Той „обтича“ североизточната граница на блок 103, като в този участък страната му става 020° . В северозападна посока, според данни от Западна наклонена галерия, разломът също „повива“ със страна 020° , като могат да се интерпретират и разклонения със сходна ориентировка. Разломната зона не се разкрива убедително на повърхността. По-вероятно е тя да присъства само в обема на вулканитите от Челопешката свита. Възможно е по-късни движения (реактивации, свързани с нагъването и др.) на зоната да са разломнили и лежащите отгоре седименти, но характерът на разломяването не е разглеждан и се предполага, различен предвид промяната на литоложка среда. Ако зоната продължава в покриващите находището седименти, то на повърхността местоположението би съвпаднало с обрушката на Блок 151 (Фиг. 24). Ако запазва генерално направлението си и пресича седиментите зоната би преминала югозападно от "Чуговишко дере", в близост до седлото и параклиса „Св.Петка“.

В средните хоризонти (330-130) зоната следва границите на вторичните кварцити и в нея се наблюдават вариации на дебелината, най-вероятно причинени от пресичането на други тектонски зони от находището (пограничните на 150 и 151).

В долните си части (хоризонти 130-70), тектонската зона постепенно променя направлението си на 070° . Установява се разделяне на две системи разломни снопове: една $\approx 200/85^\circ$, която се наблюдава северно от 151-ви блок в западната наклонена галерия и една, която се явява западния контакт на 150-ти блок сред интензивна аргилизация. По цялата площ в разломната зона могат да се наблюдават различни взаимоотношения на залбандите с вместиращите скали. В находището зоната „обтича“ окварцените тела на блоковете, но се наблюдава и блоков строеж на зоната, където са установени „заклучени“ окварцени тела, заграбени и разместени или образувани на място, с изявен структурен контрол на границите им. Възможно е разломната зона да е спомогнала за интензивна аргилизация в близост до блоковете. Границите на разломната зона в такава среда са трудни за дефиниране. На места се наблюдава ясно изявена фолиация в аргилизацията, непосредствено до тектонските глини и брекчи. Скалите, засегнати от този тип фолиация, могат да се определят като част от разломната зона и значително да повишат дебелината ѝ. Това се наблюдава особено в зоните на склонение с югоизточния и северозападния контакт на Блок 150.

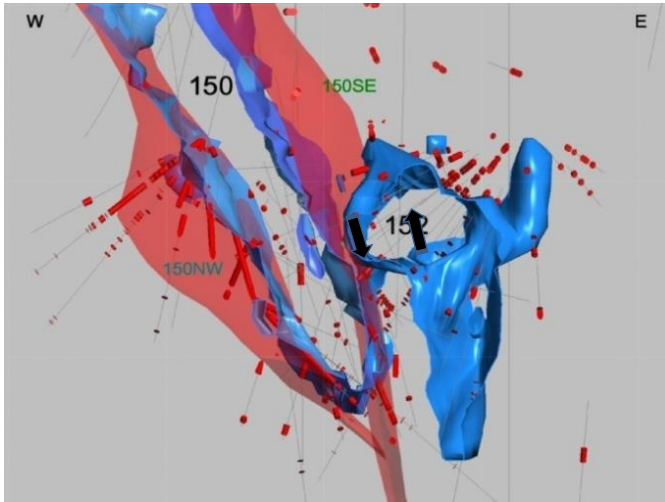
В зоната между хоризонти 330 и 360 не са прокарани голямо количество сондажи, но от съществуващите наблюдаваме аргилизация с фолиация и повторение в направлението на разломите и пукнатините.

Подземната картировка на блок 151 установява система от субхоризонтални разломи през целия обем на блока, спрегнати към разломна зона „040“ (Фиг. 10) Разломите са почти перпендикулярни спрямо зоната с ясно изразени харниши. Често по повърхностите личи запълнение от дикит. Тази серия от субхоризонтални разломи усложняват геомеханичната обстановка при отваряне на добивните камери в Блок 151. От положението им спрямо рудната зона може да заключим за рудовместващ и контролиращ ефект върху минерализацията. Предвид положението на минерализацията от двете страни на разлома кинематиката може да се определи като възседна в комбинация с ножично движение като във високите хоризонти се наблюдава ляв отсед.



Фигура 2. Субхоризонтални разломи, спрегнати към разломна зона „040“ в обема на Блок 151.

- Разломна зона "150SE"



Фигура 3. Разрез (запад-изток) с границата между Блокове 150 и 152 и сеченията на сондажите с интензивно натрошаване и разломяване.

Стръмнозатъваща на ЮИ ($136/63^\circ$) разломната зона е гранична за Блок 150, като между хоризонти 210 и 100 тя еразделя блокове 150 и 152. Високите съдържания на полезни компоненти и в двата блока са най-вече в близост до зоната. Забелязва се разлика в съотношенията на минерализацията

в двата блока. Блок 150, който е с по-разнообразен минераложки състав (енаргит, тенантит, пирит, халкопирит) и с по-високо съдържание на мед и злато. Във висящото крило на разломната зона (Блок 152) се установява ограничено присъствие на тенантит и енаргит, като преобладава пирит. Най-вероятно синрудна активност на разломната зона е контролирала минерализацията, като е ограничила енаргит-тенантитовата минерална асоциация в Блок 152. Друго предположение е евентуална пострудна възседна компонента по зоната и издигане на Блок 152 до хоризонти, които са с изявена медна минерализация, което корелира с вектора на реактивация, причинен от пострудните нагъвателни процеси (Фиг.22). Разломната зона е издържана и картирана в минните хоризонти на 150-ти блок. Около хоризонт 300 се наблюдава блоково разместване в зоната. Границата на блока е усложнена от единични по-млади изток-западни разломи. Преместванията по тях са с отседен характер по 6-7 m разместващи и рудното тяло на Блок 150.

- Разломна зона "150NW"

Зоната се явява североизточна граница на Блок 150. Няма достатъчно данни за нея над хоризонт 250. В дълбочина до хоризонт 80 се маркира с изключително аргилизирани скали, поради което е с неясни залбанди. Сред аргилизацията се наблюдава фолиация с различни ориентировки. Вероятно многократно реактивирана, зоната е замаскирана или маскира силната аргилизацията. Дебелината ѝ, особено в зоната на склонение със Зона „040“, е значителна, като в дълбочина се слива с нея. На североизток наклъсва минерализираната зона на 150-ти блок, без следи от значителни движения и се слива със Зона „150SE“, като двете продължават към участък „Централен“ на находището.

- Разломна зона "151SE"

В процеса на прокарване на изработки и погъстяващи сондажи зоната е интерпретирана многократно. Като елементи не се различава от „150SE“ (страна $\approx 100^\circ$), с изключение на това, че над хоризонт 250 става по-полегата ($45-50^\circ$) (Фиг. 9).. Разломната зона разделя блокове 151 и 103 (Фиг. 9). Във високите хоризонти, поради промяна в на наклона, разстоянието между блоковете е по-

голямо. Съдържанията на полезни компоненти в Блок 151 (подобно на Блок 150) са високи в близост до зоната. На североизток е интерпретирана до Зона „040“, като на север от нея няма достатъчно данни за продължаването ѝ. На югозапад е интерпретирана основно по сондажни данни.

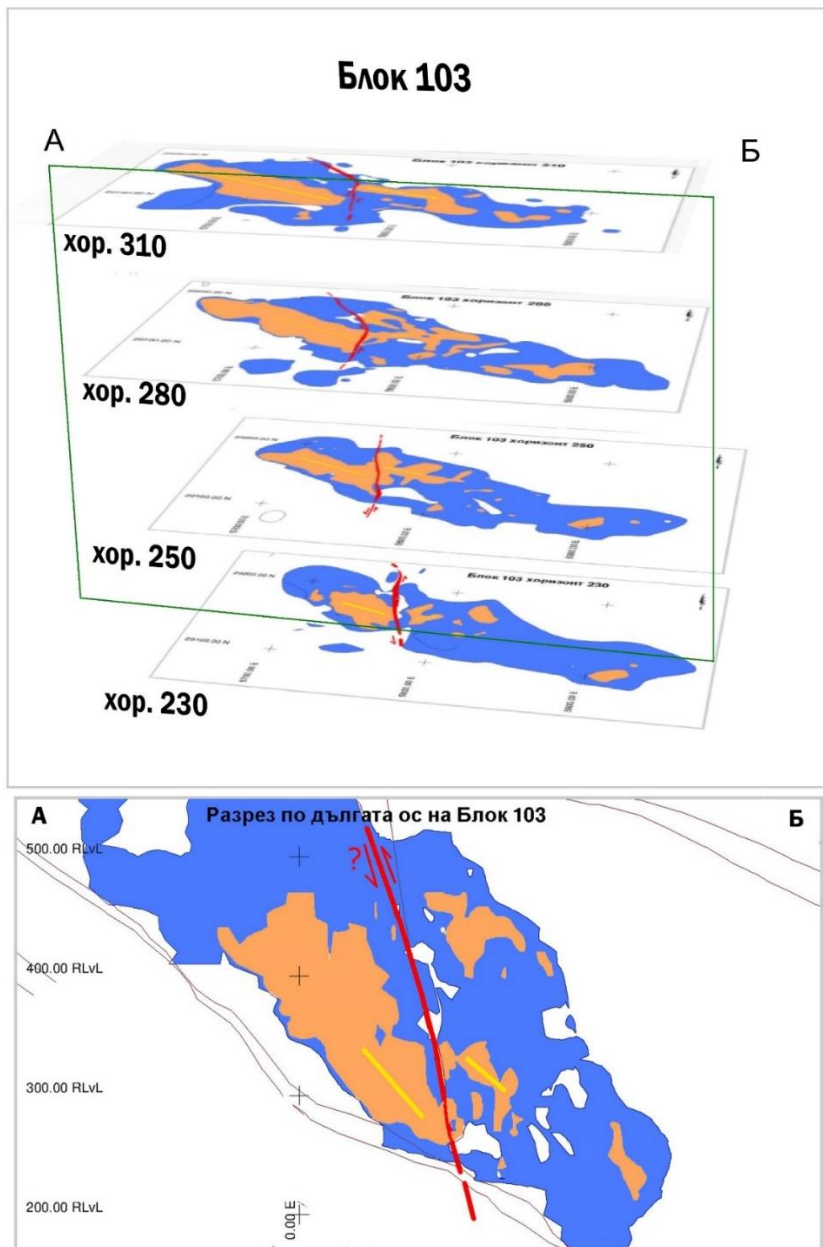
Разломната зона може да се приеме за успоредна на Задбалканският разлом но липсват доказателства за ясно изразена пострудна разседна компонента. За момента се свързва с възсядане на Блок 103 върху Блок 151 (Фиг.9 долу).

- Разломна зона "103S"

Установена е въз основа на данни от минни хоризонти на Блок 103, наклонената галерия и сондажите в близост до Блок 103. Направлението на зоната е аналогично на южния контакт на Блок 103. Тя е контактна за блока. Като цяло не е с голяма дебелина, но на хоризонт ≈ 190 , в близост до склонението ѝ със Зона „151SE“, се наблюдава силна аргилизация и единични разломи със сходна ориентировка могат да се приемат като, част от нея.

- Разломна зона "103FZ1"

Разломна зона „103FZ1“ условно разделя Блок 103 на западна и източна част. Явява се вътрешна за блок 103. Намира се приблизително в средата на дългата ос на блока и се следи във всички минни хоризонти. Западната част на блока (лежащото крило на разлома се характеризира със сравнително издържана рудна зона, докато в източната част на блока рудната минерализация е разкъсана, особено в дълбочина. На минни хоризонти 240 и 270 са установени ляво-отседни движения по харниши. Това движение се потвърждава и с разкъсването на рудната минерализация в някои от хоризонтите на блока. Гледайки перпендикулярен на зоната разрез, може да се предположи и вертикално възседно движение (Фиг. 12), ако за репер приемем формата на рудното тяло. Възседното движение по зоната корелира с реактивацията причинена от нагъването в района (Фиг. 22), аналогично на ситуацията между блокове 150 и 152, както и 151 и 103. Характера, ориентацията и кинематиката на разломна зона „103FZ1“ са близки до зона „19WFZ“ (в участък „Централен“), но пространствена връзка между двете южно от блок 150 не е установена.



Фигура 12. Разломната зона през блок 103, установена по-минни хоризонти (горе) и в разрез перпендикулярен на зоната (долу)



Фигура 13. Разломни зони в Централен участък (хор. 405)

В централен участък (Фиг. 13) са отделени два типа разломи, гранични за минерализацията, картирани непосредствено на контакта на вторичните кварцити и разломни зони, които се явяват вътрешни за рудните тела.

В резултат от подземната картировка на минните изработки и данни от сондирането в Блок 19 са отделени разломни зони: "19SW", "19WFZ", "19FZSplit5", "19FZSplit2". В Блок 18 е дефинирана разломна зона "18SE". В Блок 17 са трасирани три зони 17SW, 17NW, 17E".

- Разломни зони „19SW“ & „18SE“

Разломните зони 19SW&18SE могат да се свържат и приемат за една и съща зона, контролираща минерализацията в Блокове 19 и 18. Тя е с направление средно 183/83°. Ограничава вторичните кварцити на двата блока от юг. На изток от Блок 18 няма достатъчно информация и се предполага продължение към Блок 10. На Запад от Блок 19 зоната продължава към блоковете на участък „Запад“. Най-вероятно се вмести между блокове 144 и 145 и между блокове 149 и 149юг.

- Разломна зона „19 Split 5“

Зоната 19 Split 5 се явява вътрешна за Блок 19, като дели блока на две – 19 изток и 19 запад. Подсечена е в повечето хоризонти на 19-ти блок, като на много места са наблюдавани харниши. Движенията по разлома се характеризират като отседи, но се различават като посока в различните хоризонти, което говори за вероятна реактивация и дълъг живот на зоната. Като цяло за Блок 19 са характерни вътрешни неокварцени зони от андезитови тела. Значително по-често срещани в близост до разломна зона „19 Split 5,“ андезитите са с блоков строеж, раздвижени от зоната и „заклучени“ между отделни разломи. Тази обстановка усложнява интерпретацията на окварцената зона в блока и усложнява геомеханичната обстановка при добивните работи.

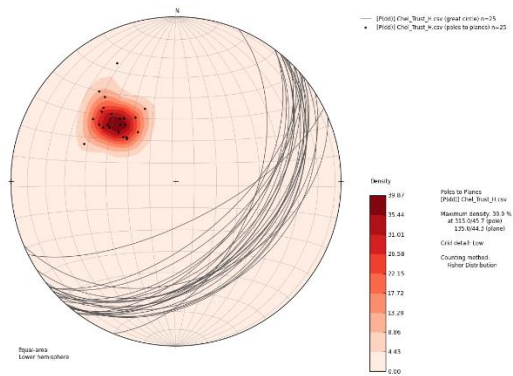
Наблюдава се разлика в характерът на зоната в различните хоризонти. Във високите нива тя представлява най-често единичен разлом с дебелина 1-2 m. В дълбочина зоната се разделя в сноп от разломи на места кулисообразни, коси спрямо основното направление на зоната.

- Разломна зона „19WFZ“

Разломната зона е интерпретирана основно по сондажни данни. Намира се в западната част на блок 19. Зоната е стръмно затъваща с N-S посока. Минава през обема на 19-ти блок, като в дълбочина съвпада с контакта на вместиращите скали и окварцената зона на блок 19. Дебелината му варира в различните хоризонти (\approx 1-2 m). Установена е с минна изработка свързваща западен и централен участък в близост до хоризонт 230, където се наблюдава като единичен разлом с дебелина 1 m. Запълнението е тектонска глина и брекча. Предвид усложнения контакт на вместиращите скали с двуслюдните пясъчници от Челопешката свита над зоната визуално може да се заключи за издигане на източното крило, като не се изключва и комбинация с отседна компонента. Няма достатъчно данни за вида на отсядането. Разломна зона „19WFZ“ преминава в близост до блокове 144 и 145 и продължава на юг към източния край на блок 150, където липсва информация и по интерпретация е спряна до разломна зона „150SE“. Разломна зона „19WFZ“ корелира като предполагаема кинематика и направление с разломна зона „103FZ1“.

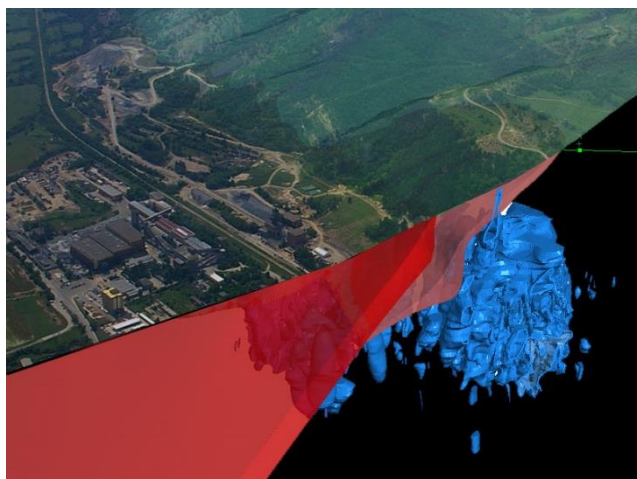
Разлома зона "19FZSplit2" е картирана в минните изработки от високите западни хоризонти на Блок 19. Разломни зони „17SWFZ“, „17EFZ“и „17NWFZ“ са установени по данни от картировката на минните изработки в блок 17.

- Задбалкански разлом (разсед)



Фигура 14.Стереографска проекция на повърхнини и полюси към тях за Задбалканския разлом в района на находището.

Задбалканският разлом (Фиг.15) е установен с множество проучвателни сондажи и няколко минни изработки. С тази разломна зона се свързва генезиса на вулканската структура, вместваща минерализацията на находище „Челопеч“ (Желев & Антонов 2003). Сегмента в района на находището е със страна 135 и наклон 44 . Той е най-старата структура в находището и е многократно реактивиран и съществувал в различни тектонски режими. Понастоящем неотектонската екстензия, формираща Златишко-Пирдопския грабен унаследява вече съществуващия разлом. Характеризира се, като структура с голяма дебелина. Ядрото на разлома е съставено от глина и тектонски брекчи > 3 m, но масивът около него е засегнат с единични разломи и системи от пукнатини. В близост до повърхността към него са спрегнати множество по-стари рампи образувани в резултат от късноалпийската компресия. Една от рампите е представена в модела, установена в зоната на наклонените галерии („Вяра“, „Надежда“) и сондажи в местността Аговица. Присъства на (Фиг.15) в по-светло червен цвят.



Стереографска проекция с елементите на рампата е представена на Фиг.45. Във висящото крило са навлечени от ЮИ интензивно променени до вторични кварцити туфи и брекчи от Челопешката свита в местността „Аговица“.

Фигура 15 Общ изглед на задбалканския разлом и свързаните с него рампи (в по-тъмно червено – стръмния $\approx 45^\circ$ сегмент)

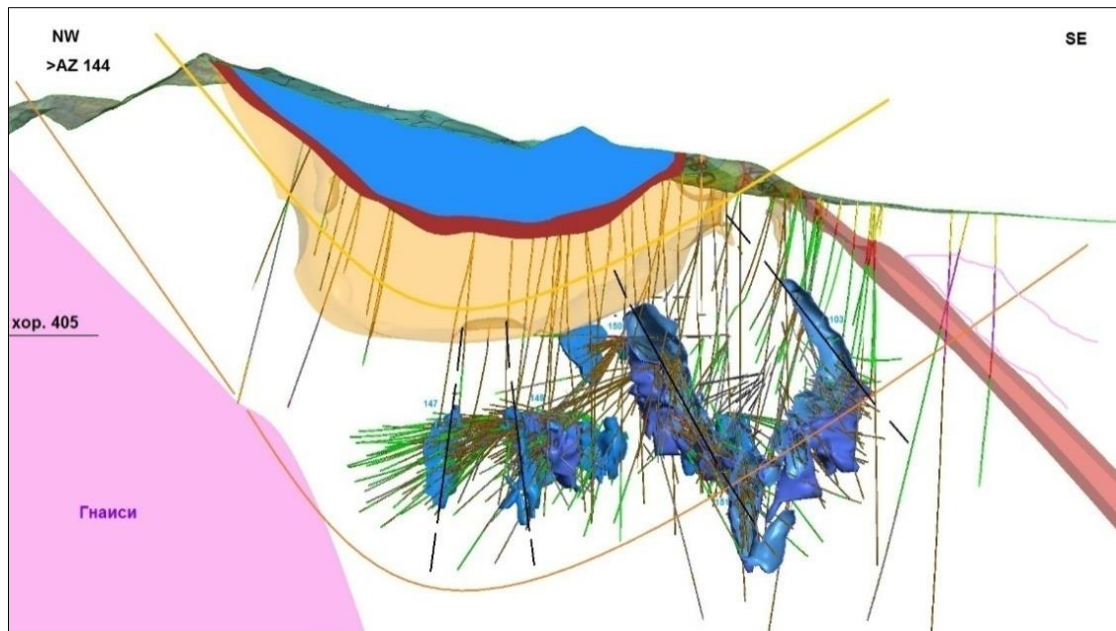
При реконструкцията на находището задбалканската разломна зона е приета като ограничаваща, както за модела на деформация, така и за продуктивният хоризонт за находището (разглеждани в рамките на настоящата работа), поради липса на достатъчно данни в висящия блок на разломът.

Разгледани са взаимоотношенията между по-горе описаните разломни зони и съдържанията на полезни компоненти в експлоатационните блокове на находището. При оценката на съдържанията на метали в рудните блокове от находището се наблюдават трендове, които могат да бъдат обвързани с морфологията на основните структурни нарушения. Пример за това са високите съдържания по югоизточния контакт на Блок 150. В Блок 151 завишените съдържания се локализируют в източната му част. Тази област е разположена в непосредствена близост до разломните зони с направления СИ-ЮЗ ("150SE", "151SE") и СЗ-ЮИ ("040"). Може да се предположи, че блоковете в находището са разположени на пресичането на разломни зони с рудопроводящ, рудовместващ и рудоконтролиращ контрол върху минерализацията.

3.2 Реконструкция на Челопешката синклинала

Хронологията на геоложките събития е разглеждана от много автори, представящи нагъвателните процеси, възседно навлачните и последвалите разседни разломявания като поствулкански и пострудни. Настоящата работа се придържа към съществуващата в литературните източници подредба на събитията в района на находището. Тези събития формират до голяма степен геоложката обстановка, каквато наблюдаваме днес в района на находището. Както се спомена една от целите на дисертационния труд е да се изследва ефекта на тези по-късни нагъвателни процеси върху рудното поле. Концепцията лежи върху възможността, деформацията в покриващите находището седименти да засяга и вместващите орудяването скали. Влиянието им върху формата и положението на рудните тела е представена, като в рамките на настоящия труд е създаден модел, на синклиналата и ефекта на нагъване върху рудните тела. На базата на този модел е създадена реконструкция на обстановката преди нагъвателните процеси.

Икономически изгодните за добив рудни тела в находището представляват лецообрази или тръбовидни тела, стръмно затъващи на юг-югоизток. Разглеждайки ги по-детайлно може да установим, че телата не затъват с постоянен ъгъл (Фиг.16).



Фигура 16. Разрез на участък „Западен“ с дългите оси на минерализацията и синклиналата в района

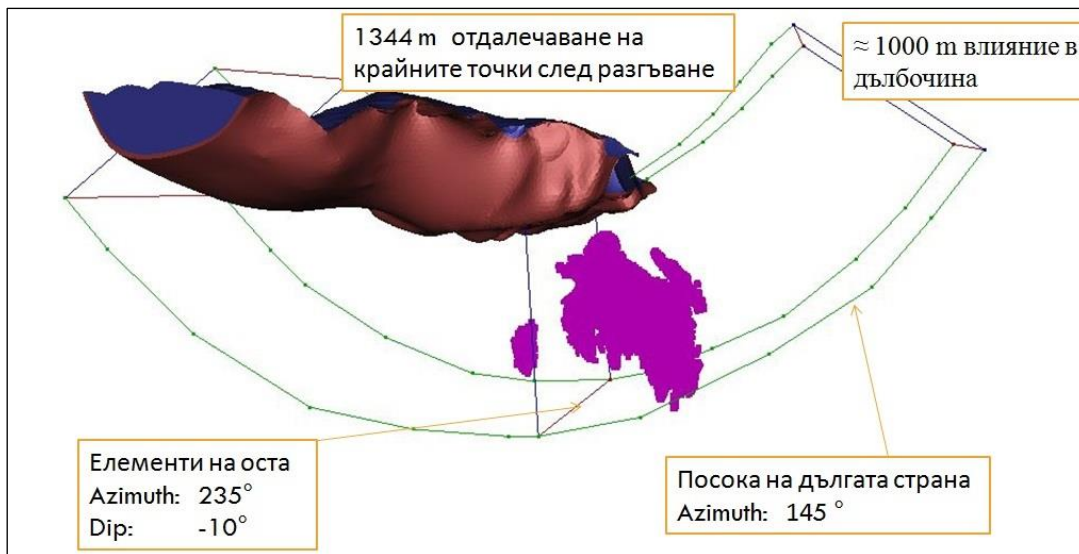
Проучените до момента рудни тела показват тенденция в наклона на дългата си ос, който зависи от местоположението им в находището. Рудните тела в юг-югоизточната част на находището затъват с наклон 70-80 градуса на S-SE, докато тези в север-северозападната част на находището могат да се приемат за вертикални (Блокове 149, 147) или стръмно затъващи към S-SE. Събраната информация от сондажи и минни изработки позволява да се направят някои заключения, подкрепящи използваната методика за реконструкция на Челопешката синклинала. В контекста на настоящия модел тези разлики в наклона на телата могат да се обяснят с положението им спрямо синклиналата (Фиг. 16). Телата на N-NW се намират близо до оста на синклиналата и според модела, и общата представа за гънките в тази зона, наблюдаваме най-малка дислокация и ротация. Отдалечавайки се от оста на синклиналата, ефектът на ротация и денивелация е по-изявен, което се наблюдава в телата на юг-югоизток (Блок 10, 8, 103, 18). Блокове 8 и 10 са във високите хоризонти на находището с по-полегат наклон.

3.2.1 Модел на синклиналата

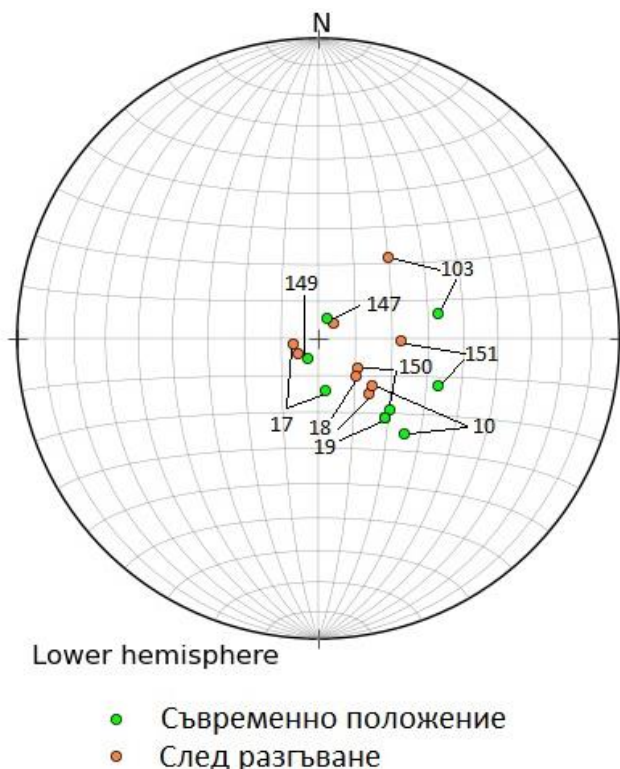
При създаването на модел на синклиналата са използвани данни от надземната картировка в района на находището (Антонов, Желев 1999) и множеството сондажи в и около находището.

Използваната геоложката информация позволява дефинирането на формата, разпространението и морфологията на покриващите находището седименти. За горна граница на изследвания обем е приет контакта между двуслюдните пясъчници от Челопешката свита (CheK₂) и варовиците от Мирковската свита (MiK₂). Целта е да се намали грешката в следствие от синседиментационните гънки и свличания в Мирковската свита, които причиняват

значителни вариации в дебелината ѝ, и могат да променят нереалистично параметрите на разглежданата деформация.



Фигура 17. Тримерен изглед на моделираната гънка с някои параметри



Фигура 18. Стереографска проекция с бедрата на синклинала в района на находището.

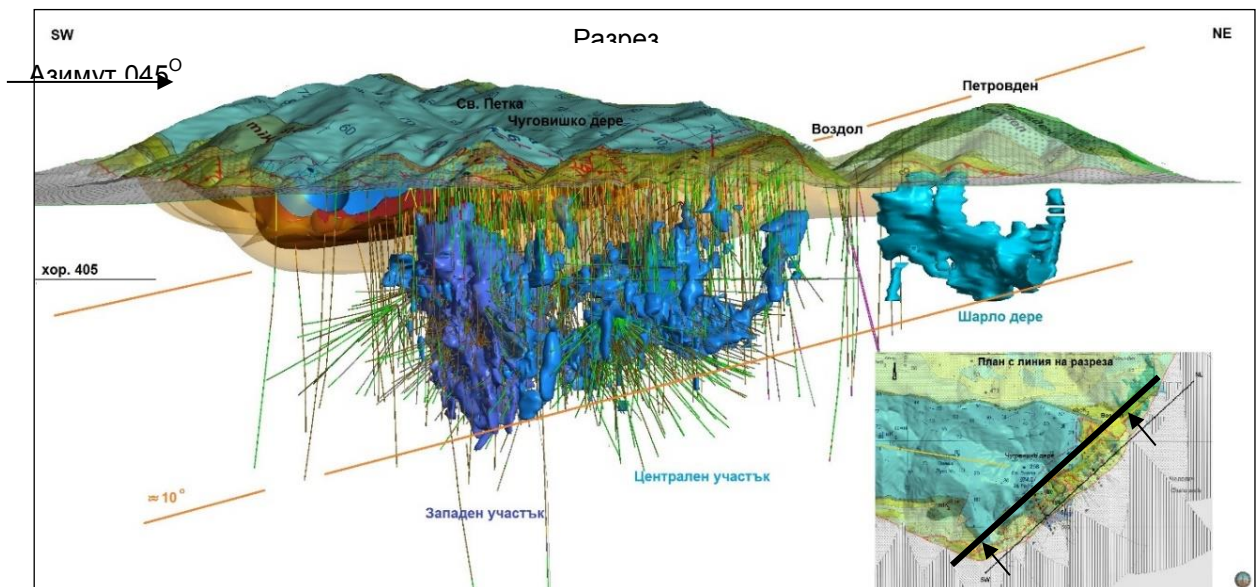
Моделът на деформация достига дълбочина до 1000 m под Мирковската свита. Това позволява влиянието на деформацията да се наложи върху вместващите находището скали и да обхване всички известни промишлени орудявания. Достига надморско равнище -300 m. Оста на моделираната

синклинала има посока 235° и наклон -10° (Фиг. 7). Този наклон най-вероятно се дължи на налагането на второразрядни гънки (Будаксърксата и Воздолска) върху Челопешката гънка, като второразрядните гънки наследяват наклона на оста си от североизточното бедро на „Челопешката синклинала“ (Фиг. 3 & 7). При разгънатия модел двете крайни точки се

отдалечават на повече от 1300 m, но е трудно категорично да оценим реалната компресия поради липса на репери и значителният ерозионен срез. В SE бедро на синклиналата се наблюдава комбинация от гънково-навлачни структури. Профилът, перпендикулярен с оста на синклиналата, е с посока 145° . Той също е и перпендикулярен на югозапад-североиточния сегмент на Задбалканския разлом.

След реконструкцията се открояват съществени разлики във формата и морфологията на рудните тела. Като резултат се наблюдават ротация и денивелация спрямо сегашното положение на телата. Ефектът от ротацията на телата може да се наблюдава на Фиг. 18, където на стереографска проекция е представена ориентацията на дългата ос на основните блокове в находището преди и след реконструкция на нагъването. Разликите, като стойности, са представени и в Таблица 1.

От получените резултати следва, че рудните тела при образуването си са затъвали по-стръмно. Влиянието на пострудните нагъвателни процеси варира в зависимост от местоположението на рудните тела в полето. Като цяло ефектът на ротация е по-изявен в югоизточната част на находището, като блокове 10, 18, 103 имат значителни отклонения от сегашното си състояние. Деформацията в NW-та част от находището е по-малка, като в Блок 147 почти няма промяна. Това се дължи на ефекта на пластичната деформация, който в близост до шарнира на гънката е минимален.

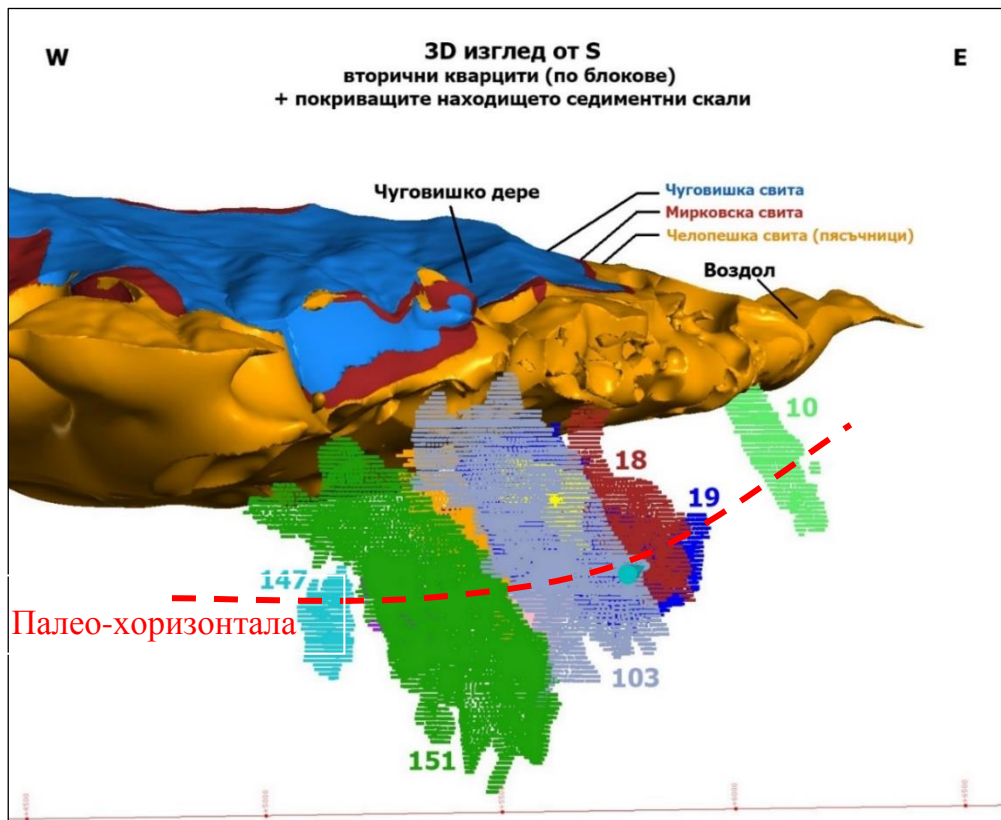


Фигура 19. SW-NE Разрез през находището и положението на участъци „Западен“, „Централен“ и „Шарло дере“

Любопитен тренд се наблюдава при модела на гънката в зоната на находището. В дълбочина минерализираните зони изтъняват и изклонват, като това е характерно за всички участъци в находището. Една от любопитните разлики между отделните участъците е дълбочината на изклонване. Тази дълбочина в най-общи линии съвпада с наклона на оста на

синклиналата от покриващите находището седименти. На (Фиг. 19) нагледно е показан ъгълът на оста на синклиналата и корелацията му с долните части на минерализираните зони в трите участъка на находището – „Западен“, „Централен“ и „Шарло дере. При реконструкция на геоложката обстановката ефектът от този наклон се „изглажда“, което най-общо води до денивелация на рудните тела. След геоложката реконструкция те попадат на приблизително едно ниво. Тези резултати говорят за ротация на цялата хидротермална система като североизточните части на системата са по-издигнати.

За по-ясно представяне на резултатите отделните експлоатационни блокове са представени в различна цвятова гама на Фиг. 21, където можем да наблюдаваме проекция в план на минерализираните зони, в настоящото им положение и след реконструкция на геоложката обстановка.



Фигура 20. Тримерен изглед на изток с блоковете и покриващите находището седименти

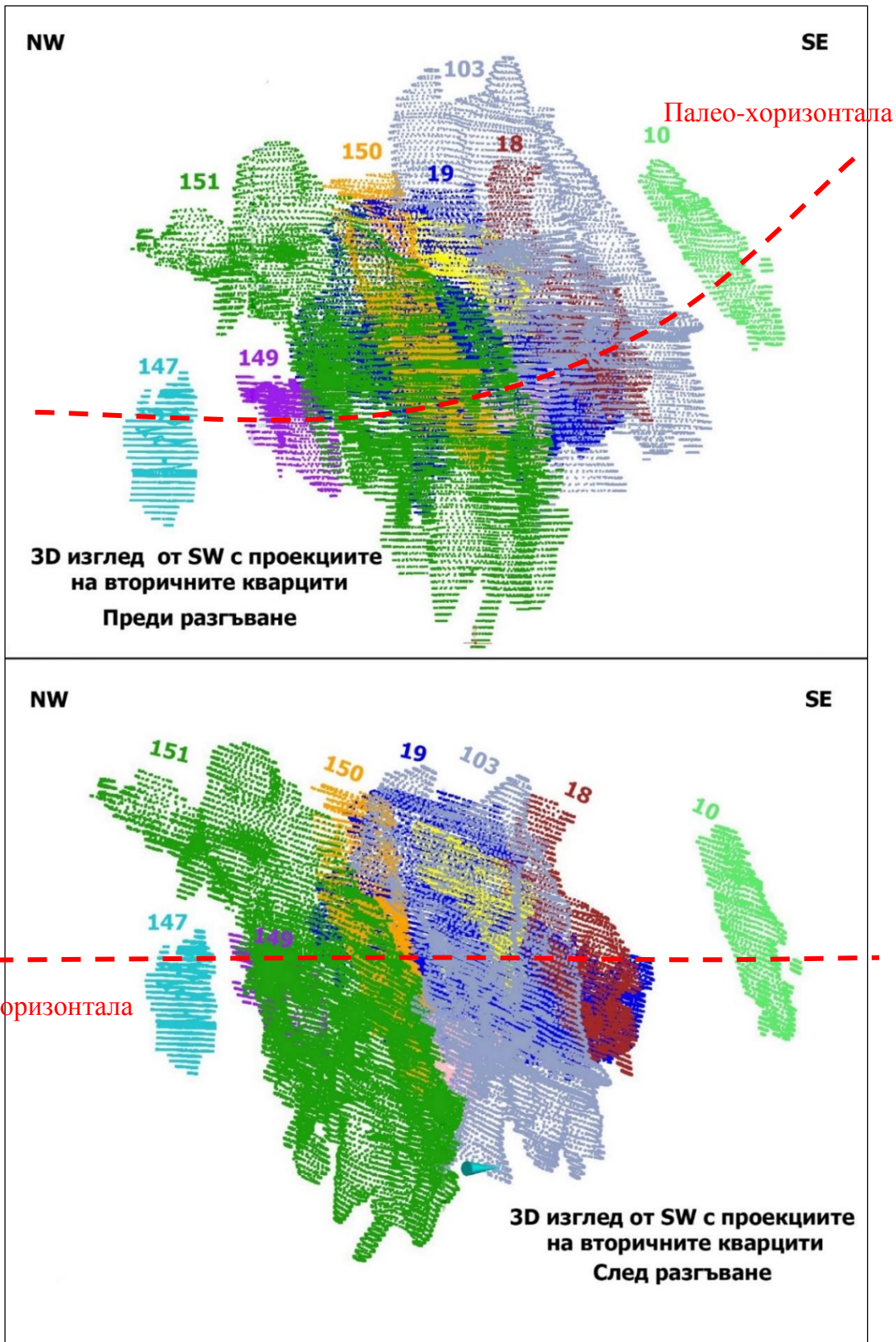
На W-E разрез на Фиг. 20 можем да видим тримерно представяне на положението на блоковете спрямо покриващите седименти в съвременно състояние.

В NW-SE разрез през находището (Фиг. 21) се наблюдава проекция на блоковете и ефекта от реконструкцията. Забелязва се минимална разлика в Блок 147, при който заради положението си под оста на синклиналата, почти липсва ротация. Денивелацията на Блок 10 е значителна и това е резултат от отдалечеността му на североизток от другите блокове. На Фиг. 21 и ясно личи, че след реконструкция, блоковете попадат на приблизително едно ниво. Резултатите позволяват разгънатите рудни зони да се използват за дефиниране на продуктивен палеохоризонт, в който условията са били най-благоприятни за депониране на рудна минерализация от хидротермалните разтвори.

Таблица 1 .Отклонения на дългите оси на рудните зони след реконструкция на пострудните деформации.

Блок	Сегашно положение		След реконструкция		Разлика в наклона
	Азимут	Наклон	Азимут	Наклон	
103	078	57	040	61	4
151	111	55	091	68	13
150	135	63	127	77	14
17	211	84	261	83	-1
147	022	84	042	84	0
149	173	76	235	83	7
18	140	62	135	76	14
19	140	61	138	70	9
10	138	55	132	71	16

Цветовете на блоковете в (Табл. 2) отговарят на цветовете на Фиг. 20 и 21



Фигура 21. Изглед на NE с минерализацията по блокове, преди (горе) и след реконструкцията (долу).

3.2.2 Връзка между нагъването и разломните зони в находището

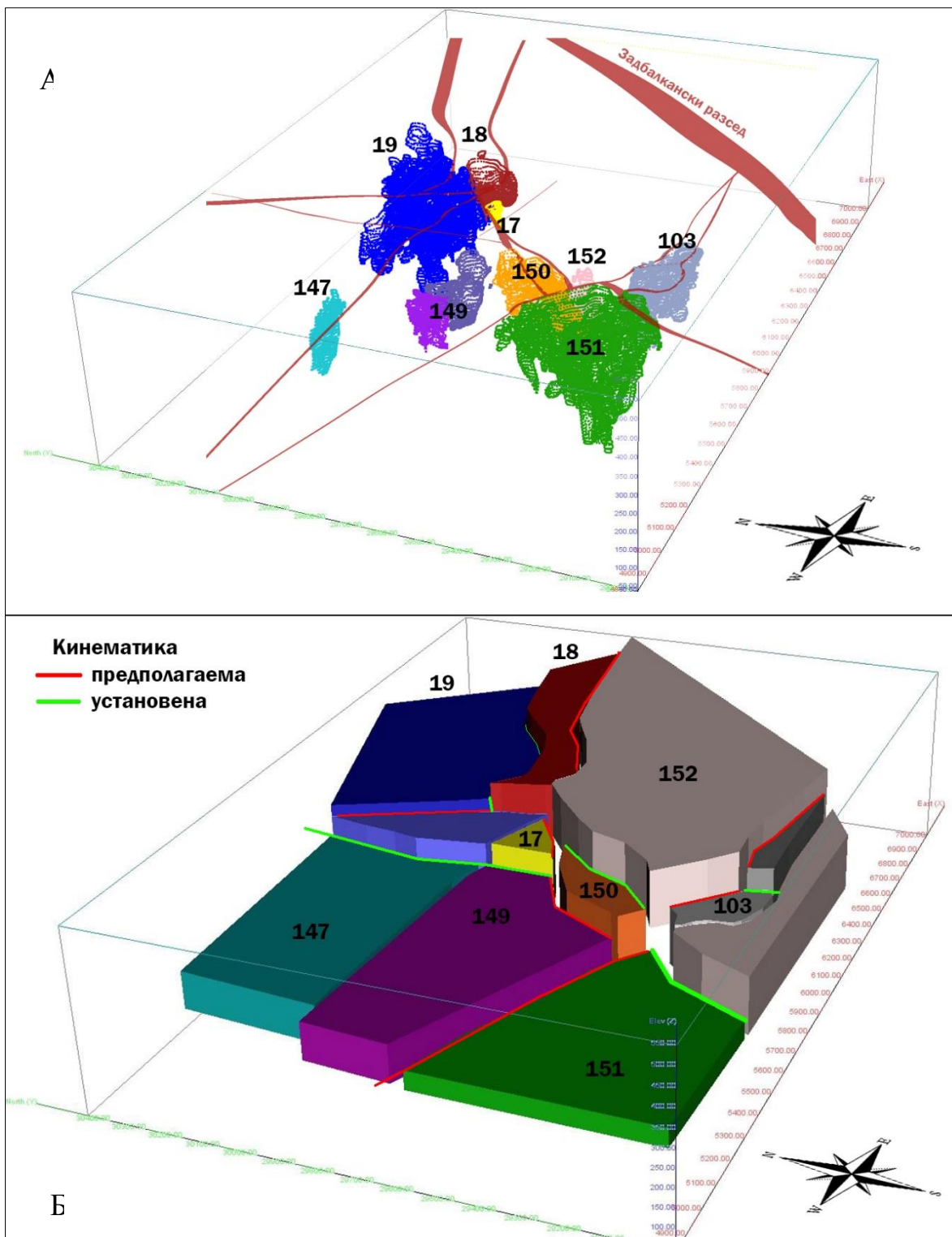
Реконструкцията на геоложката обстановка разкрива нови хоризонти за интерпретация на морфологията на рудната минерализация, но съществуват допълнителни условия за да се намали грешката. Моделът трябва да се съобрази с реактивацията на наследените структурни нарушения в масива. Нужно е да се вземат предвид и разломяванията, образувани в процеса на нагъване.

Освен подземна картировка бяха извършени и повърхностни наблюдения на скалите над находището. Резултатите са представени на графично Приложение №. 5 Сред редуващите се пясъчници и алевролитови прослойки на Чуговишката свита се наблюдава кливаж, потвърждаващ влиянието на гънковите структури в района на находището.

В пясъчниковите прослойки се наблюдават перпендикулярни спрямо слоистостта пукнатини. Алевролитите в свитата са с кóса спрямо пластовете напуканост в южното крило на синкиналата. Това допълнително подкрепя използваната методика и нуждата от реконструкция на мезоскопските гънки в района на находището.

Използваната методика за палеореконструкция налага пластична деформация в масива. В мащабите на изследвания обект моделът показва резултати, които могат да се използват за бъдеща реинтерпретация на находището. Моделът на деформация работи в идеална (ненарушена) среда. Както беше представено, в обема на находището съществуват множество структурни нарушения от различен ранг и възраст, повечето от които по-стари от нагъвателните процеси. Нужно е геоложката реконструкция трябва да се разгледа с частична реактивацията на по-старите нарушения в масива. Пострудните нагъвателни процеси са причина за реактивация на вече съществуващите нарушения в масива и за образуване на нови в близост до местата, където масивът е в напрегнато състояние или съществува граница между скали с различни физикомеханични свойства. Внедрените дайкови тела и последвалата хидротермална активност са предизвикали промяна в свойствата на масива. Характерната зоналност на околорудните изменения създават нееднородност в масива от различни по физикомеханични свойства скали. В находището често се наблюдава разломяване на границата на вторичните кварцити. Често на тези места наблюдаваме интензивна аргилизация. Рудната минерализация в находището е съпроводена с много повече кварц от колкото във вместващите скали. Това прави рудните тела много по-компетентни в масива. Всяка пострудна деформация предполага образуване и реактивация на разломи в приконтактните за вторичните кварцити зони. На Фиг.22 А в тримерен вид са представени основните разломни зони. Те условно разделят масива на блокове, като движението причинено от нагъвателния процес, е представено на Фиг.22 Б. По някои от разломните зони кинематиката не е доказана до този момент или няма репери за да се определи вектора на движение. На Фиг.22 Б вертикалните премествания са условни. Няма доказателства за значителни премествания само по една от зоните, но разглеждани като цяло, могат да причинят настоящата разлика в позицията на блокове 147 и 10. На Фиг.22 Б са представени схематично границите между блоковете и не са отразени разликите в наклона на разломните зони. Ако се добавят, тези разлики биха

допринесли за ротация на телата. В най-общ вид рудните тела от SE възсядат кулисообразно телата от NW част на находището.



Фигура 22. Схематично представяне на вертикалните премествания по основни разломни зони, като резултат от нагъвателните процеси

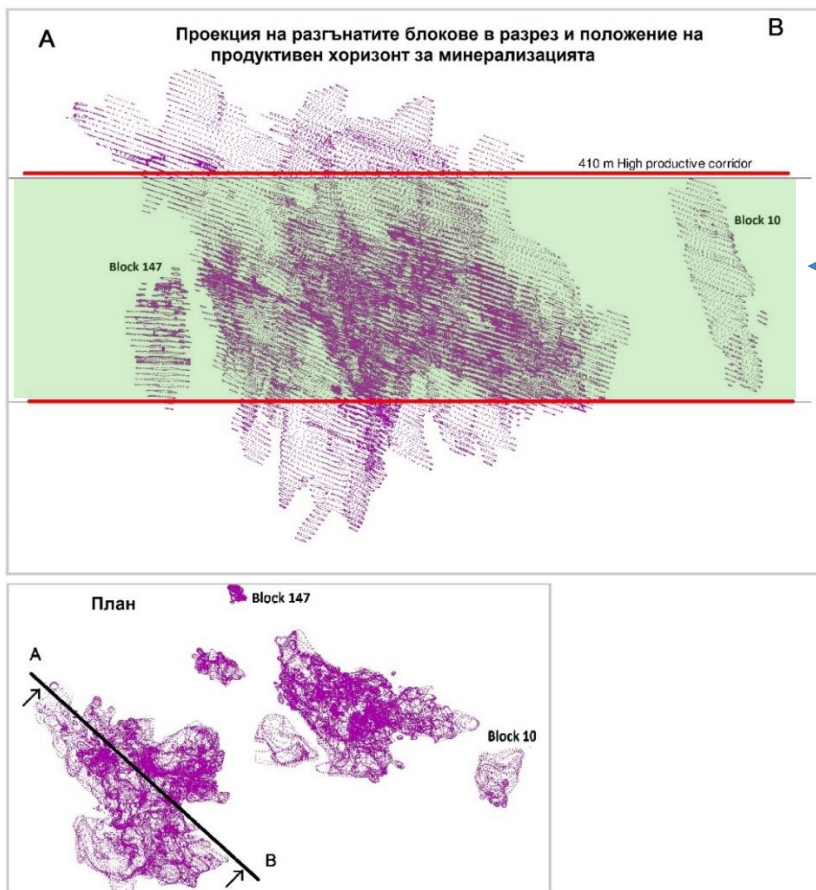
3.3 Генериране на продуктивен хоризонт

Много съвременни изследвания изясняват генезиса и условията на образуване на епитермални златно-медни находища. По света има и съвременни примери за образуването на такъв тип находища и в настоящия момент Arribas (1995). Съществуват идеализирани модели на хидротермални системи Hedenquist and Lowenstern (1994) (Фиг.24). Използвани в търсенето и проучването на епитермални находища, тези модели насочват и спомагат да се установят факторите, контролиращи рудната минерализация. Най-общо епитермалните системи са разделени на високо, средно и ниско сулфидизирани. Находище „Челопеч“ е определено от редица автори като високо- до средносулфидизиран тип епитермално находище (Каназирски 2011, Chambefort 2006). За този тип находища са характерни няколко фази на образуване. Първата фаза се характеризира като газова –заради високата температура флуидите идващи от дълбочина са газообразни. Те са с висока киселинност и причиняват киселинно излужване на скалите, като преобразуват фелдшпатите в глинести минерали. Образувани са вторични кварцити, често с „пореста структура (“vuggy silica”). Вторичните кварцити са свързани с промишлената минерализация в находище „Челопеч“. Значението на тази фаза е голямо, тъй като маркира най-проницаемите вместващите скали.

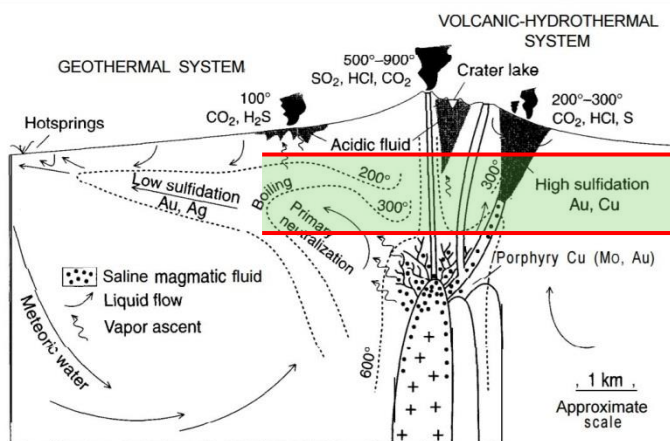
При следващата фаза температурата се понижава и металоносните разтвори са в течно състояние. Отдалечавайки се от източника си към зони с по-ниско налягане и температура, се създават условия за отлагане на рудни минерали във вместващите скали. Доказаните няколко минерални парагенези (Strashimirov, Popov и др.) говори за няколко фази на флуида в находище Челопеч с различен химизъм. Процеса на депониране на рудни минерали е най-интензивен в участъка от масива с подходяща температура, налягане рН др. В настоящата работа този участък се приема за продуктивна за находището зона.

3.4 Дефиниране на продуктивен палеохоризонт

Понастоящем в находище „Челопеч“ продуктивният хоризонт, където е вместена по голяма част от рудната минерализация е прикрит от наложените пострудни деформации. Реконструкцията до момента преди нагъването позволява да преоценим и дефинираме продуктивните хоризонти на находището, където хидротермалните разтвори са депонирали най-големи количества рудни минерали. На Фиг.23 е представен обхватът на тази зона с горната и долната ѝ граница. Интервалът е с дебелина 410m и включва два от крайните за находището блокове 10 и 147. Преди геоложката реконструкция те са разположени в коридор 670m. Като резултат от палеорекострукцията блокове 10 и 147 попадат на приблизително едно ниво. Фиг.23(горе).



Фигура 23. Разрез с проекцията на минерализираните зони след реконструкция и положението на продуктивния хоризонт



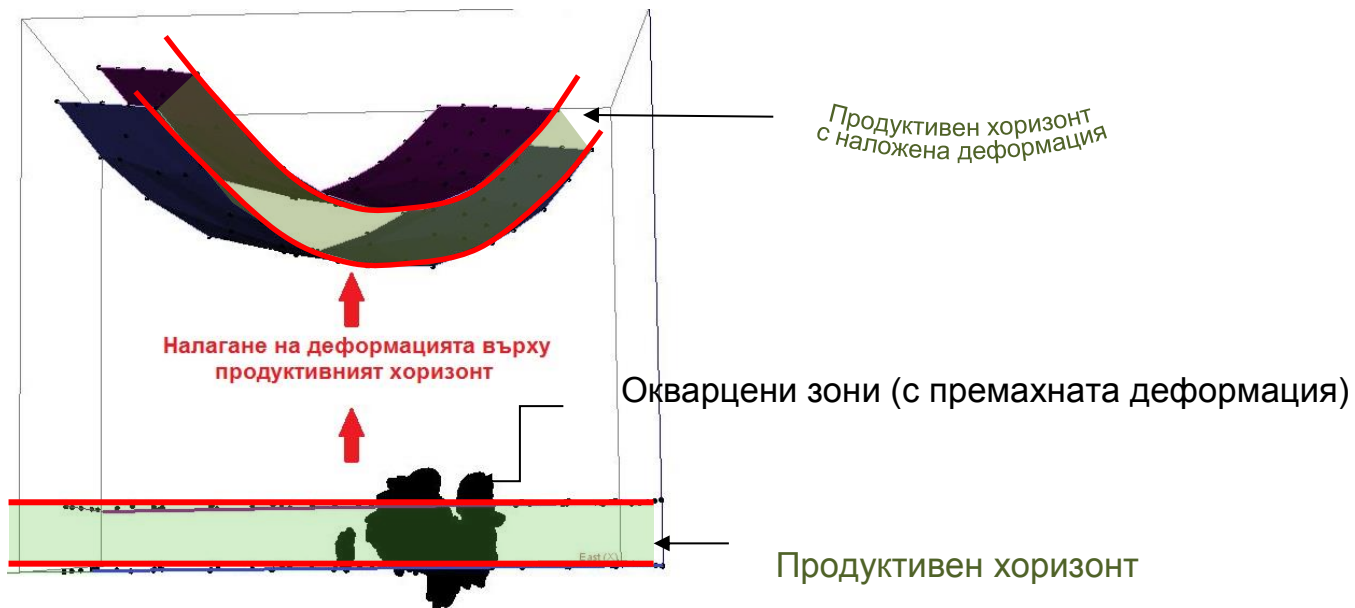
Фигура 24. Схема на хидротермална система, свързана с високосулфидизирани Au-Cu находища и положението на продуктивния хоризонт за находище „Челопеч“ (Hedenquist and Lowenstern 1994)

Продуктивен хоризонт за находище „Челопеч“

Горната граница е условна и би трябвало да се приеме контакта между двуслюдните пясъчници и вместващите находището вулканити. Тази граница не е запазена изцяло в района на находището в резултат на ерозионни процеси. Целта на моделираното горнище на продуктивния хоризонт е да изнесе тази граница в страни от съществуващите бедра на синклиналата в района и да се оценят периферните части на находището.

3.5 Връщане на продуктивния хоризонт в начално положение

Използвайки обратната задача върху моделирания продуктивен хоризонт е наложена същата деформация. Като резултат получаваме две огънати Tin повърхнини (Фиг.25 горе), които дефинират продължението на продуктивния хоризонт в страни от вече известните минерализирани зони в съвременно положение.

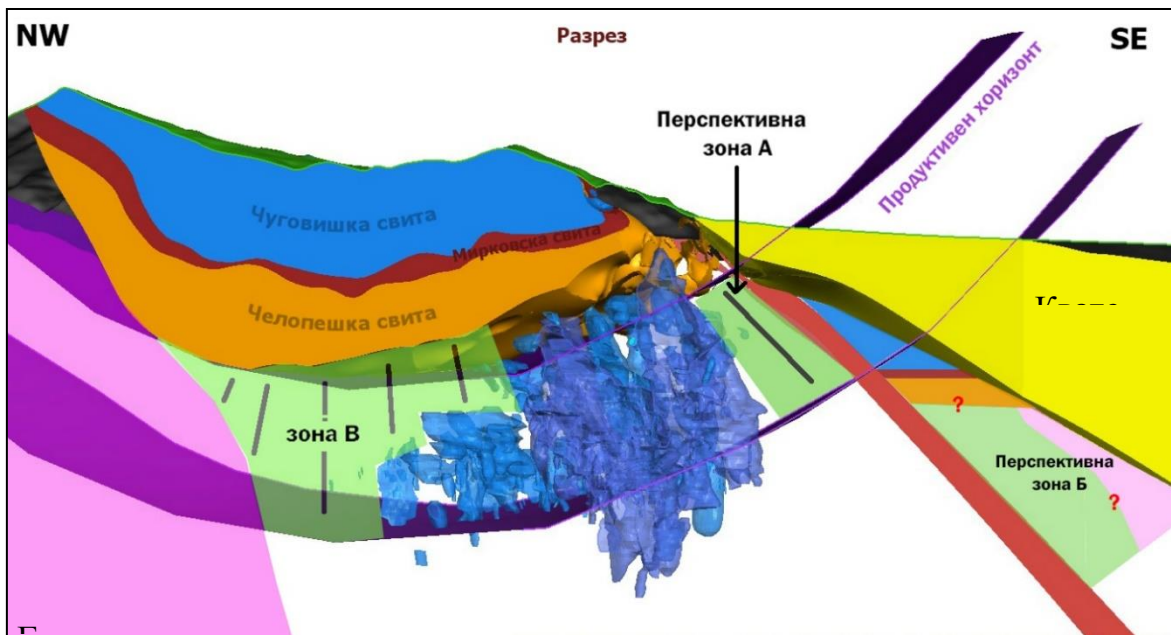


Фигура 25. Трансформиране на продуктивния хоризонт в съвременното му положение.

Този хоризонт определя обеми от масива, където по време на рудообразуването са възникнали подходящи налягане, температура и рН условия за натрупване на рудни минерали. Позицията на този интервал в реална обстановка е усложнен от тектонски нарушения. Положението на продуктивния хоризонт корелира добре с хидротермалните промени от повърхностната геоложка картировка. При дефиниране на перспективни за проучване обеми влиянието на продуктивния хоризонт е ограничен от Задбалканския разсед на SE и от границата на вместващите в находището скали с фундамента (гнайси) на северозапад.

4. Дефиниране на перспективни рудни зони

След извършеният анализ върху структурите на находището и реконструкция на обстановката могат да се дефинират няколко перспективни зони за търсене и проучване на нови рудни тела в района на находището.



Фигура 26. NW-SE разрез през находището с перспективни зони (в зелено) за търсене и проучване на нови рудни тела в района на находище „Челопеч“

Според модела на наложените нагъвателни процеси може да се предположат различно затъващи от сега известните рудни тела в находището. Интерпретирани са три зони (в зелено на Фиг. 26), като две от тях са ограничени в обема на моделираният продуктивен хоризонт. Една от зоните се намира в висящото крило на задбалканския разлом на по-голяма дълбочина.

- Перспективна зона А (Фиг. 26). Намира се на SE от установената минерализация в находището, като се ограничава от Задбалканския разлом. В дълбочина се контролира от долната граница на продуктивния хоризонт. Следвайки логиката на модела в „перспективна зона А“ можем да очакваме по-полегати минерализирани зони. Не са изключени значителни отмествания и прекъсвания на минерализацията в близост до задбалканския разлом, където се очаква усложнена тектонска обстановка.
- Перспективна зона Б (Фиг. 26) се намира във висящото крило на Задбалканския разлом. Интерпретирана е в резултат на приетата теза за структурно развитие на района и за търсене на запазени части от продуктивната зона сред вместващи находището скали. Зоната обхваща обеми във висящото крило на Задбалканския разлом, пропаднали на дълбочина в резултат на последните разседни движения по разломната зона. Липсата на достатъчно данни в тази зона не позволява да се оцени присъствието на обеми от продуктивни рудовместващи скали на S-SE от находището. В тази зона границата между покриващите находището седименти с вместващите минерализацията скали и гнайсите от фундамента не са добре дефинирани.

- Перспективна зона В (Фиг. 26) Намира се на N-NW от находището, под северното бедро на синклиналата. Зоната е ограничена на север от контакта на вместващите за находището скали с фундамента (в лилаво на Фиг. 26). Моделът предвижда преобръщане на известния наклон на минерализацията, като в „зона В“ може да се очаква дори стръмно затъване на север. До там се ограничава и влиянието на продуктивният хоризонт. Ако се запази трендът при морфологията на телата, в тази част на находището може да се очакват тънки лещовидни тела със стръмен наклон. В зоната се предполага преобладаващ структурен контрол на минерализацията.

5. Заключение и научно-практически приноси

5.1 Заключение след палеорекострукция на синклиналата

Реконструкцията на находището до момента преди нагъвателния процес, позволява преоценка на възможностите за търсене и проучване в района. Извършения анализ и интерпретации позволяват да се направят следните заключения:

- Пострудните деформации деформират рудните тела, като се наблюдава диференцирано влияние върху минерализацията в зависимост от местоположението и. Телата на SE са значително по-полегати и издигнати от момента на образуването си (блокове 10, 18, 103). При рудните тела в NW част на находището се наблюдават минимални отклонения спрямо първоначалното им положение, причина за това е близостта им до оста на синклиналата (блокове 147, 149).
- Пострудните нагъвателните процеси реактивират съществуващите структурни нарушения в масива и създават нови. Това важи особено на зоните, където околорудните промени са изменили механичните свойства на скалите.
- Наклонът на оста на моделираната гънка съвпада с ъгъла образуван от коренните части на известната минерализация (Фиг. 19). Това води до издигане на продуктивния хоризонт в NE посока. Възможна причина за това е налагане на повече от една генерация гънки в района и ротация на цялата хидротермална система.

5.2 Приноси на дисертационния труд:

- Направено е систематизиране и анализ на всички структурно-геоложки данни от находището. За целта е обработена голямо количество структурно-геоложка информация и е създаден тримерен структурно-геоложки модел на нарушенията в находището;
- Дефинирани са основните разломни зони в находището и е изследвана връзката между минерализацията и структурните нарушения.
- Направена е оценка на въздействието на пострудните деформации върху морфологията на рудните тела, като е създаден модел на пострудната деформация на база сондажни данни и формата на покриващите находището седименти;

- Направена е палеореконструкция на някой от по-големите рудни зони в находището преди наложените върху минерализацията нагъвателни процеси;
- Дефинирано е съвременното положение на продуктивен за находището палеохоризонт.

5.3 Практически приноси

Създаденият структурен модел на находището участва директно в процеса на разработка на находището, като повишава безопасността и покрива нуждата от бърз достъп до геоложка информация в динамична производствена среда. Изграденият структурен модел се използва от различни минни специалисти в интегрирана среда, което позволява широкото му практическо приложение в проучването, проектирането, планирането и изпълнението на минните работи.

Моделът подпомага следните процеси в работата на техническите служби към рудника:

- Експлоатационно проучване - Дефинират се рудопроводящи, рудовместващи и рудоконтролиращи нарушения в масива. Структурният модел спомага за определяне на оптималната посока на сондажната програма спрямо структурите и посоката на разпространение на рудните тела и допълва геоложкия модел на находището, както и за по-задълбоченото разбиране на тектонската обстановка и връзката с регионалните рудоконтролиращи структури. Спомага за насочване към перспективни проучвателни цели за сондиране.

- Експлоатационно сондиране - Прогнозиране пресичането на структурни нарушения от проучвателните сондажи и предвижда усложнения в процеса на сондиране, причинени от нарушения в масива.

- Минно планиране - Като част от геоложката характеристика, съпътстваща работните проекти за изпълнение на минните работи, структурният модел дава възможност за прогнозиране на структурни нарушения и пресичането им от проектираните минни изработки, добивни камери, взривни сондажи и др. По този начин се увеличава безопасността, като моделът спомага за предвиждане на геомеханични усложнения в производството в следствие от геоложки структурни нарушения. Участва в решаването на различни геомеханични проблеми: определяне стойностите на част от показателите формиращи класификационната оценка на масива Q (Q-system) и числото на стабилност N' (Stability Number) при метода Mathews Stability Graph, като база за определяне крепежната категория на масива и емпирично оразмеряване на добивните камери;

- 3D визуализация на структурните нарушения в проектния участък и оценка на риска от формиране на неблагоприятно ориентирани клинове, структурни блокове или повърхнини на хлъзгане в стените и таваните на добивните камери. Всички използващи структурният модела, получават актуална геоложка информация относно зоните, в които се водят минни дейности и могат да предприемат необходимите превантивни действия за предотвратяване на обрушвания в минните изработки и добивните камери;

- Структурният модел спомага генериране на ориентирани повърхности (разломи) в софтуерния продукт MAP3D и оценка на влиянието им при анализа на напрегнатото и деформирано състояние на масива. Това води до по-ниски капитални и оперативни разходи при изпълнение на минните работи, в следствие на предоставена обективна основа за оптимизиране на мерките и средствата за управление на скалния натиск.

- Намаляване на загубите и обедняването на добиваната руда при настоящия метод на добив и спомага при минното планиране в следствие по-прецизното определяне на структурните граници на рудните тела.

- На базата на настоящите изследвания са интерпретирани три перспективни за проучване района в близост до находището на базата на реконструкцията на нагъвателните процеси;

Публикации свързани с темата на дисертационния труд:

Добрев, М., Симонски, Н., 2014 Детайлен геоложки структурен модел за целите на добива, геомеханиката и проучването в находище „Челопеч“. Четвърта национална научно техническа конференция технологии и практики при подземен добив и минно строителство, Том 4 Св. I гр. Девин

Добрев, М., Кузманова, П., 2015 Основни разломни зони в участък „Западен“ на находище „Челопеч“. Годишник на минно-геоложкия университет „Св Иван Рилски“, Том 58 Св. I. гр.София

Добрев, М., 2017 Геоложка реконструкция на следрудни деформации в находище Челопеч Национална конференция с международно участие „Геонауки“. Изд. Българско геологическо дружество с. 77-78 гр. София.