

ГЕОМЕХАНИЧНА ОЦЕНКА НА РУДНИК "ДИМОВ ДОЛ" (МАДАНСКО РУДНО ПОЛЕ)

Венцислав Иванов

Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 17000 София

РЕЗЮМЕ: Във връзка с планирано разработване на неиззети запаси, в дълбоките хоризонти на р-к "Димов дол"- "Голям Палас" е изучено напрегнатото състояние, свойствата на скалите и структурните характеристики на масива в района на находището и проблемния участък. Оценено е влиянието на прилаганите технологии на добива върху състоянието на системата "Вместващ масив/Добивни изработки" (ВМ/ДИ). Описани са и са оценени рисковите геомеханични фактори при евентуално изземване на запасите в проблемния участък. На базата на обобщен анализ на съществуващото напрегнато състояние на системата ВМ/ДИ е оценен геомеханичният риск и са дадени съответстващи на обстановката препоръки.

GEOMECHANICAL ASSESSMENT OF THE "DIMOV DOL" MINE (MADAN ORE FIELD)

Ventsislav Ivanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT: In the connection with scheduled exploration of the not taken-up reserves at the deep horizons of "Dimov-dol"- "Goliam Palas" mine is analyzed the tensely state, the properties of the rocks and the structural characteristics of the massif in the vicinity of the deposit and the trouble section. The influence of the used extracting technologies on the system state "host mass/extracting workings" (HM/EW), is assessed. The risky geomechanical factors at the eventual extraction of the reserves in the trouble plot are identified and are appreciated. To the basis of the keynoted analysis to the existing tensely state of the system HM/EW is assessed geomechanical risk and the corresponding to the setting recommendations are given.

Въведение

Рудник Димов дол-Голям Палас е експлоатиран в периода 1955-1995г., когато е обявен за закриване по ПМС 140/1992 г. За времето на съществуване на рудника са добити 5,934 млн. тона руда със средни съдържания на цинк 2,76% и на олово-1,62%. Добитият метал, съответно възлиза на 164 хил. т, цинк и 96 хил.т.олово.

Рудната зона в находището вества стръмно западащи кварц-карбонатни рудни жили, проследени на дълбочина до 1000 m. Жилите са със сложен строеж и морфология, съдържат непромишлени стълбове и са внедрени в тектонски обработени и променени вестващи скали. Дебелината им се изменя от 15 до 60 m, простират се в СЗ направление и западат под ъгли 60⁰-90⁰.

Добивът е реализиран чрез две системи на експлоатация-система със слоево обрушаване, и система с хидрозапълване.

Понастоящем рудник "Димов дол" е отдаден на концесия. Във връзка с новите високи цени на Лондонската метална борса, концесионерът планира разработването на неиззети запаси в блокове от дълбоките хоризонти. Такъв е бл.С1-3, между хор. 290/240, фиг. 1

В проблемния участък, жилата е с намалена дебелина, от 1,5 до 12 m, при средна дебелина на орудяването от 3

до 3,3 m. Съдържанието на олово в бл.С1-3 е 14,36%, на цинк-2,71%, и на мед-0,14%

Изложените обстоятелства налагат и извършването на описаната тук геомеханична оценка на масива.

I. Проблем

На фиг. 1 е показана минно-техническата ситуация в проблемния участък. От фигурата е видно, че в границите на предпазния околошахтов целик на ш. "Голям Палас", установените промишлени запаси от хор. 687 в дълбочина са иззети до хор. 290. Двете системи са прилагани както следва: със слоево обрушаване до хор. 537 и системата с низходящо изземване на хоризонтални слоеве и последващо хидрозапълване от хор. 537 до хор. 290. Материалът на запълнението е едрата фракция на отпадъка на обогатителна фабрика Рудозем. Шахта "Рудозем" се охранява от безруден околошахтов целик. Рудоносната зона е изградена от хидротермално променени гнайси и пегматити. За да се предпази земната повърхност, където са коритата на реките Елховска и Арда целикът, в който са блокове С16 и С121 заедно с прилежащите безрудни участъци не е изземван. Проблем с нарушаване на устойчивостта на масива възниква, когато е иззет бл. С120 между х. 340/290. В облицовката на шахта "Голям Палас" се появяват нарушения и деформации и скъсване на водачите. Характерно за тази част е освен по-ниските характеристики на вестващия масив и обстоятелството, че в рудната зона са

концентрирани множество тектонски нарушения, запълнени с глина, които са подсечени от минните изработки. От предоставената ни словесна информация се разбира, че в нарушената част от ствола на шахтата са организирани наблюдения и че нови прояви на загуба на устойчивост не са установени.

В плановете за работа на участка се предвижда изземването на запасите в границите на околошахтовия целик на дълбоките хоризонти (под х. 290 – 240). Тези проектни намерения предполагат и настоящата геомеханична оценка.

II. Геомеханична оценка на масива

Геомеханичната устойчивост на масива се обуславя от взаимодействието на три основни групи фактори:

- Напрегнато състояние на масива, включващо в себе си познаването на естественото му (природно) напрегнато състояние и индуцираното поле на напрежение, предизвикано от минните работи;
- Строежът, структурните свойства и физикомеханичните характеристики на скалите, характеризиращи механическото състояние на масива, вместващ рудните зони;
- Ефектите от технологичните въздействия върху горните ключови фактори, за оценка на НДС и устойчивостта на масива в проблемния участък.

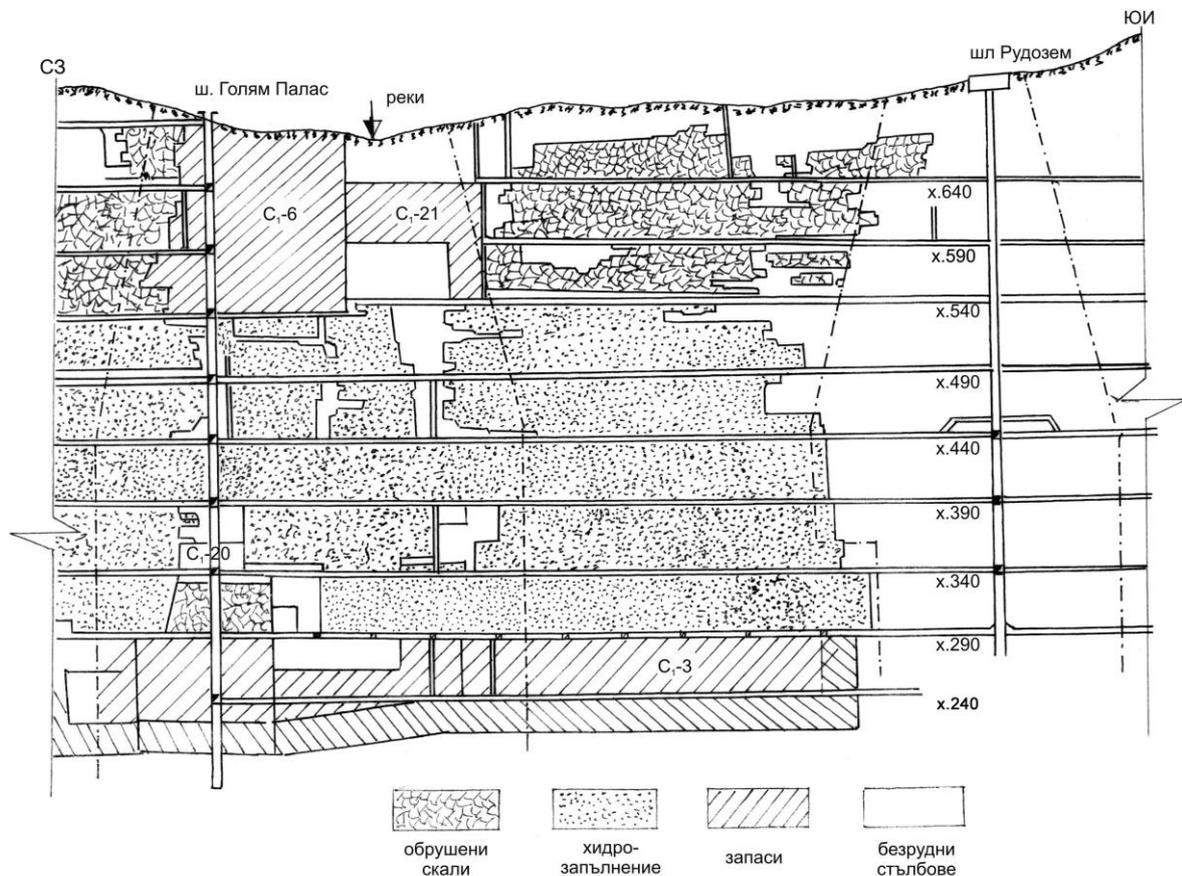
II.1. Напрегнато състояние на масива

а) палеополе

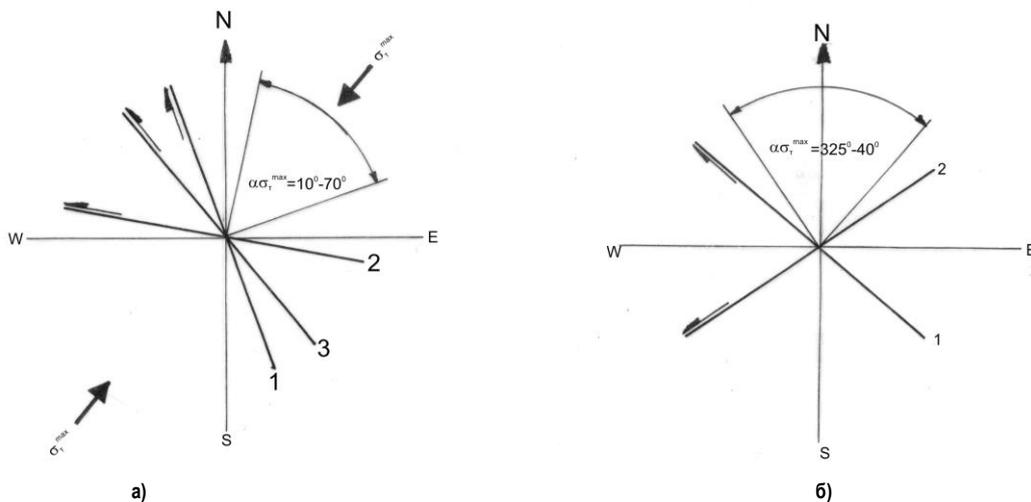
За оценка на полето на напрежения, от нас е използвана предоставената информация за тектониката на разкъсване в обяснителната записка. Използван е метод на анализ на елементите на залягане на системите тектонски разломи, съизмерими с размерите на рудното поле. [2] От предоставената ни информация е видно, че в района са установени следните типове тектонски прояви [1]:

- Рудоносни разломи с променлива дебелина (от един до десет метра), но издържани в ориентацията си. За тези разломи отчетливо се отделят две преобладаващи системи - с ориентация 280° и 340° и стръмно западане на СЗ и ЮИ под ъгли 60° – 90° . При тази обработка е използвана и ориентацията на рудовместващата структура на зона 1 ($A=320^{\circ}$, $\beta=70-90^{\circ}$);
- Следрудни разломи, широко представени и развити, успоредно и диагонално спрямо рудоносната структура също обединени в две системи ($A=235^{\circ}$, $A=310^{\circ}$, $\beta = 55^{\circ}$, $\beta = 90^{\circ}$).

Резултатите от извършените аналитични реконструкции на полето на палеонапрежения са показани на фиг. 2 а и б



Фиг.1



Фиг. 2 Реконструкции на разпределението на компонентите на палеополето на напрежение в участъка

Основните изводи от горния анализ се свеждат до следното:

- Локалното поле на напрежения е от тектонски генотип;
- Извършените реконструкции установяват, че: максималното хоризонтално/субхоризонтално натисково напрежение $\sigma_T \max$ има ориентация, изменяла се в геоложкото минало в интервала $10^\circ - 70^\circ$ (СИ – ЮЗ) и минималното главно тектонско напрежение е имало ориентация $280^\circ - 340^\circ$ (СЗ и ЮИ).
- От реконструкциите, чрез следдрудната тектоника се установява, че ориентацията на $\sigma_T \max$ на палеополето е била субмеридианна - $325^\circ - 40^\circ$, респективно $\sigma_T \min$ - субпаралелна $235^\circ/310^\circ$.
- За прецизиране на разпределението на полето на палеонапрежения са необходими данни за кинематиката на придвижване по разлома. Понеже такава информация отсъства, от нас, като допълнителен критерий е използван ъгълът между системите в сектора на минималния натиск. [3] По този критерий, от фиг. 2 а) е видно, че спрегнатата система образуват разломите 1 – 2, което позволява да се определят общата ориентация на тектонските напрежения, съответстваща на всички системи разломи и тя е:
 $\sigma_T \max 10^\circ - 70^\circ$ $\sigma_T \min 280^\circ - 340^\circ$

б) Съвременно поле

Получените в предходния абзац характеристики са важни за изследването на напрегнатото състояние на масива в изследвания участък. Те обаче не са характеристики на съвременното поле.

На база взаимовръзката между ориентацията на главните напрежения и изкривяването на геоложките проучвателни сондажи в хомогенен масив е разработен метод за оценка на един от ключовите параметри - напрежението на максималния тектонски натиск [3]. Той се състои в анализ на азимуталното изкривяване на проучвателния сондаж за определяне на напрежението на преобладаващото изкривяване.

В предоставената информация са дадени резултатите от инклинометрията на проучвателните сондажи. От тях два – сондажи №№ 672 и 679, разположени в североизточната и северозападната част на проблемния участък, по стратиграфски данни, са прокарани в напълно идентични скални разновидности по цялата дължина. Описаният по-горе анализ на данните от инклинометрията е показан на фиг. 3 а и б.

От фигурата е видно, че след разсейванията в началото на прокаране, изкривяването и на двата сондажа се концентрира в северозападно направление, в интервала $300^\circ - 330^\circ$. Определено по всички данни напрежението на максималния тектонски натиск $\sigma_T \max$ е в диапазона $9^\circ - 16^\circ$ ($\sigma_T \text{cp} = 12^\circ$). Определен по данните за изкривяванията в диапазона хор. $390/290$ $\sigma_T \max$ е с направление $\alpha \sigma_T^{\text{CP}} \max = 28^\circ$. Обобщеният анализ дава основание да се определи, че тектонското поле в дълбочина е нехомогенно. На дълбочината на която зялгат планираните за изземване блокове, разпределението е както следва:

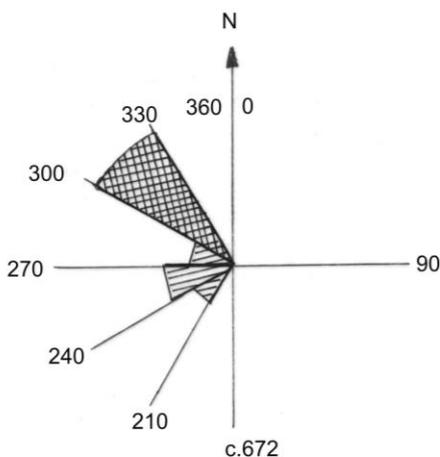
$\sigma_T \max$ е с направление $A = 20^\circ$

$\sigma_T \min$ (отн. опън) е с направление $A = 290^\circ$

в) експериментални резултати

Във връзка с друг наш изследователски проект, в района на ш. "Голям Палас- север", през 1989 г. са извършени два експеримента за определяне на напрегнатото състояние на масива *in situ*. Приложен е метода на частично разтоварване [4]. В разсечка 53 (хор. 348) са изградени две замерни станции. Получени са следните резултати:

3C1	$\sigma_v^* = -11,08 \text{ MPa}$	$\sigma_v^* = -14,85 \text{ MPa}$
	$\sigma_x^* = -5,4 \text{ MPa}$	$\sigma_x^* = -7,02 \text{ MPa}$
3C2	$\sigma_v^* = -10,54 \text{ MPa}$	$\sigma_v^* = -14,91 \text{ MPa}$
	$\sigma_x^* = -6,6 \text{ MPa}$	$\sigma_x^* = -4,92 \text{ MPa}$



а)

Фигура 3 Инклинометрия на проучвателните сондажи №№ 672 и 679

Магнитудите на напреженията са изчислявани за по две стойности на деформационните характеристики, взети по литературни данни. Натисковите напрежения са приемани за отрицателни [5]. Извършеното от нас проучване на публикуваните изследвания по проблема установи, че никъде няма данни за определяне на модула на еластичност или деформационния модул на скалите от Маданското рудно поле. Възприетите от нас в изчисленията стойности за инжекционните гнайси и пегматитите съответно са:

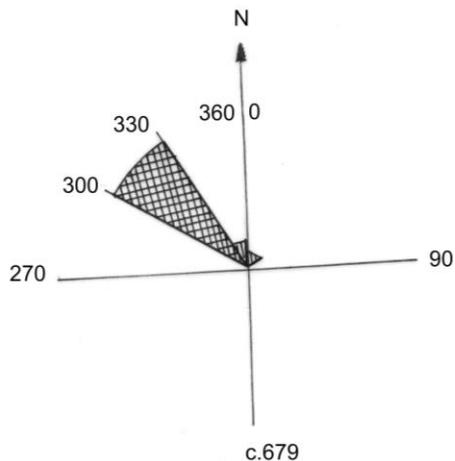
$$\nu = 0,21; E = 5400 \text{ МПа} \text{ и } \nu = 0,28; E = 7400 \text{ МПа}$$

Анализ на получените резултати

1. Получените експериментални резултати доказват наличието на тектонски компоненти на напрежение в р-к "Димов дол". За съжаление, площадките на измерителните станции са нормални към направлението на действие на максималния тектонски натиск $\sigma_T \max$, така че измерванията са регистрирали магнитудите на $\sigma_T \min$
2. Сравнението на експериментално получените и аналитичните резултати по хипотезата на Гейм, доказват че при обемни тегла на представените скали $\gamma = 0,025 \div 0,026 \text{ MN/m}^3$, съотношенията в магнитудите на напрежение са: (табл. 1)

Хипотезата за геостатично поле на напрежения е неприложима за анализи на проблемните участъци. Следователно полето на напрежения е тектонски обусловено.

Получените резултати от изследванията могат да се използват за анализ на напрегнатото състояние на масива в района между шахта "Голям Палас" и шахта "Рудозем", тъй като измерителните станции отстоят на по-малко от 2 km от изследвания участък [6].



б)

На фиг. 4 е показано разпределението на тектонските компоненти относно мрежата сервисни изработки в проблемната зона.

От фигурата е видно, че максималното хоризонтално тектонско напрежение $\sigma_T \max$ действа в субмеридионално ($A=12^\circ - 28^\circ$) направление. Съответно, минималното главно натисково напрежение $\sigma_T \min$ е субпаралелно ($A=348^\circ - 332^\circ$).

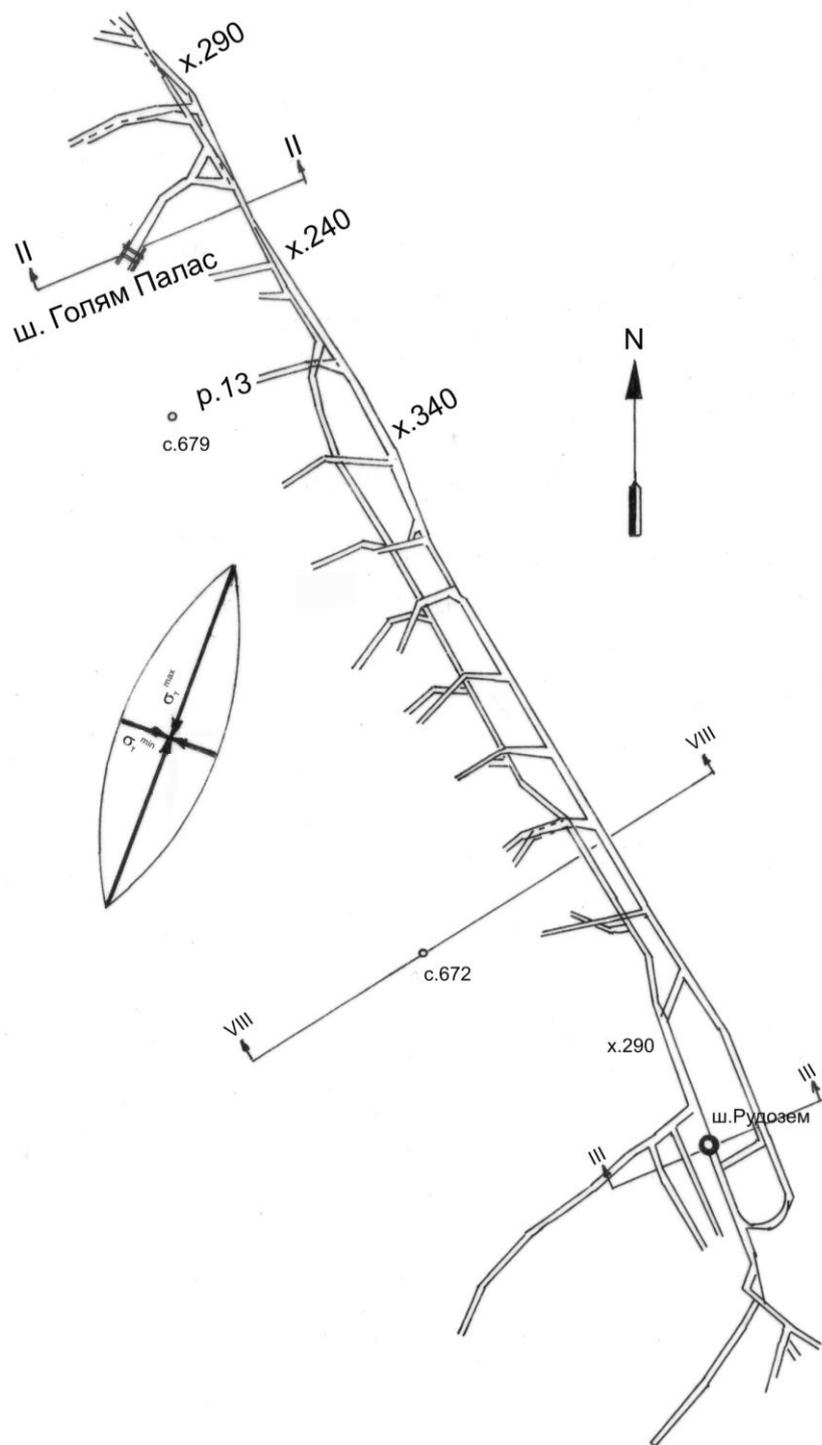
Конфигурация на естественото поле

Естественото поле на напрежения се обуславя от взаимодействието на гравитационните и тектонски компоненти. Ако се използват данните за обемното тегло от предоставената ни записка [1] ($\gamma = 0,027 - 0,032 \text{ MN/m}^3$), то вертикалната компонента на хор. 240 е в диапазона $\sigma_v = 12,15 \div 14,4 \text{ МПа}$. Хоризонталните напрежения са резултат от взаимодействието на напреженията от страничния отпор ($\sigma_v = \frac{\nu}{1-\nu}$) и наслагващото се към тях $\sigma_T \max$ и $\sigma_T \min$.

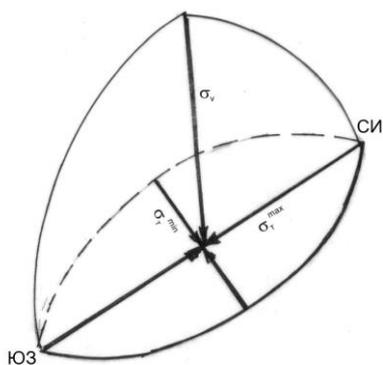
Конфигурацията на естественото поле в участъка е с форма на елипсоид, показан на фиг. 5, с оси σ_v , $\sigma_x \max$ и $\sigma_x \min$, изменящи магнитудите си в зависимост от дълбочината, физикомеханическите и структурните характеристики на масива.

Таблица 1

Параметри	Изчислени	Измерени			
		$\nu = 0,21; E = 5,4 \text{ GPa}$		$\nu = 0,28; E = 7,4 \text{ GPa}$	
		3С1	3С2	3С1	3С2
σ_v	- 14,25±14,82	- 11,08	- 10,54	- 14,85	- 14,91
σ_x	- 3,78±5,85	- 5,4	- 6,6	- 7,02	- 4,92



Фигура 4 Разпределение на тектонските компоненти в масива между шахта “Голям Палас” и шахта “ Рудозем”



Фигура 5 Елипсоид на естественото поле на напрежения в участъка "Голям Палас"

III. Физико-механически свойства (ФМС) и структурна характеристика на масива на проблемния участък

III.1. Физико-механически свойства

В предишни периоди са извършвани лабораторни изследвания на ФМС на скалите от вместващия масив [7]. Резултатите от тези изследвания са обобщени в таблица 2.

От приведените данни могат да се направят следните изводи:

1. Средната лабораторна якост на едноосов натиск за разновидностите гнайси е ≈ 150 МПа, а за пегматитите - 100 МПа. Значително е намаляването на якостните параметри (и по-специално σ_c) при преход от лабораторна якост, към тази в масива (вж табл. 2). В източника [7] няма данни как е извършен този преход, поради което приемаме тези резултати само за сведение. Няма данни за изследване и оценка на влиянието на водата върху якостните параметри. Данните са неадресирани откъде са взети и от там не става ясно каква е представителността на изследването и надеждността на получените резултати.
2. В хода на настоящото изследване, от заявителя са предоставени три пробни тела с неправилна форма от

скалите, изграждащи масива в проблемния участък. От тях са изготвени скални образци и са изпитани в Лабораторията по механика на скалите чрез Point Load Test [8] за определянето на индекса на якост и от там - на якостта на едноосов натиск. Резултатите от изпитванията са дадени в таблица 3.

Предоставените за това изследване пробни тела не позволяват стандартно определяне на якостните параметри. Съгласно препоръките на ISRM [9] за определянето на параметър са необходими минимум пет образци. Няма сведения за представителността на пробните тела.

Въпреки направените уговорки, извършените изследвания позволяват следните заключения:

1. Средната якост на едноосов натиск е $\sigma_{c,ср} \approx 50$ МПа, което е съществено по-малко според литературните данни от предишни изследвания.
2. По-здрави са образците с индекс ПГ, отколкото тези с индекс К 16.
3. Изследванията показват наличие на анизотропия на якост, която вероятно се дължи на структурни особености на изграждащите скали.

III.2. Структурни характеристики на масива и рудното тяло в проблемния участък

От предоставената ни информация е видно, че:

Вместващият масив е изграден от метаморфни скали – биотитови и двуслюдни гнайси, инжектирани от пегматити. В рудоносната зона скалите са силно серицитизирани и каолинизирани [1]. Рудното тяло е кварцова жила със сулфидно орудяване с непостоянна дебелина, ограничена е от тектонски пукнатини и наклон $70^\circ - 75^\circ$. Скалите в рудоносната зона са тектонски обработени и в съседство кварцовите жили са надробени и смляни.

В границите на участъка са обособени два водоносни хоризонта:

- Първият е в кватернерните наслаги и се захранва от инфилтриращи се валежи и реките Арда, Елховска и Чепинска, с непостоянен дебит е, и е без съществено значение за хидрогеоложките условия в участъка;

Таблица 2

Обобщени резултати по определянето на ФМС на вместващия масив в лабораторни условия

Видове скали	ЛАБОРАТОРНИ ДАННИ				ДАННИ ЗА МАСИВА						
	$\sigma_{c,ср}$ от/до	$\sigma_{ш}$	C	φ	σ_c^M	$\sigma_{ш}^M$	C^M	φ^M	$\frac{\sigma_c^M}{\sigma_c}$	$\frac{\sigma_t^M}{\sigma_t}$	$\frac{C^M}{C}$
Инжекционни гнайси	187	14	32	37	40	2,5	6	38	0,21	0,18	0,19
Инжекционни гнайси	166	14,7	32	36	61	4,1	6	36	0,37	0,28	0,19
Инжекционни гнайси	82	16,4	22	26	24	4,7	5	27	0,29	0,29	0,23
Инжекционни гнайси	108,8	12,3	25	33	17	1,2	2	35	0,16	0,1	0,08
Инжекционни гнайси	165	27	42	32	66	10	9,2	32	0,4	0,37	0,22
Инжекционни гнайси	170	26,5	40	34	57	4	10	34	0,33	0,15	0,09
Пегматити	103,2	13,2	24	34	13	2,2	3,8	32	0,13	0,17	0,16

Таблица 3

Якостни параметри на образци от скалите.

Образец	Point Load Test $I_{s(s0)}$ [MPa]	Якост на едно- осов натиск σ_c [MPa]
1 ПГ	26,73	59,94
1' ПГ	25,14	55,30
1'' ПГ	26,52	59,47
2 к16	20,69	46,4
3 к 16	15,98	35,83
3' к 16	11,16	24,55
3'' к 16	19,22	43,10

- Вторият водоносен хоризонт е развит в метаморфния комплекс, като водите му са от два типа:
 - пукнатинни – в изветрителната зона, с по-малко количество;
 - пукнатинно-жилни – разпространени най-вече в разломите – основни за участъка.

В процеса на експлоатация на участъка е изследвана естествената напуканост [7]. Установени са четири системи пукнатини с ориентация както следва: I – 320°/85°; II – 184°/69°; III – 238°/61°; IV – 98°/85°. Интензитетът на напуканост в същата последователност е съответно 0,6 m; 0,65 m; 0,7 m и 0,65 m.

Въз основа на публикуваните данни и описаните по-горе изследвания за оценка на структурните характеристики на масива, от нас са приложени геомеханичните класификационни системи RMR, Q и MRMR.

Приложените класификационни системи позволяват да се характеризира “качеството” и механичния статус на вмествания масив в проблемния участък. Поради наличието на отделни неопределености в параметрите (ФМС, напуканост и структурната нарушеност), анализите са правени в диапазон от две оценки – песимистична и оптимистична.

Системата RMR [10] на Биенявски най-общо оценява рейтинга на скалния масив и определя времето на стоене на незакрепена изработка. Получени са следните резултати: $RMR_{max} = 67$; $RMR_{min} = 52$. Получените стойности за RMR (по наличните данни) класифицират масива като II – III клас (“добри” – “задоволителни”) скали. Това според системата означава, че незакрепена изработка с ширина три метра ще започне да губи устойчивост между петия – десетия ден (за ниския рейтинг) и между третия – четвъртия месец за III клас масив.

Втората класификационна система Q [11] определя качеството на масива по-детайлно от RMR системата, като предимството ѝ е, че тя оценява необходимостта от крепеж за сервизните изработки, като препоръчва и типа на крепежната система. Резултатите от класифицирането са: $Q_{max} = 12,94$; $Q_{min} = 3,79$.

За приетите изходни данни, качеството на масива по Q системата е също “добро” – до “задоволително”, но в ниската граница на диапазона. Изработките пресичащи отслабените зони изискват крепене, като резултатите за Q препоръчителния крепеж е лек – до среден и е възможно прилагането на анкерен крепеж.

На база класификацията на RMR е разработена и широко използвана в минната практика класификация на Laubsher MRMR (Mining Rock Mass Rating) [12]. Прилагането на тази класификация определя склонността на масива към обрушаване като задоволителна до средна. Изчислен е и хидравличният радиус, определящ зоната стабилност/обрушаемост, на база подсичащата площ, при изземването на слоя. За получените стойности на MRMR отношението стабилност/обрушаемост е оценено като средно, при $R_h = 22m$.

Изложеният анализ трябва да се приема като първо приближение поради обстоятелството, че някои от основните параметри на класификационните системи са определени косвено (RQD, характеристиките на напукаността от нисък ранг и др.)

Независимо от отбелязаното, резултатите от направената характеристика на масива са в съответствие с практиката на рудника и при осигуряване на необходимата информация, оценките могат да се детайлизират и конкретизират.

За целите на настоящата геомеханична оценка, получените класификационни параметри са приети като интегрални характеристики на вмествания рудната жила масив в проблемния участък.

IV. Ефекти от технологичните въздействия

Технологичните въздействия обуславят и характеризират ефектите на минотехническия режим върху нарушаването на естественото напрегнато състояние на масива и неговите последици. Добивните работи индуцират процеси на преразпределение на действащите напрежения, чиято интензивност е в пряка зависимост от прилаганата технология, мощността на изземване, коефициента на извличане, интензивността и дълбочината на експлоатация. Появяват се зони на концентрация на напрежения, предизвикващи локални разрушения последвани от сработване на зоните, съдържащи нарушения от нисък ранг. Зоните на загуба на устойчивост се увеличават, въвлечат се нарастващи обеми повлиян масив и се инициират процеси на движение, които при стръмнозападащи жилни находища са по-интензивни.

Системи на разработване

При експлоатацията на тънки, до 3 m, стръмнозападащи рудни жили, в практиката се прилагат основно две системи на разработване-система със запълване и система със слоево обрушаване. Тези системи на разработване са използвани и в находище “Димов дол”-участък “Голям Палас”.

Системата със запълване осигурява добро поддържане на иззетите пространства, осигурява плавност на геомеханичните процеси, съпътстващи добива (деформации, слягания, премествания и движения на скалите). Неблагоприятните въздействия намаляват в пряка зависимост от вида и качеството на работа на запълнението.

Най-висока стабилност на системата Вместващ масив/Добивни изработки се осигурява, чрез използване на втвърдяващо се запълнение. Втвърдяващото се запъл-

нение осигурява безопасна работа при минимални загуби и обедняване, съхранявайки устойчивостта на вместващия масив [16]. При използване на хидрозапълнение най-добри резултати се получават при възходящо хоризонтално слоево изземване на рудата и последващо запълнение [15]. За да изпълнява ролята си запълнението трябва да е хомогенно, уплътнено и компактно, а за да се избегнат внезапни разрушения от порово налягане водата трябва да се изведе от него. Изследвания на американското бюро на мините /USBM/ показват, че увеличаването на плътността на запълнението с $1/2$ намалява амплитудите на деформациите също наполовина; съответно, намаляването на порестостта дава пиково нарастване на тангенциалния модул на запълнението. Главният недостатък на хидрозапълнението е, че то е несвързана среда [15].

При системата със слоево обрушаване, по определение, иззетото пространство не се поддържа и няма изисквания за запазване на земната повърхност [14, 15]. В геомеханичен план тази система не ограничава, а стимулира процесите на движение на скалите. Вместващите скали, най-вече се обрушават от висящия блок, но при стръмно западане често се обрушават и скалите от лежащия.

В зависимост от устойчивостта на скалите, обикновено обрушаването на висящия блок закъснява спрямо изземването. Това закъснение е правопрпорционално на подсечената площ и обратно пропорционално на дълбочината и напрегнатото състояние. Закъснението обуславя опасност от внезапно откъсване на значителен обем скали, с което се предизвикват интензивни процеси на преразпределение на напреженията в масива и увеличение на опорния натиск в него. При тази система влиянието на взривните работи е съществено негативно. Забранено е използването на тази система при наличие на неосушени пясъци, суглинки и карстови образувания пълни с вода или с газове [16].

Движение на скалите

Движението на скалите е основна проява на механическите процеси, съпътстващи минните работи, след нарушаването на естественото напрегнато състояние на масива.

Публикувани са изследвания на параметрите на процесите на движение в рудниците на бившия МОК "ГОРУБСО" [7]. За стръмно залягащите, с мощност до 3 т. рудни жили, ъглите на движение и разкъсване се изменят в границите, както следва: $\beta = 62^\circ - 71^\circ$ ($\beta_{\text{cp}} = 67,5^\circ$); $\gamma = 67,5^\circ - 74^\circ$; $\gamma_{\text{cp}} = 72^\circ$ и $\delta_{\text{cp}} = 81^\circ$.

А. Анализ на геомеханичната ситуация

Обща характеристика

В резултат на интензивни и продължителни минни работи е нарушено естественото напрегнато състояние на масива, което е от тектонски генотип. В района, между предпазните целици на шахтите "Голям Палас" и "Рудозем", където са плитко заложените добивни пространства и оставените за защита на коритата на реките неиззети блокове и безрудни стълбове (съставляващи 64% от експлоатационната площ) масивът е непълно подработен.

Изследвания на разпределението на напреженията около плитко заложените добивни пространства (съотношението между размерите им и дълбочината $H/L < 1$) в тектонско поле [13] установяват, че в горнището, концентрациите на напрежение нарастват до 2-2,5 пъти, с което се обуславят интензивни разрушения. В резултат е създадено индуцирано поле на напрежения със сложно разпределение. От друга страна, скалите са отслабени и нарушени, тъй като рудоносната зона е дислоцирана между разломи и скалите са подлагани на тектонска обработка. Тези обстоятелства, наред с прилаганата технология на изземване (до хоризонт 537 м.) чрез слоево обрушаване, вероятно са обусловили и двата типа разрушаване на скалите - както от превишаване на якост, така и от придвижвания на структури, подсечени от експлоатационните блокове. При описаните условия, движенията са с неравномерен характер и амплитуди, а зоните на разкъсване са несиметрични [7, 14]. Всичко това обуславя значителните нарушения на земната повърхност, регистрирани над експлоатационните участъци. [1]

В района са реализирани три разкъсвания с голяма площ в северозападната, централната и южната част над рудничното поле. В границите на зоните на разкъсване са произлезли мащабни внезапни пропадания. Така например, пропадането в централната зона е с площ над 4800 m^2 , а зоната на разкъсване е приблизително с четирикратно по-голяма площ. Значителна по площ е зоната на разкъсване в северозападната част, в района на шахта "Голям Палас". От допълнително изисквания и предоставен ни от Заявителя ситуационен план на повърхността е видно още, че: двете зони на разкъсване, в участъка между шахтите, са разделени само от масива неиззети блокове С1-6 и С1-21, оставени за охрана на речните корита и на шосето Рудозем-Смолян. Границите на зоните на разкъсване, обаче са в непосредствена близост до шахтите, (~25 м до ш. "Голям Палас" и до ш. "Рудозем" ~ на 40 м).

В предоставената ни и проучена от нас информация няма данни за времето на възникване, развитието, дълбочината и/или обема на пропаданията. Публикуваните изследвания на движенията на скалите [7] съдържат само крайните резултати и не позволяват анализ на характера, продължителността и стадия на развитие на процесите на движение.

От хоризонт 537, в дълбочина, запасите в границите на околошахтовия целик на ш. "Голям Палас", запасите са иззети чрез система с хидрозапълване. Добивните работи, по този начин, развити до хор. 290, най-вероятно, заради предимствата на запълването като метод за управление на скалния натиск и ограничаване на процесите на движение на скалите.

Характеристика на проблемния участък в района на бл. С1-3.

Поради обстоятелството, че наличната информация и експериментални данни са недостатъчни по количество и непълни по обхват, параметрично изследване и анализ на геомеханичната обстановка не могат да бъдат извършени. В настоящата оценка, ще се ограничим до съставянето на качествена картина на съществуващата геомеханична ситуация, да систематизираме рисковите фактори и тяхно-

то вероятно развитие при извършване на добивни работи за изземването на бл.С1-3. На фигура 6, в помощ на изложението, е показана част от геоложкия разрез по рудната жила в границите на блока.

Планираният за изземване блок се намира на дълбочина 470 м., ограничен във вертикала от хоризонти 290/240, а в равнината е разположен между условните граници на околошахтовите целици, по близо до ш."Рудозем", на ЮИ. В блока е дислоцирана част от рудната зона с дебелина ~2-6 м. и простиране около 250 м. Жилата е стръмнозападаща, като параметрите и на залягане съвпадат с тези на зоната на орудяване-простиране на СИ-ЮЗ (300°-350°) и изменящ се наклон-60°-90° (СЗ-ЮИ), (вж. Фиг. 1). Вместващите скали са тектонски обработени, променени и обводнени от подземните води.

Основните геомеханични фактори, определящи реакцията на масива при изземването на блока са:

Сложно поле на индуцираните напрежения

Естественото напрегнато състояние на масива е нарушено от извършените добивни работи до момента. В частта от масива, над хор.290 главното напрежение е вертикално и се определя от теглото на горе лежащата нееднородна среда, състояща се от обрушени скали и хидрозапълнението. Наличието на неиззетите целици и безрудните стълбове, както и взаимното разположение на иззетите пространства в равнината и по вертикала обуславят локални концентрации на напрежения и засвоявания с неизвестно разпределение.

В дълбочина, под хор.290 напрегнатото състояние на масива е съвършено различно. Тъй като в равнината земната кора тук не е нарушена от добивни работи по цялото руднично поле, действуват тектонски (хоризонтални/субхоризонтални) напрежения. Максималният тектонски натиск - $\sigma_T \max$ е в направление СИ-ЮЗ, а минималният тектонски натиск $\sigma_T \min$ (относителен опън) е с направление СЗ-ЮИ. Конфигурацията на полето на напрежения в блока е резултат от взаимодействието между гравитационната и тектонските компоненти и големините им не могат да бъдат определени без специални "in situ" измервания.

Характеризация на вместващия масив

Извършените от нас лабораторни якостни изследвания, въпреки уговорката за недостатъчния брой образци, при всички тестове показват устойчива тенденция за пониски якостни свойства, както и анизотропия на якост на вместващите скали, изграждащи бл.С1-3.

Многопараметровите класификационни системи (RMR и Q), приложени за анализ, определят структурния статус на масива в диапазона "добър-задоволителен". Това означава, че вместващият масив, при песимистичните оценки, ще бъде с ниска устойчивост и че за поддържането на изработките в него трябва да се използва крепеж, или анкериране. Наличието на подземни води намалява както физико-механическите, така и структурните характеристики на масива.

Технологични въздействия и реакция на масива.

При евентуалната експлоатация, добивните пространства ще са дълбоко заложени ($H/L > 1$), в условията на тектонско поле на напрежения. Максимални концентрации на напрежения в горнището на изработките ще се породят от гравитационния натиск, по стените им ще са обусловени от тектонските компоненти, а в зоните на опорния натиск-от взаимодействието между вертикалните и хоризонтални напрежения. Класификационната схема MRMR, определяща влиянието на подсечения площно от блоковете масив, в зависимост от структурните му свойства не дава предимство на отношението устойчивост/обрушаемост в обхвата на получения хидравличен радиус ($R_h = 22 \text{ m.}$), а влиянието на добивните пространства върху околния масив се определя като значително.

Устойчивостта на етажните минни изработки, при равни други условия, не зависи от тяхната ориентация спрямо направлението на действие на тектонските компоненти. Когато трасетата на изработките съвпадат с направлението на $\sigma_T \max$ (СЗ-ЮИ), те ще са в по-добра геомеханична ситуация и обратно, когато осите им съвпадат с направлението на $\sigma_T \min$ (относителен опън) т.е. в направление СЗ-ЮИ, те ще имат по-ниска устойчивост.

VI. Изводи

Вследствие на добивните работи, в участък "Голям Палас" на рудник "Димов дол", в годините, е създадена сложна геомеханична обстановка. В процеса на експлоатация масивът нееднократно е губил устойчивост, като проявите и са достигали земната повърхност, за което свидетелстват мащабните разкъсвания на терена над експлоатационните блокове.

По същество, масивът, изграждащ проблемния участък, се състои от две съвършено различни по свойства физически среди. С изключение на неиззетите целици, охраняващи реките, масивът в дълбочина, от повърхността до хор.290 представлява несвързана среда, състояща се от обрушени скали и запълнение.

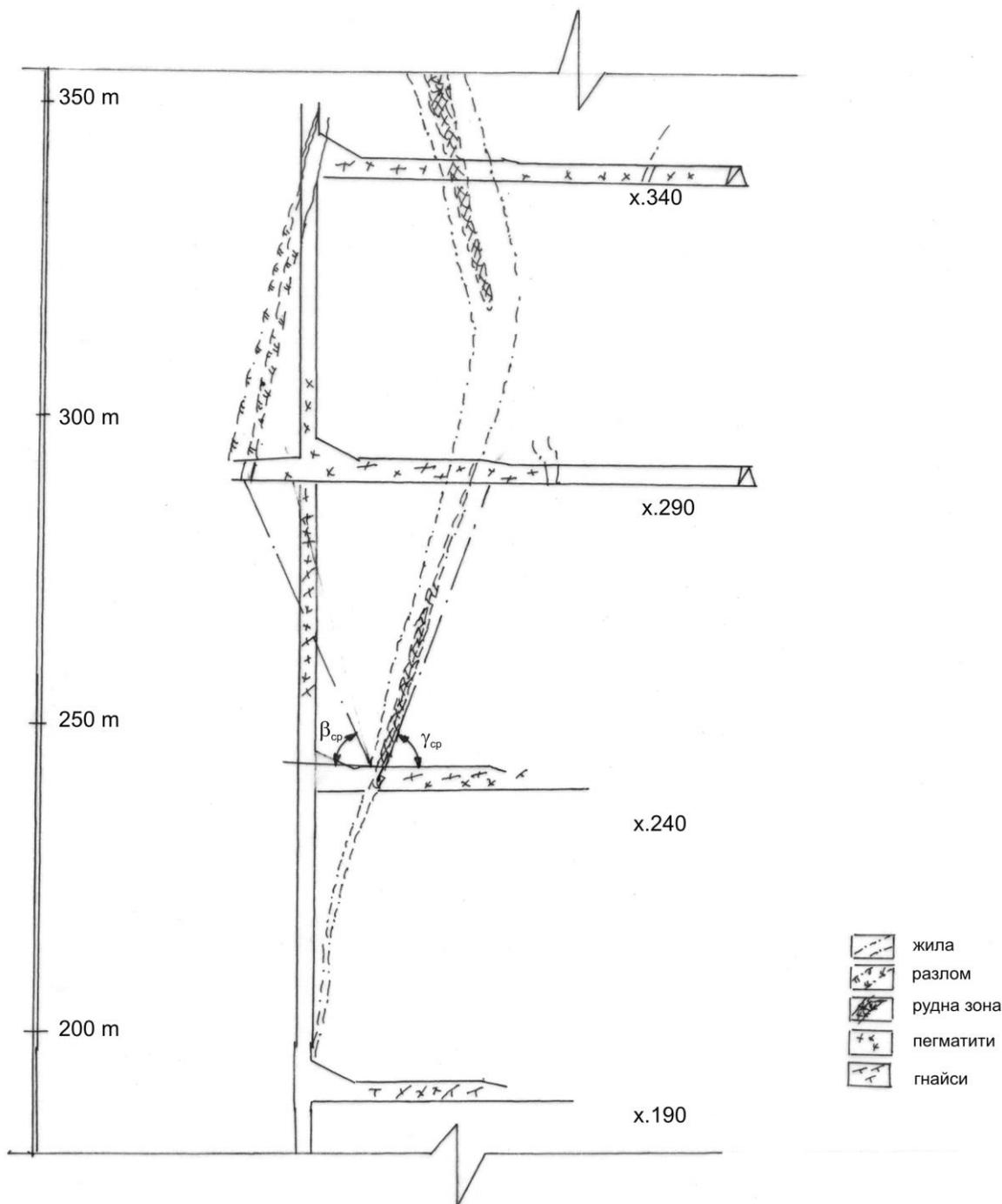
От хор.290 надолу скалният масив, вместващ рудния залеж е в естественото си състояние и е изграден предимно от изменени гнайси и пегматити, отслабени от претърпени тектонски въздействия.

Напрегнатото състояние на масива над хор.290, най-вероятно е от гравитационен тип, със сложно и неизвестно разпределение, тъй като вмества в себе си неиззети обеми, ненарушени от минни работи скали. Напрегнатото състояние на този масив се определя единствено от неуправляеми и неконтролируеми, вътрешни и външни за системата "Вместващ Масив/Добивни изработки" фактори. Напрегнатото състояние, в района на бл.С1-3, който е част от ненарушената земна кора по цялата територия на рудника, е обусловено от взаимодействието между гравитационната и тектонските компоненти на напрежения, чието разпределение е анализирано в т. II. 1.

Масивът, над хор.290 се намира в условията на неустойчиво равновесно напрегнато състояние. Този извод се

базира на факта, че изземването на сравнително неголемия обем запаси в бл.С1-20 е последвано от нова загуба на устойчивост.

Поради липса на информация за времето на възникване на теренните разкъсвания и тяхното развитие не е възможно да се определи настоящия етап на процеса на движение, след нарушаването на напрегнатото състояние на масива от минните работи.



Фигура 6 Геоложки разрез на рудната жила в района на блок С1-3.

VI. Заключение

Решението за изземването на бл.С1-3 трябва да бъде съобразено с **категоричното условие за запазване на съществуващото, нестабилно равновесно състояние на масива** над хор.290 и поведението му на несвързана среда. Реализираното изземване на бл.С1-20 може да се разглежда като натурен експеримент, доказал ниското ниво на устойчивост на вмествания масив. Тук е мястото

да се отбележи, че обемът, подлежащ на изземване в проблемния бл.С1-3 надхвърля почти четири пъти обема на бл.С1-20. Тектонският генотип на напрегнатото състояние на бл.С1-3, сравнително ниските физикомеханични и структурни характеристики на скалите, както и на обстоятелството, че дори при средни стойности на ъглите на движение е много вероятно да се формира зона на движение, засягаща както ш."Голям Палас", така и горележачия масив до целика, охраняващ реките (на С3) и околността в

близост до ш. "Рудозем", на ЮИ. За онагледяване на казаното, ъглите на движение, по средни стойности са показани на фигури 1 и 6. Известен е чуждестранен опит от практиката, при работа в сходни условия [14, 15], който е установил следните особености:

- прилагането и на системата със слоево обрушаване и на системата със запълване увеличават ъглите на движение с 4° - 5° ;
- наличието на разломи, на голяма дълбочина, в условията на тектонско поле, освен че усложняват добивните работи, предизвикват внезапни провалявания и увеличават продължителността на процеса на движение на скалите;
- подземните води, в голямото си количество, обикновено се съдържат във висящия блок и могат да наводнят шахтата, ако не са се дренирали;
- при изземване на околошахтов целик, ако той е включен във вентилационната схема могат да възникнат проблеми от загуби на вентилационна струя.

При решение за изземването на бл. С1-3, преди технологичния проект, трябва да се изготви проект за изграждането на подземни и наземни станции за измерване на деформациите и движенията на масива, съпътстващи добива. Началните отчети от измерителните станции трябва да предхождат добивните операции.

Въз основа на представената геомеханична оценка, изложените геомеханични условия и произтичащите от тях технологични ограничения, **най-подходящ метод на добив при конкретния случай е изземването на слоеве и последващо запълване с втвърдяващо се запълнение при възходящ ред на добивните работи.**

Достоверността на извършената геомеханична оценка, направените изводи и дадените заключения са в пряка

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Подземно разработване на полезни изкопаеми", МТФ

зависимост от достоверността на предоставената ни и публикувана информация.

Литература

1. Обяснителна записка и графична част, описани в текста.
2. Белов, Н. И. "Методические рекомендации по изучению н.д.с. горных пород на различных стадиях геологоразведочного процесса" МР-41-06-079-86, 1987.
3. "Геомеханическое обеспечение разработки месторождения Кольского полуострова" Апатиты, 1989.
4. Иванов В. "Усъвършенствуван вариант на метода на частично разтоварване за експериментално изучаване на н.д.с. на скалния масив" Годишник ВМГИ, 1987.
5. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород, М. Недра, 1975.
6. E. T. Hoek Rock Engineering AA Balkema, Rotterdam, 2001.
7. Хрисчев, Г. и др. "Опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни работи", Техника, 1978.
8. Point Load Test, IBSM, Katowice, CMI, 1995.
9. Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM, Pergamon, 1981.
10. Bieniawski, Z. T. Engineering Rock Mass Classification, NY, Wiley, 1989.
11. Barton et al, Application of the Q-system in design decisions, NY, Pergamon, 1980.
12. Миланович, П. Класификация стенског масива и нѝихови примена, РГФ, Београд, 1997.
13. "Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок". Наука, 1978.
14. Турчанинов, И. А. "Основы механики горных пород" Л. Недра, 1989.
15. Budavari, S. Rock Mechanics in Mining Practice, SA IMM, Johannesburg, 1983.