

# RQD массивінің бұзылу көрсеткіші негізінде құрылған кенорнының оңайлатылған геомеханикалық моделін әзірлеу және қолдану

<sup>1</sup>АНАНИН Александр Иванович, т.ф.к., директордың орынбасары, aia57@yandex.ru,

<sup>2</sup>ТУНГУШБАЕВА Зухра Кыдыргазиновна, т.ф.к., қауымдастырылған профессор, zuhra06@mail.ru,

<sup>3</sup>МАКАРОВ Александр Борисович, т.ф.д., геомеханика бойынша сарапшы, abm51@mail.ru,

<sup>2</sup>АПШИКУР Байтак, т.ф.к., профессор, bake.ab@mail.ru,

<sup>2\*</sup>БЕРІКБОЛУЛЫ Арман, магистр, оқытушы, berikboluly.artan@mail.ru,

<sup>1</sup>«ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК филиалы «ВНИИцветмет», Қазақстан, Өскемен, Промышленная көшесі, 1,

<sup>2</sup>«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Өскемен, А.К. Протозанов көшесі, 69,

<sup>3</sup>«Қазақмыс корпорациясы» ЖШС, Қазақстан, Қарағанды, Бұқар-Жырау даңғылы, 141,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** RQD массивінің бұзылу көрсеткіші негізінде құрылған Ақбастау кенорнының оңайлатылған геомеханикалық моделін әзірлеу туралы деректер келтірілген және оны қолдану мысалдары көрсетілген. Тау-кен-геологиялық ақпараттық жүйелердің заманауи цифрлық технологиялары геологтарға қорларды есептеу үшін кен орындарының үш өлшемді геологиялық модельдерін жасауға, жоспарлаушыларға жобалау процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді, ал кеншілер тау-кен жұмыстарын жедел жоспарлау және сүйемелдеу үшін қызмет етеді. Тау-кен өндірісін цифрландырудың осы үрдісінің қисынды жалғасы кенорнын игеру параметрлерін ғылыми негіздеуге және массивтің жағдайын басқару бойынша шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін кеніштің геомеханикалық моделін құру тәжірибесі болды. Ол келесі ақпараттық қабықшаларды қамтиды: массивтің геологиялық, құрылымдық, гидрогеологиялық, механикалық қасиеттері. Мұндай модельді жасау өте күрделі, көп уақытты қажет ететін және қымбат процесс.

**Кілт сөздер:** геомеханикалық модель, тау жыныстарының массиві, тау жыныстарының сапасы, массивтің бұзылу көрсеткіші, қазу жүйесі, жарықшақтық көрсеткіші, метасоматиттер массиві, этаж аралық құлау қазу жүйесі, сапа индексі, Leapfrog бағдарламасы.

**Кіріспе.** Кенорнын немесе жекелеген кен денелерін ашу және дайындау кезеңінде, геотехникалық деректердің ауқымды базасы болмаған кезде, геомеханикалық модель құру мүмкін емес. Барлау және эксплуатациялық барлау ұңғымаларын бұрғылау деректерін пайдалануға болады, олар кендегі пайдалы компоненттің құрамын ғана емес, сонымен қатар массивтің литологиясын, оның механикалық сипаттамалары мен бұзылуын анықтайды және жеңілдетілген геомеханикалық модель жасайды. Бұл жобалау кезеңінде, мысалы, ашу және дайындық қазбаларын салудың оңтайлы орнын анықтауға, бекітпенің түрі мен параметрлерін таңдауға мүмкіндік береді.

**Материалдар және зерттеу әдістері.** Жеңілдетілген геомеханикалық модельде RQD (Rock Quality Designation) өзегінің кесінділігі бойынша массивтің бұзылу көрсеткіші пайдаланылды, өйткені ол сынған массивтің беріктігін анықтайды [1, 2]:

$RQD = (\text{негізгі бөліктердің ұзындықтарының қосындысы } 10 \text{ см-ден ұзын}) / (\text{өзектің жалпы ұзындығы}).$

RQD мәні бойынша тау жыныстарының массиві келесі кластарға бөлінеді:

- бұзылмаған тау жынысы – RQD = 100%;
- үлкен блок – RQD = 80-100%;
- орташа блоктар – RQD = 50-80%;
- кішкентай блоктар – RQD < 50%;
- қабатты (анизотропты).

RQD 1 метр ұңғыманың жарықтар санын анықтайтын жарықшақтық жиілігімен (FF) тығыз байланысты (кесте).

Жеңілдетілген геомеханикалық модель ашық әдіспен 200 м тереңдікке дейін өңделген Ақбастау мыс-мырыш кендерінің колчедан кенорны үшін құрылған. Терең деңгейжиектерді жер асты тәсілімен өңдеу туралы шешім қабылданды және 2020 жылы көптеген аз қалыңдықтағы және орташа қалыңдықтағы линзалармен ұсынылған

оңтүстік-шығыс (ОШ) кен аймағының тасымалдау және желдету еңістерімен ашу басталды (1-сурет).

Мақалада этаж аралық құлау қазу жүйесі бойынша, орташа мыс мөлшері 2,76% болатын 670 м қабаттан жоғары Оңтүстік-Шығыс кен аймағының 1,2 млн тонна кенін өңдеу қарастырылған.

Ашылатын еңістердің орнықтылығының алдын ала болжамы Q Бартон алаптарының сапа индексын бағалау негізінде орындалған. Болжам көрсеткендей, беріктігі төмен және метасоматиттерді жібітуге бейім болғандықтан, массивтің тектоникалық ақаулармен (массивтің 15%) және жарықтармен қатты бұзылуынан (массивтің 50%-ы RQD бар 43%), тереңдігі 100 м-ден 300 м-ге дейін өсетін Ақбастау жерасты кенішіндегі тұрақсыз жыныстардың үлесі 40%-дан 66%-ға дейін артады. Құмтастар, туфопесчаниктер, алевролиттер және руда орташа төзімді жыныстарға жатады.

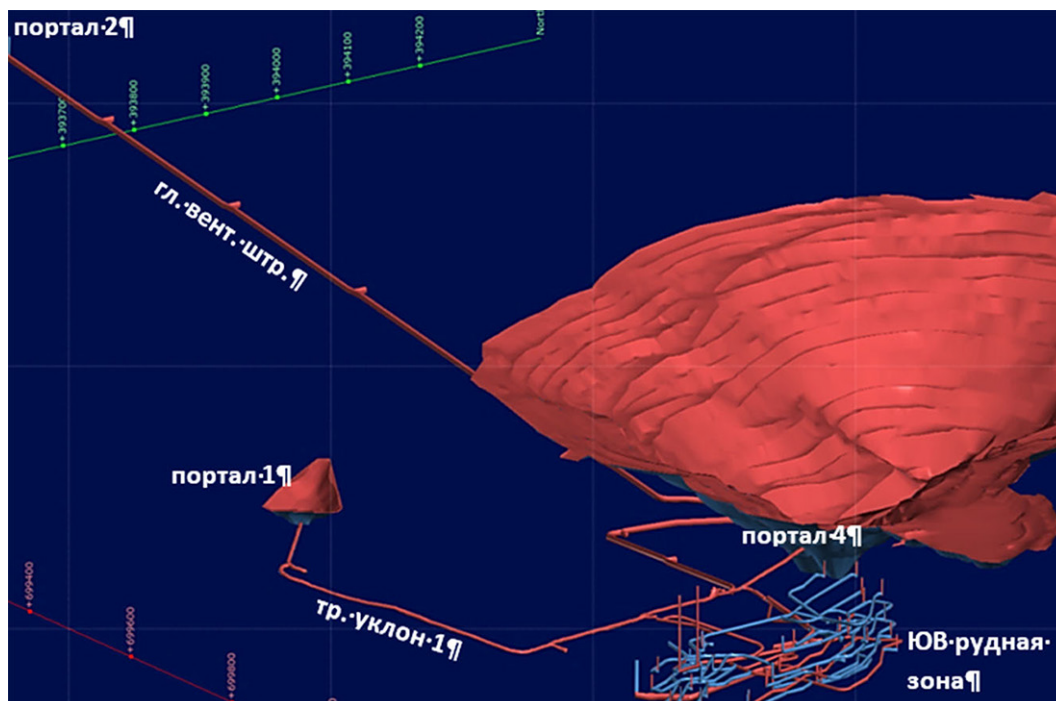
Массивтің жарықтығын корпорацияның геомеханикалық қызметі карьер беткейлерінде зерттелді. Негізгі (ең жиі кездесетін) бірінші және

екінші жарықтар жүйелері кен денелерінің құлауымен және солтүстік-шығыс пен шығысқа қарай орналасқан жыныстардың бүкіл қалыңдығымен сәйкес келеді. Бірінші екі жарықшақ жүйесіне қатысты үшінші жүйе секциялық болып табылады. Негізгі жүйелермен созылған дауыссыз жарықтың төртінші жүйесі құлаудың қарама-қарсы бағытына ие. Жарықшақтар жүйесін бағдарлау кен қазбаларындағы орта және одан жоғары жыныстардағы және (әсіресе маңызды) кендегі үйінділерді кинематикалық талдау үшін қажет.

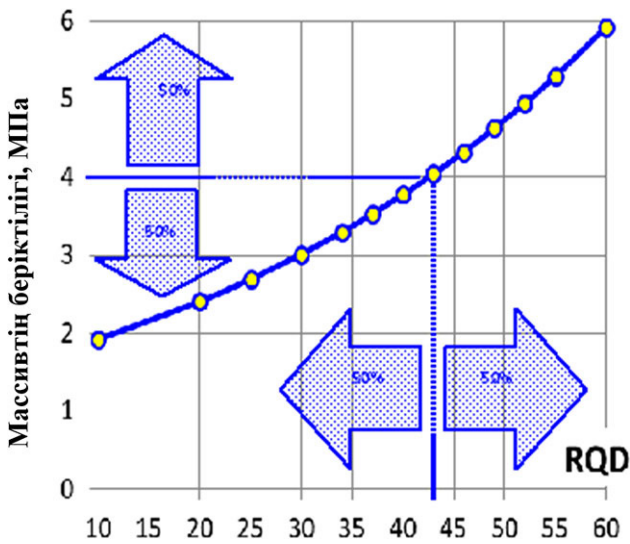
Тұрақсыз метасоматиттердегі қазбалардың жай-күйін болжау үшін RQD көрсеткішімен сипатталатын массивтің жарылу қарқындылығы өте маңызды. Бұрын жасалған болжамдарда  $\sigma_m$  метасоматиттердің RQD-ден жарылған массивінің беріктігіне тәуелділік орнатылған (2-сурет). Ол  $UCS = 38 \text{ МПа}$  үлгісінде,  $\text{Хука } m_i = 13$  көрсеткішінде тау жыныстарының беріктігіне есептелген.

Сыну неғұрлым күшті болса (RQD мәні аз болса), массивтің беріктігі соғұрлым төмен бола-

| Жарықшақтық пен RQD арасындағы байланыс |       |       |                        |
|---|-------|-------|------------------------|
| Тау жынысының сапасы                    | FF    | RQD   | Жарықшақтық көрсеткіші |
| Өте бұзылған                            | >17   | 0-20  | ұсатылған              |
| Жаман                                   | 12-17 | 20-40 | қатты жарықшақтығы     |
| Мықты                                   | 7-12  | 40-60 | орташа жарықшақтығы    |
| Жақсы                                   | 4-7   | 60-80 |                        |
| Өте жақсы                               | 1,5-4 | 80-90 |                        |
| Жоғары дәрежеде жақсы                   | <1,5  | >90   | сәл жарықшақтығы       |



1-сурет – Оңтүстік-Шығыс кен аймағын тасымалдау еңістерімен ашу



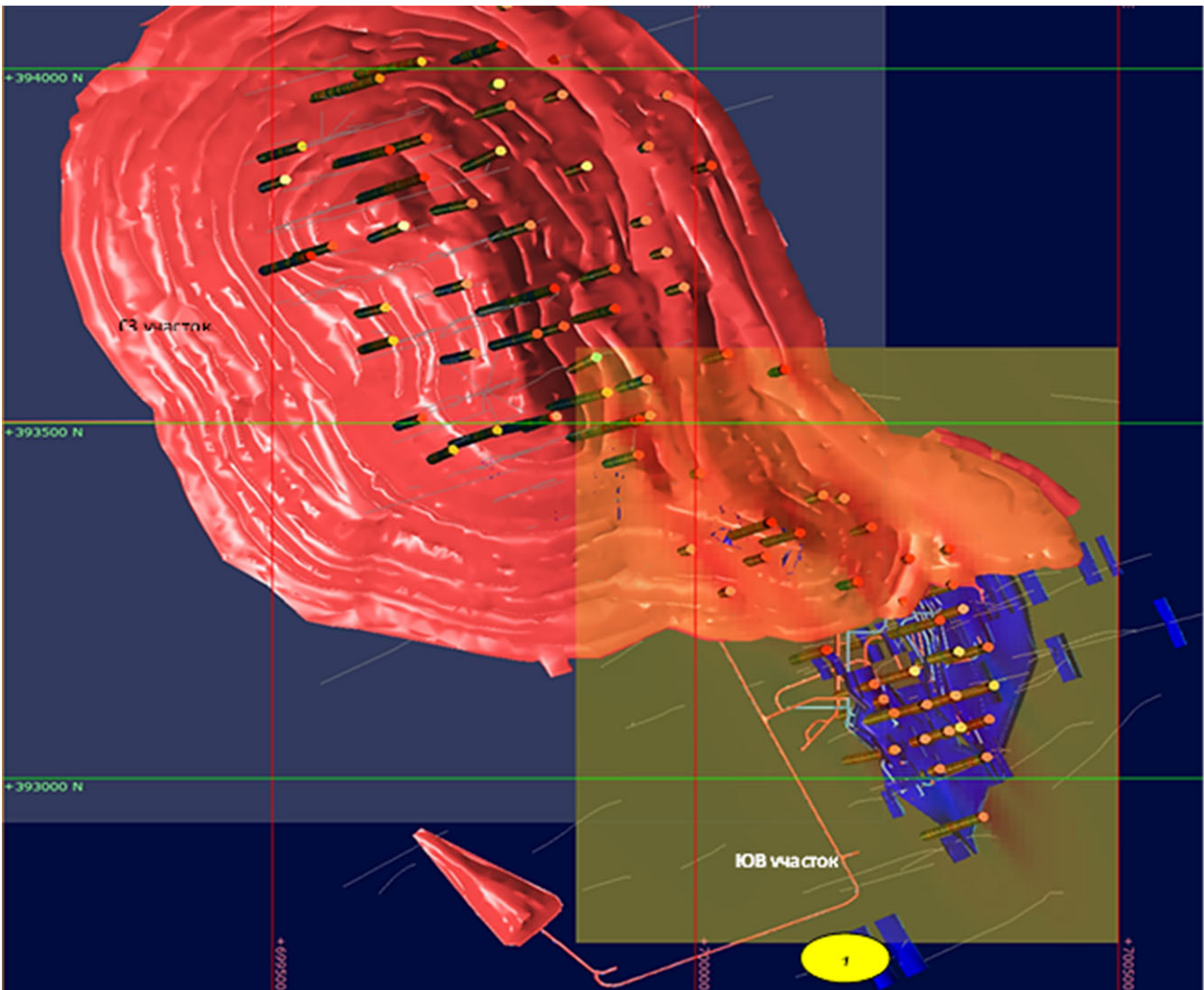
2-сюрет – Метасоматиттер массивінің беріктілігінің оның бұзылу дәрежесіне тәуелділігі

ды, өндіріс контурының артындағы массивтің бұзылуы соғұрлым көп болады, бекітпеге жүктеме

соғұрлым көп болады, оны ұстап тұру үшін проблемалар мен шығындар көп болады. Сондықтан өндірісті жарықшақтық қарқындылығы төмен массивтерге орналастырған жөн [3].

Қазбалардың орналасуын оңтайландыру үшін оларды аз бұзылған (яғни неғұрлым төзімді) жыныстарда жобалай отырып, Ақбастау кенішінің кен аймағының ОШ массивінің оңайлатылған 3 өлшемді геомеханикалық моделі жасалды. Жеңілдетілген геомеханикалық модельде RQD массивінің бұзылу көрсеткіші қолданылады, өйткені ол сынған массивтің беріктігін анықтайды (2-сюрет).

Ақбастау кен орны учаскесінде RQD ОШ блоктық моделін құру үшін солтүстік-батыс және оңтүстік-шығыс учаскелерде жете барлау ұңғымалары пайдаланылды. Жалпы тереңдігі 19025 және 11425 м болатын 56 және 37 ұңғыма бұрғыланды. Барлау желісінің тығыздығы 20-40 м-ге жетті. Барлау кезінде геологиялықпен қатар RQD анықтамасымен негізгі геотехникалық сипаттама жүргізілді. 3-сюретте бар карьердің контуры, барлау ұңғымалары мен кен денелерінің проекциясы бар жағдайлық жоспар көрсетілген.



3-сюрет – ОШ кенді аймағындағы массивінің RQD (1) блоктық моделі жоспарындағы шекаралары

Блок моделінің кеңістігіне ұзындығы 1÷3 м RQD анықтау 4032 аралығы бойынша деректерді интерполяциялау параметрлері бар сфероидты интерполяция пайдалана отырып RBF әдісімен Leapfrog бағдарламалық қамтамасызда өндіріледі: жалпы шегі 700 дисперсия кезінде 736 және базалық диапазоны 150 м. RQD интерполяцияланған мәндері блоктың өлшемдері 10×10×10 м болатын массивтің блоктық моделімен толтырылған. 780 м белгісіндегі массивтің блоктық моделі жоспарындағы көрініс 4-суретте көрсетілген.

Блоктық модельде ең көп кездесетін RQD=43% мәні сары түске боялған. Қызғылт сары және қызыл тондар (кему ретімен) аз RQD мәндері бар блоктармен толтырылған, яғни, бұл массивтің қарқынды бұзылған және аз беріктігі бар блоктары/учаскелері жатады. Өте қатты бұзылған блоктар қызыл түске боялған, яғни, RQD 0%-ға жақын. Бұл тұрақтылығы төмен ұсақтау және тектоникалық бұзылу аймақтары болып келеді. Үлкен RQD мәндері бар массив учаскелері/блоктары, демек, үлкен беріктігі мен тұрақтылығымен олар (өсу ретімен) ашық жасыл – жасыл – көгілдір – көк түстерге ие. Көк блоктар – бұл RQD 100%-ға жақын массив бөліктері. Әдетте, бұл күшті, төзімділігі жоғары әлсіз бұзылған таужыныстары.

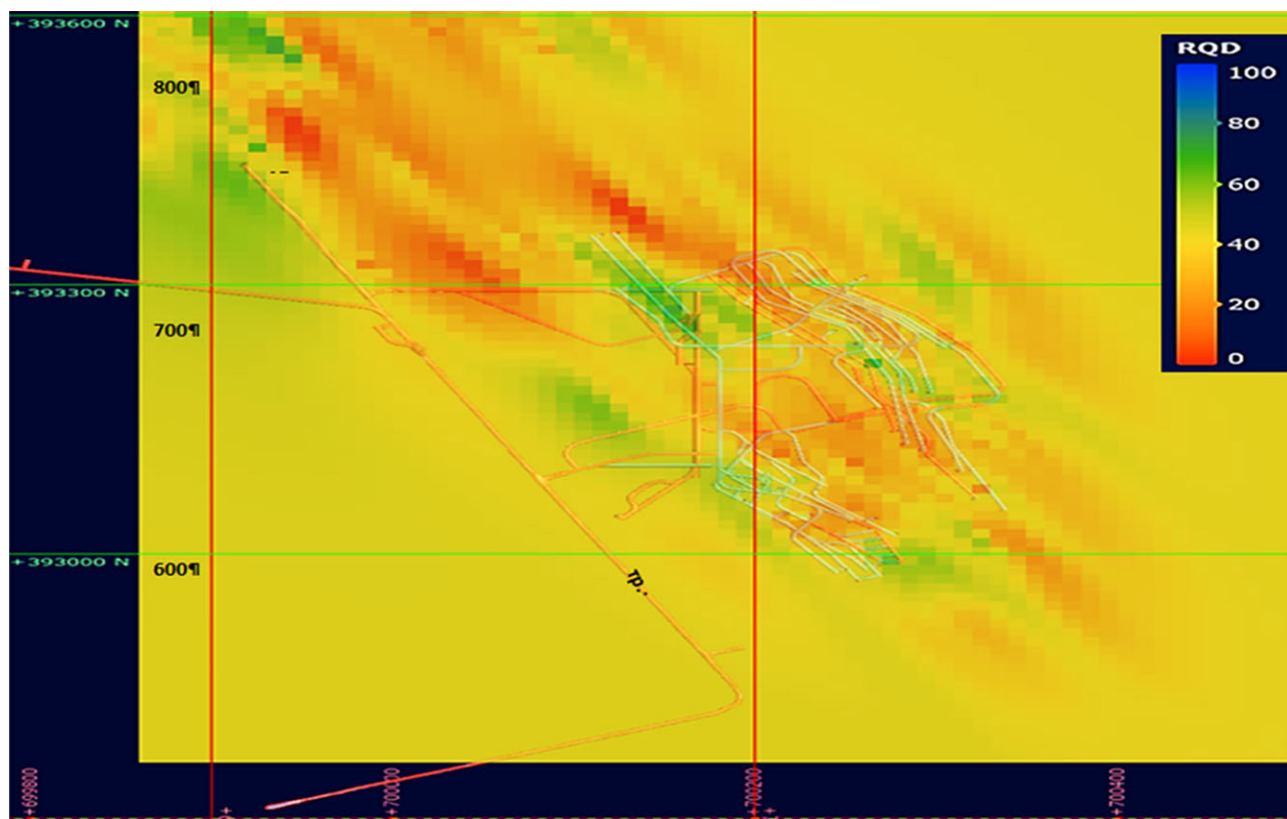
RQD массивінің жеңілдетілген блоктық геомеханикалық моделіне енгізілген ақпараттың көмегімен, дайындық қазбаларының жобалық орналасуын түзету арқылы кен аймағының ОШ

дайындау жобасын оңтайландыруға болады. Жобалық жұмыстарды тұрақсыз жыныстары бар сарғыш-қызыл учаскелерден орташа тұрақты және одан жоғары жасылдарға ауыстыру арқылы, оларды ұңғылау мен қызмет көрсету жағдайларын едәуір жақсартуға болады [4].

Мысалы, 5-суретте 690 м аралық этаждағы RQD массивінің таралуы көрсетілген. Оған 4-порталдан карьердің оңтүстік бортында 680 м белгісімен өтілген, 1-ші көліктік еңісте 04.02.2020 ж. құлау орны (көк түспен бөлінген) бейнеленген.

Блок моделіне сәйкес құлау орнында массив RQD = 30% (қызғылт сары толтыру) алады. Берілген нүктедегі жарылған массивтің беріктігі  $\sigma_m = 3$  МПа (3-сурет). Бартон бойынша мұндай массивтің сапа индексі  $Q = 3$ -ке тең, бұл тұрақсыз жыныстар санатына сәйкес келеді. 1-ші көліктік көлбеуінің бүкіл трассасында құлау орын алған массивтің учаскесі минималды RQD мәніне ие, яғни минималды беріктік пен ең аз тұрақтылыққа ие болады. Алдыңғы 1-ші көліктік көлбеу интервал RQD = 60÷80% (жасыл толтыру) массивінде өтті. Мұндай массивтердің сапа индексі  $Q = 11÷17$  тең. Олар төзімді таужыныстар. Осылайша, массивте көлбеу құлауы трассада ең нашар сапаға ие бөлігінде болды. Бұл фактіні кен аймағының ОШ массивінің салынған оңайлатылған геомеханикалық моделінің дұрыстығын нақтылау (растау) деп санауға болады.

Жоба бойынша осы ауданда жарылғыш материалдарды сақтайтын учаскелік қойма салынуы



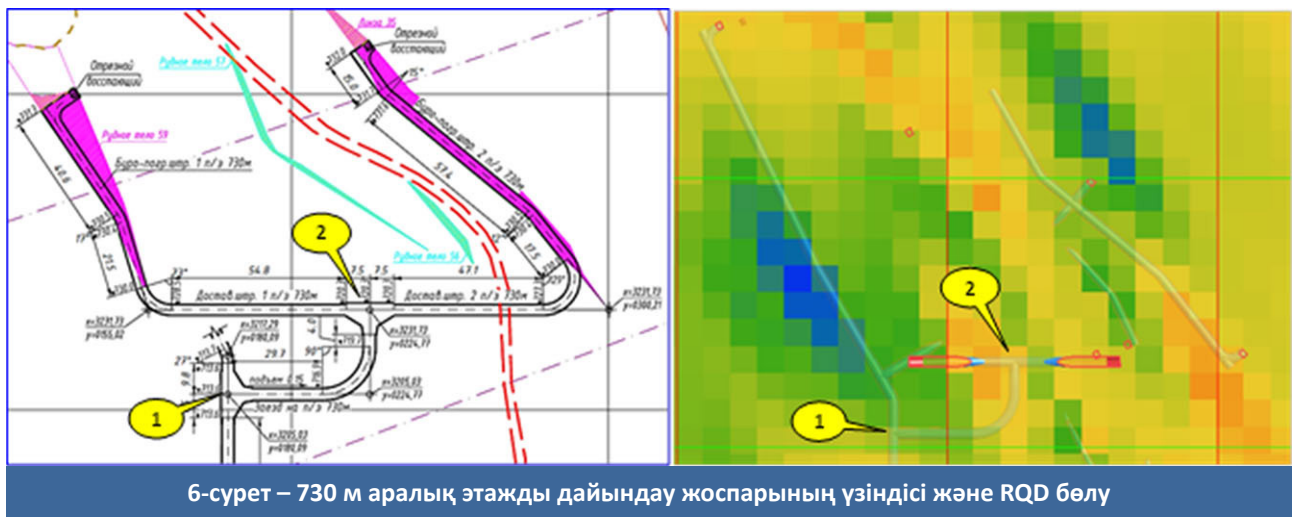
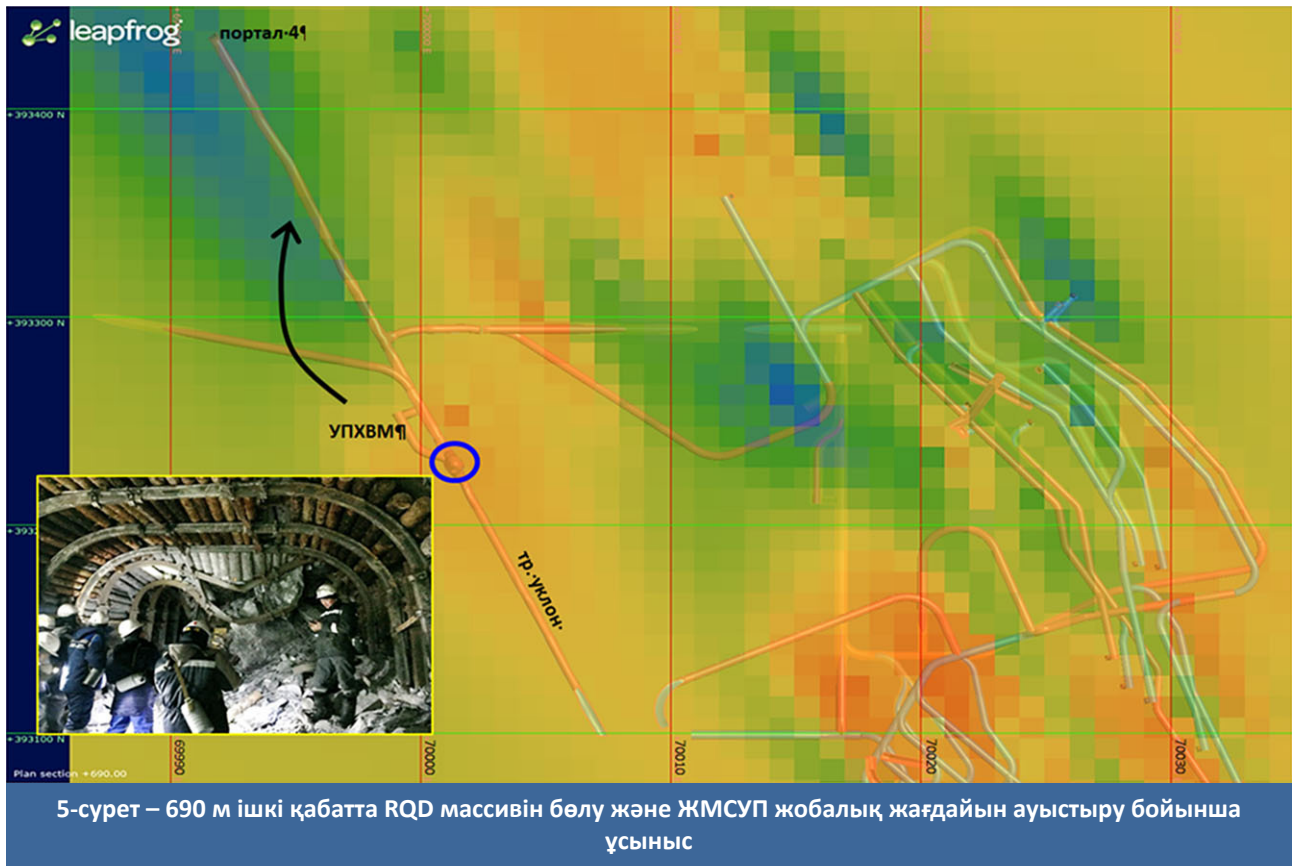
4-сурет – ОШ кенді аймағындағы массивінің RQD блоктық геомеханикалық моделі

тиіс (ЖМСУП). Ол  $RQD = 30\div 40\%$  (қызғылт сары толтыру) бар тұрақсыз массивте жобаланған. ЖМСУП-ті тұрақты күйде ұстау және әсіресе оны көлбеумен біріктіру өте қиын болатыны түсінікті. Ол жасыл түске толтырылмаған төзімді жыныстарда орналасуы үшін, оны қайда ауыстырған жөн екендігі 5-суретте көрсетілген.

RQD массивінің әзірленген жеңілдетілген блоктық геомеханикалық моделі Ақбастау кенішіндегі жобалық шешімдерді түзетуге мүмкіндік береді, әсіресе ұтымды байланыс орындарын таңдағанда. Мысал үшін, 6-суретте 730 м

аралық этажды дайындаудың жобалық жоспарының үзіндісі және осы ауданда RQD таралуы көрсетілген.

1 Т-тәріздес байланыста  $RQD = 57\%$  және беріктігі  $\sigma_m = 5,5$  МПа бар жақсы массивте жобаланған. Мұндай массивтің сапа индексі  $Q = 7$  тең және оның тұрақтылық категориясы – орташа. Бұл байланыс жақсы жағдайда және оның жағдайын түзетудің қажеті жоқ. Тек солтүстікке қарай небәрі 10 м қашықтыққа алып тастаса да RQD массиві 63%-ке дейін артады, массивтің сапа индексі  $Q = 8$  дейін өседі. Массивтің тұрақтылық катего-



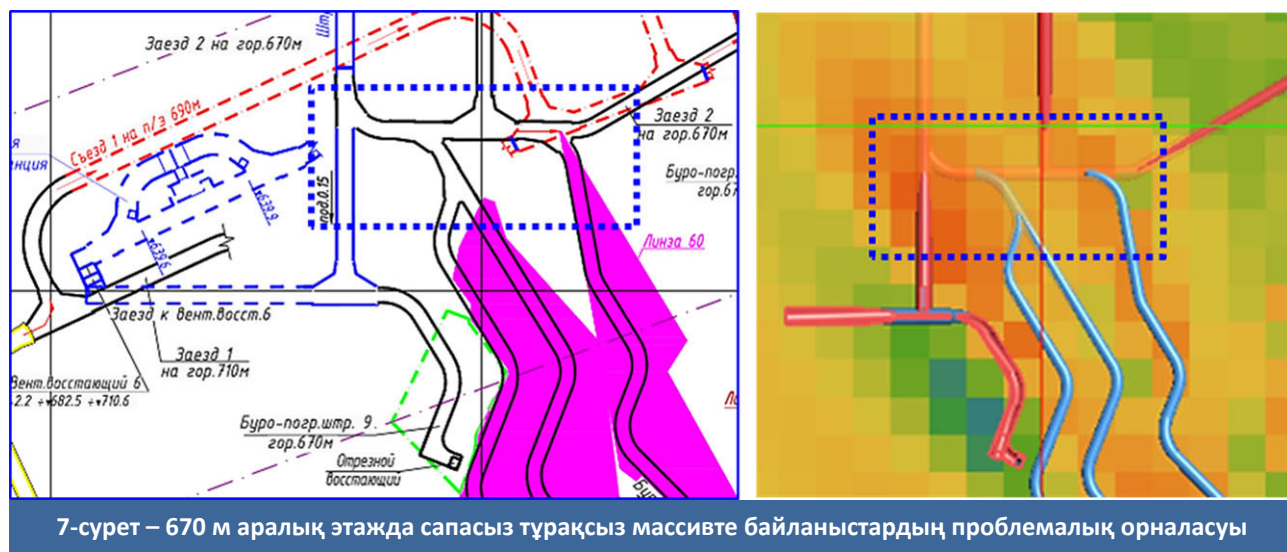
риясы орташа болып қалады, бірақ тұрақтыға жақындайды.

2 Т-тәріздес байланыста  $RQD = 36\%$  және беріктігі  $\sigma_m = 3,5$  МПа бар нашар массивте жобаланған. Мұндай массивтің сапа индексі  $Q = 4$  тең, массивтің тұрақтылық категориясы – орташа тұрақтылық пен тұрақсыздық арасындағы шекарада. Егер бұл байланысты шығысқа қарай небәрі 10 м ауыстырса, онда ол массивте  $RQD = 54\%$ , беріктігі  $\sigma_m = 5,0$  МПа және сапа индексі  $Q = 10$  болады. Мұндай массивтің тұрақтылық категориясы – тұрақты. Сондықтан байланысты шығысқа қарай 2-ден 10 м-ге ауыстыру ұсынылады [5,6].

Тағы бір мысал 7-суретте келтірілген. 670 м

аралық этажда  $RQD = 13 \div 25\%$  және  $Q = 1 \div 2$  мәндері төмен тұрақсыз массивте 5 жақын орналасқан байланыстар (қызыл түспен белгіленген) жобаланған. Мұндай нашар массивте байланыстыру деректерін сақтау мүмкін емес. Сондықтан басқа жобалық шешімді іздеу керек.

**Қорытынды.** Кен орнының жеңілдетілген геомеханикалық моделі,  $RQD$  массивінің бұзылу көрсеткіші негізінде құрылған, басқа геотехникалық деректер болмаған жағдайда да ашу және дайындық қазбаларының орнықтылығы тұрғысынан оңтайлы орындарды таңдау мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.



7-сурет – 670 м аралық этажда сапасыз тұрақсыз массивте байланыстардың проблемалық орналасуы

## ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бирючев И.В., Макаров А.Б., Усов А.А. Геомеханическая модель рудника. Часть 1. Создание // Горный журнал. 2020. – № 1. – С. 42-48.
2. Зенько Д.К., Узбекова А.Р. Основные факторы, влияющие на устойчивость массивов в критериях Бенявского (RMR) и Бартона (Q) // ГИАБ, 2004.
3. Еременко В.А., Аксенов З.В., Пуль Э.К., Захаров Н.Е. Исследование структуры вторичного поля напряжений призабойной части подготовительных выработок при проходке выбросоопасных пластов с использованием программы Map3D // ГИАБ. 2020. № 5.
4. Руководство по геомеханическому документированию керна. SRK Consulting (Russia) Ltd – 2020.
5. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6 (4), 189-239.
6. Using the Q-system. Handbook Rock mass classification and support design (2013). – www.ngi.no
7. Krupnik, L.A., Shaposhnik, Y.N., Shaposhnik, S.N., Nurshaiykova, G.T., Tungushbaeva, Z.K. (2017) Technology of Backfill Preparation Based on Cement-and-Slag Binder in Orlov Mine., Journal of Mining Science, 2017, 53 (1), pp. 77-83. DOI:10.1134/S1062739117011872; (in Eng.).
8. Отчет о НИР «Геомеханическая оценка горнотехнической ситуации при разработке Иртышского месторождения и выдача рекомендаций по безопасному ведению горных работ». ТОО «Expert PRO», Этап IV. «Количественная и качественная характеристика напряженно-деформированного состояния массива пород (существующей горнотехнической ситуации) в этажах 11-15 горизонтов Иртышского месторождения». – Усть-Каменогорск, 2015.
9. Kump D., Arnold T. Underhand Cut-and-Fill at the Barrick Bullfrog Mine, Underground Mining Methods, pp. 345-350. (in Eng.).
10. Makarov, A.B., Ananin, A.I., Mosyakin, D.V. Weakening of failed rocks and sinking conditions. Gornyi Zhurnal, 2017, (3), pp. 32-36. DOI:10.17580/gzh.2017.03.06 (in Eng.).

**Разработка и применение упрощенной геомеханической модели месторождения, построенной на основе показателя нарушенности массива RQD**<sup>1</sup>АНАНИН Александр Иванович, к.т.н., зам. директора, aia57@yandex.ru,<sup>2</sup>ТУНГУШБАЕВА Зухра Кыдыргазиевна, к.т.н., ассоциированный профессор, zuhra06@mail.ru,<sup>3</sup>МАКАРОВ Александр Борисович, д.т.н., эксперт по геомеханике, abm51@mail.ru,<sup>2</sup>АПШИКУР Байтак, к.т.н., профессор, bake.ab@mail.ru,<sup>2\*</sup>БЕРИКБОЛУЛЫ Арман, к.т.н., преподаватель, berikboluly.arman@mail.ru,<sup>1</sup>Филиал РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Промышленная, 1,<sup>2</sup>НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. А.К. Протозанова, 69,<sup>3</sup>ТОО «Корпорация Казахмыс», Казахстан, Караганда, пр. Бухар-Жырау, 141,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Приводятся данные о разработке упрощенной геомеханической модели месторождения Акбастау, построенной на основе показателя разрушения массива RQD, и приводятся примеры ее применения. Современные цифровые технологии горно-геологических информационных систем позволяют геологам создавать трехмерные геологические модели месторождений для расчета запасов, планировщикам автоматизировать процесс проектирования, а горняки служат для оперативного планирования и сопровождения горных работ. Логическим продолжением этого процесса цифровизации горного производства стал опыт создания геомеханической модели рудника, позволяющей научно обосновать параметры разработки месторождения и принимать решения по управлению состоянием массива. Он включает в себя следующие информационные оболочки: геологические, структурные, гидрогеологические, механические свойства массива. Изготовление такой модели – очень сложный, трудоемкий и дорогостоящий процесс.

**Ключевые слова:** геомеханическая модель, массив горных пород, качество горных пород, показатель разрушения массива, система земляных работ, показатель трещиноватости, массив метасоматитов, система разработки с подэтажным обрушением, индекс качества, программа Leapfrog.

**Development and Application of a Simplified Geomechanical Field Model Based on the RQD Array Disturbance Index**<sup>1</sup>ANANIN Alexander, Cand. of Tech. Sci., Deputy Director, aia57@yandex.ru,<sup>2</sup>TUNGUSHBAYEVA Zuhra, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, zuhra06@mail.ru,<sup>3</sup>MAKAROV Alexander, Dr. of Tech. Sci., Geomechanics Expert, abm51@mail.ru,<sup>2</sup>APSHIKUR Baitak, Cand. of Tech. Sci., Professor, bake.ab@mail.ru,<sup>2\*</sup>BERIKBOLULY Arman, Master, Teacher, berikboluly.arman@mail.ru,<sup>1</sup>Branch of RSE «NC IPMRM RK» «VNIItsvetmet», Kazakhstan, Oskemen, Promyshlennaya Street, 1,<sup>2</sup>NCJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», Kazakhstan, Oskemen, A.K. Protozanov Street, 69,<sup>3</sup>Kazakhmys Corporation LLP, Kazakhstan, Karaganda, Bukhar-Zhyrau Avenue, 141,

\*corresponding author.

**Abstract.** Data are provided on the development of a simplified geomechanical model of the Akbastau deposit, built on the basis of the destruction index of the RQD array, and provides examples of its application. Modern digital technologies of mining and geological information systems allow geologists to create three-dimensional geological models of deposits for calculating reserves, planners to automate the design process, and miners serve for operational planning and maintenance of mining operations. The logical continuation of this process of digitalization of mining production was the experience of creating a geomechanical model of the mine, which allows to scientifically substantiate the parameters of field development and make decisions on the management of the state of the massif. It includes the following information shells: geological, structural, hydrogeological, mechanical properties of the array. Making such a model is a very complex, time-consuming and expensive process.

**Keywords:** geomechanical model, rock mass, rock quality, mass destruction index, excavation system, fracturing index, metasomatite array, development system with sub-storey collapse, quality index, Leapfrog program.

REFERENCES

1. Biryuchev I.V., Makarov A.B., Usov A.A. Geomechanicheskaya model` rudnika. Chast` 1. Sozdanie // Gornyj zhurnal. 2020. – No. 1. – Pp. 42-48.
2. Zen`ko D.K., Uzbekova A.R. Osnovny`e faktory`, vliyayushhie na ustojchivost` massivov v kriteriyax Benyavskogo (RMR) i Bartona (Q) // GIAB, 2004.
3. Eremenko V.A., Aksenov Z.V., Pul` E`.K., Zaxarov N.E. Issledovanie struktury` vtorichnogo polya napryazhenij prizabojnoj chasti podgotovitel`ny`x vy`rabortok pri proxodke vy`brosoopasny`x plastov s ispol`zovaniem programmy` Map3D // GIAB. 2020. No. 5.
4. Rukovodstvo po geomechanicheskomu dokumentirovaniyu kerna. SRK Consulting (Russia) Ltd – 2020.
5. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6 (4), 189-239.
6. Using the Q-system. Handbook Rock mass classification and support design (2013). – www.ngi.no
7. Krupnik, L.A., Shaposhnik, Y.N., Shaposhnik, S.N., Nurshaiykova, G.T., Tungushbaeva, Z.K. (2017) Technology of Backfill Preparation Based on Cement-and-Slag Binder in Orlov Mine., Journal of Mining Science, 2017, 53 (1), pp. 77-83. DOI:10.1134/S1062739117011872; (in Eng.).
8. Otchet o NIR «Geomechanicheskaja ocenka gornotehnicheskoy situacii pri razrabotke Irtyskogo mestorozhdenija i vydacha rekomendacij po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot». TOO «Expert PRO», Jetap IV. «Kolichestvennaja i kachestvennaja harakteristika naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija massiva porod (sushhestvujushhej gornotehnicheskoy situacii) v jetazah 11-15 gorizontov Irtyskogo mestorozhdenija». – Ust`Kamenogorsk, 2015.
9. Kump D., Arnold T. Underhand Cut-and-Fill at the Barrick Bullfrog Mine, Underground Mining Methods, pp. 345-350. (in Eng.).
10. Makarov, A.B., Ananin, A.I., Mosyakin, D.V. Weakening of failed rocks and sinking conditions. Gornyi Zhurnal, 2017, (3), pp. 32-36. DOI:10.17580/gzh.2017.03.06 (in Eng.).