

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2024.i4.04>

## The effectiveness of the use of geophysical research in the underground development of ore deposits

S.A. Istekova, D.N. Tolybayeva\*, L.D. Issayeva, Z.N. Ablessenova, M.A. Talassov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: [dina\\_tol@mail.ru](mailto:dina_tol@mail.ru)

**Abstract.** The article is devoted to reviewing the issues related to the application of geophysical methods for solving the problems of monitoring the development of solid mineral deposits. The problems considered in the work are highly relevant in connection with the recent increase in the frequency of natural and man-made disasters caused by the disturbance of the rock mass during the construction of mine workings and the exploitation of ore deposits developed by underground methods. This is especially pertinent for deposits at a late stage of development. Based on an analysis of foreign and domestic scientific literature, the authors provide a detailed examination of the possibilities of using various modifications of geophysical methods in the mining industry at the stages of deposit development and operation. Particular attention is paid to the efficiency of seismic exploration methods in monitoring the development of ore deposits mined by underground methods at great depths. It is shown that the use of geophysical methods is one of the most effective ways to account for the behavior of natural and technical systems in underground workings, depending on the current state of the geological environment and artificial impacts on rock massifs. A well-founded conclusion is made that systematic monitoring and prevention of the technogenic state of underground workings, as well as the study of the current state of the rock mass and ore deposits in hard-to-reach areas using modern geophysical technologies, form the basis for the effective and safe development of long-exploited solid mineral deposits. The presented review is used for the scientific and practical substantiation of research work carried out by a team of specialists from KazNITU named after K.I. Satpayev, focused on developing a technology for assessing the geomechanical state of mined-out spaces using seismic methods during underground mining of minerals in the complex mining and geological conditions of copper sandstone deposits in Kazakhstan.

**Keywords:** *geophysical monitoring, underground works, mineral deposits, geomechanical characteristics.*

### 1. Кіріспе

Күрделі геологиялық түзілімдер мен пайдалы қазбалар кен орындарының құрылымы мен шығу тегін, оларды өндіру тәуекелдерін азайту мақсатында зерттеу, қатты пайдалы қазбалар кен орындарын тиімді және қауіпсіз игеруді қамтамасыз етудің негізгі міндеті болып табылады.

Күрделі және проблемалық геологиялық модельдер көбінесе үлкен тереңдікте орналасқан, дизъюнктивті тектоникалық, блоктық құрылымды, тау жыныстарының литологиялық және фашиалды құрамының алуан түрлілігі, кен денесі мен қоршаған ортаның күрт өзгерген әртекті рудалық кен орындарында байқалады [1,2].

Кен орнын осындай жағдайда ұзақ уақыт игеру процесінде тау-кен жұмыстары тау-кен массаларында жарықтар, қуыстар, көшкіндер мен иілу аймақтары сияқты техногендік әртектіліктің пайда болуына, сондай-ақ су өткізетін жарықтардың және игеріліп жатқан массивтердің физикалық-механикалық сипаттамаларының өзгеруіне байланысты басқа да құбылыстардың пайда болуына әкеледі.

Пайдалы қазбаларды жер асты игеру әдісімен өндіруде тау-кен кәсіпорындарындағы апаттардың көбеюі геологиялық құрылымды тереңірек зерттеу мен

мониторинг процесінің қажеттілігін туындатады. Геологиялық және техногендік шығу тегі бар аномалиялы күрделі аймақтарды, әсіресе игеріліп жатқан өнімді қабаттардың үстінде орналасқан тау жыныстары қабаттарын анықтауға ерекше назар аудару керек.

Рудалық пайдалы қазбалардың кен орындарын тиімді игерілуі геологиялық ортаның өзгеруіне және жасанды массивтің кернеулі-деформациялық күйіне әсер ететін жерасты жұмыстарындағы табиғи-техногендік жүйелердің әрекетін есепке алудың толықтығы мен зерттелуіне байланысты (Дребенштедт; Рыльникова). Жоғарыда айтылғандарға байланысты рудалық пайдалы қазбалар кен орындарын тиімді және қауіпсіз игерудің негізі - жерасты қазбаларының техногендік жағдайын бақылау және алдын алу болып табылады. Қазіргі заманауи геофизикалық зерттеу әдістерін қолдану бұл мәселелерді шешуге айтарлықтай көмектеседі.

### 2. Зерттеу әдістері мен материалдар

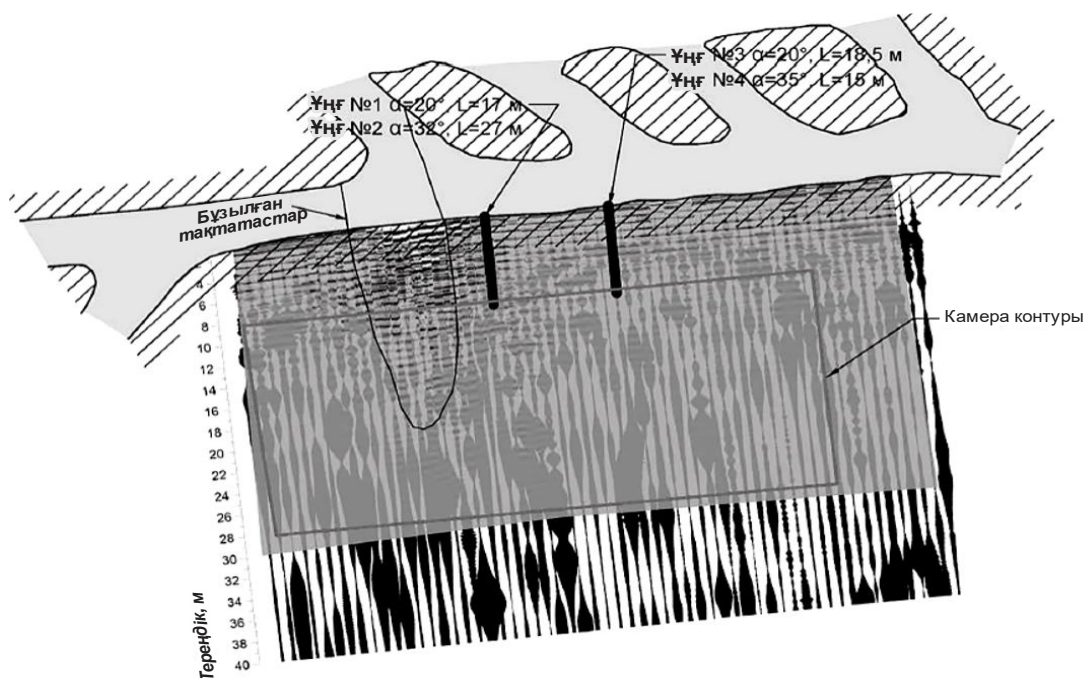
Пайдалы қазбаларды игеруді бақылаудың геофизикалық әдістері - пайдалы қазбалар кенорындарын игеруді бақылау мәселелерін шешудің тиімді әдістерінің бірі болып табылады, сондықтан олар тау-кен, мұнай және газ өнеркәсібінде кеңінен қолданылады. Заманауи

геофизикалық құрал-жабдықтар жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі табиғи-техногендік объектілерді қашықтықтан барлауға және бағалауға, құрылымдық біркелкі еместіктерді, тектоникалық бұзылуларды, қуыстарды, әртүрлі тереңдіктегі тау жыныстары массаларындағы әртүрлі орталардың жанасу аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді [3–5]. Алынған нәтижелердің дәлдігі қолданылатын геофизикалық әдіске, геологиялық ортаның өзгеру сипатының күрделілігіне және кен денелерінің параметрлеріне, сонымен қатар кен орнын игеру және пайдалану технологиясына байланысты.

Қазіргі таңда дүние жүзінің көптеген елдерінде (Ресей, АҚШ, Австралия, Еуропа, Канада, Оңтүстік Африка және т.б.) тау жыныстарының массивін зерттеудің геофизикалық әдістері рудалық кенорындарын игеру тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыруда кеңінен қолданылады.

Ресей ғылым академиясының Орал филиалының тау-кен ісі институтының мамандары әртүрлі мәселелерді шешу үшін, соның ішінде жерасты шахталары мен карьерлеріндегі стандартты емес есептерді шешу мақсатында геофизикалық әдістерді кеңінен қолданады. Осы міндеттердің бірі – «С.М. Киров атындағы Шахта» оқпанындағы топырақ тығынының қалыңдығын және тірек сынықтарын анықтау, оны оқшаулау мүмкіндігін бағалау және апатты оқпанда игеру жұмыстарын тоқтату бойынша қажетті шараларды әзірлеу. «Жер асты кенішіндегі тау-кен массивінің геофизикалық

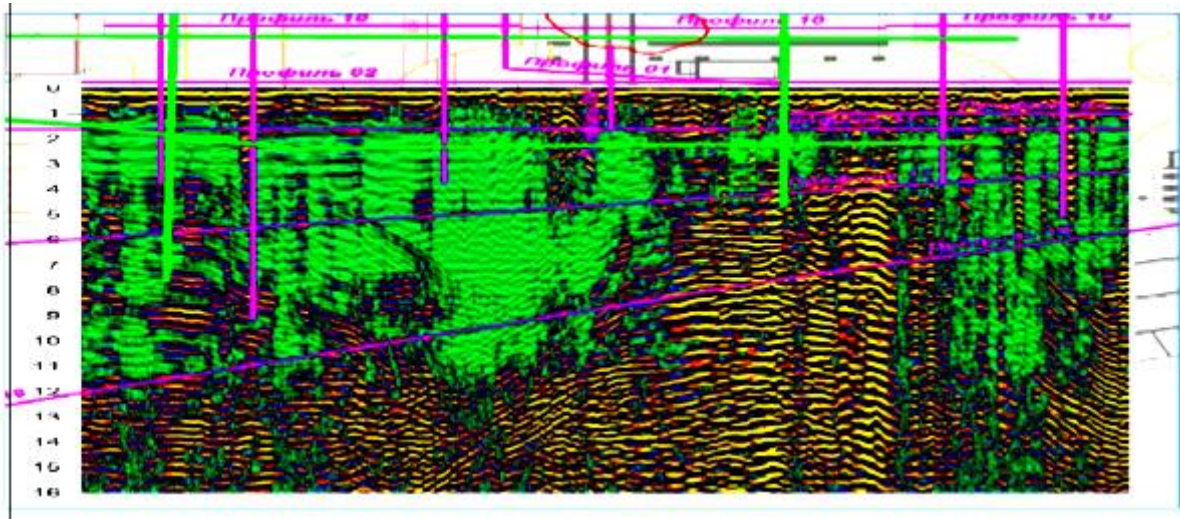
зерттеулері» мақаласында (Т.Ф.Харисов, В.В. Мельник, О.Д. Харисова, А.Л. Замятин, 2015 ж.) зерттеу нәтижелері мен жер бетіндегі радиолокациялық зондтаудың геофизикалық әдістерінің салыстырмалы талдауы және жерасты кені жағдайында спектрлік сейсмикалық профильдеу көрсетілген [6]. Георадар әдісі электр-магниттік толқындардың импульстерін зерттеуге және зерттелетін ортаның әртүрлі объектілерінен шағылысқан сигналдарды тіркеуге негізделген. Спектрлік сейсмикалық профильдеу әдісі массивтің ашық бетіне әсер еткенде пайда болатын тербелмелі процестің спектрлік құрамы мен осы массивтің құрылымдық құрамы арасындағы байланысты анықтауға негізделген. Георадарлық зондтау әдісі, авторлардың пікірінше, жер асты жағдайында, тау жыныстары массиві болған жағдайда ең тиімді болып табылады. Ол тік бағытталған өлшемдерді пайдалана отырып, тау массасындағы әртүрліліктерді, құрылымдық бұзылуларды және басқа да қарама-қарсы объектілерді анықтауға мүмкіндік береді. Спектрлік сейсмикалық профильдеу әдісі тік бағытталған өлшемдерді орындау кезінде тиімдірек, бірақ өлшеу қателіктерінің болуына байланысты зерттелетін аумақта өлшеулердің көбірек санын талап етеді. Бұл әдіс негізгі әдістің нәтижелерін растау немесе тексеру мақсатында қосымша әдіс ретінде өзін жақсы дәлелдеді. Геофизикалық зерттеу нәтижелерінің максималды сенімділігі мен ақпараттық мазмұнына кол жеткізу әдістерді кешендеу арқылы камтамасыз етілді (1-2-сурет).



Сурет 1. Спектрлік сейсмикалық профильдеу әдісін қолдану арқылы камералардағы бос орындарды іздеу кезіндегі геофизикалық зерттеулердің нәтижелері [6]

2022 жылы дәл осы мамандар шахта оқпанының құрылыс алаңында бұзылған аймақты зерттеу үшін заманауи геофизикалық әдістерді қолдану тәжірибесімен таныстырды. Бұл зерттеулердің өзектілігі тау-кен қазбалар орнын салу және пайдалану кезінде тау-кен массивінің бұзылуымен байланысты табиғи және

техногендік апаттардың кең таралуымен түсіндіріледі («Жерасты кеніштерін салу және пайдалану учаскелеріндегі геофизикалық зерттеулер», Шевченко, М.Д., Мельник В.В., Замятин А.Л., Тау-кен ісі институты, Ресей ғылым академиясының Орал филиалы, 2022) [7].



Сурет 2. Тау массиві бұзылған жерге тікелей жақын орналасқан радиограмма

Жұмыстың мақсаты, кеніш құрылымының құрылыс аймағында жер бетінің бұзылу себептерін анықтау үшін тау жынысы массивінің құрылымдық құрамы туралы мәліметтер алу болды. Зерттеу нысаны кен қазбаларын қоршап тұрған жер бетінде орналасқан күрделі құрылыс объектілерінің негізінде жатқан тау жыныстары болды. Геофизика зерттелетін аумақтағы тау жотасының құрылымдық бұзылулар аймағын анықтауға, қауіпті жағдайлардың даму себептерін анықтауға және жағдайды тұрақтандыру бойынша шешімдер қабылдауға бағытталған.

Ұсынылған зерттеулердің нәтижелері бойынша жер бетінің құлау себептері және аумақтың барлық құрылымының ерекшеліктері анықталды. Тау жыныстарына антропогендік әсердің (шахта окпанының құрылысы) әсерінен геологиялық ортада өзгерістер орын алып, жер бетінде бұзылудың пайда болуына әкелетіні анықталды. Георадар мәліметтері бойынша бұзылу аймағы құрылымдық бұзылумен белгіленді, ол соққы бойымен тік сейсмикалық профильдеу нәтижелерімен жақсы сәйкес келді, бірақ барлау барысында массивтің үздіксіздігінде, учаскеде немесе ғимаратта қосымша бұзылу аймақтары табылмады. Құлау кратерінің қалыптасу процесінің аяқталуы айқын болды. Ұсынылған геофизикалық зерттеу әдістерін біріктіру мәселені шешуде олардың жоғары тиімділігін көрсетті; алынған ақпараттың сенімділігі осы салада жүргізілген бұрғылау және игеру жұмыстарының нәтижелерімен расталды [7].

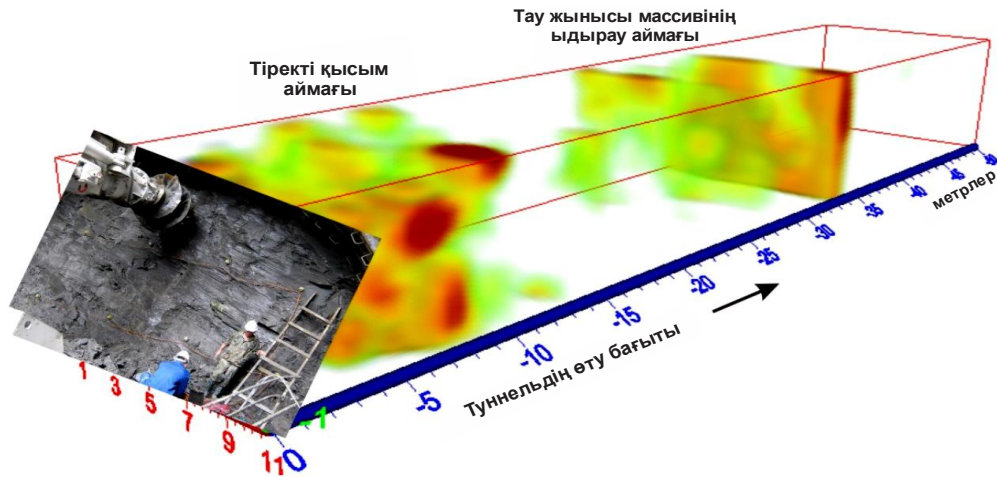
Орал мемлекеттік тау-кен институтының (РФ) мамандары әзірлеген «МИКОН-ГЕО» бағдарламалық-аппараттық кешені (Писецкий В.Б., Лапин С.Е., Зудилин А.Е., Патрушев Ю.В., Шнайдер И.В., 2017 ж.) рудалық және көмір кен орындарын жерасты өндіру кезінде тау-кен массасының тұрақтылық жағдайын бағалау және қауіпті геодинамикалық құбылыстарды болжау үшін сәтті қолданылды. Жер асты кенішінен бірнеше метрден алғашқы ондаған және жүздеген метрге дейінгі қашықтықтағы тау-кен массаларының кернеулі-деформациялық күйінің (КДК) құрылымы мен параметрлерінің мәндерін қашықтықтан бағалау сейсмикалық әдістерді қолдануға негізделген. Жерасты тау-кен өндіру технологияларының (механикаландырылған және жару) ерекшеліктерін ескере отырып, МИКОН-ГЕО технологиясы сейсмикалық-жергіліктеу бойынша шолу нұсқасын-

да шағылысқан толқындар әдісін қолданады (салыстырмалы түрде қысқа негізде массивті «көру» мүмкіндігімен бірнеше қабылдау жүйесі – медицинадағы ультрадыбыстың төмен жиілікті аналогы). «Индукциялық немесе эмиссиялық сипаттағы сейсмикалық толқын өрісі сейсмикалық толқындардың шағылу, берілу немесе шығару нүктелеріндегі сейсмикалық толқынның «кіші» кернеулерінің тензорын тау жынысы массивінің сол нүктелерінде әрекет ететін «үлкен» кернеулердің тензо-рымен байланыстырады» [8].

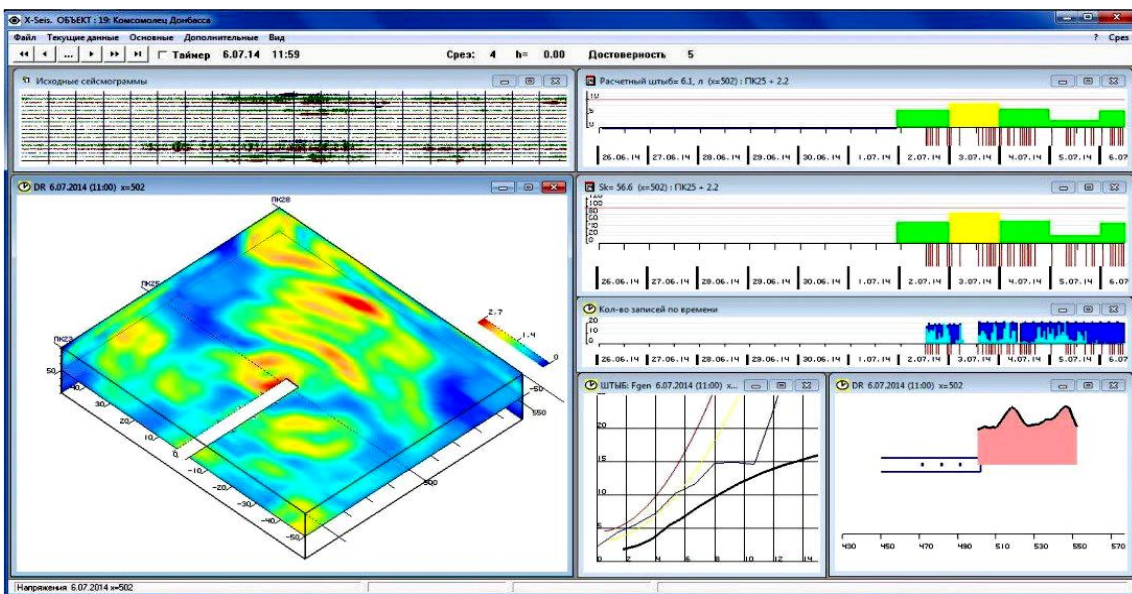
Толқындық өрістердің импульстік (балға соққылары, гидравликалық балғалар, жарылыс саңылауларындағы жарылыстар және т.б.) және кодтық-импульстік түрлері (шахта роторы) козуының көздері 50–100 м-ге дейінгі шағылысқан толқындық сигналдардағы массивтің шолуын қамтамасыз етеді. Мамандандырылған сейсмикалық МИКОН-ГЕО жүйесі 2012 – 2015 жж Орал, Печерск, Донецк және Кузнецк бассейндеріндегі (СУБР, Алмазная, Комсомолец Донбасса, Байкаимская, Распадская, Юбилейная, Есауылская және т.б. шахталар) рудалық және көмір шахталарында сынақтан өтіп, тәжірибелік өнеркәсіптік пайдалануға енгізілді. 3-суретте туннельдердің құрылысын бақылау процесі кезінде туннель беткейінен 50 м ілгері орналасқан тау-кен массивінің типтік сейсмикалық бейнесі көрсетілген, онда тіреуіш қысым және тау жынысы массивінің ыдырау аймақтарымен байланысты шағылысқан толқындардың сигналдарын жазудың сипаттамалық интервалдары анық көрсетілген.

4-суретте МИКОН-ГЕО жүйесі диспетчерінің мониторының бейне түсірілімі көрсетілген, ол КДК бағалау үшін қазба жұмыстары кезінде сейсмикалық барлау текшесін үздіксіз көрсетеді.

Шахталық бақылау қызметінің сұранысы бойынша дәл сол монитор өткен кезеңдегі, ағымдағы бақылау сәтіндегі және берілген аралықтағы «алға» игеру жұмысының осі бойымен жалпы тау қысымының мәндерінің салыстырмалы бағалауының бірқатар графиктерін көрсетеді; бастапқы ақпарат (импульстік форматтағы түрлендіруден кейінгі сейсмограммалар); тау-кен жұмыстарын тоқтату режимдеріндегі сейсмикалық оқиғалардың жиілігі мен жинақталған энергиясының, комбайнның кенjarға әсер ету энергиясының графиктері және т.б.

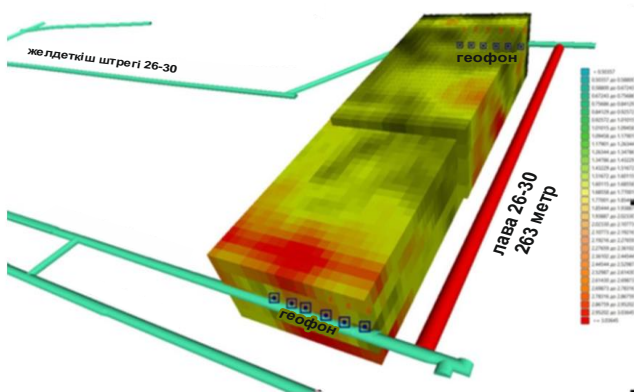


Сурет 3. Тасымалдау туннельі кенжарының алдындағы тау жынысы массивінің сейсмикалық барлау деректері негізінде қысым өзгерісінің салыстырмалы мәндерін бағалаудың кеңістіктік бейнесі [8]



Сурет 4. «Комсомолец Донбасса» шахтасының дайындық тау-кен процесін ағымдағы сейсмикалық бақылауға арналған жерүсті қызметінің МИКОН-ГЕО жүйесіндегі диспетчердің монитормының бейнесі, Донецк қ, 2014 ж. [8]

5-суретте Есауыл кенішінің ұзын қабырғасындағы тау-кен массивінің жай-күйін ағымдағы бақылаудың нәтижесі көрсетілген. (Кузбасс, 2014ж.).



Сурет 5. Екі тәуелсіз МИКОН-ГЕО жүйесінен алынған КДК нормативтік бағалауларындағы тазаланатын кенжарының ағымдағы сейсмикалық бақылауының композиттік кубы (Есаульская шахтасы, Кузбасс, 2014ж.)

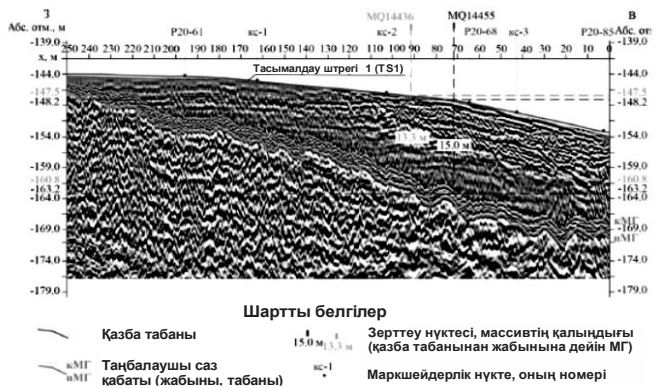
Бұл сынақтардың ерекшелігі тазаланатын кенжардың ұзындығы 263 м лаваның екі жағында тәуелсіз жұмыс істейтін екі МИКОН-ГЕО жүйесін бір уақытта пайдалану болып табылады. Осы нұсқада кернеу күйінің реттеу бірліктерінде алынған екі тәуелсіз параметрлік текше массивінің (литр када) түйісу аймағында айтарлықтай бұрмаланусыз қисынды түрде бір текшеге біріктірілген.

Георадар әдісін пайдалану жер бедеріндегі жағдайларға байланысты қиындайтын жағдайларда, жалпы тереңдік нүктесі (ЖТН) әдістемесінде көлденең толқындардағы шағылысуларды бөлуде шағылған толған толқындар әдісін (ШТӘ) пайдалана отырып, сейсмикалық барлауды қолдануға болады [9].

Жобаланып жатқан су оқшаулағыш ғимаратының аймағындағы тау-кен-геологиялық жағдайларын зерттеу Верхнекамск тұз кеніші шахталарының бірінің шахтасында жүргізілді. Жобаланып жатқан су оқшаулағыш ғимаратына жақын орналасқан массив геологиялық әртектіліктердің болмауын қамтамасыз ету үшін сенімді түрде зерттелуі керек. Астыңғы тас тұзы қабатының жұмысында көпірлер салу кезінде кен

орнының бүкіл аумағында қабаттың жоғарғы бөлігінде орналасқан таңбалаушы саз қабатының гипсометриясын ескеру қажет [10]. Таңбалаушы саз қабатының физикалық қасиеттері негізгі тұздардан өте қатты ерекшеленетіндіктен және оны құрайтын саздар жоғары өткізгіштікпен сипатталатындықтан, тұзды ерітінділер ол арқылы ағып кетуі мүмкін. Таңбалаушы саз қабатына жақын жерде су оқшаулағыш ғимаратын салу тиімсіз, яғни барлық кеткен күш зая кетуі мүмкін.

Кешенді геофизикалық зерттеулерге жерге енетін радиолокация және шағылысуларды бөлу арқылы көлденең толқындардағы сейсмикалық барлау кіреді. Жерге енетін радиолокациялық әдіспен жұмыс жасау барысында стандартты мәліметтерді алуға әсер ететін негізгі жағымсыз факторлар анықталды. Олар жер бетіндегі жағдайлармен, дымқыл қоқыстардың және тұзды балшықтардың болуына байланысты. Сонымен қатар, геоэлектрлік учаскелерде таңбалаушы саз қабатының жабыны мен табанын нақты байқауға болады (6-сурет).

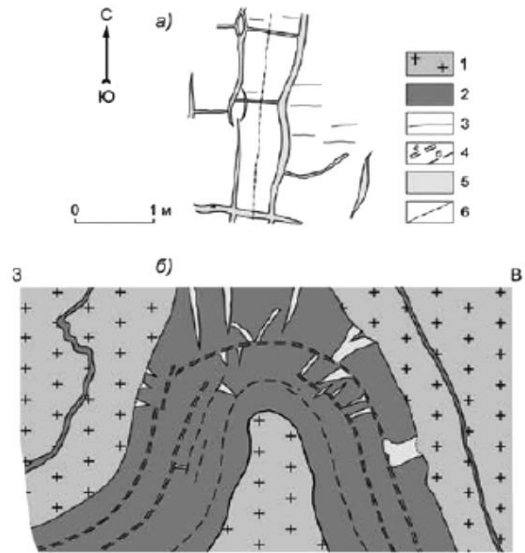


Сурет 6. Тасымалдау штрегі бойынша геоэлектрлік қима TS1

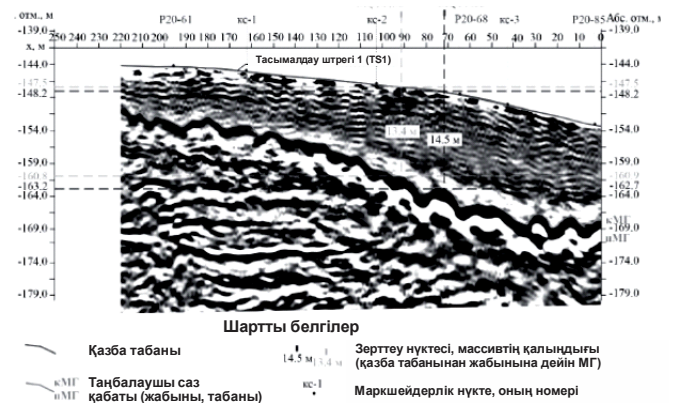
Астыңғы тас тұзының жоғарғы бөлігіндегі кесінділерде бір метрден аспайтын қатпар амплитудалары бар типтік бірінші ретті қатпарлар байқалады. Геологиялық тұрғыдан алғанда, таңбалаушы саз қабатының бойымен қатпарлану ерекше қызығушылық тудырады, жеке қатпарлардың амплитудалары 5м-ге, ал ені шамамен 10м-ге жетеді. Мұндай қатпарларда галитпен толтырылған жарықтар болуы мүмкін (7-сурет).

Астыңғы тас тұзы қабатының жергілікті әртектілігі анықталмады. Сондықтан жер асты радары үшін қолайсыз жерлерде мәселені шешу үшін көлденең толқындарын пайдалана отырып, шахталық сейсмикалық барлау әдісі қолданылды. ШБКТ шағылысу бөлінуі бар көлденең толқындар деректерін өңдеу және талдау нәтижесінде астыңғы тас тұзы қабатының жұмысында профильдер бойымен төменгі жарты кеңістіктің тереңдік қималары алынды. Тасымалдау штрегінің (TS1) бойындағы төменгі жарты кеңістіктің учаскелерінде таңбалаушы саз қабатының жабынына сәйкес келетін шағылысатын шекара анық көрінеді (8-сурет).

Пайдаланылған кешен геологиялық учаскенің мақсатты аралығын тез және нақты зерттеуге мүмкіндік берді, осылайша тау-кен мәселелерін жобалау және шешу үшін бастапқы мәліметтерді алуға мүмкіндік берді.



Сурет 7. Таңбалаушы саз қабатындағы жарықшақтардың бойлық және көлденең жатыстары: 1- тас тұзы, 2-ТС қабат жыныстары, 3-бөлінген жарықшақтар, 4-келісімді жарықшақтар, 5- қызғылт-сары галит; 6-қатпар осі



Сурет 8. Тасымалдау штрегі TS1 бойымен сейсмикалық-геологиялық қима

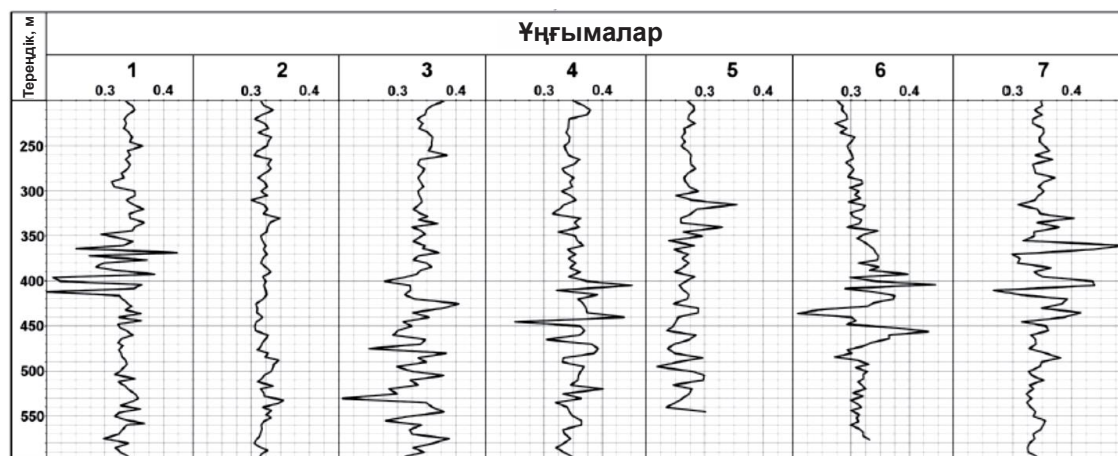
Жүргізілген зерттеулер су оқшаулағыш ғимарат жобаланатын аумақтағы тас тұзының астыңғы қабаты бойымен салыстырмалы түрде таяз тереңдікте жатқан таңбалаушы саз қабатының гипсометриясын анықтауға мүмкіндік берді.

Геофизикалық қималарда таңбалаушы саз қабатының қарқынды қатпарлануы көрсетілген. Зерттеу нәтижелері бойынша тау-кен мәселелерін шешу үшін таңдалған геофизикалық әдістер кешенін пайдалану өте тиімді екені анықталды.

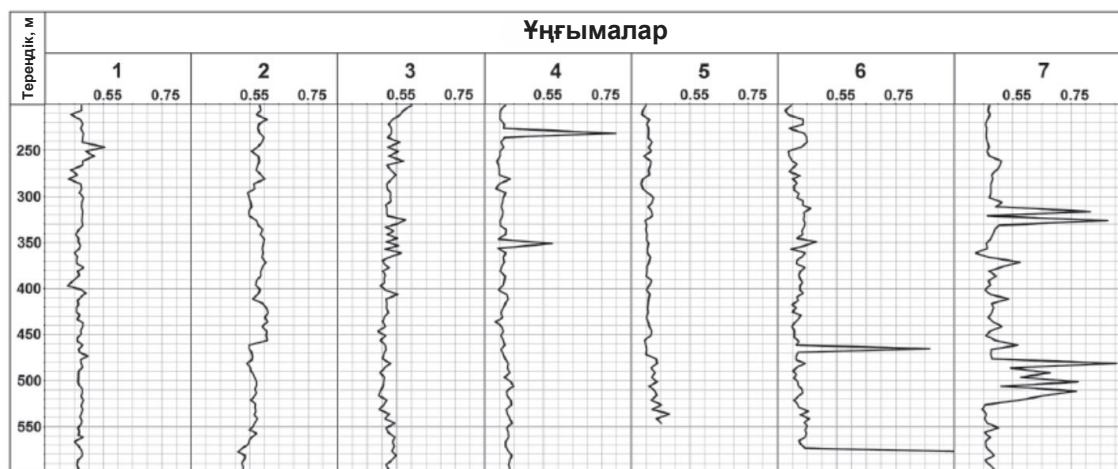
Солтүстік-Тараташ ауданындағы темір рудалы кен орны аумағында, магнетиттік кварциттердің Куватальдық кездесуі шегінде дизъюнктивті тектоникалық бұзылулардың геодинамикалық белсенділігін анықтау және бағалау мақсатында ұңғы және жер үсті геофизикалық әдістерін біріктіру нәтижелері жүргізілді. Ұңғыманы зерттеуге геоакустикалық эмиссия (ГАЭ) және электр-магниттік сәулелену (ЭМС) сигналдарын жазу кірді. Жерүсті геофизикалық жұмыстар кешені аумақтық магнитометриялық түсірілімнен, жаяу гамма түсірілімінен және эманациялық түсірілімнен тұрды.

Осы учаскедегі ұңғымалардағы геоакустикалық эмиссия мен электр-магниттік сәулелену сигналдарын зерттеу нәтижелері бойынша тектоникалық бұзылулардың жақын болуына байланысты ауытқулар анықталды. Ұңғымаға жақын кеңістіктегі геологиялық ортаның геодинамикалық белсенді тектоникалық бұзылыстарын анықтауға мүмкіндік беретін геоакустикалық эмиссияның және электр-магниттік сәулелену сигналдарының жиілік диапазоны белгіленді. Каротаж нәтижелерін растау үшін зерттелетін ұңғымалар аймағында жер үсті геофизикалық жұмыстар жүргізілді.

Орындалған жұмыс барысында аномалиялы магнит өрісі мен экспозициялық доза жылдамдығының карталары, сондай-ақ радонның көлемдік белсенділігінің графиктері алынды. Жұмыс алаңының құрылымы туралы қолда бар геологиялық ақпаратты талдау, ұңғымаларды өлшеу және жер үсті геофизикалық зерттеулері нәтижесінде белгілі тектоникалық бұзылулар расталды және зерттелетін геофизикалық өрістерде олардың геодинамикалық белсенділігін көрсететін жаңа геотектоникалық бұзылыстар анықталды. [11].



а)



б)

Сурет 9. Сигналдарды жазу: а) электр-магниттік сәулелену, б) жеті ұңғымадағы геоакустикалық эмиссия

Каротаж нәтижелері электромагниттік өріс сигналдарының геоакустикалық және электр-магниттік құрамдастарының өлшенген және есептелген параметрлерінің диаграммалары түрінде ұсынылған. 9-суретте Н параметрінің үш жиілік диапазонындағы диаграммалары көрсетілген. 100–500 Гц (Н1) жиілік диапазонында алғашқы үш ұңғымада ГАЭ фондық мәндері бірдей дерлік деңгейде, ал қалған төрт ұңғымада тау жыныстарының жанасу аймақтарымен кеңістікте сәйкес келетін жергілікті ауытқулар бар.

Н2 параметрі бойынша (500–5000 Гц) барлық ұңғымаларда ГАЭ сигналдарының аномалиялы өзгерістері байқалады. Бұл жұмыс аймағы үшін ең сезімтал параметр Н4 (2500–5000 Гц) болып табылады. Барлық ұңғымаларда Н4 параметрінің жергілікті аномалиялар ғана емес, сонымен қатар жарықшақ

процестерінің болуын көрсететін фондық деңгейдің сатылы өзгеруі байқалады. Ұқсас жағдай ГАЭ сигналдарының тік сенсорынан алынған деректерді салыстыру кезінде байқалады. ЭМС және ГАЭ параметрлерін бірге қарастырған кезде геоакустикалық эмиссия параметрлері бойынша негізінен жергілікті аномалиялар ЭМР параметрлері бойынша анықталған ұңғыма маңындағы кеңістіктегі тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйінің аймақтарын белгілейтіні анықталды. Бұл ұңғымаларды бұрғылау кезінде геологиялық ортаның үздіксіздігінің бұзылуынан туындаған кернеулі-деформациялық жағдайдың жоғарылауы аймақтарының шекарасында белсенді жарықшақтар түзілу процестерінің болатынын көрсетеді.

Жер бетіндегі геофизикалық зерттеулердің нәтижелері бойынша  $\Delta T_a$  аномалиялы магнит өрісінің

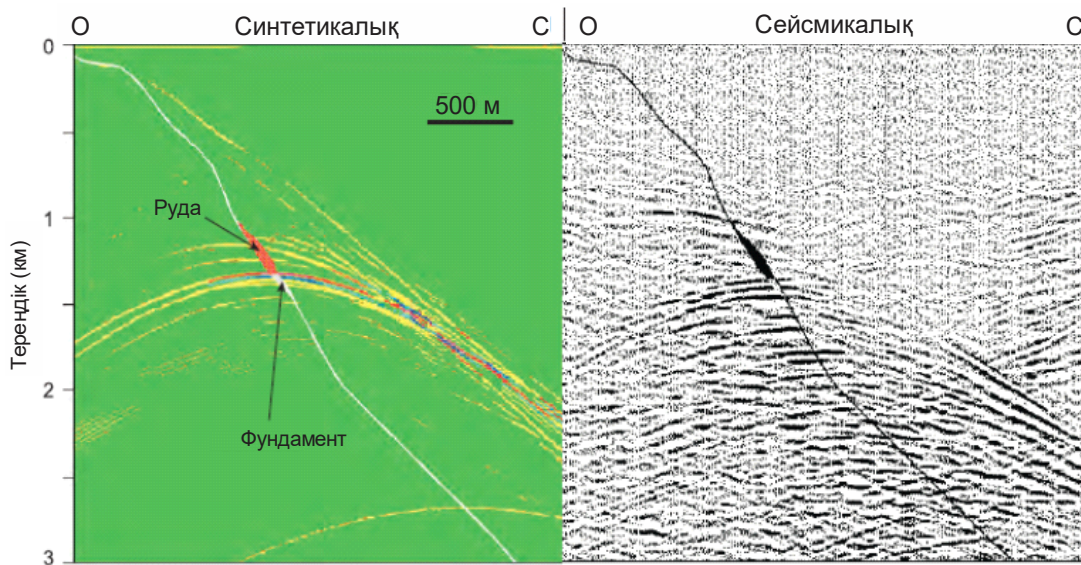
және экспозициялық доза жылдамдығының (ЭДЖ) карталары құрастырылды. Нәтижесінде тектоникалық бұзылулар зонасы анықталды, ол геологиялық деректерден белгілі жарықшақтан зерттелетін аумақтың оңтүстік-шығыс бөлігіне дейін созылатын тартылыс сызығы болып табылады. Жердің магниттік өлшемі мен жаяу гамма түсірілімдерінің нәтижелерін салыстыру кезінде алынған мәліметтердің нәтижелері қолда бар геологиялық ақпаратпен үйлеседі.

Тұтастай алғанда, геоакустикалық эмиссия параметрі Н4 (2500–5000 Гц) магниттік кварциттердің куватальды кездесуі шегінде крекинг процестеріне ең сезімтал екені анықталды. Электр-магниттік сәулелену параметрі зерттелетін аумақ шегіндегі дизъюнктивті тектоникалық бұзылулардың көрсеткіші ретінде әрекет етеді, олардың бар болуы тек геологиялық деректермен ғана емес, сонымен қатар жерүсті геофизикалық әдістермен де расталды.

Көмірлі массивінің құрылымы мен күйінің тау-кен-геологиялық жағдайларын болжау үшін көмір қабатының және оның айналасындағы жыныстардың пайда болу жағдайларын зерттеуде шахта геофизикасының әдістері сәтті қолданылады. Бұл ретте шешілетін негізгі міндеттер мыналар болып табылады: көмір қабаттарының шағын амплитудалы тектоникалық бұзылыстарын болжау, көмір қабаттарының жабынын (топырақтарының) ұлғайған жарылу аймақтарын болжау, жабыны қиын және оңай құлайтын аумақтарға саралау; газдың және тау жыныстарының кенеттен бөлінуінен, кен қазбаларына жер асты суларының кенеттен жарылып

кетуінен туындаған қауіпті орындарды (учаскелерді) болжау; көмір қабатының морфологиялық бұзылыстарын болжау (эрозиялар, сұйылтулар, ауыстырулар және т.б.); тау-кен-геологиялық асқинулардан туындаған қауіпті аймақтарда қауіпсіз және тиімді жұмыс жүргізу үшін көмір қабаттарын өндірудің тау-кен-геологиялық жағдайларын кешенді геологиялық-геофизикалық болжау [12].

Тәжірибеде кен орындарын игеруді бақылау үшін сейсмикалық барлауды қолдану мүмкіндігі белгілі (4D сейсмикалық барлау). Бұл бағытта кенорындарының пайдаланылған блоктарын анықтау және кенорнын одан әрі тиімді игеру үшін жерасты қазбаларының үлгілерін салу бойынша кен орындары үшін оң нәтиже бар. Крейтон сульфидті кен орнындағы синтетикалық және байқалған 2D көшірілмеген учаскенің және Садбери аймағындағы (Канада) Гертруда кенорнының массивтік сульфидті кенорнының талдауы кен массивінің тиілмеген және өндірілген бөліктері арасындағы шекараны сейсмикалық сигнал энергиясының таралу бағыты мен сипатына қарай анықтау мүмкіндігін көрсетеді. [13]. Сейсмикалық мәліметтерді модельдеудің осы және басқа нәтижелері линза тәрізді кенорындарының түсу бағытында тікелей шашыраудың таралуын көрсетеді, ал сейсмикалық толқындардың амплитудасының үлкендігімен кенорнының максималды дифракциялық реакциямен сипатталатын өндірілген учаскесінің шекарасы анықталады (10-сурет).



Сурет 10. Садберидегі Гертруда кенорнындағы массивті сульфидті кен орнынан синтетикалық (сол жақта) және байқалған (оң жақта) шағылыстар. Кен денесінің жоғарғы жағындағы сейсмикалық толқындардың дифракциясы кен орнының тиілмеген және өндірілген бөліктері арасындағы шекараны көрсетеді. (Milkereitetal, 1996)

### 3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Жоғарыда келтірілген мысалдардан көріп отырғанымыздай, қазіргі заманғы сейсмикалық зерттеу әдістерінің басқа геофизикалық мәліметтермен үйлесуі жер асты жұмыстарының тау жыныстарының массивтерінің әртекті аймақтарын сипаттайтын толқындық өрістің ерекшеліктері туралы қосымша ақпарат алуға мүмкіндік береді. Бүгінгі таңда жер асты

(шахталық) сейсмикалық барлау жұмыстары кен қазбалары арасындағы сейсмикалық көріну әдісін (СКӨ), жалғыз кеніш жұмысынан шағылысқан толқындар әдісін (ШТӨ) және жалғыз қазба түбіндегі сейсмикалық-акустикалық орналастыру әдісін қолдана отырып жүргізеді. Ал жер үсті зерттеулері (ШТӨ, ЖТНӨ) өндірілген кен орындарының аумағында жерасты жұмыстарының әркелкілігін бағалауға және бақылауға мүмкіндік береді.

Бүгінгі таңда Қазақстанның кенді аудандарының көпшілігі жер бетінен біршама жақсы зерттелді және таяз және оңай ашылатын кен орындарының қоры іс жүзінде таусылды. Облыстың едәуір бөлігінде 1000-1500 метр және одан да көп тереңдіктегі кен орындарының біркелкі еместігін іздеу және зерттеу міндеті тұр. Мұндай мәселелерді шешу кезінде кенді аудандардың, кен орындары мен кен орындарының көлемдік геологиялық құрылымының ерекшеліктерін зерттеуге және қолдануға негізделген, яғни көлемдік геологиялық модельдеуге негізделген тікелей іздеу әдістері жанама әдістермен ауыстырылады.

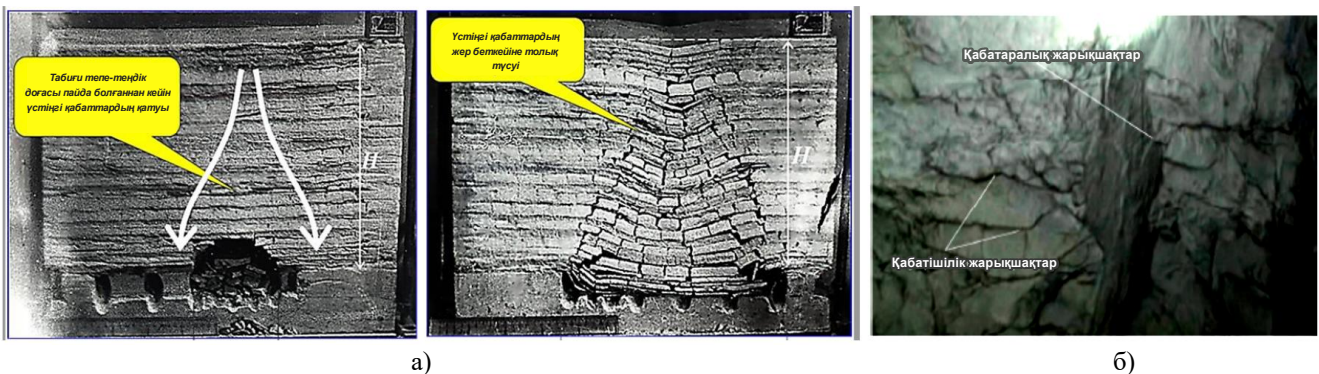
Қазіргі уақытта Қазақстанда қатты пайдалы қазбалар кенорындарын игеруге геофизикалық бақылау өте шектеулі деңгейде жүргізілуде. Қазақстан нарығында кен орындарындағы жерасты қазбаларының техногендік жағдайын бақылау және алдын алудың геофизикалық әдістерін қолдану бойынша отандық және шетелдік компаниялардан ұсыныстар іс жүзінде жоқ.

Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университетінің бір топ ғалымдары «Кешенді геомеханикалық және геофизикалық зерттеулер негізінде кенді кен орындарын игеру кезінде тау-кен массивтерінің кернеулі-деформациялық күйін модельдеу» тақырыбы бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу үшін мемлекеттік грантка ие болды. Жоба Қ.И.Сәтпаев атындағы ҚазҰТЗУ ғылыми тобының кешенді геомеханикалық және геофизикалық зерттеулер негізінде күрделі тау-кен-геологиялық жағдайларда рудалы пайдалы қазбаларды жерасты өндіру кезінде өндірілген кеңістіктің геомеханикалық күйін бағалау технологиясын әзірлеу бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуді қарастырады. Жезқазған типті мысты құмтас кен орнының игерілген

учаскелерінің бірінің мысалын пайдалана отырып, геомеханикалық және геофизикалық тәсілдерді біріктіріп қолдану негізінде әртүрлі беріктік және деформациялық сипаттамалары бар аймақтарды анықтау әдістемесі әзірленетін болады. Зерттеу сейсмикалық технологияларды пайдалана отырып, тау жотасының тереңдігіндегі қол жетпейтін аймақтардан ақпарат алуға мүмкіндік беретін сөнген шахталық панельдердің үстіндегі қабаттардың бұрын белгісіз болған құлау процесінің табиғаты мен заңдылықтары туралы білім алуға бағытталған.

Ұсынылған технологияны әзірлеу бойынша тәжірибелік жұмыстар Жомарт кенішінде игерілген Жаман-Айбат мысты құмтас кен орнының проблемалы аймақтарының бірінде жүргізіледі. Жаман-Айбат кенорнындағы қалыңдығы 2-12 м мыс құмтастарының ақырын құлайтын өнімді қабаттары 500-800 м тереңдікте тектоникалық кернеу деңгейі жоғары жұқа қабатты шөгінді тау жыныстарында кездеседі. Қарастырылып отырған аумақта құрылымдық жағынан таужыныстары массиві айрықша бұзылуларымен сипатталады. Үлгілердегі кеннің қысымға беріктігі орташа есеппен 160 МПа. Тау-кен жұмыстары бұрғылау-жару әдісімен панельді-бағаналық тау-кен жүйесін пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

2017 жылдың екінші жартысынан бастап кеніштегі геомеханикалық жағдай күрт нашарлады: массивтің сейсмикалық белсенділігі Қазақстан Республикасының барлық сейсмикалық станцияларымен тіркелген техногендік жер сілкіністеріне дейін өсті; жер бетінің шөгу шамасы мен жылдамдығы күрт өсті. Игерілген панельдерде таулы жоталарының жоғарғы бөліктерінің түсулері мен құлаулары көптеп тіркелді. (сурет 11).



Сурет 11. Игерілген панельдердегі құрылымдық пішіндердің мысалдары: а) тасымалдау және конвейер штректерінің жоғарғы бөлігінің түсуі және құлауы б) құмтас массивінің жарылуы (Макаров А.Б., Мосякин Д.В., Карпиков А.А., 2005)

Геомеханикалық жағдайдың нашарлауының себептері:

- жергілікті учаскедегі қысқа сөну аралығы бар тіректерді алу алаңдарының көп болуы, олардың арасындағы аумақтардың шамадан тыс жүктелуі;
- тау жыныстарының қалыңдығын қазбаған тосқауыл тіректеріне (ТТ) және камера аралық бағаналарға (АБ) іліп, оларға және оның айналасындағы массивке тірек қысым жасау.

Жаңа аумақтарды одан әрі игеруге қатысу тау-кен жұмыстарының тереңдігінің ұлғаюымен және соның салдарынан тау-кен-геологиялық жағдайлардың күрделенуімен сипатталады.

Қолданбалы игеру жүйесінің параметрлерін нақтылау және кеніштегі тау-кен-техникалық жағдайлардың ағымдағы жағдайын бақылау үшін игерілмеген массивтің және өндірілген таужыныстарының кернеулі-деформациялық күйін бағалау үшін қосымша зерттеулер жүргізу қажет. Сейсмикалық барлаудың геофизикалық әдісінің заманауи технологияларын қолдану кенді кен орындарының өндірілген кеңістігін зерттеу және Жомарт кенішінің үстіңгі қабаттарындағы тау жыныстарының біркелкі еместігін жергіліктеу мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.



#### 4. Қорытынды

Рудалық кен орындарын өндіру кезінде таужынысы массивтерінің өнімді қабаттарындағы және өндірілген кеңістігіндегі аномалиялық аймақтарды анықтау мақсатында жер асты суларының кен қазбаларына бұзылуы және енуі мүмкін болатын жер үсті, жер асты және жерүсті-жерасты әдістері мен геофизикалық және геомеханикалық кешендері қолданылады. Авторлар геомеханикалық және геофизикалық тәсілдерді біріктіріп қолдану негізінде өндірілген кеңістіктегі және өнімді түзілімдердегі әртүрлі физикалық-механикалық қасиеттері бар аймақтарды анықтаудың тиімді әдісін ұсынады.

Бұл жоба кен орындарын тиімді және қауіпсіз игеру шарттарына әсер ететін әртекстілікті анықтау үшін бұрын пайдаланылмаған жоғары ажыратымдылықтағы сейсмикалық барлауды пайдалануды қарастырады. Өсіресе рудалық массивтерінің ұңғыма аралық кеңістігіндегі және өндірілмеген аймақтарындағы геологиялық кешендер мен тау-кен массивтерін зерттеу, тау-кен-механикалық қасиеттерінің ағымдағы жағдайын бағалау және олардың негізінде тау жыныстарының қауіпті деформациялары мен опырылуын тудыруы мүмкін жоғарғы қабаттың тұрақсыз аймақтарын анықтау өте маңызды.

Кеніштің өндірілген кеңістігінен өткен профильдер бойынша сейсмикалық барлау жұмыстарының нәтижелері бойынша сейсмикалық барлау әдісінің мүмкіндігіне төмендегіше баға беріледі:

- сөнген шахталық панельдердің үстінде жатқан қабаттардың құлау аймақтарының шекараларын анықтау,

- кен горизонттарын жер асты өндіру нәтижесінде пайда болатын қозғалыс бетіндегі бақылаулар,

- өндірілген кеңістіктің техникалық жағдайын бағалау.

Геомеханикалық және геофизикалық мәліметтерді жан-жақты талдау нәтижесінде игеріліп жатқан кеніштің қазбалары мен өнімді қабаттардың әртүрлі физикалық-механикалық қасиеттері бар аймақтар анықталады. Сейсмикалық барлау әдістерін пайдалана отырып, әркелкілікті жергіліктеу мәселесін шешу олардың өндірілген кеңістікпен өзара әрекеттесуінен кейінгі бақылаудың тиімділігін қамтамасыз етеді.

#### Алғыс

Бұл зерттеулер: АР19680360 ИРН «Кешенді геомеханикалық және геофизикалық зерттеулер негізінде кенді кен орындарын игеру кезінде тау-кен массаларының кернеулі-деформациялық күйін модельдеу» жобасы аясында жүзеге асырылды.

#### References / Әдебиеттер

- [1] Klyuev, R.V., Bosikov, I.I., Mayer, A.V. & Gavrina, O.A. (2020). Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable development of mountain territories*, 12(2), 283-290. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>
- [2] Glaznev, V.V. (2000). Sistema dlja sozdanija trehmernyh modelej geologicheskikh ob'ektov. *Vestnik Voronezhskogo universiteta, seriya geology*, (8), 205-207
- [3] Golik, V.I., Burdziova, O.G. & Dzeranov, B.V. (2021). Geophysical monitoring of the development of stress-deformed ore massives. *Geology and Geophysics of Russian South*, 11(2), 63-73. <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.57.57.005>
- [4] Dmitrak, Ju.V., Logacheva, V.M. & Podkolzin, A.A. (2006). Geofizicheskoe prognozirovanie narushennosti i obvodnen-nosti massiva gomyn porod. *Mining informational and analytical bulletin*, (11), 35-36
- [5] Kharisov, T.F., Mel'nik, V.V., Kharisova, O.D. & Zamjatin, A.L. (2020). Geophysical research of the rock massif in underground mine conditions. *Mining informational and analytical bulletin*, (3-1), 255-263. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-255-263>
- [6] Shevchenko, M.D., Melnik, V.V. & Zamyatin, A.L. (2023). Geophysical investigations at construction and operation sites of underground mines. *Problems of Subsoil Use*, 36(1), 105-112. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.01.105>
- [7] Pisetzkyy, V.B., Lapin, S.Je., Zudilin, A.Je., Patrushev, Ju.V. & Shnajder, I.V. (2016). Methods and results of industrial seismic monitoring application the state of rock mass «Mikon-Geo» in the process of ore and coal deposits underground mining. *Mining informational and analytical bulletin*, (2), 58-64.
- [8] Zhukov, A.A., Prigara, A.M., Tsarev, R.I. & Voroshilov, V.A. (2022). Solution of mining engineering problems at a potassium salt deposit using geophysical methods. *Mining informational and analytical bulletin*, (5-1), 82-91. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2022-51-0-82>
- [9] Zhukov, A.A., Prigara, A.M., Tsarev, R.I. & Shustkina, I.Yu. (2019). Method of mine seismic survey for studying geological structure features of Verkhnekamskoye salt deposit. *Mining informational and analytical bulletin*, (4), 121-136. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-04-0-121-136>
- [10] Tirkel', M.G. & Kompanec, A.I. (2001). Primenenie shahtnoj sejsmorazvedki dlja vyjavlenija i trassirovanija tektonicheskikh narushenij ugol'nogo plasta. *Mining informational and analytical bulletin*, (3), 54-56
- [11] Bazhenova, E. A. (2022). Identification of fault zones within an orebody using a set of geophysical methods. *Mining informational and analytical bulletin*, (5), 67-83. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2022-5-0-67>
- [12] Bizjaev, A.A., Voronkina, N.M., Savchenko, A.V. & Cupov, M.N. (2019). Metodika beskontaktnogo opredelenija opasno nagruzhennyh zon v massive gornoj vyrabotki. *Zhurnal Ugol'*, (11), 27-31
- [13] Malehmir, A., Durrheim, R., Bellefleur, G., Urosevic, M., Juhlin, C., White, D., Milkereit, B. & Campbell, G. (2012). Seismic methods in mineral exploration and mine planning: A general overview of past and present case histories and a look into the future. *Geophysics*, (77), WC173-WC190. <https://doi.org/10.1190/geo2012-0028.1>

## Рудалық кендорындарын жер асты әдісімен игеруде геофизикалық зерттеулерді қолданудың тиімділігі

С.А. Истекова, Д.Н. Толыбаева\*, Л.Д. Исаева, З.Н. Аблесенова, М.А. Таласов

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [dina\\_tol@mail.ru](mailto:dina_tol@mail.ru)

**Андатпа.** Мақала қатты пайдалы қазбалар кен орындарын игеруді бақылау мәселелерін шешуде геофизикалық әдістерді қолдану мәселелеріне шолу жасауға арналған. Соңғы жылдары кен қазбаларын салу және жер астында игерілген кен орындарын пайдалану кезінде тау сілемдерінің бұзылуынан туындаған табиғи және техногендік апаттардың жиілегендігінен жұмыста қарастырылған мәселелер өте өзекті болып табылады. Бұл әсіресе игерудің кеш сатысындағы кен орындар үшін маңызды. Шетелдік және отандық ғылыми әдебиеттерді талдау негізінде авторлар кен орындарын игеру және пайдалану кезеңінде тау-кен өнеркәсібінде геофизикалық әдістердің әртүрлі модификацияларын қолдану мүмкіндігіне егжей-тегжейлі талдау жасады. Үлкен тереңдіктегі кен орындарды игеруді бақылауда сейсмикалық барлау әдісін қолданудың тиімділігіне ерекше назар аударылады. Геофизикалық әдістерді қолдану геологиялық ортаның қазіргі жағдайына және тау жыныстарына жасанды әсер етуіне байланысты жер асты қазбаларының табиғи-техникалық жүйелерінің тәртібін есепке алудың тиімді әдістерінің бірі екендігі көрсетілген. Жерасты қазбаларының техногендік жағдайын жүйелі түрде бақылау және алдын алу және тау сілемдері мен қол жетпейтін жерлердегі қатты пайдалы қазбалардың кен орындарын қазіргі заманғы геофизикалық технологияларды пайдалана отырып зерделеу ұзақ мерзімді пайдаланылған кен орындарын тиімді және қауіпсіз игерудің негізі болып табылады деген негізді қорытынды жасалды. Ұсынылған шолуды ғылыми-практикалық негіздеу үшін Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ мамандары Қазақстандағы құмтас кенорындарының күрделі тау-кен-геологиялық жағдайында жерасты өндіру кезінде сейсмикалық әдістерді қолдана отырып, өндірілген кеңістіктің геомеханикалық күйін бағалау технологиясын әзірледі.

**Негізгі сөздер:** геофизикалық мониторинг, жерасты жұмыстары, пайдалы қазбалар кен орындары, геомеханикалық сипаттамалар.

## Эффективность применения геофизических исследований при разработке рудных месторождений подземным способом

С.А. Истекова, Д.Н. Толыбаева\*, Л.Д. Исаева, З.Н. Аблесенова, М.А. Таласов

Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [dina\\_tol@mail.ru](mailto:dina_tol@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена обзору вопросов о применении геофизических методов при решении задач контроля за разработкой месторождений твердых полезных ископаемых. Рассматриваемые в работе проблемы, являются весьма актуальными из-за участвовавших в последние годы природных и техногенных катаклизмов, вызванных нарушением горного массива при строительстве горных выработок и эксплуатации рудных месторождений, разрабатываемые подземным способом. Особенно это важно для месторождений, находящихся на поздней стадии разработки. На основе анализа зарубежной и отечественной научной литературы, авторами дан подробный анализ о возможности применения различных модификаций геофизических методов в горной промышленности на этапе освоения и эксплуатации месторождений. Особое внимание уделено эффективности применения метода сейсморазведки при мониторинге разработки рудных месторождений, осваиваемые подземным способом на больших глубинах. Показано, что использование геофизических методов является одним из наиболее эффективных способов учета поведения природных и технических систем подземных выработок в зависимости от текущего состояния геологической среды и искусственных воздействий на массивы горных пород. Сделан обоснованный вывод, что систематический мониторинг и профилактика техногенного состояния подземных выработок и изучение текущего состояния горного массива и рудной залежи в недоступных частях с применением современных геофизических технологий являются основой эффективной и безопасной разработки длительно эксплуатируемых месторождений твердых полезных ископаемых. Представленный обзор использован для научно-практического обоснования проведения исследовательских работ коллективом специалистов КазНИТУ К. И. Сатпаева по разработке технологии оценки состояния выработанного пространства сейсмическими методами при подземной добыче в сложных горно-геологических условиях месторождений медистых песчаников Казахстана.

**Ключевые слова:** геофизический мониторинг, подземные работы, месторождения полезных ископаемых, геомеханические характеристики.

Accepted: 15 August 2024

Available online: 31 August 2024