

Код МРНТИ 36.23.31

*Р. С. Қурманбаев¹, А. Кенесбаева², О. С. Қурманбаев¹, Бен Джарихани³¹Ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан),²Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан),³Орталық Азия университеті, Тау қауымдастықтарын зерттеу институты
(Квинсленд, Австралия)

КАСПИЙ МАҢЫ АЙМАҒЫНЫҢ ГЕОДИНАМИКАСЫН МОНИТОРИНГТЕУДІҢ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ЖЕТІЛДІРУ

Аннотация. Мақала Қазақстанның батыс өңіріндегі көмірсутек кен орындарын игеру кезінде туындайтын геодинамикалық процестерді зерттеуге арналған. Каспий теңізінің Бозашы түбегіндегі жер беті деформацияларын кешенді мониторингтеу нәтижелері ұсынылған. Заманауи геодезиялық аспаптар мен авторлар жетілдірген техникалық құралдарды қолдану жер бетінің шөгу параметрлерін анықтаудың дәлдігі мен жеделдігін арттырды. Мониторинг нәтижесінде ауданның геодинамикалық полигоны және мәжбүрлі центрлеуге арналған тұрақты тірек пункттерінің конструкциясы әзірленіп, өндіріске енгізілді. Зерттеу нәтижелері «Геосервис-С» ЖШС-де Батыс Қазақстан кен орындарын игеру кезіндегі жер бетінің деформациялық процестерін мониторингтеу жобасын іске асыруда және ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің оқу үдерісінде пайдаланылды.

Түйінді сөздер: көмірсутек кен орындары, жер беті, шөгу, геодинамикалық полигон, геодезиялық мониторинг, GPS бақылаулар.

Improvement of geodetic methods for geodynamic monitoring in the Caspian region

Abstract. The article examines geodynamic processes arising during the development of hydrocarbon deposits in western Kazakhstan. The results of integrated monitoring of ground surface deformation on the Buzachi Peninsula in the Caspian region are presented. The use of modern geodetic instruments and technical solutions improved by the authors increased the accuracy and efficiency of determining ground subsidence parameters. Based on the monitoring results, a geodynamic monitoring site and a design for permanent forced-centering control points were developed and implemented. The research results were implemented at Geoservice-S LLP during a project on monitoring ground surface deformation during field development in Western Kazakhstan and used in the educational process of Al-Farabi Kazakh National University.

Key words: hydrocarbon deposits, ground surface, subsidence, geodynamic monitoring site, geodetic monitoring, GPS observations.

Совершенствование геодезических методов мониторинга геодинамики прикаспийской зоны

Аннотация. Статья посвящена изучению геодинамических процессов, возникающих при разработке месторождений углеводородов в западном регионе Казахстана. Представлены результаты комплексного мониторинга деформаций земной поверхности на Бузачинском полуострове Каспийского моря. Использование современных геодезических приборов и усовершенствованных авторами технических средств повысило точность и оперативность определения параметров оседания земной поверхности. По результатам мониторинга созданы и внедрены геодинамический полигон района и конструкция постоянных опорных пунктов принудительного центрирования. Результаты исследования внедрены в ТОО «Геосервис-С» при реализации проекта по мониторингу деформационных процессов земной поверхности при разработке месторождений Западного Казахстана и использованы в учебном процессе Казахского национального университета имени аль-Фараби.

Ключевые слова: месторождения углеводородов, земная поверхность, оседание, геодинамический полигон, геодезический мониторинг, GPS-наблюдения.

Кіріспе

Әлемнің көптеген мұнай-газ бассейндерінде мұнай мен газ өндіруге байланысты күшті, тіпті апатты геодинамикалық құбылыстар тіркелген. Бұл құбылыстар жер сілкіністері, шөгінді жыныстар қабатындағы тектоникалық жарылымдардың белсенділенуі және жер бетінің қарқынды шөгуі түрінде байқалады. Қазіргі уақытта жер беті қозғалыстарының қарқындылығы туралы ауқымды ғылыми деректер жинақталған.

Батыс Қазақстандағы мұнай-газ кен орындарын ұзақ уақыт бойы қарқынды игеру нәтижесінде техногендік жер сілкіністерінің пайда болу ықтималдығы артып келеді. Әлбетте, мұндай сейсмикалық құбылыстар экологиялық, әлеуметтік және экономикалық тұрғыдан елеулі зардаптарға алып келеді. Бұл өңірде бұған дейін де бірнеше сейсмикалық оқиғалар тіркелген. Мәселен, 2008 жылы Шалқар көлі маңында магнитудасы 7 баллдық жер сілкінісі орын алды, ал 2011 жылғы 21 ақпанда Теңіз кен орны аумағында магнитудасы 4,1 балл болатын жер сілкінісі тіркелді. 2000 жылғы сәуірде жер бетінің ауқымды шөгуі салдарынан Солтүстік Бозашы кен орнына жақын орналасқан Қаламқас және Қаражанбас кен орындарының едәуір аумақтарын су басты. 2018 жылғы желтоқсанда Қазақстанның сейсмологиялық қызметтері Ақтау қаласынан 345 км қашықтықта магнитудасы 3,3 балл болатын жер сілкінісін тіркеді [1, 2].

Осыған байланысты Батыс Қазақстандағы көмірсутек кен орындары аумағындағы геодинамикалық процестерді

зерттеу аса өзекті ғылыми міндет болып табылады. Геодинамикалық процестерді болжау модельдерін әзірлеу және оларды тәжірибеде қолдану қауіпті геодинамикалық жағдайлардың алдын алуға және оларды алдын ала болжауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде мұнай-газ кен орындарын экологиялық тұрғыдан қауіпсіз тәсілдермен игеруді қамтамасыз етіп, қоршаған ортаға келетін зиянды, сондай-ақ ықтимал экономикалық шығындарды азайтуға жағдай жасайды.

Мұндай қозғалыстар жергілікті геодинамикалық полигондар (ГДП) аумағында да, кең аумақтар шегінде де байқалады.

Көпшілік жағдайда геодинамикалық полигондарда мониторинг кешенді түрде жүргізіледі: жер беті қозғалыстары бақыланып қана қоймай, сонымен қатар геологиялық, геоморфологиялық, геофизикалық, сейсмологиялық және, ең алдымен, геодезиялық зерттеулердің кең ауқымы орындалады. Сонымен бірге адамның инженерлік қызметінің әсерінен туындайтын жер бетінің ықтимал деформациялары мен техногендік қозғалыстары зерттеледі [3].

Жер бетінің шөгуін дәл болжау және мұнай мен газ өндірудің теріс салдарын болдырмауға бағытталған тиімді инженерлік шешімдерді қабылдау үшін жер бетінің жалпы вертикаль шөгіндегі техногендік құрамдас бөліктің үлесін нақты анықтау қажет. Себебі табиғи және техногендік факторлардың әсері ажыратылмаған жағдайда қабылданатын алдын алу шаралары негізсіз материалдық шығындарға әкеліп, күтілетін нәтижені қамтамасыз етпейді

мүмкін. Осыған байланысты техногендік жер беті шөгуін ғылыми негізде және жедел болжаудың маңызы арта түседі. Мұндай болжам кеңістіктік және уақыттық өзгерістерді ескере отырып, зерттелетін нысанның ықтимал жай-күйін ғылыми тұрғыдан бағалауға негізделеді.

Аталған жағымсыз құбылыстарды болжау және олардың салдарын азайту өзекті мәселе болып табылады. Бұл мәселе бойынша Қазақстан Республикасының «Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы», заңында мұнай-газ кәсіпорындарына жер қойнауының өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында жер бетінің жай-күйіне тұрақты мониторинг жүргізу міндеті жүктелген [4].

Зерттеудің мақсаты – мұнай кен орындарын игеру барысында мониторингтік бақылаулар негізінде табиғи-техногендік геодинамикалық үдерістердің өндірістік және экологиялық зардаптарын барынша азайтуды қамтамасыз ету.

Зерттеу нысаны мен пәні

Зерттеу нысаны – Бозашы түбегінде орналасқан кен орындары. Зерттеу пәні – көмірсутектерді өндіру нәтижесінде жер бетінің шөгу процесі.

Зерттеу әдістері

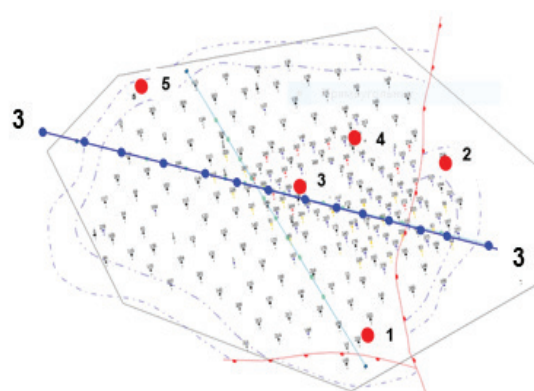
Көмірсутек кен орындарын игеру барысында әртүрлі табиғи-техногендік процестер орын алады. Оларға тектоникалық жарылымдардың белсенділенуі, деформациялық процестер, жер бетінің шөгуі, тау жыныстары массивтерінің көлденең ығысулары жатады. Бұл құбылыстардың әрқайсысы өндірістік және экологиялық тұрғыдан елеулі жағымсыз салдарға әкелуі мүмкін. Сондықтан зерттеуде кешенді ғылыми әдіс қолданылды. Ол зерттелетін ауданның геологиялық және тектоникалық құрылымын талдауды, жер бетінің жылжуын бақылау бойынша кешенді мониторинг жүргізу және тау жыныстары массивінің кернеулі-деформациялық күйін бағалауды қамтиды.

Сонымен қатар қазіргі геодезиялық тәжірибеде заманауи геодезиялық аспаптарды пайдалана отырып тау жыныстары массивінің жай-күйіне мониторинг жүргізудің бірыңғай әдістемесі қалыптаспаған. Осыған байланысты массивтің геодинамикалық жай-күйін бағалау мен болжауға арналған геодезиялық мониторинг әдістерін өндіріске енгізу тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін арттырудың және пайдалы қазбаларды игеру тиімділігін қамтамасыз етудің маңызды ғылыми-практикалық міндеті болып табылады.

Көмірсутек шикізатын игеру кезінде жер қойнауының геодинамикалық жай-күйіне мониторинг жүргізу, сондай-ақ кен орындары аумағындағы бірегей инженерлік құрылыстардың геодинамикалық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсаттары мен міндеттері бақылау жүйелерін ғылыми негізде құруды және оларда кен орнын игерудің барлық кезеңінде үздіксіз мониторингтік бақылаулар ұйымдастыруды талап етеді. Қолда бар геологиялық-геофизикалық және кәсіпшілік-геологиялық материалдарды, сондай-ақ өңірдің сейсмоструктуралық жағдайын талдау геодинамикалық мониторинг жүр-

гізудің үш негізгі тәсілі: деформациялық (Leica WILD NA 3003 аспабымен қайталап нивелирлеу), GPS (Leica GS16) және гравиметриялық (AutoGrav CG-5- 091-гравимер) бақылауларды кешенді қолданудың қажеттілігін көрсетті. Мұнай және газ өндіру аудандарында жер беті қозғалыстарын мониторингтеу кезінде келесі негізгі талаптар қойылады: зерттеу нәтижелерінің ақпараттылығын арттыру, бақылаулардың жеделдігін қамтамасыз ету және зерттеулердің экономикалық тиімділігін жоғарылату [5]. Осы талаптарды негізге ала отырып, Өл-фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті Бозашы түбегі кен орнында жүргізілген зерттеулердің мақсаты айқындалып, ғылыми идеясы негізделіп, негізгі міндеттері тұжырымдалды.

Зерттеу нәтижелері



● – гравиметриялық пункттермен біріктірілген нивелирлеу пункттері; leveling points combined with gravimetric points; нивелирные пункты, совмещенные с гравиметрическими пунктами

● – ГНСС пункттері; GNSS points; ГНСС-пункты

● – ұңғымалар; boreholes; скважины

Сурет 1. «Қаражанбас» геодинамикалық полигоны аумағындағы 3–3 профильдік сызығы бойымен орналасқан пункттердің сызбасы.

Figure 1. Layout of survey stations along Profile Line 3–3 within the Karazhanbas Geodynamic Monitoring Area.

Рис. 1. Схема расположения пунктов по профильной линии 3–3 на территории ГДП «Каражанбас».

Үлкен алқапты алып жатқан, бірнеше кенорындары шоғырланған және әртүрлі терең қабаттарда түзілген Бозашы түбегінде мониторинг жүргізу жоғары дәлдікті геодезиялық негіздемені құруды талап етеді. Осыған байланысты, тірек, ГНСС, нивелирлік, сейсмологиялық, гравиметриялық және радарлық интерферометрия пункттерінен тұратын тармақталған геодинамикалық полигон (ГДП) құрылды және оның профильдік сызықтары әр кен орындарының тектоникалық жарылымдар шоғырланған жерлеріне сәкес орнатылды. 1-суретте жоғары дәлдікті II класты қайталама нивелирлеу 3-3 профилінің сызбасы көрсетілген. Профиль 25 реперді қамтиды және полигонның орталық бөлігін батыстан шығысқа қарай кесіп өтеді.

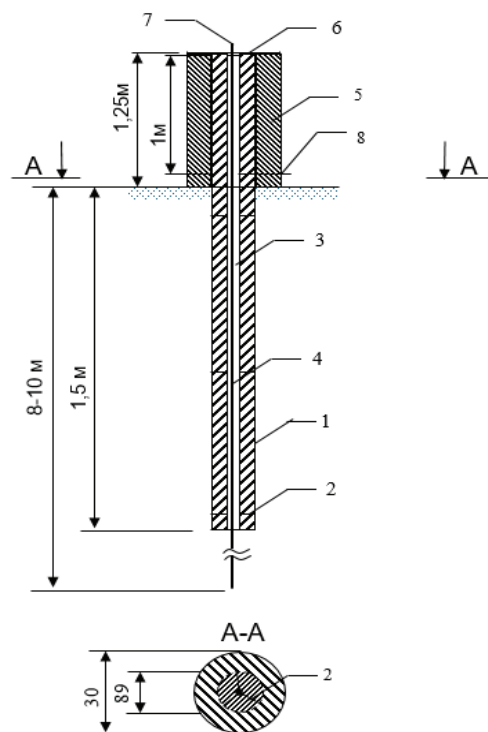
Геодинамикалық полигондардың (ГДП) мыңнан астам реперлерінде жүргізілген көпжылдық бақылаулар далалық жұмыстардың, әсіресе аспаптар жиынтығын (аспаптың өзі, штатив, рейкалар және т. б.) бір пункттен екіншісіне тасымалдаудың аса еңбек сыйымды екенін көрсетті. Осыған байланысты аспаптарды орнатуды жеңілдету, өлшеу жұмыстарын жеделдету, сондай-ақ жер бетінің көлденең және тік ығысу құрамдастарын жоғары дәлдікпен анықтау мақсатында мәжбүрлі центрлеу үстелімен жабдықталған терең тірек пунктінң конструкциясы әзірленді және өндіріске енгізілді (2-сурет).

Терең тірек пунктті геодезия саласына, атап айтқанда, жер беті деформацияларын ұзақ мерзімді мониторингтеуге арналған құрылғыларға жатады. Ол мұнай және газ кен орындарын игеру кезінде, сондай-ақ инженерлік-геологиялық жағдайлары күрделі аумақтарда қолдануға арналған. Ұсынылған конструкцияның техникалық артықшылығы – топырақтың жоғарғы қабаттарының деформацияларының әсерін болдырмау, сонымен қатар штативті қолданбай ақ нивелирлеу және спутниктік бақылаулар жүргізу мүмкіндігін қамтамасыз ету [6].

Геодезиялық аспап штативсіз, мәжбүрлі центрлеу құрылғысының көмегімен тікелей пункттің жоғарғы бөлігіне орнатылады, бұл өлшеулердің дәлдігін арттырып, далалық жұмыстардың өнімділігін жоғарылатады. Пункттің жоғарғы бөлігінде орналасқан тірек пилоны-5 геодезиялық аспапты орнатуға арналған бұрандалы қосылысы бар центрі – 7 қарастырылған орнату рамасымен – 6 жабдықталған. Сонымен қатар, нивелирлік рейканы орнатуға арналған шеткі марка – 8 қарастырылған. Осылайша, бұл конструкция көпэлементті жүйе болып табылады. Мұнда сыртқы құбыр жердің жоғарғы қабаттарымен байланысқан, ішкі құбыр арматуралық тіректер мен М200 маркалы бетон қоспасы арқылы бекітілген, ал металл құбыр тау жыныстары массивінің терең қабаттарына қатаң бекітіледі. Ұсынылған терең реперді пайдалану жер бетімен берік байланысқан металл өзектің центрінің орнын анықтау арқылы жердің жоғарғы қабаттарының тау жыныстары массивіне қатысты ығысуын бағалауға мүмкіндік береді [7].

Терең геодезиялық пункт диаметрі 89 мм болатын металл құбырдан – 1 жасалған. Құбырдың ішінде ұзындығы 1,5 м, диаметрі 25 мм болатын, солидолмен толтырылған екінші құбырды – 3 орналастыруға арналған арматуралық тіректер – 2 орнатылған. Солидолмен толтырылған құбырдың ішіне диаметрі 12 мм болатын металл арматура – 4) енгізіліп, ол 8–10 м тереңдікке дейін топыраққа қағылады. Мұндай терең реперді пайдалану жер бетімен қатаң байланысқан өзектің центрінің орнын анықтау арқылы жердің жоғарғы қабаттарының тау жыныстары массивіне қатысты ығысуын жоғары дәлдікпен бағалауға мүмкіндік береді.

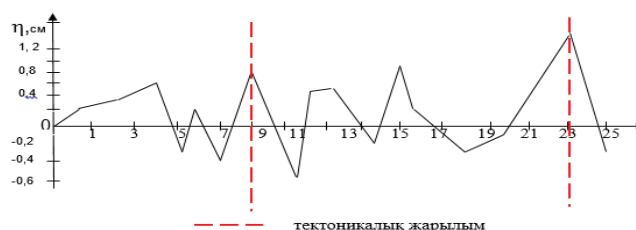
Геодезиялық бақылаулар. «Қаражамбас» геодинамикалық полигонында (ГДП) II класы нивелирлеу Leica WILD NA 3003 сандық лазерлік нивелирі және инварлық рейкалар көмегімен тура және кері бағыттар бойынша қосарланған нивелирлеу әдісімен орындалды. Нивелир үшін дәлдік шегі 0,4 мм болып белгіленді, бұл I класы нивелирлеуге қойылатын талаптарға сәйкес келеді [8].



Сурет 2. Мәжбүрлен центрлеудің ГНСС пункттері.

Figure 2. GNSS Forced-Centering Stations.

Рис. 2. ГНСС-пункты принудительного центрирования.



Сурет 3. «Қаражамбас» геодинамикалық полигонының 1–3 профілі бойынша қайталап нивелирлеу графигі.

Figure 3. Graph of Repeated Leveling Results along Profile Line 1–3 of the Karazhanbas Geodynamic Monitoring Area.

Рис. 3. График результатов повторного нивелирования по профилю 1–3 геодинамического полигона «Қаражамбас».

Профиль пункттерінің ығысулары бойынша жүргізілген өлшеулерді талдау нәтижесінде 2008 жылғы қарашадан 2026 жылғы маусымға дейінгі кезеңде спутниктік координаталық анықтаулар деректері бойынша пункттердің елеулі көлденең ығысулары тіркелмегені анықталды. Ал, биіктік өзгерістеріне (шөгугеріне) келетін болсақ, тек 4 мм-ден асатын вертикаль шөгугер 8 және 25 пункттер ғана ерекше назар аударуды қажет етеді.

2026 жылғы нивелирлеу нәтижелері төмендегідей қорытындылар жасауға мүмкіндік береді:

Кесме 1

Спутниктік және сызықтық өлшеулер нәтижелерінің салыстырмалы талдауы

Table 1

Comparative Analysis of Satellite and Linear Measurement Results

Таблица 1

Сравнительный анализ результатов спутниковых и линейных измерений

Пункттен бастап	Пунктке дейіна	Арақашықтық S Leica GS16	Арақашықтық S Leica TS1201	dS	Салыстырмалықателік
1	2	2359.266	2359.265	0.001	1/1947000
1	3	1962.898	1962.896	0.002	1/1002000
1	4	2276.461	2276.465	-0.004	1/625000
2	3	1220.430	1220.428	0.002	1/663000
2	4	686.720	686.465	0.006	1/625000
4	5	2840.789	2840.796	-0.007	1/386000
Өлшеулердің орташа квадраттық қателігі				0.005	

1. Жер бетінің деформациялану үдерістері үздіксіз сипатқа ие, алайда олардың қарқындылығы уақыт бойынша біркелкі өзгермейді.

2. Деформациялардың ең жоғары жылдамдықтары 2026 жылдар аралығында байқалып, тектоникалық жарылымдар аймақтарына сәйкес келеді.

Реперлердің шөгу шамаларын анықтау нәтижелері қайталама нивелирлеу деректерімен салыстырылды.

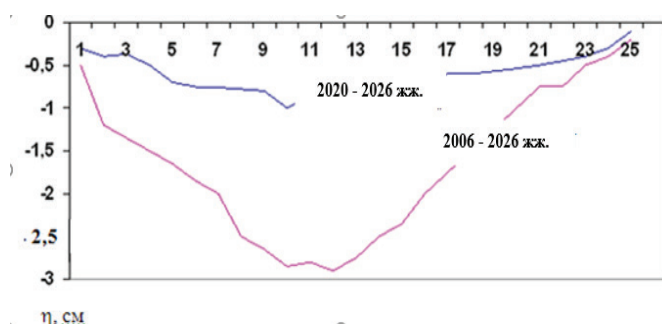
Жерсеріктік бақылаулар. Геодинамикалық полигондағы жер беті деформацияларын бағалау мақсатында орнатылған (1-суреттегі) 5 GPS пункттерінің координаталары анықталды. Спутниктік бақылауларды өңдеу GPS-қабылдағыштарының құрамына кіретін GS16 («Leica», Швейцария) стандартты бағдарламалық қамтамасыз етуі арқылы жүргізілді. Өңдеу нәтижесінде қабылданған жергілікті координаттар жүйесінде 3–3 профильдік сызығы пункттерінің пландық координаталары және реперлердің биіктік белгілері қайтадан анықталды.

Спутниктік өлшеулердің дәлдігін бағалау мақсатында геодинамикалық полигон профилінің негізгі 5 пунктті қосымша Leica TS1201 электрондық тахеометрімен өлшенді. Өлшеу нәтижелерінің салыстырмалы талдауы кестеде келтірілген және бұл кестеден GPS бақылаулары бойынша анықталған координаталардың дәлдігі электрондық тахеометрдің көмегімен алынған өлшеулер дәлдігімен іс жүзінде сәйкес келетінін көрсетті [9].

Осылайша, «Қаражамбас» геодинамикалық полигонда қайталама нивелирлеу өлшеулері цифрлық лазерлік нивелирлерді, электрондық тахеометрлерді және GPS-жабдықтарын пайдалану арқылы жүргізілді, бұл жер беті деформацияларының мониторингі нәтижелерінің жоғары дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз етті.

Келесі 4-суретте «Қаражамбас» геодинамикалық полигонының нивелирлік желісіндегі 3–3 профиль бойынша 2020–2026 жж. және 2006–2026 жж. аралығындағы реперлердің ығысу графиктері көрсетілген.

Қайталама бақылаулар нәтижелерін талдау 2020–2026 жылдар аралығында реперлердің вертикаль ығысуларының шамасы 2–8 мм аралығында өзгергенін көрсетті. Сонымен қатар, неғұрлым ұзақ мерзімді бақылаулар кезеңінде (2006–2026 жж.) вертикаль ығысудың ең үлкен шамасы 2,9 см-ге жеткен. Бұл деформациялық үдерістердің жинақталу сипатын және аумақта ұзақ мерзімді геодинамикалық мониторинг жүргізудің қажеттілігін дәлелдейді.



Сурет 4. «Қаражамбас» геодинамикалық полигонының 1–3 профилі бойынша реперлердің жылдар бойы вертикаль жылжу графиктері.
Figure 4. Annual Vertical Displacement Graphs of Benchmarks along Profile Line 1–3 of the Karazhanbas Geodynamic Monitoring Area.

Рис. 4. Графики вертикальных смещений реперов по профилю 1–3 геодинамического полигона «Қаражамбас» за разные годы.

Далалық өлшеулердің нәтижелері Leica Geo Office мамандандырылған бағдарламалық қамтамасыз етуі арқылы GPS-5 базалық пунктке қатысты өңделді. GPS-5 базалық пунктін координаттары мониторингтің бүкіл кезеңіне тұрақты ретінде бекітілді.

Өлшеулердің сапасы сессиялардың қабысу нүктелеріндегі айырмашылықтар бойынша бағаланды [10].

Қорытынды

1. Кен орындары игерілетін аумақтардағы деформацияларды аспаптық бақылау бойынша отандық және шетелдік геодинамикалық зерттеулерге жан-жақты талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері геодинамикалық полигонда (ГДП) қауіпті геодинамикалық үдерістерді кешенді бағалау мен болжау әдістемесін әзірлеуге негіз болды.

2. Геодинамикалық полигон пункттерінде қайталама бақылаулар жүргізу әдістемесі жетілдірілді. Әдістеме жоғары дәлдікті цифрлық нивелирлеуді, электрондық тахеометрлерді және GPS-технологияларын қолдануға

негізделген кешенді геодезиялық бақылауларды қамтиды. Бұл жер бетінің шөгуді анықтау дәлдігі мен жеделдігін арттыруға, сондай-ақ далалық және камералық геодезиялық жұмыстарды цифрландыру есебінен геодинамикалық мониторингтің тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

3. Кен орны аумағында жүргізілген GPS-өлшеулердің екінші циклының нәтижелерін бірінші цикл деректерімен салыстыру жер беті қозғалыстарының тік және көлденең құрамдастарының аумақтық таралуындағы негізгі заңдылықтар мен даму үрдістерін анықтауға мүмкіндік берді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Chang L., Ku O., Hanssen R. InSAR көмегімен мұнай бергіштігін арттырудан (EOR) туындаған деформация сипатының өзгерістерін анықтау // *International Journal of Remote Sensin.* – 2019. – Т. 40. – № 4. – Б. 1495–1505 (ағылшын тілінде)
2. Ашихмин С. Г. Көмірсутек кен орындарын игеру кезінде тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін болжау әдістемелерінің ерекшеліктері // *Ресейдің минералдық ресурстары. Экономика және басқару.* – 2008. – № 2. – Б. 38–41 (орыс тілінде)
3. Күлдеев Е. И., Нұрпейісова М. Б., Қырғызбаева Г. М. Жер қойнауын игеру және экологиялық қауіпсіздік. – Германия: LAP LAMBERT, 2021. – 234 б. (орыс тілінде)
4. Қазақстандағы Теңіз мұнай кен орнындағы өндірістік мониторинг бағдарламаларын толықтыру мақсатында InSAR-дың көру сызығы бағытындағы өлшемдерін 3D және 2D декомпозициялау арқылы алынған тік және көлденең деформацияларды сандық бағалау / Е. Бауғатов [және т. б.] // *Remote Sensing.* – 2021. – Т. 13. – № 13. – 2579 (ағылшын тілінде)
5. Попков В. И., Попков И. В. Тұран плитасының батысындағы Бозащы мұнай-газ жинақталу аймағының тектоникасы // *Мұнай және газ геологиясы.* – 2024. – № 2. – Б. 5–18 (орыс тілінде)
6. Сапарбекова М. А., Өмірова Г. К., Ахметов Е. М. Солтүстік Бозащы кен орнындағы жер қойнауының геодинамикалық мониторингі // *Халықаралық Сәтбаев оқуларының еңбектері.* – 2015. – Т. III. – Б. 49–54 (орыс тілінде)
7. Қазақстан Республикасының №10736 патенті, 20.05.2025 ж. «Мәжбүрлі центрлеудің тұрақты пункті» / Мейрамбек Г., Рысбеков Қ. Б., Нұрпейісова М. Б., Солтабаева С. Т. [және т. б.] (орыс тілінде)
8. Nurpeisova M. B., Sarybaiev O. A., Kurmanbaiev O. S. Кен орындарын құрама тәсілмен игеру кезіндегі геомеханикалық процестердің даму заңдылықтарын зерттеу // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu.* – 2016. – Шығ. 4. – Б. 30–36 (ағылшын тілінде)
9. Қытайдың Шыңжаң аймағындағы Фэнчэн мұнай кен орнында сұйықтықты немесе газды айдау нәтижесінде жер бетінің деформацияларын мониторингтеу және талдау / J. Shi [және т. б.] // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing.* – 2019. – Т. 47. – № 11. – Б. 455–466 (ағылшын тілінде)
10. Кенесбаева А., Нұрпейісова М., Левин Е. Көмірсутектерді өндіру кезіндегі деформациялық процестерді GPS-мониторингтеу // «Пайдалы қазбаларды игеру мәселелері XXI ғасырда жастар көзімен» XIV халықаралық жас ғалымдар мен мамандар ғылыми мектебінің еңбектер жинағы. – М.: РПА ИПКОН, 2019. – Б. 125–130 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Chang L., Ku O., Hanssen R. Identification of deformation pattern changes caused by enhanced oil recovery (EOR) using InSAR // *International Journal of Remote Sensing.* – 2019. – Vol. 40. – No. 4. – P. 1495–1505 (in English)
2. Ashikhmin S. G. Osobennosti metodik prognozirovaniia napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia porod pri razrabotke mestorozhdenii uglevodorodov [Specific Features of Methods for Predicting the Stress–Strain State of Rocks during Hydrocarbon Field Development] // *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie [Mineral Resources of Russia. Economics and Management].* – 2008. – No. 2. – P. 38–41 (in Russian)
3. Kuldeev E. I., Nurpeisova M. B., Kyrgyzbaeva G. M. Osvoenie nedr i ekologicheskaiia bezopasnost' [Subsoil Development and Environmental Safety]. – Deutschland: LAP LAMBERT, 2021. – 234 p. (in Russian)

4. *Quantitative Assessment of Vertical and Horizontal Deformations Derived by 3D and 2D Decompositions of InSAR Line-of-Sight Measurements to Supplement Industry Surveillance Programs in the Tengiz Oilfield (Kazakhstan)* / E. Bayramov et al. // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – No. 13. – Article 2579 (in English)
5. Popkov V. I., Popkov I. V. *Tektonika Buzachinskoi zony neftegazonakopleniia na zapade Turanskoi plity* [Tectonics of the Buzachi Oil and Gas Accumulation Zone in the West of the Turan Plate] // *Geologiya nefti i gaza* [Oil and Gas Geology]. – 2024. – No. 2. – P. 5–18 (in Russian)
6. Saparbekova M. A., Umirova G. K., Akhmetov E. M. *Geodinamicheskii monitoring neдр na mestorozhdenii Severnye Buzachi* [Geodynamic Monitoring of the Subsoil at the Severnye Buzachi Field] // In: *Trudy mezhdunarodnykh Satpaevskikh chtenii* [Proceedings of the International Satpayev Readings]. – 2015. – Vol. III. – P. 49–54 (in Russian)
7. Patent RK No. 10736 dated 20.05.2025. *Postoiannyi punkt prinuditel'nogo tsentrirovaniia* [Permanent Forced-Centering Station] / Meirambek G., Rysbekov K. B., Nurpeissova M. B., Soltabaeva S. T. et al. (in Russian)
8. Nurpeissova M. B., Sarybaiev O. A., Kurmanbaiev O. S. *Study of regularity of geomechanical processes development while developing deposits by the combined way* // *Scientific Bulletin of the National Mining University*. – 2016. – Issue 4. – P. 30–36 (in English)
9. *InSAR Monitoring and Analysis of Ground Deformation Due to Fluid or Gas Injection in Fengcheng Oil Field, Xinjiang, China* / J. Shi et al. // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 47. – No. 11. – P. 455–466 (in English)
10. Kenesbaeva A., Nurpeissova M., Levin E. *GPS-monitoring deformatsionnykh protsessov pri dobyche uglevodorodov* [GPS Monitoring of Deformation Processes during Hydrocarbon Extraction] // In: *Sbornik trudov 14 Mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov* [Proceedings of the 14th International Scientific School for Young Scientists and Specialists]. – Moscow: IPKON RAS, 2019. – P. 125–130 (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chang L., Ku O., Hanssen R. *Выявление изменений характера деформаций, вызванных повышением нефтеотдачи (EOR), с использованием InSAR* // *International Journal of Remote Sensing*. – 2019. – Т. 40. – № 4. – С. 1495–1505 (на английском языке)
2. Ашихмин С. Г. *Особенности методик прогнозирования напряженно-деформированного состояния пород при разработке месторождений углеводородов* // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*. – 2008. – № 2. – С. 38–41 (на русском языке)
3. Кульдеев Е. И., Нурпеисова М. Б., Кыргызбаева Г. М. *Освоение недр и экологическая безопасность*. – Германия: LAP Lambert, 2021. – 234 с. (на русском языке)
4. *Количественная оценка вертикальных и горизонтальных деформаций, полученных посредством 3D- и 2D-декомпозиции измерений InSAR в направлении линии визирования, для дополнения программ производственного мониторинга на Тенгизском нефтяном месторождении (Казахстан)* / E. Bayramov [и др.] // *Remote Sensing*. – 2021. – Т. 13. – № 13. – Ст. 2579 (на английском языке)
5. Попков В. И., Попков И. В. *Тектоника Бузачинской зоны нефтегазонакопления на западе Туранской плиты* // *Геология нефти и газа*. – 2024. – № 2. – С. 5–18 (на русском языке)
6. Сапарбекова М. А., Умирова Г. К., Ахметов Е. М. *Гдинамический мониторинг недр на месторождении Северные Бузачи* // *Труды межд. Сатпаевских чтений*. – 2015. – Т. III. – С. 49–54 (на русском языке)
7. Патент РК № 10736 от 20.05.2025. *Постоянный пункт принудительного центрирования* / Мейрамбек Г., Рысбеков К. Б., Нурпеисова М. Б., Солтабаева С. Т. [и др.] (на русском языке)
8. Nurpeissova M. B., Sarybaiev O. A., Kurmanbaiev O.S. *Исследование закономерностей развития геомеханических процессов при разработке месторождений комбинированным способом* // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2016. – Вып. 4. – С. 30–36 (на английском языке)
9. *Мониторинг и анализ деформаций земной поверхности вследствие закачки жидкости или газа на нефтяном месторождении Фэнчэн, Синьцзян, Китай* / J. Shi [и др.] // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. – 2019. – Т. 47. – № 11. – С. 455–466 (на английском языке)
10. Кенесбаева А., Нурпеисова М., Левин Е. *GPS-мониторинг деформационных процессов при добыче углеводородов* // *Сборник трудов XIV Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых»*. – М.: ИПКОН РАН, 2019. – С. 125–130 (на русском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Құрманбаев Р. С., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің докторанты (Алматы қ., Қазақстан), rusya.kmg@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8060-036X>

Кенесбаева А., Ph.D, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессор, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан), a.kenesbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-0869-5762>

Құрманбаев О. С., Ph.D, доцент, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), olzhas_ak@list; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Бен Джарихани, Ph.D, Жер және қоршаған орта ғылымдары бойынша аға оқытушы, Орталық Азия университеті (Квинсленд, Австралия), bjarihan@usc.edu.au; <https://orcid.org/0000-0002-1728-0008>

Information about the authors:

Kurmanbayev R. S., Ph.D student, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Kenesbayeva A., Ph.D, associated professor, Department of «Mining survey and Geodesy» at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Kurmanbayev O. S., Ph.D, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Ben Jarihani, Ph.D, Senior Lecturer, Earth and Environmental Sciences, School of Arts and Sciences, University of Central Asia, and at the Institute of Mountain Societies Research (Queensland, Australia)

Сведения об авторах:

Құрманбаев Р. С., докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Кенесбаева А., Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

Құрманбаев О. С., Ph. D, доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Бен Джарихани, Ph.D, ст. преподаватель по наукам о Земле и окружающей среде, Школа искусств и наук, Университет Центральной Азии, Институт исследований горных сообществ (Квинсленд, Австралия)

SAM Semi-autogenous and Autogenous Mills

Christian Pfeiffer specializes in producing customized AG/ SAG mills and ball mills that are designed to meet the specific requirements.

We also offer the flexibility to adapt the design to existing foundations making it easier to replace existing mills.

Contact us today for more information on our tailored mill solutions.



**CHRISTIAN
PFEIFFER**