

Код МРНТИ 36.23.27

Г. К. Джангулова¹, О. С. Курманбаев¹, Г. К. Байдаулетова¹, Э. Рубинов²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан),

²FIG 5 ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (ГНСЖ) жұмыс тобы (Мельбурн қ., Австралия)

ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ ИНТЕГРАЦИЯСЫМЕН ИНЖЕНЕРЛІК ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГІ

Аннотация. Жұмыста қазіргі заманғы GNSS-технологияларды және деректерді өңдеудің цифрлық әдістерін қолдана отырып, Алматы өңірі жағдайында геоэкономикалық процестер мен инженерлік құрылыстардың мониторингі үшін пландық-биіктіктік геодезиялық негіздеме жасау ерекшеліктері қарастырылады. ITRF2014 халықаралық координаттар жүйесі, жаһандық және өңірлік деңгейдегі базалық GNSS-станциялары негізінде геодезиялық желіні құру қағидаттары, сондай-ақ BERNES 5.2 және AUSPOS бағдарламалық орталарында ALMA базалық станциясының статикалық бақылауларын өңдеу нәтижелері ұсынылған. Алынған нәтижелер Алматы өңірінің сейсмиоактивті жағдайында жер қыртысының қазіргі заманғы қозғалыстары мен деформациялық процестердің мониторингін геодезиялық қамтамасыз ету негізі ретінде GNSS-технологияларды қолданудың тиімділігін растайды.

Түйінді сөздер: GNSS-өлшемдері, статикалық әдіс, геоэкономикалық бақылау, GNSS-деректерін өңдеу, координат дәлдігі, геодезиялық тор.

Geodetic monitoring of geodynamic processes of engineering structures with integration of digital technologies

Abstract. The paper considers the features of creating a planned high-altitude geodetic justification for monitoring geodynamic processes and engineering structures in the Almaty region using modern GNSS technologies and digital data processing methods. The principles of constructing a geodetic network based on the international coordinate system ITRF2014, GNSS base stations at global and regional levels, as well as the results of processing static observations of the ALMA base station in BERNES 5.2 and AUSPOS software environments are presented. The results obtained confirm the effectiveness of using GNSS technologies as the basis for geodetic monitoring of modern movements of the Earth's crust and deformation processes in the seismically active conditions of the Almaty region.

Key words: GNSS measurements, static method, geodynamic monitoring, GNSS data processing, coordinate accuracy, geodetic network.

Геодезический мониторинг геодинамических процессов инженерных сооружений с интеграцией цифровых технологий

Аннотация. В работе рассматриваются особенности создания плано-высотного геодезического обоснования для мониторинга геодинамических процессов и инженерных сооружений в условиях Алматинского региона с применением современных GNSS-технологий и цифровых методов обработки данных. Представлены принципы построения геодезической сети на основе международной системы координат ITRF2014, базовых GNSS-станций глобального и регионального уровней, а также результаты обработки статических наблюдений базовой станции ALMA в программных средах BERNES 5.2 и AUSPOS. Полученные результаты подтверждают эффективность применения GNSS-технологий в качестве основы геодезического обеспечения мониторинга современных движений земной коры и деформационных процессов в сейсмоактивных условиях Алматинского региона.

Ключевые слова: GNSS-измерения, статический метод, геодинамический мониторинг, обработка GNSS-данных, точность координат, геодезическая сеть.

Кіріспе

Инженерлік құрылыстардың мониторингін геодезиялық қамтамасыз етудің қазіргі тәжірибесінде дәстүрлі аспаптар мен әдістер цифрлық технологияларға көбірек жол береді, олардың арасында жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (ЖНСЖ) аппаратурасы ерекше маңызға ие. Геодезиялық GNSS қабылдағыштарын пайдалану инженерлік құрылымдардың деформациялары мен орын ауыстыруларын зерттеуде маңызды болып табылатын бақыланатын нүктелердің жоспарлы және биіктік жағдайын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Цифрлық технологияларды интеграциялау негізінде геоэкономикалық процестердің геодезиялық мониторингі әдістемесін қолдану шеңберінде мұндай құралдар кеңістіктік деректерді алу құралдары болып табылады [1, 2].

Спутниктік технологияларды кеңінен енгізу геодезиялық мониторинг мүмкіндіктерін едәуір кеңейтті және іс жүзінде инженерлік геодезияны дамытудың жаңа кезеңі болды. GNSS әдістерінің негізгі артықшылықтарына бақылау нүктелері арасында өзара көріну қажеттілігінің болмауы, өлшеулерді орындаудың жоғары жеделдігі, бірыңғай координаталық жүйеде жұмыс істеу мүмкіндігі, сондай-ақ көптеген дәстүрлі әдістердің көрсеткіштерінен едәуір асатын дәлдік жатады. Бұл Алматы өңірінің инженерлік құрылыстарын мониторингілеу кезінде ерекше маңызды, мұнда табиғи-рельефті жағдайлар, урбандалған орта және аумақтың геоэкономикалық белсенділігі жоғары

дәлдіктегі, орнықты және технологиялық интеграцияланған бақылау әдістерін қолдануды талап етеді.

Жерсеріктік технологиялар негізінде инженерлік құрылыстарды мониторингілеу үшін геодезиялық негіздемені қалыптастыру кезінде, әдетте, түбегейлі жаңа жиілету торларын құру талап етілмейді, өйткені қазіргі заманғы GNSS-бақылаулармен толықтырылған мемлекеттік және жергілікті геодезиялық торлардың қолданыстағы пункттері бастапқы негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін. Цифрлық технологияларды интеграциялау негізінде геоэкономикалық процестердің геодезиялық мониторингі әдістемесін қолдану шеңберінде мұндай тәсіл бұрын құрылған геодезиялық негіздің сабақтастығын қамтамасыз етуге және бір мезгілде бақылауларды координаттық қамтамасыз етудің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді [3, 4].

GNSS қолданған кезде байқалатын нүктенің орнын абсолютті және салыстырмалы позициялау әдістерімен анықтауға болады. Алайда, инженерлік құрылыстарды жоғары дәлдікпен мониторингтеу міндеттері үшін Алматы өңірі жағдайында геоэкономикалық және деформациялық процестерге тән шағын кеңістіктік қозғалыстарды анықтаудың неғұрлым жоғары дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін салыстырмалы әдістердің маңызы зор.

GNSS термині бақылау объектілерін жоғары дәлдікпен орналастыру үшін қажетті координаттар, уақыт және навигация параметрлері туралы ғаламдық ақпарат алуға мүмкіндік беретін спутниктік навигациялық жүйелерді бі-

ріктіреді. GNSS отбасына GPS, GLONASS, Galileo және басқа спутниктік топтар сияқты жүйелер кіреді, оларды бөлісу геодезиялық бақылау мүмкіндіктерін едәуір кеңейтеді. Геодинамикалық процестерді зерттеу және инженерлік құрылыстардың жай-күйін бақылау жағдайында GNSS технологиялары объектілердің орын ауыстыруы мен деформациясы туралы кеңістіктік-уақыттық ақпаратты алудың негізгі құралдарының бірі болып табылады [5].

GNSS-ті интеграцияланған геодезиялық бақылау жүйесінде қолдану Шығыс – Батыс, Солтүстік – Оңтүстік және жоғары – төмен бағыттар бойынша үш өлшемді координаттар жүйесіндегі бақылау нүктелерінің кеңістіктік орнын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді, бұл қазіргі заманғы деформациялық процестерді бағалау кезінде ерекше маңызды. Жоғары дәлдіктегі спутниктік бақылаулар шағын қозғалыстарды, оның ішінде миллиметрлік диапазонда тіркеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл әдісті геодинамикалық және техногендік факторлардың әсеріне ұшыраған инженерлік құрылыстардың тұрақтылығын мониторингтеуде тиімді етеді [6].

Геодезиялық мониторинг шеңберіндегі GNSS технологияларының негізгі артықшылықтарына мыналар жатады: координаттарды анықтаудың жоғары дәлдігі, автоматтандырылған режимде үздіксіз бақылау мүмкіндігі, деректерді алудың сенімділігі, сондай-ақ бақыланатын нүктелер жағдайындағы ауытқуларды анықтаудың жеделдігі. Спутниктік өлшемдерді электрондық тахеометрия, лазерлік сканерлеу, Жерді қашықтықтан зондау, инерциялық датчиктер, ГАЗ-платформалар және деректерді өңдеудің автоматтандырылған жүйелері сияқты басқа цифрлық технологиялармен біріктіру мониторингтің ақпараттылығын едәуір арттырады және инженерлік құрылымдар орналасқан аймақтағы геодинамикалық процестердің дамуының кешенді көрінісін қалыптастыруға мүмкіндік береді [7].

Сонымен қатар, GNSS аймақтық және аймақтық сипаттағы деформацияларды, соның ішінде тектоникалық қозғалыстарды, геодинамикалық қозғалыстарды және баяу деформациялық процестерді тиімді көрсетеді. Бұл ретте құрылыстың жекелеген құрылымдық элементтері шегінде немесе шағын учаскелерде туындайтын жергілікті өзгерістерді тек спутниктік деректер бойынша ғана анықтау мүмкін емес, бұл бақылау станцияларының орналасу тығыздығының шектелуіне байланысты. Осыған байланысты, қазіргі тәжірибеде GNSS-ті жергілікті геодезиялық және геотехникалық әдістермен интеграциялау ерекше маңызға ие, бұл деформациялық көріністі егжей-тегжейлі және орын ауыстыру сипатын нақтылауды қамтамасыз етеді [8, 9].

Геодезиялық мониторинг әдістемесін құру үшін аумақтың қазіргі жай-күйі дамудың альпілік кезеңімен байланысты неотектоникалық белсенділікпен анықталатындығы, оның барысында ірі құрылымдардың блоктарға бөлінуі, тау аралық ойпаттардың қалыптасуы және терең ақауларды белсендіру фактісі ерекше маңызға ие. Өңір шегінде жер бетіндегі деформациялардың кеңістікте таралуын және қауіпті геодинамикалық процестердің дамуын бақылайтын Алматы, Іле, Боралдай, Қаскелең және Шілік-Кемин ақаулары, басқа тектоникалық бұзылулармен қатар ерекшеленеді [10, 11]. Ірі ақаулық аймақтар жақын

орналасқан параллель және жедел бұзылулар жүйелерімен ұсынылған, ал әртүрлі вертикалды қозғалыстардың амплитудасы бар қалыптасқан ұсақ блокты құрылым жер қыртысының қазіргі қозғалыстарын жоғары дәлдікпен және көп компонентті бақылау қажеттілігін көрсетеді.

Материалдар мен әдістер

Әдістемелік тұрғыдан алғанда, Алматы өңірі үшін бірыңғай геодезиялық желіге біріктірілген базалық станцияларды, тірек және бақылау пункттерін қамтитын көп деңгейлі мониторинг жүйесін қалыптастыру орынды. Мұндай желіні кеңістіктік ұйымдастыру бақыланатын учаскелердің белсенді ақаулар аймақтарына, аумақтың блоктық құрылымына, тау аралық ойпаттар мен тау беткейлерінің ерекшеліктеріне сәйкес келуін ескеруі керек. Деректерді өңдеу мен интерпретациялаудың цифрлық платформаларын қолдану бақылау нәтижелерін жинақтауды, салыстыруды және визуализациялауды автоматтандыруды қамтамасыз етеді, бұл деформациялық тенденцияларды анықтаудың жеделдігін айтарлықтай арттырады [7]. Осылайша, заманауи цифрлық технологияларды геодезиялық мониторинг жүйесіне біріктіру әртүрлі өлшемдерден геодинамикалық процестерді кешенді бағалауға көшуге мүмкіндік береді және жоғары тектоникалық және сейсмикалық белсенділік жағдайында зерттеулерге ғылыми негізделген сүйемелдеуді қамтамасыз етеді.

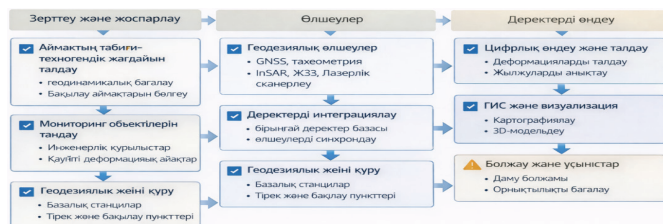
Сейсмикалық белсенді аймақтардағы геодинамикалық мониторинг сейсмикалық қауіпті бағалауда және табиғи және техногендік апаттар қаупін азайтуда шешуші рөл атқарады. Жер қыртысының заманауи қозғалыстары литосферада серпімді кернеулердің жинақталуының индикаторларының бірі ретінде қарастырылады, олардың разряды әртүрлі қарқындылықтағы сейсмикалық оқиғаларға әкелуі мүмкін. Ұзақ уақыт бойы деформацияларды геодезиялық Зерттеудің негізі жоғары дәлдіктегі нивелирлеудің және сызықтық-бұрыштық өлшеудің дәстүрлі әдістері болды. Дегенмен, жаһандық навигациялық спутниктік жүйелердің (GNSS) дамуы жер қыртысының заманауи қозғалыстарын зерттеу мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтті және геодинамикалық зерттеулерді сапалы жаңа деңгейге шығарды [8]. Қазіргі жағдайда мониторинг мәселелерін тиімді шешу спутниктік, жердегі және цифрлық технологияларды деректерді бақылау, өңдеу және интерпретациялаудың бірыңғай жүйесіне біріктіруді көздейтін кешенді тәсіл негізінде ғана мүмкін болады. Табиғи – техногендік жағдайларды талдаудан және геодезиялық желіні қалыптастырудан бастап өлшемдерді орындауға, деректерді интеграциялауға, оларды цифрлық өңдеуге, визуализациялауға және болжауға дейінгі жұмыстарды ұйымдастырудың осындай реттілігі инженерлік құрылыстарды мониторингтеу кезінде геодинамикалық процестерді геодезиялық мониторингтеу әдістемесінің әзірленген схемасында көрсетілген (сурет 1).

Аумақты геодезиялық қамтамасыз етуді жаңғырту жағдайында жергілікті жағдайларға бейімделген ITRF координаттар жүйесін қолдану кеңістіктік деректердің дәлдігін арттырудың және мониторингтің заманауи цифрлық технологияларына көшудің негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Алматы өңіріндегі геодинамикалық про-

цестердің геодезиялық мониторингі міндеттері үшін мұндай тәсіл әртүрлі уақыт циклдерінде орындалған спутниктік бақылаулар нәтижелерінің салыстырмалылығын және оларды талдаудың бірыңғай цифрлық ортасына біріктіруді қамтамасыз ететін жоғары дәлдіктегі координаттық негізді салыстырмалы қысқа мерзімде қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Геодезиялық жұмыстардың заманауи практикасы дәстүрлі аспаптар мен әдістерді жаңа спутниктік технологиялармен белсенді алмастырумен сипатталады, олардың арасында ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелердің аппаратурасы ерекше орын алады. Геодезиялық GNSS қабылдағыштарын пайдалану бақыланатын нүктелердің кеңістіктік орналасуын жоспарда да, биіктікте де классикалық әдістермен салыстырғанда айтарлықтай жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Спутниктік технологиялардың маңызды артықшылығы пункттер арасында өзара көріну қажеттілігінің болмауы болып табылады, бұл бөлшектелген рельефпен, тау беткейлерімен және тектоникалық белсенділік учаскелерімен сипатталатын Алматы өңірінің күрделі табиғи жағдайларында ерекше маңызды.

Алматы өңірі жағдайындағы геодинамикалық процестерді мониторингілеу кезінде халықаралық базалық станцияларға байланыстыра отырып, пландық-биіктіктік геодезиялық негіздемені теңестірудің жоғарыда баяндалған әдістемесі қазіргі уақытта геоцентрлік санақ жүйесін неғұрлым дәл іске асырудың бірі болып табылатын және көптеген елдерде ұлттық координаттар жүйесін қалыптастыру үшін негіз болып табылатын ITRF жалпы жерүсті координаттар жүйесін пайдалануға негізделеді.



Сурет 1. Геодинамикалық үрдістердің геодезиялық мониторингі әдістемесінің алгоритмі.

Figure 1. The algorithm of the methodology of geodetic monitoring of geodynamic processes.

Рис. 1. Алгоритм методики геодезического мониторинга геодинамических процессов.

Геодезиялық мониторинг міндеттерінде ITRF қолдану бақылау пункттерінің жоғары дәлдіктегі кеңістіктік байланысын, халықаралық деңгейде алынған координаттық шешімдердің салыстырмалылығын, сондай-ақ бақылау нәтижелерін жаһандық және өңірлік геодинамикалық модельдермен біріктіру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. 2-суретте геодинамикалық процестердің геодезиялық мониторингі жүйесінде пайдаланылатын Қапшағай ауданында орнатылған базалық GNSS-станциясы көрсетілген.

Станция ғимараттың құрылымдық элементіне бекітілген қатты бекітілген металл тірекке орналасты-

рылған, бұл антеннаның тұрақтылығын және негіздің жергілікті деформацияларының әсерін азайтады. Станция жер қыртысының заманауи қозғалыстарын талдау және деформациялық процестерді бағалау үшін қолданылатын координаттардың уақыт қатарын құра отырып, тұрақты бақылау режимінде жұмыс істейді. Алынған мәліметтер өңдеу орталығына беріледі, онда олар бірыңғай тірек геодезиялық желіні құра отырып, аймақтың басқа базалық станцияларының нәтижелерімен біріктіріледі.



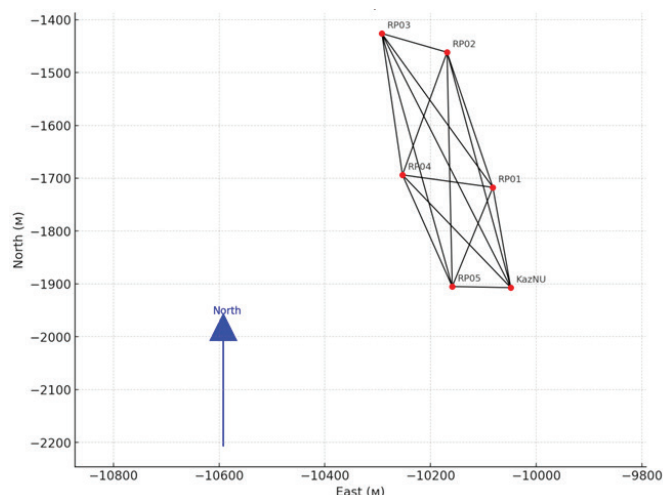
Сурет 2. Базалық GNSS-Қапшағай ауданында орнатылған станция.

Figure 2. The base GNSS station installed in Kapshagai district.

Рис. 2. Базовая GNSS-станция, установленная в Капшагайском районе.

Алматы өңірінде осындай базалық станцияларды пайдалану бақылау пункттерінің жоғары дәлдіктегі кеңістіктік байланысын қамтамасыз етуге, мониторинг нәтижелерінің дұрыстығын арттыруға және жергілікті өлшемдерді жаһандық геодинамикалық модельдермен интеграциялау-ды іске асыруға мүмкіндік береді.

Өңірлік ерекшеліктерді ескере отырып, пландық-биіктіктік геодезиялық негіздемені құрудың ұсынылған әдістемесін сынақтан өткізу мақсатында эксперименттік объект ретінде Алматы қаласында Ташкент көшесі мен Бауыржан Момышұлы даңғылының қиылысында орналасқан көпір айырбасы таңдалды [10]. Бұл инженерлік құрылысты таңдау оның көліктік маңыздылығына, қарқынды қалалық құрылыс жағдайында орналасу ерекшеліктеріне және табиғи және техногендік факторлардың әсерінен объектілерді геодезиялық мониторингтеу кезінде әзірленген тәсілдің қолданылуын практикалық бағалау мүмкіндігіне байланысты. Осы объектідегі әдістемені сынақтан өткізу геодезиялық негіздемені құрудың таңдалған схемасының тиімділігін, Халықаралық Базалық станцияларға байланудың дәлдік мүмкіндіктерін және алынған нәтижелердің деформациялық процестерді кейінгі мониторингтеу үшін жарамдылығын бағалауға мүмкіндік берді (сурет 3).



Сурет 3. Көпір құрылыстарын зерттеуге арналған GNSS желісінің орналасуы.

Рис. 3. Расположение сети GNSS для исследования мостовых сооружений.

Figure 3. Location of the GNSS network for bridge research.

Суретте 3. К. Сәрсембекованың пландық-биіктіктік негіздемесін құру кезіндегі зерттеулері аясында құрылған геодезиялық GNSS желісінің сызбасы көрсетілген. Желіге базистік сызықтар жүйесімен өзара байланысты тірек пункттері (RPO1–RPO5), сондай-ақ Бірыңғай координаттар жүйесінде бастапқы пункт рөлін атқаратын KazNU базалық станциясына байланыстыру кіреді [10].

Желінің конфигурациясы нүктелер арасында жабық және диагональды байланыстардың болуымен сипатталады, бұл оның геометриялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді және теңестіру нәтижелерінің сенімділігін арттыра-

ды. Артық өлшеулердің болуы бақылау сапасын бақылауға, ықтимал қателерді анықтауға және желі нүктелерінің координаттарын анықтау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

KazNU базалық станциясына байланыстыру желіні халықаралық координаттар жүйесіне қосуды қамтамасыз етті, бұл жоғары дәлдіктегі кеңістіктік байланыстыруды және нәтижелерді жаһандық және өңірлік геодинамикалық модельдермен салыстыруды іске асыруға мүмкіндік береді. GNSS желісінің мұндай ұйымы инженерлік құрылыстарды бақылау және геодинамикалық процестерді зерттеу кезінде геодезиялық негіздеме құруға қойылатын заманауи талаптарға сәйкес келеді.

Пайдаланушы деректері. Барлық биіктік белгілері жер белгісінен антеннаның тірек нүктесіне (ARP) дейінгі тік қашықтықты білдіреді (1-кесте).

Нәтижелер және оларды талқылау.

Алдыңғы зерттеулердегідей, ALMA базалық станциясының статикалық шикі деректері BADG, CHUM, KIT3, POL2, TASH, URUM және ZECK әлемдік базалық станцияларына қатысты BERNESE Version 5.2 бағдарламалық жасақтамасында өңделді. Өңдеу нәтижесінде ITRF2014 жүйесіндегі станцияның географиялық және тікбұрышты координаттары анықталды, сонымен қатар EGM2008 моделі бойынша эллипсоидтық биіктік пен геоидтық биіктік мәндері есептелді. Алынған ALMA репері одан әрі геодезиялық зерттеулерді орындау үшін пландық-биіктік негіздемесінің негізгі пункті ретінде қабылданды. AUSPOS GPS деректерді өңдеу туралы есеп, наурыз 13, 2026, AUSPOS онлайн режимінде жүргізілген GPS деректерін өңдеу туралы есеп (нұсқа: AUSPOS 2.4).

Түсіру процесінің қысқаша сипаттамасы (2-кесте, 3-сурет). Базалық станциядағы қателік (3-кесте).

Кесте 1

Пайдаланушы деректері

Table 1

User Data

Таблица 1

Пользовательские данные

Станция (с)	Жіберілген файл	Антенна түрі	Антенна биіктігі (м)	Басталу уақыты	Аяқталу уақыты
ALMA	ALMA0710.260	STHCR3-G3 STHC	0.0000	2026/03/12 08:00:00	2026/03/12 13:59:30

Кесте 2

Түсіру процесі

Table 2

The shooting process

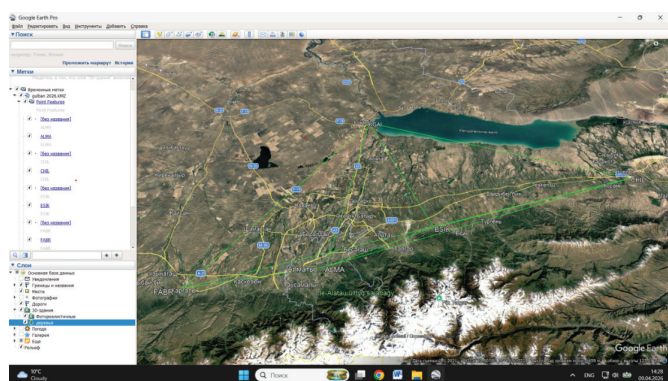
Таблица 2

Процесс съемки

Күні	Пайдаланатын станция	Анықталатын станциялар	Орбита түрі
2026/03/12 08:00:00	ALMA	BADG BIK0 CHUM KIT3 POL2 TASH ULAB URUM ZECK	IGS ультра жылдам

GNSS желісінің базалық желілерін екі негізгі көрсеткіш бойынша өңдеу нәтижелері бойынша: фазалық түсініксіздіктердің шешілу дәрежесі және базалық векторлардың ұзындығы [11].

Желі бойынша екіұштылықты шешудің орташа мәні 71,1%, ал базалық желінің орташа ұзындығы – 704,912 км. тұтастай алғанда, бұл желі қанағаттанарлық өңдеу сапасымен сипатталады деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді, бірақ шешімдердің сенімділігі базалық желілердің ұзындығына айтарлықтай байланысты. Алматы өңірі жағдайындағы геоэкономикалық мониторинг міндеттері үшін қазіргі заманғы деформациялық процестерді кейінгі талдау кезінде координаталық анықтамалардың неғұрлым жоғары дәлдігін және нәтижелердің орнықтылығын қамтамасыз ететін қысқа және орташа базалық сызықтар неғұрлым қолайлы болып табылады.



Сурет 3. Alma тірек пункті мен CHIL, ESIG, FABR және KGAI жұмыс пункттерін қамтитын Алматы қаласының аумағындағы GNSS-желінің конфигурациясы.

Figure 3. The configuration of the GNSS network in the territory of Almaty, including the ALMA base and the work stations of CHIL, ESIG, FABR and KGAI.

Рис. 3. Конфигурация GNSS-сети на территории города Алматы, включающая опорный пункт ALMA и рабочие пункты CHIL, ESIG, FABR и KGAI.

Кесте 3

Базалық станциядағы қателік

Table 3

Error at the base station

Таблица 3

Погрешность на базовой станции

Базалық сызық	Екіұштылықты шешу, %	Базалық сызықтың ұзындығы, км
KIT3 – TASH	82.6	318.371
TASH – ZECK	0.0	2270.975
BIK0 – URUM	63.6	1062.861
BADG – ULAB	80.0	555.376
BIK0 – POL2	100.0	23.461
CHUM – TASH	77.3	487.331
BIK0 – ALMA	90.0	199.741
BIK0 – CHUM	78.3	23.951
BADG – URUM	68.5	1402.142
Орташа мән	71.1	704.912

Қорытындылар

Спутниктердің орбиталық ақпараты және жердің бағдарлану параметрлері халықаралық жоғары дәлдіктегі GNSS өңдеу стандарттарына сәйкестігін қамтамасыз ететін ең дәл қол жетімді IGS өнімдері бойынша қабылданады. Біріктірілген алдын ала өңдеу алгоритмдері, қате модельдері және түзету жүйелері AUSPOS 3.0-де алынған нәтижелерді геодезиялық желіні теңестіру, нүктелердің координаттарын анықтау және жер бетінің заманауи деформацияларын кейіннен талдау үшін сенімді негіз ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, геоэкономикалық процестерді геодезиялық бақылау шеңберінде AUSPOS 3.0 пайдалану нәтижелердің дәлдігі, дәйектілігі мен қайталануының жоғары деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Бұл шағын кеңістіктік қозғалыстарды анықтау және қазіргі геоэкономикалық белсенділікті бағалау талап етілетін Алматы өңірі жағдайында статикалық GNSS-бақылауларды өңдеу кезінде осы бағдарламалық-әдістемелік құралды қолданудың орындылығын растайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Варфоломеев А. Ф., Манухов В. Ф. Заманауи бағдарламаларды қолдана отырып, геодезиялық деректерді өңдеу: оқу құралы. – Саранск: Мордовия университетінің баспасы, 2017. – 92 б. (орыс тілінде)
2. Генике А. А., Побединский Г. Г. GPS ғаламдық спутниктік орналасу жүйесі және оны геодезияда қолдану. – Мәскеу: Картогеоцентр – Геодезиздат, 2000. – 272 б. (орыс тілінде)
3. ГКИНП (ОНТА)–02–262–02. ГЛОНАСС және GPS ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерін қолдана отырып, түсірілім негіздемесін дамыту және жағдай мен жер бедерін түсіру жөніндегі нұсқаулық. – Мәскеу: ЦНИИГАиК, 2002. – 124 б. (орыс тілінде)
4. Манухов В. Ф. Заманауи технологияларды пайдалана отырып, топографиялық түсірілім және инженерлік – геодезиялық жұмыстар әдістерін жетілдіру // Мордовия университетінің хабаршысы. – 2008. – № 1. – Б. 105–108 (орыс тілінде)
5. Геоэкономикалық процестер геодезиялық және қашықтықтан зондтау әдістерін қолдана отырып, метро инфрақұрылымын бақылау / N. Khamit [және т. б.] // Civil Engineering Journal. – 2025. – Т. 11. – № 10. – Б. 4353–4379 (ағылшын тілінде)
6. Көшкіннен туындаған залалды бағалаудың жаңа тәсілі / M. Del Soldato [және т. б.] // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – № 9. – 1684 (ағылшын тілінде)

7. Zaczek-Peplinska J., Kowalczyk A., Nowak A. Гидротехникалық құрылыстарды салу және пайдалану кезіндегі геоинженерлік қауіптерді бағалау үшін көп көзді геокеңістіктік деректерді біріктіру // *Journal of Water and Land Development*. – 2025. – № 65. – Б. 1–12 (ағылшын тілінде)
8. Инженерлік құрылыстар мен табиғи ортаның спутниктік геодезиялық мониторингі үшін еркін бағдарламалық қамтамасыз ету / А. П. Карпик [және т. б.] // *Вестник СГУГиТ*. – 2022. – Т. 27. – № 5. – Б. 43–54 (орыс тілінде)
9. Горохова Е. И. Лазерлік сканерлеу деректері бойынша инженерлік құрылыстардың геомониторингі және олардың деформацияларын болжау // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2016. – Т. 2. – № 1. – Б. 119–124 (орыс тілінде)
10. Сарсембекова З. К. Аймақтық ерекшеліктерді ескере отырып автожол көпірлерінің биіктік-жоспарлы параметрлерін негіздеу: философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация: 6D071100 – Геодезия. – Алматы, 2025. – 127 б. (қазақ тілінде)
11. Gargula T. Сызықтық-бұрыштық кеңістіктік жалған бақылаулар негізінде жергілікті координаттар жүйесінде GPS векторлық желісін реттеу // *Journal of Surveying Engineering*. – 2011. – Т. 137. – Б. 60–64 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Varfolomeev A. F., Manukhov V. F. *Obrabotka geodezicheskikh dannykh s ispol'zovaniem sovremennykh programm: uchebnoe posobie* [Geodetic data processing using modern software: textbook]. Saransk: Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta, 2017. – 92 p. (in Russian)
2. Genike A. A., Pobedinsky G. G. *Global'naya sputnikovaya sistema opredeleniya mestopolozheniya GPS i ee primeneniye v geodezii* [Global Positioning System (GPS) and Its Application in Geodesy]. Moscow: Kartogeotsentr – Geodezizdat, 2000. – 272 p. (in Russian)
3. GKNP (ONTA)–02-262-02. *Instruktsiya po razvitiyu s"emochного obosnovaniya i s"emke situatsii i rel'efa s primeneniem global'nykh navigatsionnykh sputnikovyykh sistem GLONASS i GPS* [Instructions for the Development of Survey Control and Surveying of Topography and Terrain Using Global Navigation Satellite Systems GLONASS and GPS]. – Moscow: TsNIIGAiK, 2002. 124 p. (in Russian)
4. Manukhov V. F. *Sovershenstvovanie metodov topograficheskikh s"emok i inzhenerno-geodezicheskikh rabot s ispol'zovaniem sovremennykh tekhnologii* [Improvement of Methods of Topographic Surveying and Engineering-Geodetic Works Using Modern Technologies] *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Bulletin of Mordovia University]. – 2008. – No. 1. – P. 105–108 (in Russian)
5. *Geodynamic Processes Monitoring of Subway Infrastructure Using Geodetic and Remote Sensing Methods* / N. Khamit et al. // *Civil Engineering Journal*. – 2025. – Vol. 11. – No. 10. – P. 4353–4379 (in English)
6. *A new approach for landslide-induced damage assessment* / M. Del Soldato et al. // *Remote Sensing*. – 2021. – Vol. 13. – No. 9. – Article 1684 (in English)
7. Zaczek-Peplinska J., Kowalczyk A., Nowak A. *Integration of multi-source geospatial data for the assessment of geoengineering hazards during construction and operation of hydrotechnical structures* // *Journal of Water and Land Development*. – 2025. – No. 65. – P. 1–12 (in English)
8. *Svobodnoye programnoye obespecheniye dlya sputnikovogo geodezicheskogo monitoringa inzhenernykh sooruzhenii i prirodnoi sredy* [Free Software for Satellite Geodetic Monitoring of Engineering Structures and the Natural Environment] A. P. Karpik et al. *Vestnik SGUGiT* [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies]. – 2022. – Vol. 27. – No. 5. – P. 43–54 (in Russian)
9. Gorokhova E. I. *Geomonitoring inzhenernykh sooruzhenii i prognozirovaniye ikh deformatsii po dannym lazernogo skanirovaniya* [Geomonitoring of Engineering Structures and Prediction of Their Deformations Based on Laser Scanning Data] // *Interexpo GEO-Sibir* [Interexpo GEO-Siberia]. – 2016. – Vol. 2. – No. 1. – P. 119–124 (in Russian)
10. Sarsembekova Z. K. *Justification of the Elevation and Plan Parameters of Road Bridges Taking into Account Regional Features: PhD thesis: 6D071100 – Geodesy*. – Almaty, 2025. 127 p. (in Kazakh)
11. Gargula T. *GPS Vector Network Adjustment in a Local System of Coordinates Based on Linear-Angular Spatial Pseudo-Observations* *Journal of Surveying Engineering*. – 2011. – Vol. 137. – P. 60–64 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Варфоломеев А. Ф., Манухов В. Ф. *Обработка геодезических данных с использованием современных программ: учебное пособие*. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2017. – 92 с. (на русском языке)
2. Генике А. А., Побединский Г. Г. *Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии*. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2000. – 272 с. (на русском языке)

3. ГКИНП (ОНТА)–02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 124 с. (на русском языке)
4. Манухов В. Ф. Совершенствование методов топографических съёмок и инженерно- геодезических работ с использованием современных технологий // Вестник Мордовского университета. – 2008. – № 1. – С. 105–108 (на русском языке)
5. Мониторинг геодинамических процессов в инфраструктуре метрополитена с использованием методов геодезии и дистанционного зондирования / N. Khamit [и др.] // Civil Engineering Journal. – 2025. – Т. 11. – № 10. – С. 4353–4379 (на английском языке)
6. Новый подход к оценке ущерба, вызванного оползнями / M. Del Soldato [и др.] // Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – № 9. – Ст. 1684 (на английском языке)
7. Zaczek-Replinska J., Kowalczyk A., Nowak A. Интеграция геопространственных данных из нескольких источников для оценки геотехнических опасностей при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений // Journal of Water and Land Development. – 2025. – № 65. – С. 1–12 (на английском языке).
8. Свободное программное обеспечение для спутникового геодезического мониторинга инженерных сооружений и природной среды / А. П. Карпик [и др.] // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27. – № 5. – С. 43–54 (на русском языке)
9. Горохова Е. И. Геомониторинг инженерных сооружений и прогнозирование их деформаций по данным лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 119–124 (на русском языке)
10. Сарсембекова З. К. Обоснование высотно-плановых параметров автодорожных мостов с учетом региональных особенностей: дис. ... доктора философии (PhD): 6D071100 – Геодезия. – Алматы, 2025. – 127 с. (на казахском языке)
11. Gargula T. Корректировка векторной сети GPS в локальной системе координат на основе линейно-угловых пространственных псевдонаблюдений // Journal of Surveying Engineering. – 2011. – Т. 137. – № 2. – С. 60–64 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Джангулова Г. К., техника ғылымдарының кандидаты, «Картография және геоинформатика» кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), gulnar_zan@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7866-1031>

Құрманбаев О. С., Ph.D докторы, «Картография және геоинформатика» кафедрасының доценті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы қ., Қазақстан), olzhas_ak@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4867-6910>

Байдаулетова Г. К., Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Картография және геоинформатика кафедрасының Ph.D докторанты (Алматы қ., Қазақстан), carlugast69@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2595-8106>

Рубинов Э., Ph.D доктор, FIG 5 ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелер (ГНСЖ) жұмыс тобының төлағасы (Мельбурн қ., Австралия), elrubinov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5492-2639>

Information about the authors:

Jangulova G., Candidate of Technical Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, Associate Professor of the «Cartography and Geoinformatics» Department (Almaty, Kazakhstan)

Kurmanbayev O., Ph.D, Associate Professor, «Cartography and Geoinformatics» Department Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

Baidauletova G., Al-Farabi Kazakh National University, Department of «Cartography and Geoinformatics» Ph.D student (Almaty, Kazakhstan)

Rubinov E., Ph.D, Chair of the FIG Working Group 5 on GNSS (Melbourne, Australia)

Сведения об авторах:

Джангулова Г. К., канд. техн. наук, ассоциированный профессор кафедры «Картография и геоинформатика», Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Құрманбаев О. С., доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Картография и геоинформатика», Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Байдаулетова Г. К., Ph.D докторант кафедры «Картография и геоинформатика», Казахский национальный университет им. аль-Фараби (г. Алматы, Казахстан)

Рубинов Э., Ph.D доктор, Председатель Рабочей группы FIG 5 по ГНСЖ (г. Мельбурн, Австралия)