

С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық университеті

ӘОЖ 528.02: 622.83

Қолжазбаға құқықты

**КАРТБАЕВА КУРАЛАЙ ТУРЖАНОВНА**

**Жер бетінің жылжуын Алматы геодинамикалық полигоны жағдайында  
мониторингтеу**

6D071100 – Геодезия

(PhD) Философия докторы дәрежесін алу үшін диссертация

Ғылыми кеңесшілер:  
Нұрпейісова М.Б.,  
т.ғ.д., профессор

Шет елдік ғылыми кеңесші:  
Дай Хуаянь,  
т.ғ.д профессор (Пекин)

Қазақстан Республикасы  
Астана, 2023

## МАЗМҰНЫ

	<b>НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР</b>	4
	<b>БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР</b>	5
	<b>КІРІСПЕ</b>	6
1	<b>ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ</b>	11
1.1	Литосфералық плиталардың шекараларында болатын геодинамикалық процестер туралы жалпы мәліметтер	11
1.2	Аумақтың геофизикалық жағдайы, тектоникасы және сейсмикасы	17
1.3	Орта Азия мен Қазақстанның геодинамикалық полигондары және мониторингтеудің дәстүрлі әдістері	29
1.4	Геодинамикалық полигондарда мониторинг жүргізудің заманауи әдістері	33
	Зерттеулердің мақсаты мен міндеттері.....	36
2	<b>АЛМАТЫ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУЛЕР</b>	38
2.1	Жер қыртысының қозғалысын жоғары дәлдікті геометриялық нивелирлеу арқылы зерттеу	38
2.2	Қайталап нивелирлеудің нәтижелерін салыстырмалы түрде талдау	41
2.3	Деформациялық үдерістерді жаһандық навигациялық жерсеріктік жүйелері көмегімен зерттеу	42
2.3.1	GPS –өлшеулер нәтижелері және оларды талдау	42
2.3.2	Халықаралық IGS (ITRF) базалық станциялары	47
2.4	Сейсмологиялық мониторинг	49
2.5	Жер бетінің қозғалысын радарлық интерферометрия көмегімен зерттеу	53
	Екінші тарау бойынша тұжырым	55
3	<b>КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУЛЕР НӘТИЖЕЛЕРІН ӨНДЕУДІҢ ЗАМАНАУИ БАҒДАРЛАМАЛАРЫ</b>	56
3.1	GPS қабылдағыштарынан алынған ақпаратты Gamit Globk бағдарламада өңдеу	56
3.2	GPS қабылдағыштарынан алынған ақпаратты GIODIS бағдарламасында өңдеу	59
3.3	GAMIT GLOBK және "GIODIS" программаларын салыстыру нәтижесі	62
	Үшінші тарау бойынша тұжырым	64
4.	<b>ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ҮДЕРІСТЕРДІ АУМАҚТЫҢ СЕЙМИКАЛЫҚ – ТЕКТОНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫМЕН ҚОСА ТАЛДАУ</b>	65
4.1	Алматы геодинамикалық полигоны аумағындағы үздіксіз сейсмологиялық бақылаулар.....	65

4.2	Радарлық интерферометрия әдісі жалпы ақпараттар	69
4.3	Алматы геодинамикалық полигонының жер бетінің жылжуын радиолокациялық интерферометрия көмегімен бақылау	74
4.3.1	Зерттелетін объект үшін радиолокациялық спутниктік суреттердің оңтайлы тандемдік интерферометриялық жұптарын алу үшін ғарыш жүйесін таңдау	74
4.3.2	SNAP ESA бағдарламалық жасақтамасында Sentinel радиолокациялық деректерін өңдеу	78
4.4	Зерттелетін объект аумағындағы деформацияларды бағалау	94
	Төртінші тарау бойынша тұжырым	95
	<b>ҚОРЫТЫНДЫ</b>	97
	<b>ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР</b>	99
	<b>ҚОСЫМША А</b>	105
	<b>ҚОСЫМША Ә</b>	106
	<b>ҚОСЫМША Б</b>	107
	<b>ҚОСЫМША В</b>	108
	<b>ҚОСЫМША Г</b>	109
	<b>ҚОСЫМША Д</b>	110
	<b>ҚОСЫМША Е</b>	120

## НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі құжаттарға сілтемелер жасалған:

1. Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы Қазақстан Республикасының Кодексі 2017 жылғы 27 желтоқсандағы № 125-VI ҚРЗ.
2. Тау-кен және геологиялық барлау жұмыстарын жүргізетін қауіпті өндірістік объектілер үшін өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз ету қағидаларын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Инвестициялар және даму министрінің 2014 жылғы 30 желтоқсандағы № 352 бұйрығы. Қазақстан Республикасының Әділет министрлігінде 2015 жылы 13 ақпанда № 10247 тіркелді.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ при комбинированной (совмещенной) разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых // В сб.: руководящих материалов горнорудного надзора. - М.: Изд. АГН, 1998.
4. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. –Л.: Изд.ВНИМИ, 1990.
5. Инструкция по маркшейдерским и топографо-геодезическим работам в нефтяной промышленности. РД 39-0147139-101-87.
6. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: Недра, 1990.
7. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. – Астана, 2008. – 79 с.
8. СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства». М.: ПНИИИС Госстроя России, – 92с.
9. РД 07-408-01 «Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр». ГУП "НТЦ "Промышленная безопасность", № 2002. –6 с.
10. РД 07-603-03 «Инструкции по производству маркшейдерских работ». М.: Управление по надзору за охраной недр и геолого-маркшейдерскому контролю, 2003. – 82с.

## БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Вертикаль деформациялар	Геодинамикалық процестен жер қыртысының вертикаль жазықтықта деформациялануы
Горизонталь деформациялар	Геодинамикалық процестен горизонталь жазықтықта деформациялануы
Геодинамика	Жердің планетарлық эволюциясының нәтижесінде пайда болатын күштер мен үдерістердің табиғаты туралы ғылым
ГАЗ	Географиялық ақпарат жүйесі
ГДП	Геодинамикалық полигон
ҒНЖЖ	Ғаламдық навигациялық жерсеріктік жүйе
ЖҚЗ	Жерді қашықтан зондылау (ДЗЗ)
ЖБВЖ	Жер бетінің вертикаль қозғалыстары
ЖЖС	Жердің жасанды серіктері
КДК	Кернеулі-деформациялық күй
Кернеулі-деформациялық күй	Тау жыныстарын деформациялайтын күш. Ол жанама кернеу және тік кернеу болып ажырайды.
ҚЗЖҚ	Қазіргі заманғы жер қозғалысы
Мониторинг	Нысанның параметрлерін белгіленген шамалармен салыстырып тіркеу және үздіксіз бақылау
ҒЗЖ -	Ғылыми-зерттеу жұмыстары
ОКҚ	Орташа квадраттық қателік
Профилдік сызықтар	Бақылау станциясының реперлері орналасқан жарма сызық.
Репер	Биіктігі анықталған геодезиялық пункт.
RINEX	Receiver Independent Exchange Format (GPS қабылдағыштарынан алынған ақпаратты сақтау және жазу форматы
Сейсмикалық белсенділік	Табиғи себептерден (тектоникалық үдерістер) немесе жасанды үдерістер әсерінен Жер бетінің тербелуі және жерасты дүмпулер.
URUM	Станция атауы
GAMIT\GLOBK -	GPS – деректерді өңдеуге арналған бағдарлама, Массачусетск технологиялық институты АҚШ;
GIODIS	GPS – деректерді өңдеуге арналған бағдарламалық жинақ, ООО «Джавад Джи Эн Эс Эс»-АҚШ
СУБД	Деректер базасын басқару жүйесі
GPS	Позицирлеудің жаһандық жүйесі

## КІРІСПЕ

**Диссертация тақырыбының өзектілігі.** Жер қыртысының қазіргі заманғы қозғалыстарын болжау мәселелері, атап айтқанда Sentinel радиолокациялық суреттерін жинау және өңдеу, бақылау нәтижелерін түсіндіру бүгінгі күнге дейін өзекті болып табылады, өйткені жер сілкіністерін қысқа мерзімді болжау әлі шешілмеген ғылыми мәселеге жатады. Тянь-Шань жер қыртысының қазіргі заманғы қозғалыстарын – сейсмикалық белсенді геодинамикалық аймақты үнемі зерттеуді қажет ететін Алматы қаласы үшін бұл проблема екі есе өзекті. Қалада геодинамикалық зерттеулерге деген сұраныс ауқымды, себебі тектоникалық жарылымдар үстіне орналасқан биік ғимараттардың құрылысының ұлғаюы және метрополитен құрылысы бар.

Статистикалық деректерге сәйкес жер сілкінісінен: 7 миллион қазақстандық және республика аумағының 450 000 шаршы шақырымы зардап шегеді. Жалпы сейсмикалық қауіпті аумақта 28 қала мен 450 елді мекен орналасқан. Оның ішінде: Қазақстан Республикасының Алматы, Шығыс Қазақстан, Жамбыл, Оңтүстік Қазақстан облыстары және Алматы қаласы жойқын жер сілкінісі бар өңірлерге жатады.

1. Соңғы 100-120 жыл ішінде біздің елде 9 жойқын жер сілкінісі болды, оның үшеуі әлемдік апаттар тізіміне енді (1887 ж. Верный; 1889 ж. Шелек; 1911 ж. Кемін).

Адамдардың техногендік іс-әрекетінің белсенді өсуі табиғи ортаның экологиялық және геодинамикалық қауіпсіздігінің өзгеруіне әкеледі, сондықтан оның көрсеткіштерін бақылау міндетті болып табылады. Геодинамикалық құбылыстарды бақылаудың озық әдістері мен технологияларының бірі-геодезиялық. Геодезиялық әдістерді басқа ғылыми әдістермен бірге қолдану сейсмикалық қауіпті аймақтарды зерттеу кезінде жер бетінің жылжуының абсолютті мәнін анықтаудың жоғары дәлдігіне байланысты үлкен маңызға ие.

Геодинамикалық процестерді кешенді зерттеу ЖҚЗ (Жерді қашықтықтан зондтау), GPS және ГАЖ (геоақпараттық жүйелер) технологияларын пайдаланумен қатар классикалық геодезиялық әдістерді пайдалануды білдіреді. Кешенді тәсілдің осындай шешімі бүкіл әлемде, сондай-ақ Орта Азия аумағында, оның ішінде Алматы қаласы үшін де қолданылады.

Орта Азия аймағы (Қазақстан, Қырғызстан, Тәжікстан, Түрікменстан және Өзбекстан) күрделі рельефке жатады және геодинамикалық тұрғыдан оны зерттеу оңай емес. Жер сілкінісі, су тасқыны, көшкін, мұздық көлдердің жарылуы, сел және т.б. табиғи апаттар Орта Азиядағы жоғары геодинамикалық белсенділіктің салдары болып табылады. Табиғи және табиғи-техногендік апаттар адам өліміне, материалдық және экономикалық шығындарға алып келеді, экологиялық проблемалар туғызады және, сөзсіз, Орталық Азиядағы қоғамның тұрақты дамуы мен әл-ауқатына теріс әсер етеді.

2. Жақында Түркияда болған жер сілкінісі Алматы қаласы үшін қайғылы мысал және ескерту болып табылады. Түркия әлемдегі ең белсенді сейсмикалық қауіпті аймақтардың бірінде орналасқан. Жер сілкінісі болған аймақ үш тектоникалық плитаның қиылысында орналасқан: Анадолы, Араб және Африка. Араб тақтасы солтүстікке қарай жылжиды, нәтижесінде Анадолы тақтасы (Түркияның көп бөлігі орналасқан) батысқа қарай итеріледі. Плиталардың қозғалысы олардың арасындағы жарылымы бар аймақтарына қысым жасайды. Бұл қысымның жинақталған энергиясының кенеттен бөлінуі жер сілкінісін тудырады.

Алматының таулы аумағы Үнді плитасының Еуразиялық плитамен бірігуінен қалыптасады. Алматы облысы да тау түзілімдерінің шегінде орналасқан және өз аумағында бес ірі ақауы бар (Іле, Алматы, Предгорный, Боралдай, Жаңатұрмыс).

Айта кету керек, жер бетінің жылжуын үнемі бақылаудан басқа, құрылыс сапасын қатаң бақылау қажет. ҚазҚСҒЗИ өкілі Ералы Шоқпаровтың айтуынша, " жарылымда жеке тұрғын үй құрылысынан басқа кез келген нәрсені тек техникалық шарттар негізінде салуға болады. Бұл әр нақты ғимаратқа арналған арнайы құжат. Тектоникалық жарылымдағы құрылымға жүктемелер сейсмикалық аймақта тұрған ғимараттармен салыстырғанда 1,5-2 есе артады. Яғни, ерекше жағдайлары бар және одан 200 метр қашықтықта орналасқан үй оларсыз екі түрлі ғимарат, өйткені олар мүлдем басқа жүктемелерге төтеп беруі керек. Мұндай жобалар учаскедегі геологиялық ізденістер негізінде арнайы коэффициенттерді ескере отырып әзірленеді. Құрылымның тұрақтылығына қойылатын талаптар 1-ден 1,5 есеге дейін артуы мүмкін. Сонымен қатар, тектоникалық жарылымдарға биіктігі тоғыз қабатты үйлер салуға болатын шектеулер бар. Жалпы, Түркияның тәжірибесі көрсеткендей, құрылысшылар мен мердігерлер қолданыстағы нормалардың талаптарынан бас тартқан кезде, бұл жойқын салдарға әкеледі. Егер ғимарат ерекше техникалық жағдайларды ескере отырып жасалған жоба бойынша қатаң түрде салынса, онда ол 7 және одан да көп баллдық жер сілкінісіне төтеп беруі керек. Алайда, арнайы тексерулер болмаған жағдайда, құрылысшылар іс жүзінде қатаң қауіпсіздік талаптарын орындайтынына кепілдік жоқ.

Жоғарыда айтылған барлық табиғи және техногендік факторларды ескере отырып, сейсмикалық қауіптілікті болжау картасын құрудың негізгі компоненттерінің бірі жер қыртысының кернеулі-деформациялық қабатының (ҚҚС) параметрлері болып табылады. ҚҚС параметрлерінің дерекқорын қалыптастыру үшін жоғары дәлдіктегі геодезиялық мониторинг деректері пайдаланылады. Деректер базасын құру және ұсынылған әдісті сынақтан өткізу үшін Алматы геодинамикалық полигонында (ГДП) кешенді бақылаулар жүргізілді, сондай-ақ алдыңғы бақылаулардың мұрағаттық деректері жиналды.

Кеңістіктік-уақыттық ақпаратты жинау жылдамдығы мен жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін кешенді геодезиялық мониторингтің ең тиімді нысаны: ГНСС, ГАЗ және ЖҚЗ технологиялары болып табылады. ГАЗ-да

жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижелерін іске асыру аумақтардағы сейсмикалық қауіп туралы уақтылы шешім қабылдау тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігінің тағы бір дәлелі ретінде зерттеу «Қазақстанның геодинамикалық полигондарындағы сейсмологиялық мониторинг жүргізу» СОМЭ бағдарламасы аясында орындалды.

Геодинамикалық процестерді зерделеу жөніндегі зерттеулер Қазақстан Республикасының ғылымы мен техникасын дамытудың басым бағыттарына сәйкес келеді және ғылыми-практикалық құндылыққа ие.

**Зерттеудің нысаны және заты.** Зерттеу нысаны Алматы геодинамикалық полигоны, ал зерттелінетін зат – жер қыртысының жылжуын анықтаудың әдістері мен тәсілдері.

**Жұмыстың мақсаты** Табиғи және техногендік сипаттағы төтенше жағдайларды болжау үшін кешенді мониторинг жүргізу арқылы Алматы геодинамикалық полигонында жер қыртысының жылжуы туралы жедел ақпарат алу.

#### **Негізгі шетілетін мәселелер:**

- геодинамикалық полигондарда жүргізілген зерттеулердегі отандық және шетелдік тәжірибені талдау;
- кешенді мониторинг жүргізуде заманауи аспаптар мен құралдарды қолдана отырып, геодезиялық бақылаулар жүргізудің әдістемесін жетілдіру;
- Алматы геодинамикалық полигоны аумағында тектоникалық бұзылулар мен сейсмикалық жағдайлардың көрсеткіштеріне байланысты жер қыртысының деформациялану процесінің өзгеру заңдылығын белгілеу;
- Gamit Globk және Giodis бағдарламалық пакеттерін пайдалана отырып, салыстырмалы талдау жүргізу және кешенді мониторингтің кеңістіктік деректер базасын құру;
- табиғи және техногендік сипаттағы геодинамикалық апаттардың салдарын зерттеу және болжау жайында монография әзірлеу;
- зерттеу барысында алынған нәтижелерді өндіріс пен оқу процесіне енгізу.

**Зерттеу әдістері:** Жоғарыда аталған мәселелерді шешу үшін әдеби дереккөздерді талдауды, геодезиялық бақылау әдістерін, жер бетінің қозғалысын бақылаудың заманауи құралдары мен технологияларын, оңтүстік-шығыс Қазақстанның сейсмикалық қауіпті аймақтардағы жер қыртысының кернеулі-деформациялық жағдайын компьютерлік модельдеуді қамтитын кешенді зерттеу әдісі қолданылды.

#### **Диссертацияда қорғалынатын ғылыми қағидалар**

1. Жоғары дәлдіктегі қайта нивелирлеуді, GPS – бақылауларды, радиолокациялық интерферометрия әдістерімен ғарыштық суреттерді өңдеу нәтижелерін және геофизикалық зерттеулерді қамтитын кешенді мониторингті қолдану еңбек өнімділігін айтарлықтай жақсартады; сондай-ақ жер қыртысының сейсмикалық қауіпті аймақтардағы жай-күйін кеңінен талдау үшін кеңістіктік деректердің электрондық базасын қалыптастыруға мүмкіндік береді.



2. Алматы болжамдық геодинамикалық полигоны Іле Алатауының кейбір сейсмикалық көрсеткіштерімен және тектоникалық бұзылыстарымен тікелей байланысты жер қыртысының баяу деформациялану үрдісіне ие.

**Диссертациядағы ғылыми жаңалықтар:**

1. Сейсмикалық қауіпті аймақтарда геодинамикалық процестерді бағалауға және болжауға мүмкіндік беретін жер қыртысының кернеулі деформациялық жай-күйін мониторингтеудің дағдылы геодезиялық әдістерін GPS – бақылаулары, радиолокациялық интерферометрия және геофизикалық зерттеулермен байланыстыратын және де еңбек өнімділігі мен өлшеулердің дәлдігін жоғарылататын мониторинг жүргізудің кешенді әдістемесі әзірленгенді.

2. Алматы геодинамикалық полигоны аумағындағы тектоникалық бұзылулар мен сейсмикалық жағдайлардың көрсеткіштеріне байланысты жер қыртысының деформация процесінің өзгеру заңдылықтары алынды (ҚОСЫМША Б. Құқығы қорғалынатын авторлық куәлік №29133 30.09.2022.);

**Ғылыми нәтижелер мен қорытындылардың негізделгендігі және сенімділігі.** Алматы геодинамикалық полигоны жағдайында жүргізілген жоғары дәлдікті геодезиялық қайталап нивелирлеудің және GPS бақылауларының көмегімен, олардың математикалық өңделуінен, алынған нәтижелердің Алматы сейсмология институтында қолданыс табуымен және МОК-тың оқу үдерісіне енгізілудің оң нәтижелігімен расталады (ҚОСЫМША Ә және Б.қолдану актілері).

**Жұмыстың ғылыми маңыздылығы.** Алматы геодинамикалық полигоны аумағының кеңістіктік-уақыттық жағдайы туралы ақпарат жинау, жер қыртысының кернеулі-деформациялық күйін болжау және Жер туралы жаңа білім алу үшін заманауи технологияларды қолдануды теориялық және эксперименталды негізделуінде жатыр.

**Жұмыстың тәжірибелік маңыздылығы** - кешенді мониторинг жүргізу арқылы табиғи және техногендік сипаттағы геодинамикалық апаттардың салдарларын болжау және азайту мәселелерін шешуде GAMIT GLOBK және Giodis бағдарламалық пакеттерін қолдана отырып, геодезиялық мониторингтің кеңістіктік дерекқоры мен Алматы ГДП - ның 2017-2021 жылдар аралығындағы GPS өлшеулерінің жаңартылған каталогы құрылуында және өзара екі бағдарлама салыстырылды.

**Жұмыс нәтижелерінің жариялылығы.** Диссертацияның негізгі нәтижелері: Сәтбаев оқуларында (Алматы. КазНІТУ, 2018, 2019жж.); «Современные проблемы и перспективы совершенствования рационального и безопасного недропользования» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Ташкент:ТашГТУ, 2018г); «Индустрия 4.0 жағдайында минералдық және техногендік шикізатты тиімді пайдалану» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Алматы: Сәтбаев университеті, 2019 ж); Международный форум маркшейдеров (ISM) «Геодезия, маркшейдерия және геомеханикадағы цифрлы технологиялар» атты Халықаралық маркшейдерлер форумы(ISM) (Қарағанлы: ҚарМТУ, 2019

ж.); «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» Международная научная школа (Москва, ИПКОН РАН, 2019); «XVII- международный конгресс (ISM) маркшейдеров» (Иркутск: ИрНИТУ, 2019г.) және Сәтбаев университеті «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының ғылыми семинарында (2020 ж) баяндалып талқыланды.

**Жұмыс нәтижелерінің басылымдарда жарық көруі.** Докторлық диссертацияның негізгі нәтижелері 16 ғылыми еңбекте жарияланған, олардың ішінде Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім министрлігінің ғылым және жоғары білім саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда 4 мақала, халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференция жинақтарында 5 мақала, 3 мақала Скопус базасында оның ішінде 1 мақала Q2 квартиліне енетін *Advances in Space Research* журналында, 3 мақала басқа да ғылыми журналдарда жарық көрген және 1 ұжымдық монографияда жарық көрді.

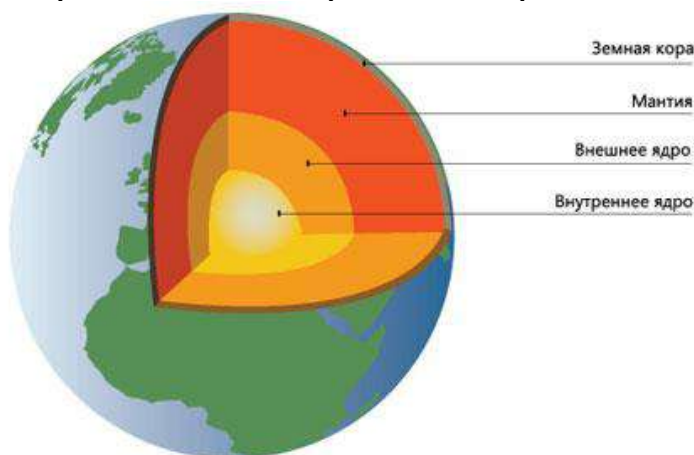
**Жұмыстың құрылымы мен көлемі.** Диссертация кіріспеден, 4 тараудан, қорытындыдан және қосымшадан тұратын 125 беттік компьютерлік мәтінде ұсынылған. Оның ішінде 54 сурет, 12 кесте, қорытынды, пайдаланылған әдебиеттер тізімі және қосымшалар енгізілген.

# 1 ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

## 1.1 Литосфералық плиталардың шекараларында болатын геодинамикалық процестер туралы жалпы мәліметтер

Геодинамикалық процестер біздің планетамызды құрайтын массалардың ішкі құрылымы мен таралуына байланысты. Планетаның ішкі құрылымы туралы ақпарат Жер сілкінісі кезінде жер бетінде сейсмикалық толқындардың таралу заңдылықтарын зерттеу арқылы алынады; планетаның "құрылыс материалының" қалдықтары болып табылатын метеориттердің құрылымы; мантияны құрайтын сирек жыныстардың химиялық құрамы; жердің гравитациялық және магниттік өрістері; жер полюстерінің тербелісі; жердің жылу ағындары және т. б. Бұл деректер жердің төрт түрлі концентрлі қабаттан тұратындығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді: жер қыртысы, мантия, сыртқы және ішкі ядро.

Жер қойнауында сейсмикалық толқындардың таралу жолдары мен жылдамдығын зерттеу оның ішкі құрылымының сейсмикалық моделін жасауға мүмкіндік берді. Жердің ішкі құрылымының кеңінен танымал моделін (оны ядроға, мантияға және жер қыртысына бөлу) ХХ ғасырдың бірінші жартысында сейсмологтар Г. Джеффрис пен Б. Гутенберг жасаған. Бұл жағдайда шешуші фактор планетаның радиусы 6371 км болатын 2900 км тереңдікте жер шарындағы сейсмикалық толқындардың өту жылдамдығының күрт төмендеуін анықтау болды (сур. 1.1). Бойлық сейсмикалық толқындардың көрсетілген шекарадан тікелей өту жылдамдығы 13,6 км/с, ал оның астында - 8,1 км/с. Бұл мантия мен ядроның шекарасы.



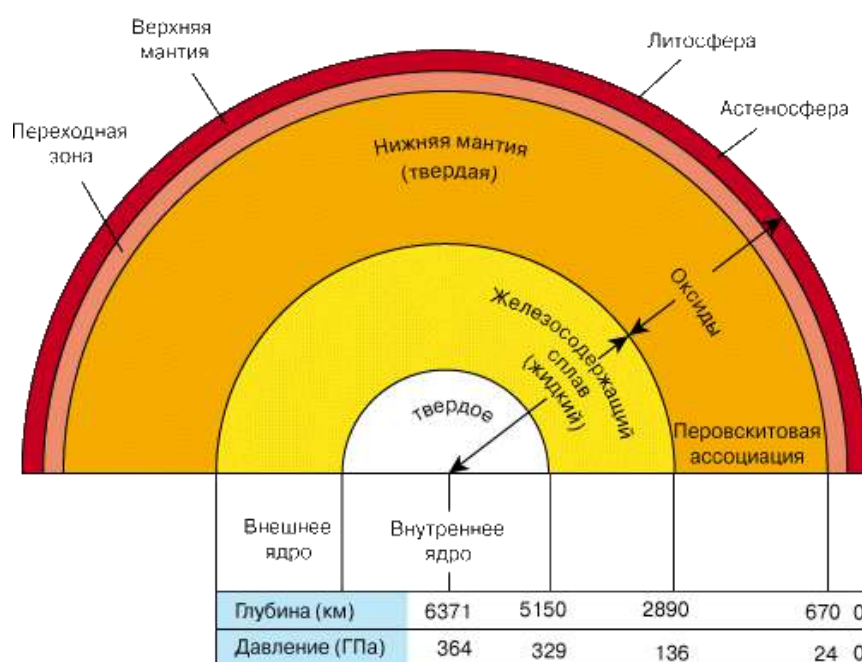
Сурет 1.1– Жердің ішкі құрылымы

Жердің қатты қабығы литосфера деп аталады. Оны бүкіл жер бетін қамтитын "қабықпен" салыстыруға болады. Бірақ бұл "қабық" бөліктерге бөлініп, бір-біріне қатысты баяу қозғалатын бірнеше үлкен литосфералық плиталардан тұрады. Олардың шекараларында жер сілкінісі ошақтарының басым көпшілігі шоғырланған. Литосфераның жоғарғы қабаты-бұл жер қыртысы, оның минералдары негізінен кремний мен алюминий оксидтерінен,

темір оксидтерінен және сілтілі металдардан тұрады. Жер қыртысының қалыңдығы біркелкі емес: континенттерде 35-65 км және мұхит түбінде 6-8 км.

Барлық литосфералық плиталар судағы мұз сияқты жартылай сұйық астеносферада қалқып жүргендей. Жер қыртысының қалың бөліктері, сондай-ақ аз тығыз жыныстардан тұратын жерлер жер қыртысының басқа аймақтарына қатысты көтеріледі. Сонымен қатар, жер қыртысының учаскесіне қосымша жүктеме, мысалы, Антарктидадағыдай материктік мұздың қалың қабатының жиналуына байланысты, сайттың біртіндеп батып кетуіне әкеледі. Бұл құбылыс изостатикалық туралау деп аталады.

Жердегі тереңдікпен тығыздықтың, қысымның, тартылыс күшінің, заттың серпімді қасиеттерінің, тұтқырлық пен температураның мәндері өзгереді (сур. 1.2). Жалпы жер қыртысының орташа тығыздығы 2,8 т / м<sup>3</sup> құрайды. Қабықтың шөгінді қабатының орташа тығыздығы - 2,4-2,5 т/м<sup>3</sup>, "гранит" - 2,7 т/м<sup>3</sup>.



Сурет 1.2 - Жердің құрылымы және тереңдігі бар қысымның өзгеруі

Жер қыртысы-тікелей зерттеуге болатын ішкі геосфералардың бірі. Геодезия жердің құрылымын зерттеуде маңызды рөл атқарады, сандық бекіту үшін жоғары дәлдіктегі өлшемдерді алады және жердегі деформацияларды сипаттайды [1.2].

Жердің гравитациялық өрісі біртекті емес. Геодезиялық өлшеулердің нәтижелері негізінде жердің нақты гравитациялық өрісін зерттеу Геодезияның негізгі міндетін - жердің фигурасын анықтауға мүмкіндік береді.

Жердің сыртқы гравитациялық өрісі Жерді қоршаған кеңістіктегі және оның бетіндегі G ауырлық күштерінің жиынтығы деп аталады. Жер бетінің материалдық нүктесіне екі күш әсер етеді: жердің тартылыс күші F және айналу осіне перпендикуляр бағытталған центрифугалық күш Q. Бұл күштердің нәтижесі ауырлық күші деп аталады.

Геодезиялық өлшемдердің барлық түрлеріндегі негізгі бағдар сызығы-мөлдір сызық, яғни ауырлық күшінің бағыты. Ауырлық күшінің мәні негізінен тартылыс күшімен анықталады, тіпті центрифугалық күш максимумға жететін экваторда да центрифугалық күштің тартылыс күшіне қатынасы  $1/288$  құрайды. Сондықтан жердің гравитациялық өрісін зерттеу іс жүзінде Жердің тартылыс күшін зерттеуге дейін азаяды.

Жердің гравитациялық өрісін зерттеу теориясының негізінде динамиканың негізгі заңдары мен тартылыс заңы жатыр. Ауырлық күшін өлшеуге арналған құрылғылар гравиметрлер деп аталады.

Теориялық зерттеулерде барлық тартымды массаларға сыртқы және жердің гравитациялық өрісінің шамалы өзгеруіне аз сезімтал болатын деңгейлік бетке ие болған жөн. Бұл геоидтың беті. Ғылыми және практикалық қолдану үшін қарапайым фигура қажет-жалпы жер бетіндегі үш осьті эллипсоид.

Геодезияда ауырлық күші тікелей өлшемдермен анықталады; осылайша, планетаның фигурасын зерттеудің міндеті-анықтау жер бетіндегі және оның үстіндегі алаңдатарлық потенциал.

Жер қыртысының құрылымы ауырлық күшінің ауытқуларында (гравитациялық) азды-көпті айқын көрінеді. Бұл ауытқулар бақыланатын ауырлық күші мен оның теориялық мәні арасындағы айырмашылыққа сәйкес келеді жер бетінің бірдей нүктелері, яғни идеалды және нақты жердің құрылымындағы айырмашылықтарды көрсетеді. Бұл жағдайда гравитациялық ауытқулар тек шамасы бойынша ғана емес, сонымен қатар ауырлық күшінің бағыты бойынша да ерекшеленеді (тік сызықтан ауытқуды тудырады).

Ауырлық күшінің анықтамалары дүниежүзілік мұхит бетінен басқа геоид деңгейімен сәйкес келмейтін жер бетінде жасалғандықтан, гравитациялық ауытқулар әдетте геоид бетіне әкеледі және бақылау нүктесінің биіктігіне және аралық қабаттың тартылуына байланысты түзетулермен есептелген Бугет аномалиялары деп аталады.

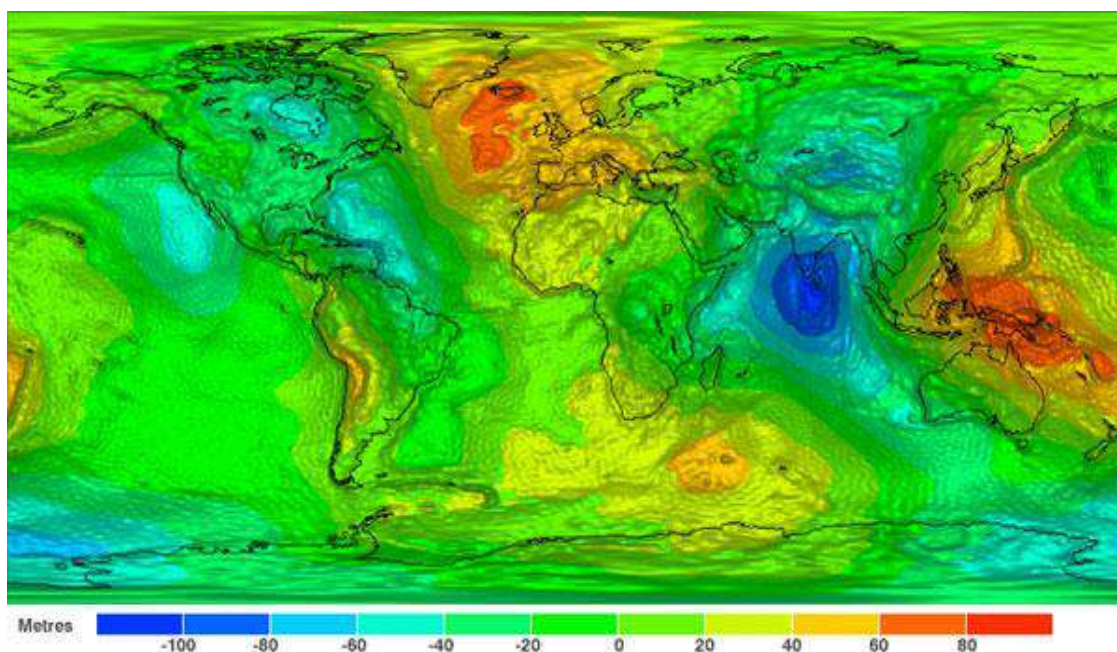
Аймақтық және жергілікті ауытқулар бар. Алғашқы жарыстар ондаған және жүздеген мың шаршы шақырымға созылады және үлкен қарқындылығымен ерекшеленеді. Аймақтық ауытқулар аясында жер қыртысының жоғарғы горизонттарының құрылымдық ерекшеліктерімен байланысты әртүрлі масштабтағы және сипаттағы жергілікті ауытқулар көрінеді. Жергілікті ауытқулар іздеу-барлау тәжірибесінде кеңінен қолданылады (мұнай, газ және басқа да пайдалы қазбаларды іздеу кезінде).

Жердің гравитациялық өрісі гетерогенді. Онда келесі түрлері айқын ерекшеленеді. Гравитациялық өрістің тыныш көрінісі салыстырмалы түрде кішігірім аудандарды қамтитын кішігірім оң және теріс ауытқулардың ауысуымен сипатталатын тыныш рельефі (платформалары) бар материктердің үлкен кеңістіктерінде көрінеді. Тау-кен қабаттарының гравитациялық өрісі гетерогенді және күрделі. Мұхиттарда гравитациялық өріс материктерге қарағанда тыныш және тегіс өзгереді.

Ауырлық күшінің есептелген мәні "қалыпты" деп аталады, ал бақыланатын мән қалыпты емес деп аталады. Жердегі гравитациялық ауытқулар әдетте 100 мГал-дан аз, олардың жердегі орташа квадраттық вариациясы шамамен 20 мГал шамасында. Демек, жердің гравитациялық өрісі өте тегіс. Экстремалды жағдайлар үшін (Арал доғалары, терең теңіз шұңқырлары) гравитациялық ауытқулар 400 мГал шамасына жетеді, бұл полюс пен экватордағы ауырлық күшінің айырмашылығынан 12,5 есе аз және ауырлық күшінің 0,04% құрайды.

Жердің барлық жерінде ауырлық күшінің үдеуі шамамен бірдей екенін геоидтың пішіні және оның тегіс беті дәлелдейді. Егер мұхиттар аймағында материктік массалардың салыстырмалы түрде жоғары тығыздығы ешнәрсемен өтелмесе, онда біріншіден, геоид іс жүзінде қарағанда тегіс емес беткейге ие болар еді, екіншіден, бұзушылықтар мұхиттар мен материктердің таралуына сәйкес келеді. Демек, жердің ішінде бақыланатын суретті жасайтын өтемақы механизмі бар.

Жердің гравитациялық өрісі әдетте екі бөлікке бөлінеді: қалыпты гравитациялық өріс және қалдық қалыптан тыс өріс. Физикалық геодезияда олар негізінен қалыптан тыс гравитациялық өріспен жұмыс істейді.



Сурет 1.3- Жердің гравитациялық өзгерісінің картасы

Бұл карта біздің планетамыздың әртүрлі аймақтарының тығыздығы мен сәйкесінше массасы бойынша қаншалықты гетерогенді екенін көрсетеді (сур. 1.3). Көріп отырғаныңыздай, жер қыртысының ең массивті қабаттары Исландия аймағында жатыр. Мұхит деңгейі (жердегі эллипсоидқа қатысты) Үндістан аймағына қарағанда шамамен 180 метрге жоғары. ESA ұшырған gose ғылыми-зерттеу спутнигі 4 жыл бойы жердің гравитациялық өрісін зерттеді және мұқият талдау гравитациялық карталарда 2011 жылдың 11 наурызында Жапонияның Хонсю аралының шығыс жағалауындағы жер сілкінісінен қалған



із қалдырды және көптеген құрбандар мен қиратулар әкелді (соның ішінде Фукусима-1 атом электр станциясындағы апат). Осы жер сілкінісінен кейін планетамыздың гравитациялық өрісі өзгерді.

Осылайша, ірі жер сілкіністері жер қыртысының деформацияларымен ғана емес, сонымен қатар жердің гравитациялық өрісінің жергілікті өзгерістерімен де жүреді. Жоғарыда аталған эксперименттер жердің гравитациялық өрісін зерттеудің, оның ішкі құрылымын зерттеудің және жер қыртысының қозғалысын зерттеудің, жер сілкінісінің ізашарларын табудың жаңа жолдарын ашады [3].

Жер сілкінісі-жер бетіндегі ең көне апатты құбылыстардың бірі. Ол жер қыртысы мен жоғарғы мантияның салыстырмалы түрде локализацияланған аймақтарындағы тектоникалық процестер нәтижесінде ұзақ уақыт бойы жиналатын энергияның кенеттен босатылуымен пайда болады. Бұл жағдайда тау жыныстарының тұтастығы, кейде ондаған шақырымға созылады. Жою процесі жүретін аймақ фокус, гипоцентр немесе гипоцентралды аймақ деп аталады.

Фокустың немесе оның аймағының жер бетіне проекциясы эпицентр немесе эпицентралды аймақ деп аталады. Жер сілкінісі кезінде жер бетіндегі қатты тербелістер мен елеулі бұзылулар аймағы плейстосейстік аймақ деп аталады (сур. 1.4).



Сурет 1.4 - Жер сілкінісі ошағының құрылымы

Гипоцентрлердің тереңдігі бойынша жер сілкінісі үш түрге бөлінеді: жер үсті (0-70 км); аралық (70-300 км); терең (300-700 км).

Жер сілкінісінің фокусы балл мен магнитудада көрсетілген сейсмикалық әсердің қарқындылығымен сипатталады. Жер сілкінісінің күшін өлшеу үшін екі шкала қолданылады: біреуі қарқындылықты өлшеу үшін, екіншісі магнитудасын өлшеу үшін.

Әлемде бірнеше қарқындылық шкаласы қолданылады: АҚШ - та - 12 қарқындылық деңгейі (ұпайлары) бар өзгертілген Меркалли шкаласы (MM); Еуропада-еуропалық макросейсмикалық шкала (EMS), Жапонияда-Шиндо шкаласы (Shindo). Медведев-Шпонхойер-Карниктің 12 балдық шкаласы 1964 жылы жасалып, Еуропа мен КСРО-да кеңінен таралды. MSK-64 ҚР ҚНЖЕ негізінде жатыр 2.03-30-2006 "Сейсмикалық аудандардағы құрылыс" және Қазақстанда пайдалануды жалғастыруда.

Жер бетінің жылжуы жер астында және жер бетінде әртүрлі экзогендік және эндогендік үдерістердің өзара әсерінен пайда болған нәтижелердің көрінуі болып табылады. Жер бетінде бұл үдерістердің пайда болу ауқымына қарай өзгерісі үлкен болады. Олардың өзгеріс уақыты миллиондаған жылға созылады.

Жер қыртысының жоғарғы бөлігінде табиғи және техногендік әсерден болып жатқан геодинамикалық үдерістерді зерделеу жер туралы ғылымдарда үлкен қызығушылық тудырды.

Жер бетінің заманауи қозғалысы қоршаған ортаның құрамдас бөлігі. Жер қыртысындағы деформациялық үдерісті геологиялық салада бақылау жер бетінің заманауи қозғалысы деп аталды. Жер бетінің заманауи қозғалысы ретінде аспапбен өлшейтін әдістермен зерделенетін қозғалысты (қайта нивелирлеу, көлбеулік өлшеулер, ауырлық күшінің өзгерісін өлшеу) түсінеді.

Жер бетінің заманауи қозғалысы таралу жылдамдығы мен масштабы бойынша келесі түрлерге бөлінеді:

- баяу немесе ғасырлық (жылына бір миллиметр жылдамдықпен барлық жерде байқалады). Жер бетінің заманауи баяу қозғалыстарының вертикаль және горизонталь құрауыштары бар, олардың жылдамдығы жер бетінің орны және аумақтың тектоникалық түріне байланысты болады.

- орташа немесе болжаушы (сейсмоселсенді аудандарда 10мм/жылына жылдамдықпен байқалады);

- жылдам немесе сейсмикалық, жерсілкінісін және вулкан жарылысын тудыратын қозғалыстар.

Жер бетінің заманауи қозғалысы белсенді материктік платформаларда, рифтілі зоналарда, мұхиттық жартастарда және литосфералық плиталардың тоғысқан жерлерінде көрініс береді. Олардың күшті көрінісі тектоникалық жерсілкінісін болдырады. Жер қабаттарының қозғалысынан жерсілкінісі пайда болады. Жер бетінің баяу заманауи қозғалысының дамуының заңдылығын біле отырып жерсілкінісін болжауға болады.

Қазақстан Республикасының Алматы, Шығыс-Қазақстан, Жамбыл, Оңтүстік-Қазақстан областары және Алматы қаласы жойқын жерсілкінісі болатын аймақтарға жатады.

Сейсмология институтының мәліметінше Республикамыздың оңтүстік, шығыс және оңтүстік-шығыс аумақтары ұзақ мерзімдік сейсмикалық тыныштықтан соң қайта ояна бастады. Алматы қаласы және Алматы облысындағы Солтүстік Тянь-Шань аумағы Орта Азия бойынша сейсмоқауіпті аймақ болып саналады. Жүз жыл аралықта ондаған жойқын



жерсілкінісі болды, оның ішінде Шелек жерсілкінісі 1889жыл және Кемін жерсілкінісі 1911жыл 8 баллдан жоғары магнитудада болды және әлемдік сейсмикалық апат деп есептелді.

Қазақстанда жерсілкінісін болжау бойынша зерттеулер ХХ ғасырдың 70-жылдары екінші жартысында Алматы геодинамикалық полигон базасын құрып жасалды. Жер қыртысының деформациясының геофизикалық өрісін бақылау, сейсмикалық режимін және жер асты сулардың газохимиялық құрамын анықтау жұмыстары 1980 және 1981жж аралығында ұйымдастырылды және нәтижесінде 20-30 жыл бойы мәліметтер қорын жинады. Бұл мәліметтер жерсілкінісін болжаудың әдістемесін табуға мүмкіндік жасайды.

Соңғы жылдары 5-6 баллдық жерсілкіністері Атырау, Батыс-Қазақстан және Қарағанды облыстарында, ал Зайсанда 7-баллдық жерсілкінісі болды. Батыс Қазақстанда геодинамикалық үдеріс белсенді түрде, себебі көмірсутек шикізатын өндіреді, болашақта техногендік жерсілкінісі болуы да мүмкін. Тұрғылықты халықпен нысандардың қауіпсіздігі үшін жерсілкіністерін болжау және техногендік факторларды ескеру өте маңызды мәселе. Деформация туралы алынған сапалы мәлімет гидротехникалық және басқада инженерлік жүйелермен ғимараттар жобалағанда оның тұрақтылығын сақтау, экономикалық тұрғыдан маңызды [4].

Жер бетінде адамның техногендік іс-шараларының әсерінен локальды құбылыстар болып жатыр, бұл техногендік құбылыс деп аталады. Қоршаған ортада экологиялық және геодинамикалық қауіпсіздіктің үлкен өзгерісі адамның минералдық-шикізат ресурсын пайдалану әсерінен болып тұр.

Жер бетіндегі қозғалыстың әрбір түрін зерттеу өте маңызды және қажет. Қозғалыстар бір-бірімен тығыз байланысты, яғни баяу қозғалыс әрі қарай орташаға содан соң жылдам қозғалысқа ұласады. Жер бетінің заманауи қозғалысының барлық түрлері геодезия көмегімен бақыланады. Геодезиялық пункт центрі орнатылған жер бетінің деформациясын пункттердің өзара орнының өзгеруінен және деформацияның құраушысы гравитациялық өрістің өзгеруінен де анықтауға болады .

## **1.2 Аумақтың геофизикалық жағдайы, тектоникасы және сейсмикасы**

Алматы сейсмикалық ауданында, жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысы тұтастай геологиялық құрылымдық жүйе, ол жарықтармен бөлінген әртүрлі құрылымдар мен блоктарда пайда болады.

Сейсмотектоникалық жағдайына қатысты аудан Іле ойпатының іргетасы болып есептелетін карел кесегімен біріктіретін каледонид (Іле жоталары және Күнгей–Алатау және оларды бөлетін Шелек–Кемен кесегі) зонасында орналасқан. Бұл бірігулер солтүстік–шығысқа созылған терең жарылымдар жүйесімен жалғасқан, оның ішінде ең кеңейтілген және бүкіл жер қыртысын қамтитын және жоғарғы мантияға енетін, геология–геофизикалық мәліметтері

бойынша ерекше Солтүстік–Тянь–Шань терең жарылымдары болып саналады.

Алматы полигоны бір жағынан Іле Алатауы жотасының солтүстік баурайының және екінші жағынан терең Алматы құламасының көтерілген блоктарын біріктіретін аумақта орналасқан. Бұл жерде палезой іргетасының басты субөлгіш Іле Алатау жотасының жағдайы бойынша биіктіктің айырмасы және құлама тереңдігі 7-8км.

Алматы ГДП-да Алматы, Іле, Қарақастек, Боралдай және Шамалған жарылымдары бар 1.2-суретте көрсетілген. Жарылымдар каледон және байкаль уақытында қалыптасқан, бірақ белсенді зоналарда жер бедерінде көрінетін неотектоникалық жаңартулар белгілері бар. Олар сызықтық блоктар қатарын құрастырады және 2–2,5км дейінгі амплитудалы сатылық сипаттағы қозғалыспен тәжірибеден өтті. Бұл жарылымдар тектоникалық түйін құратын тармақтарға бөлінген. Жарылым зоналары жер қыртысының ірі блоктарын ішкі әртүрлі құрылымымен және геологиялық дамуымен шекараланады. Осы жарылымның солтүстікке қарай Іле жотасының оңтүстік қанаты ендігімен созылып орналасқан [5 және 8 ж.т.б.].

Қала үшін ең үлкен сейсмикалық қауіп Әл-Фараби көшесінің бойымен, Республика алаңы арқылы, Абай мен Қонаев көшелерінің қиылысы, Қазыбек Би көшесінің бойымен, мәдениет саябағы арқылы шығысқа қарай өтетін Іле жарылымы (диагональ) болып табылады.

Жарылым ендік бағытта Жандосов, Тимирязев, Сәтпаев, Фурманов көшелерімен—солтүстік-шығысқа қарай өтеді.

Солтүстік жарылым батыстан оңға өтеді. Сайран (бөгет), Виноградов, Қабанбай-батыр көшелерінің бойында. Қала, Қазыбек би көшесі бойымен мәдениет және демалыс саябағына қарай шығысқа қарай.

Алматы жарылымы батыстан Саин көшесі мен Райымбек даңғылының қиылысы арқылы, Рысқұлов көшесінің бойымен Сейфуллин көшесіне дейін, одан кейін Райымбек көшесі бойымен 700-800 м солтүстіктен, одан әрі Медеу ауданының солтүстігіндегі аумақ арқылы өтеді, ол қаланы 2 бөлікке бөледі.

Іле жарылымының оңтүстігінде оған параллель Шілік-Кемін терең жарылымдар сериясы өтеді, оның аймағында бұрын қатты жер сілкіністері болған.

Жыл сайын Алматы қаласынан 80 км радиуста 200-ге дейін әлсіз жер сілкінісі болады. Соңғы 7 жылда олардың таралу сипатына сүйене отырып, негізгі сейсмикалық белсенділік қаланың оңтүстігі мен оңтүстік-шығысында дамуда.

Қазіргі заманда жер бетінің қозғалысын болжау өте қиын мәселе. Жер бетінің тектоникалық қозғалысының қарқындылығы жылына миллиметрмен өлшенеді, сондықтан оны жердің бетінде немесе ішінде болып жатқан үдерістерден айыру әртүрлі құрылғылармен және жоғары дәлдікті өлшеулерді ұзақ жүргізу арқылы жасалады. Заманауи қозғалысты болжау бірнеше әдіспен орындалады: геологиялық, геоморфологиялық, геофизикалық, геохимиялық, астрономиялық, геодезиялық және осыларды зерделеу кешенді сипаттамаға

ие болады. Жер бетінің заманауи қозғалысын зерделеу үшін ғарыштық әдістерде қолданылады.

Жер бетінің қозғалысын зерделеу үшін қолданылатын геофизикалық жұмыстар ұзақ мерзімді болып саналады. Геофизикалық әдістер: сейсмикалық, магнитометриялық, гравиметриялық, геотермикалық, магнитотеллуриялық зондтау.

Жер бетінің қозғалысы туралы мәселені шешу үшін, әдістер кешені кеңінен қолданысқа ие. Мұнда, өзінің тікелей - электр өрісінің өзгерісін, магниттік өріс элементтерінің өзгерісін, тау жыныстарының тұрақтылығының өзгерісін зерделеу мақсатында пайдаланады. Тағы, арнайыланған гравиметриялық әдіс қолданылады, бірақ бұл әдіс геофизикалық станциялардың бәрінде қолданылмайды, себебі өңдеу жұмыстары қиын [9].

Жер сілкінісін анықтайтын сейсмологиялық станцияларда әртүрлі вертикаль және горизонталь сейсмографтар қолданылады.

Сейсмика - жер бетінің тектоникалық қозғалысының қарқындылық көрсеткіші, зерделеніп жатқан ауданды сипаттайтын, алынған барлық мәліметтер жер қыртысының жаңа қозғалысын зерттеуге мүмкіндік береді. Геофизикалық әдіс жерсілкінісінің қысқа мерзімді және орта мерзімдік болжамдарын іздеуге арналған.

Орта мерзімдік болжам жақын 1-2 жылда туындайтын күшті немесе жойқын жер сілкінісінің ықтималдылығын қамтамасыз етеді. Практикада ортамерзімдік болжам жойқын жер сілкінісінің алдын – алу іс-шараларын ұйымдастыруға арналған.

Қысқа мерзімді болжам алдыңғы кезеңдегі болжамдарды ескере отырып, бір ай шамасындағы дайындалып жатқан жер сілкінісінің күшін, уақытын және орынын анықтау және болжаудың ең соңғы кезеңі болып табылады. Қысқа мерзімді болжам мәселесі шешуші сәттен алшақтау. Бұл бағыттағы жұмыстармен әлем және Қазақстан ғалымдары айналысады.

Еңіс өлшегіш бақылаулар жер сілкінісінің туындау мүмкіндігін көрсететін, пайда болған қалыпсыз еністердің шамасы мен формасын анықтайды. XX ғасырдың 30-шы жылдары Жапонияда бірінші еңіс өлшегіш станциялар торы құрылды. Жер бетінің деформациясындағы өзгерісті үздіксіз тіркеу үшін деформографтар, маятник және сұйық еңіс өлшегіш, гидростатикалық деңгейлер қолданылады.

Әлсіз деформацияларды зерделеу үшін далалық геофизикада үш түрлі аспаптар қолданылады: деформографтар – тау жыныстарының сызықтық және көлемді зерделеуге арналған; еңіс өлшегіш – жер бетінің және деформацияның вертикаль жылжуының еңіс бұрышын өлшеуге арналған; ұзын базисті гидростатикалық деңгей – салыстырмалы вертикаль жылжуды өлшеуге арналған.

Еңіс өлшегіш бақылаудың артықшылығы - жоғары сезгіштік және бақылаудың үздіксіздігі, ал кемшілігі – өлшеу қысқа қашықтықта немесе жеке нүктеде орындалады.

Геофизикалық әдістің ішінде магнитометрлік зерттеу ерекше орынға ие. Зерттеудің мәні - магниттік өрістің өзгерісі жарылым жүйесінің белсенді әрекетімен байланысты және магниттелген нәрсе үстінде өріс сипатты формаға ие болады. Қалыпсыз учаскелерде өрістің өсуі жер сілкінісінің хабаршысы болып есептеледі. Осыған орай, барлық нүктелерде қалыпсыздық таңбасы өзгереді, яғни жер сілкінісіне дейін өрістің өсуі байқалады соңынан азаяды, ал жер сілкінісіне дейін өріс азайған жерлерде өсуі байқалады.

Сейсмомагниттік эффектін зерделеу жоғары дәлдікті протонды магнитометрмен ПМ-5 жүзеге асырылады.

Электрометрлік зерттеулер жер сілкінісінің хабаршысын іздеу үшін жер қыртысының электр кедергісінің мониторингін алдын алады.

Айтылған әдістер таулы массивтің деформациясын тікелей өлшеуді қамтамасыз етеді. Алайда, тау жыныстарының көлемді деформацияға ұшырауы жерасты су деңгейінің өзгеруіне себеп болды, сондықтан жер сілкінісін болжаудың гидродеформациялық әдісінің дамуына септігін тигізді. Құдықтар мен ұңғымаларда су деңгейі жер сілкінісіне дейін жиі көтеріледі немесе түседі, ол тау жыныстарының кернеулі жағдайының өзгерісінен болады.

Мореографиялық бақылаулар жер бетінің қозғалысын анықтау үшін теңіз, көл және өзен жағалауында судың көтерілуі мен қайтуының деңгейін өлшейді. Бақылаулар арнайы мореограф аспабымен орындалады және судың биіктігін футштокта 1 см қателікпен өлшейді.

Гидрологиялық әдіс жер бетінің қозғалысын анықтау үшін және сапалы бағалау үшін кеңінен қолданылады. Мұқиттар мен көлдердегі су деңгейін өлшеп бақылау жасайды.

В.И. Вернадский айтқандай, Жер қыртысы газбен демалады деген. Сейсмикалық белсенді аудандарда, үздіксіз атмосфераға газ бөлініп отырады. Терең жарылымды зоналарда газдың бөлінуі көбейеді және құрамыда өзгеше болады. Осыған орай, геохимиялық зерттеулердің әртүрлі әдістерін жер сілкінісін болжау үшін пайдаланады. Белсенді жарылымдар жер қыртысының әлсіз зонасына айналады, олар газ, су және мұнайдың көшуіне жол салады. Осындай учаскелерді табу үшін эманациондық профилирлеу әдісі қолданады, 50-100 см тереңдіктегі топырақтағы ауаның радон және торон қоспасының жоғарылауын эманометр М-6 және «Радон» түрімен өлшейді. Мысалы, Ташкенттегі 1966 жылы болған жер сілкінісінен алдын, терең ұңғымадағы судың құрамындағы радон мөлшерінің азайғаны байқалды [10].

Заманауи қозғалысты жарылымдар бойынша анықтау кезінде, жарылымдарда және жақын жатқан учаскелерде тау жыныстарының кернеулік жағдайы өзгереді және радиоактивті газдың қоспасы жоғарылайды.

Геоморфологиялық зерттеулер жер бетінің заманауи қозғалысын зерделеудегі басты орында тұр. Геоморфологиялық зерттеулер жер қыртысының заманауи қозғалысын морфокұрылымдық және морфоклиматтық шарттарды ескере отырып сипаттауға мүмкіндік береді.

Геоморфологиялық зерттеулер терең құрылымдарды және иілуді, сейсможарылымдардың жарығын табуды, аэроматериалдарды және далалық геоморфологиялық бақылауларды дешифрирлеу арқылы ескі жерсілкініс эпицентрін табу үшін зерделеу жасалады.

Геоморфологиялық әдіс түскен және көтерілген аудандарды бөліп және белсенді немесе әлсіз қозғалыс учаскелерін белгілеуге мүмкіндік жасайды.

Геологиялық бұзылыстар бар аудандарда, әсіресе ірі жарылымдарда табиғи мәнімен салыстырғанда радиоактивтілік күшейеді. Жерасты дүмпу тоқтағанда радиоактивтілік өз қалпына түседі. Радиоактивтілік күшейгенде жер көтеріледі, ал азайғанда жер түседі.

**Тектоника.** Қазақстан аумағының геологиялық тарихи даму барысында жер қыртысында болып өткен қозғалыстар өз ауқымындағы тау жыныстары қабаттарының астасу пішіндері мен айырылым бұзылыстарының жиынтығы тұрғысынан бір-бірінен анық ерекшеленетін ірі-ірі тектоникалық облыстар мен жүйелер тізбегін қалыптастырған.

Аймақтың қазіргі геокұрылымдық келбеті жер қыртысының дамуының геотектоникалық режимі бойынша әртүрлі: субгеосинклинальды, субплатформалық және эпиплатформалық (орогендік) үш кезеңінің нәтижесінде құрылды. Оның қалыптасуы толығымен Іле мен Күнгей Алатауының Шілікті-Кемін грабенімен бөлінген тау жүйелерінің және солтүстіктен оларға іргелес жатқан Іле тау аралық ойпатының шығысында созылып жатқан бірінші ретті құрылымдардың дамуына байланысты.

Қазақстанның гравитациялық өрісі аумақтың геологиялық құрылымының барлық алуандығын көрсетеді. Гравитация аномалияларының сандық мәндері, пішіні мен таралуы бойынша Каспий теңізінің, Оралдың, Тұран тақтасының, Қазақ қалқаны, Алтай және Тянь-Шань жер қыртысының құрылымдарының құрылыс ерекшеліктерін ажыратады.

Аймақтық тұрғыдан алғанда, Алматы геодинамикалық полигоны жер бедері бойынша да, тектоникалық құрылымы, даму тарихы және геофизикалық сипаттамалары мен сейсмикалығы бойынша да бір-бірінен өте ерекшеленетін аумақтарды қамтиды.

Қарастырылып отырған аумақтың шектеулі көлеміне қарамастан, соңғысы өте күрделі тектоникалық құрылыммен сипатталады, бұл тұтастай алғанда Солтүстік Тянь-Шаньның айрықша белгісі болып табылады. Онда облыстың негізгі құрылымдарының даму тарихындағы негізгі кезеңдері көрсетілді. Бұл күрделілік тектоникалық дислокациялардың бірнеше қабаттасуына байланысты, олар әртүрлі жастағы құрылымдық едендерді құрады.

Аймақтың қатпарлы, негізінен кристалды геосинклинальды құрылымы гетерогенді құрылыммен және біркелкі емес консолидациямен (негізінен каледондық) сипатталады. Каледон қатпарының аяқталуы жоғарғы ордовиктің жинақталуынан кейін орын алды және төменгі палеозой қабаттарының қарқынды ұсақталуынан көрінді.

Сонымен бірге қазіргі Іле ойпаты мен Шілікті-Кемін грабенінің орнында Іле және Күнгеі Алатау жоталарына ұқсас ірі антиклинориялар және олармен байланысты синклинориялар қалыптасты. Антиклинорияның синклинориямен конъюгациясы негізінен сублатитудинальды және солтүстік-шығыс соққысының терең жарылыстарымен өтті. Олар Солтүстік Тянь-Шаньның ірі палеозойлық құрылымдық элементтерінің қалыптасуын алдын ала анықтады.

Салыстырмалы түрде тар, ұзартылған Іле ойысы уақытына, жылдамдығына және шөгу тереңдігіне қарай ерекшеленетін бірнеше ірі блоктардан тұрады. Бұл палеозойдың қаңқалық құрылымдарының бағытына сәйкес келетін айқын айқын сызықтық бағдармен сипатталатын типтік тау аралық ойпаты: солтүстікте Жоңғар Алатауы және оңтүстігінде Іле Алатауы.

Іле Алатауы жотасы – осьтік сызығы шамамен жотаның су алабымен сәйкес келетін және ендіктік бағыттағы үлкен блокты көтеріліс. Жотаның өзегі ежелгі, негізінен каледондық гранитоидтерден тұрады, олардың арасында төбе қалдықтарында кембрийге дейінгі жыныстардың ксенолиттері кездеседі. Жотаның құрылымындағы кейбір асимметрия байқалады, бұл оның канаттарында шөгінділердің біркелкі жиналмауынан көрінеді [11].

Бұл жұмыс үшін Іле жотасының орталық, ең биік таулы бөлігі шығыстан Талғардың оң жақты сілемді жыртылуымен, ал батыстан Үлкен Алматинка аңғарлары бойындағы солтүстік-шығыс сілемді жарылымдармен шектеседі. Проходная өзендері қызығушылық тудырады. Кейбір зерттеушілер Іле жотасының көрсетілген биік таулы бөлігін жоғары қарай сығылған тектоникалық сегмент ретінде қарастырады.

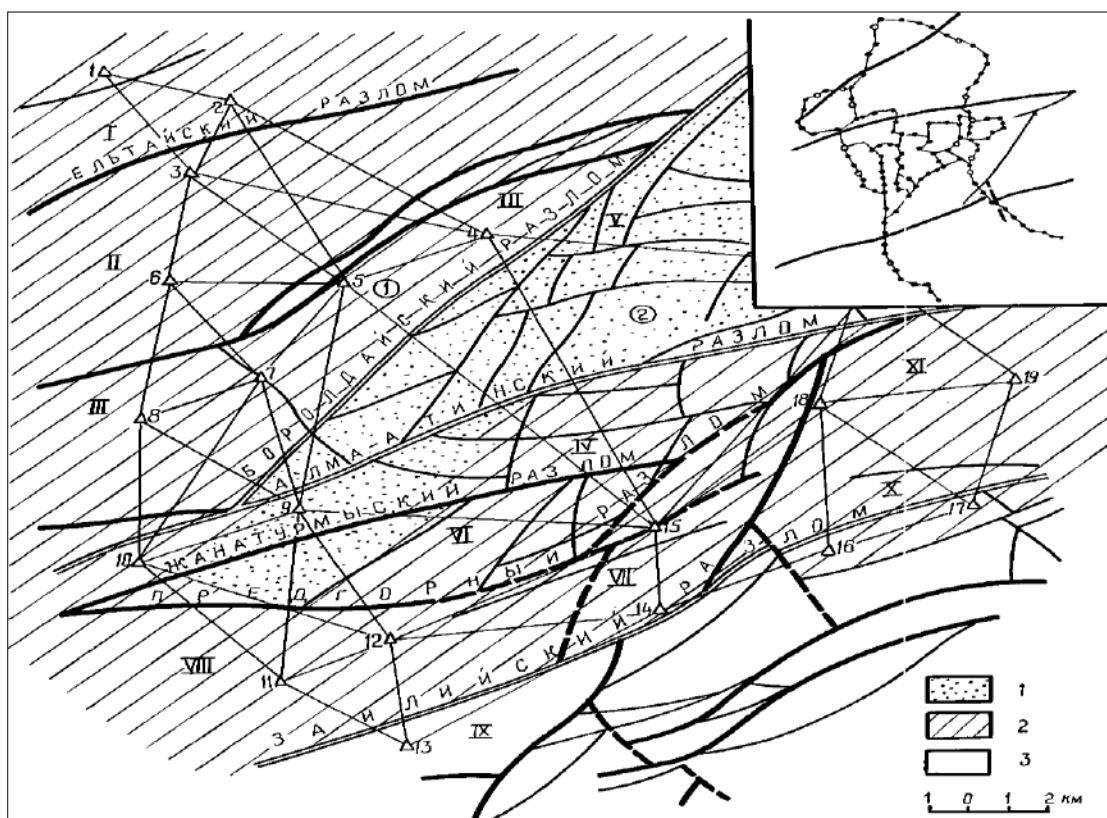
Солтүстікте бұл сегмент Іле ойпатының оңтүстік бөлігі болып табылатын Алма-Ата ойпатымен байланысты және Алматы тереңдігінің бойымен жотаның солтүстік беткейінің солтүстікке қарай иілуін тіркейді. Қарастырылып отырған сегмент оңтүстіктен іргелес жатқан суб-кеңдік бағытталған Чилико-Кеминск грабенімен шектеледі, ол өз кезегінде оңтүстікте Күнгеі-Алатау жотасымен түйіседі. Қарастырылып отырған аймақтағы жер қыртысының неотектоникалық қозғалысын зерттеушілер бірауыздан неогеннің басына қарай Іле ойпатының, Іле Алатауы жотасының, Шілікті-Кемін грабенінің және Күнгеі Алатауының қазіргі құрылымдық бірліктері, жоталары диаметрі 270-350 км-ге жететін арка тәрізді көтеріліс түріндегі ортақ құрылымға біріктірілді. Н.М. Чабдаров, бұл арканың орталық бөлігі кеңістіктік жағынан қазіргі Іле ойпатына сәйкес келеді. Қойманың солтүстік қанаты қазіргі Жоңғар Алатауы жотасы болды.

Палеоген мен неоген шекарасында альпілік белсену кезеңі деп аталатын белсенді тектоникалық қозғалыстар кезеңі басталды. Қарастырылып отырған аймақта жер қыртысының қозғалуының осы дәуірін тудырған және онымен бірге болған тектоникалық процестер де оның жоғары сейсмикалық деңгейін анықтайтын қазіргі геодинамикалық жағдайды алдын ала анықтайды. Бұл кезеңде қойма ең ірі ежелгі жарықтар бойындағы әлсіреген аймақтар

бойымен ірі блоктарға бөлініп, тау аралық ойпаңдар мен жоталардың түзілуі басталады.

Бұл ретте жер бетінің көлденең қозғалыстарымен бірге төбенің жоғарғы бөлігінде созылу күштері басым болды, ал қойманың шеткі бөлігінде сығу күштері басым болды, бұл дифференциалды тік жылжуларды туғызды. Ірі құрылымдық бөлімшелердің бөлінуі Алматы және Іле терең жарылыстарында, Боралдай және Қаскелең аймақтық жарылымдарында, Шілік-Кемін жарылымында және т.б.

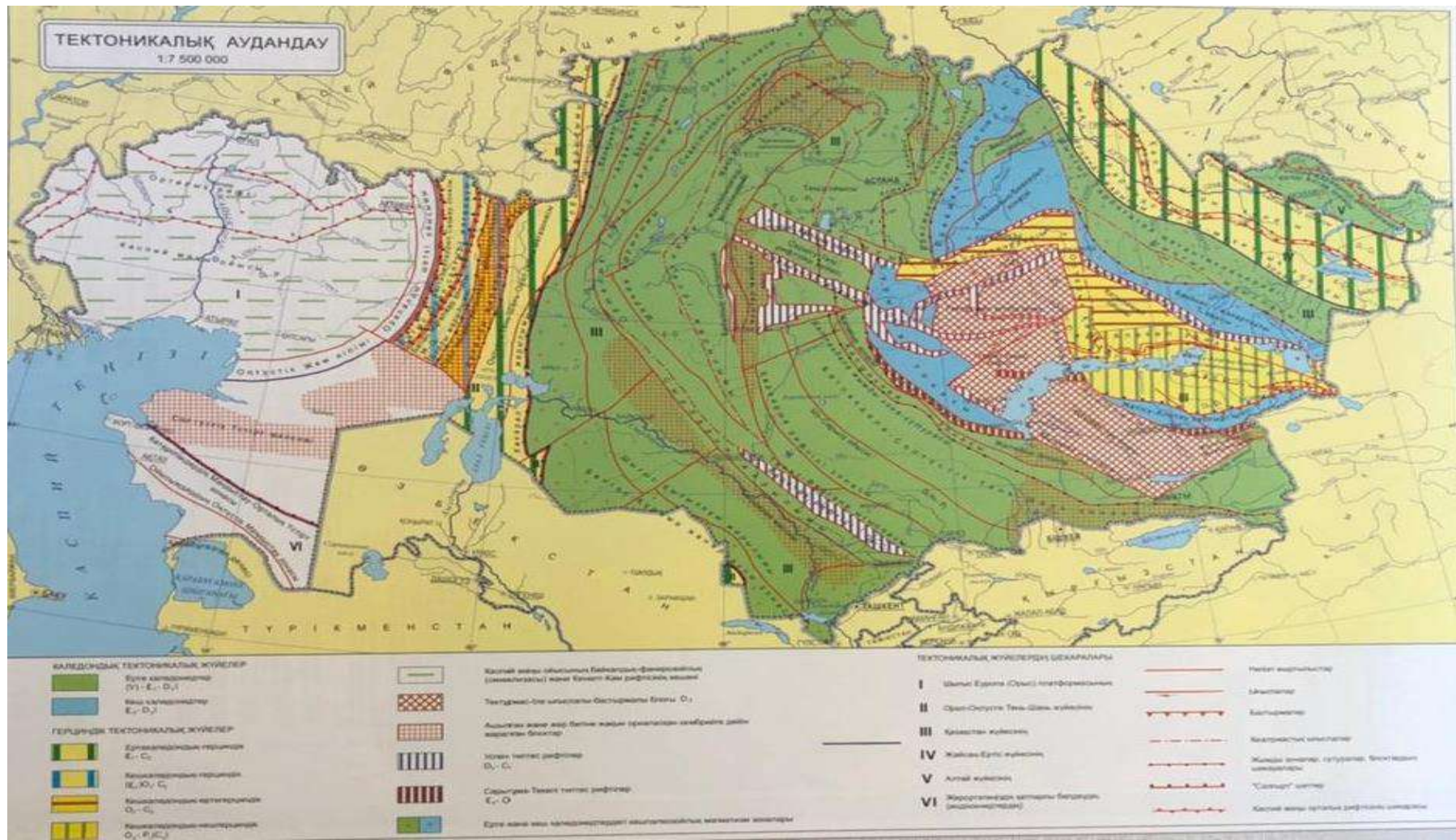
Ірі жарылымдар – ені 0,3 км-ге дейін немесе одан да көп аймақтағы бір-біріне жақын орналасқан параллельді және қауырсынды жарылымдар жүйесі. Олардың бойындағы тік жылжулар бірнеше шақырымды құрады. Сонымен қатар, неотектоникалық кезеңде ауданның тектоникалық дамуының алдыңғы кезеңдерінде орын алған бұзылулардың барлығы дерлік жаңарды. Нәтижесінде «элементарлы» тектоникалық блоктардың ені 1,5 - 2,5 км және блоктардың бір-біріне қатысты тік жылжулары 200 м-ден аспайтын шағын блокты құрылым (сур.1.5 және 1.6) қалыптасты [12].



Сурет 1.5 - Жарылым тектоникасының сызбасы

*I – Боралдай төбелік көтерілім; 2 - Алматы тау етегіндегі жағалауындағы Тектоникалық блоктар: 1-кішіөзек; II-Көкөзек; III-Боралдай; IV -Қалалық; V-Алматы; VI -Верненск; VII -Қаратұмсық; VIII- Аксай; IX-Ақяр; X-Бекер; XI-Қотырбұлақ. 1- тұрақты түсу аймағы; 2-өтпелі тұрақсыз әртүрлі бағыттағы қозғалыс зоналары; 3- тұрақты көтерілу аймағы.*





Сурет 1.6 - Қазақстан аймағының тектоникалық аудандастыру



**Сейсмикасы.** Соңғы 150 жыл ішінде макросейсмикалық материалдарды талдау, сондай-ақ сейсмикалық станциялардың аймақтық желісінің аспаптық бақылау деректері негізінде Қазақстан аумағында жер сілкінісінің кеңістік пен уақыт бойынша таралуы зерттелді. Тарбағатай-Алтай, Жетісу-Алатау-Солтүстік Тянь-Шань, Қаратау, Каспий маңы төрт сейсмикалық аймақ бар.

Тарбағатай-Алтай аймағы белсенді терең жарылыстармен байланысты бірнеше ықтимал сейсмогендік аймақтарды қамтиды. Жалпы бұл аймақ сейсмикалық жоғары деңгейімен ерекшеленбейді. Бұл өңірдегі ең күшті оқиға 1990 жылы 14 маусымда 8 балдық Жайсаң жер сілкінісі болды.

Екінші аймақ екі ірі сейсмикалық белсенді аймақтан – Солтүстік Тянь-Шань мен Жетісу-Алатаудан тұрады. Соңғы 120 жылда Солтүстік Тянь-Шань аймағы ең жоғары белсенділікпен сипатталды, мұнда ені 50 км жолақтағы күшті жер сілкінісінің ошақтары ендік бойынша созылады. Іле Алатауының Күнгей Алатауының және Қырғыз жотасының шығыс бөлігінің сейсмикалық жоғары аймақтары.

Бұл аудандарда апатты жер сілкінісі болды: Беловодск – 1885 жылғы 2 тамыз (9-10 балл); Верненск – 1887 жылғы 8 маусым (9-10 балл); Шілік – 1889 ж. 11 шілде (10 балл); Кемін – 1911 ж. 3 қаңтар (10-11 балл) (сур. 1.7); Кемін-Шу – 1938 жылғы 20 маусым (8-9 балл); Жалаңаш-Тюп – 1978 ж. 25- наурыз (8 балл); Байсоран – 1990 жыл, 12 қараша (8 балл). Қырғыз жотасының батыс шегуі аз белсенді, бірақ мұнда 2003 жылы 23 мамырда Луговое жер сілкінісі (8 балл) болды [13].



Сурет 1.7- Кемін жерсілкінісі:

*а) жерсілкініс ошағы; б) жерсілкініс апаты*

Жетісу-Алатау сейсмикалық белсенді аймағының да ендіктік бағдары бар. Мұндағы күшті жер сілкіністерінің көпшілігі тау жүйесінің оңтүстік бөлігінде орналасқан, ҚХР шегінде Боро-Хоро жотасының бойымен шығысқа қарай созылған жолақты құрайды. 1970 жылдардың аяғынан бастап Жетісу-Алатау аймағының батыс бөлігінің жандануы байқалды (алты баллдық: Бақанас – 1979 ж., Текелі – 1993 ж. және басқа да күші аз жер сілкінісі).

Қаратау-Талас сейсмикалық белсенді аймағының шегінде Қызылқұм және Шатқалы-Құрамын аймақтары ерекшеленеді. Олардың біріншісі әлсіз

жер сілкінісімен сейсмикалық белсенділіктің төмен деңгейімен сипатталады. Екіншісі Ташкент (1868, 1886, 1966) және басқалары сияқты ірі жер сілкіністерімен (5-7 және одан да көп балл) сенімді түрде қадағаланады.

Қазақстанның кең-байтақ аумағында сейсмикалық қауіптілік біркелкі таралмаған. Сейсмиканың жоғары деңгейі Қазақстанның оңтүстігі мен оңтүстік-шығысындағы таулы аймақтарға тән, мұнда соңғы 140 жылда эпицентрінде қарқындылығы 8 баллдан кем емес 11 жер сілкінісі болды.

Осыған сүйене отырып, мұндай оқиғалардың орташа қайталану уақыты 10-15 жыл деп болжауға болады. Күштілігі аз жер сілкінісінің уақыт бойынша бөлінуінде белгілі бір тәртіп бар – жекелеген аймақтар мен аймақтардың сейсмикалық белсенділігінде белсендіру және тыныштық кезеңдері болады.

Алматы облысы мен Алматы қаласының аумағын қамтитын Солтүстік Тянь-Шань аймағы бүкіл Орта Азиядағы сейсмикалық қауіпті аймақтардың бірі болып табылады.

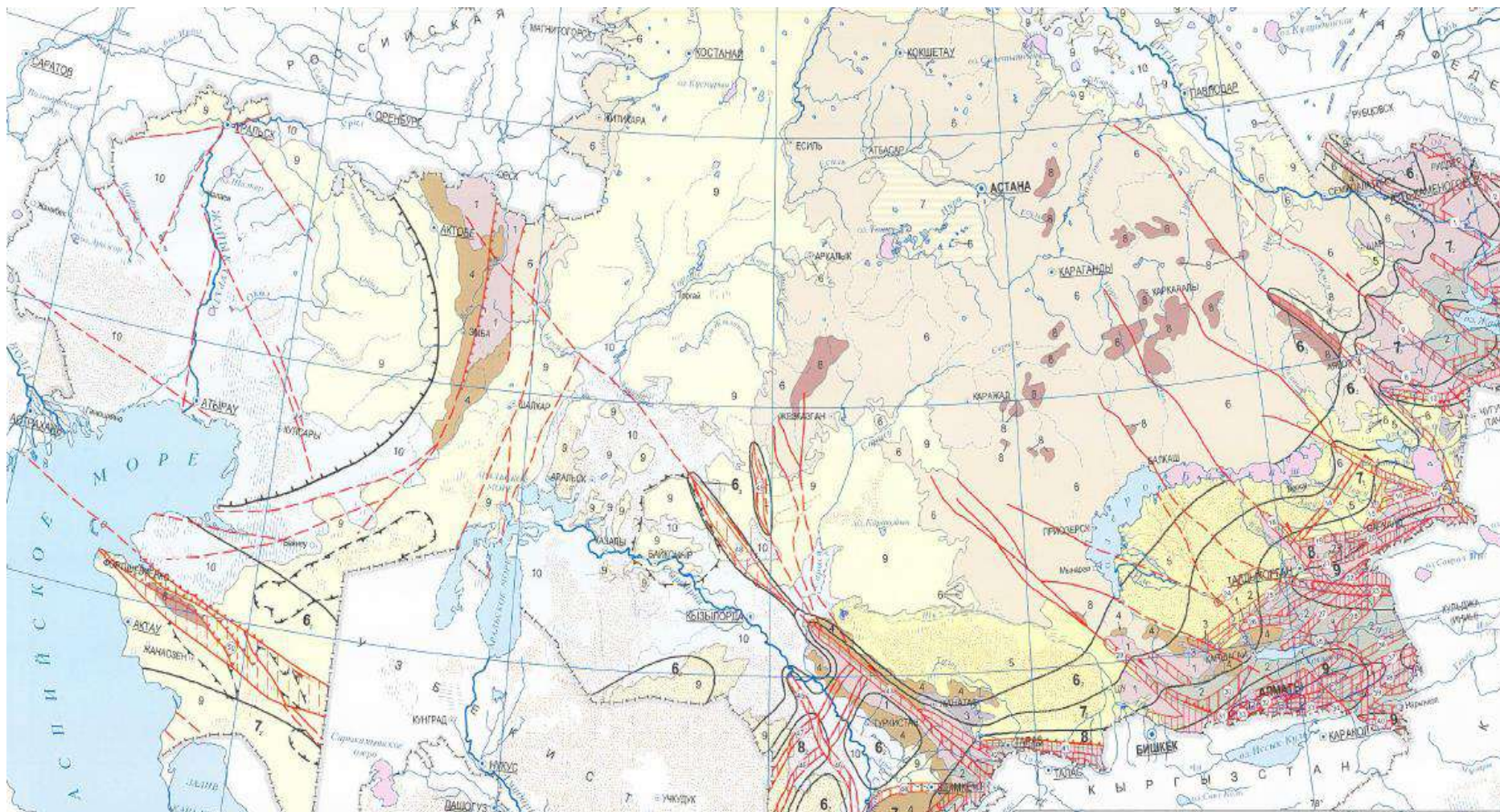
**Жер қыртысының қазіргі қозғалыстары (СДЗК).** Сейсмикалық қазіргі тектоникалық қозғалыстардың қарқындылығының сезімтал көрсеткіштерінің бірі болып табылады және зерттелетін аумақтың сейсмикалығын сипаттайтын барлық деректер жер қыртысының жас қозғалыстарын зерттеу үшін де өте қызықты (сур. 1.8).

Жер қыртысының қозғалыстарын зерттеудің оның жылжуларының сандық сипаттамаларын беретін ең кең тараған әдісі геодезиялық әдістер болып табылады. Жер қыртысының қозғалыстарын зерттеудің геодезиялық әдістері болып жатқан үдерістерді тіркейді, сонымен қатар оларды болжауға мүмкіндік беретін барынша толықтай мәлімет береді. Геодезиялық әдістер жер бетінің горизонталь және вертикаль жылжуын анықтау үшін қолданылады.

Қазіргі кезеңдегі жер бетінің қозғалыстарын зерттеу өте күрделі мәселе. Жер қыртысының тектоникалық қозғалыстары жылына миллиметрмен өлшенеді. Әртүрлі жоғары дәлдіктегі әдістермен мерзімдік өлшеулер жүргізу арқылы, зерттеулер жүргізіп жер бетінде болып жатқан үдерістерді анықтауға болады. Жер қыртысының қазіргі қозғалыстарын кешенді (геологиялық, геофизикалық, геодезиялық) мониторинг жүргізу арқылы жарыққа шығады. Жер бетінің қазіргі қозғалыстарын зерттеу үшін де спутниктік әдістер қолданылады.

Жер бетінің қазіргі горизонталь қозғалыстарын анықтаудың негізгі әдісі сызықтық-бұрыштық торды және триангуляциялық торды құру болып табылады. Сызықтық-бұрыштық торларда өлшеулер 1 және 2 кластық триангуляция торының дәлдігімен орындалады [14].

Вертикаль жылжуды зерттеудің ең дәл әдісі - қайталанатын жоғары дәлдіктегі нивелирлеу әдісі. Қайталанатын жоғары дәлдіктегі нивелирлік геодезиялық өлшеулер қазіргі вертикаль қозғалыстардың жылдамдығын анықтауға мүмкіндік береді (сур. 1.9).



Сурет 1.8 - Сейсмикалық аудандастыру





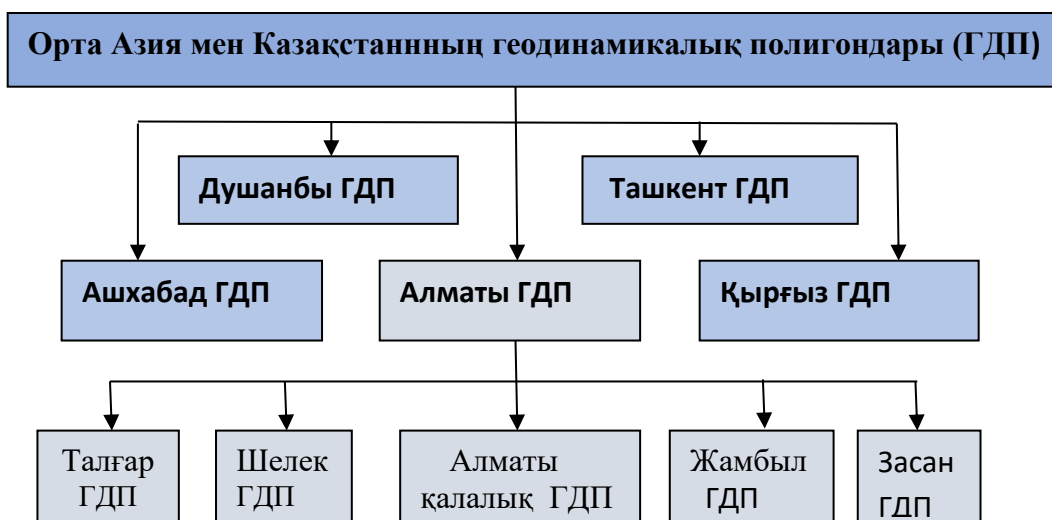
### 1.3 Орта Азия мен Қазақстанның геодинамикалық полигондары және мониторингтеудің дәстүрлі әдістері

Геодезиялық, астрономиялық, гравиметриялық және геофизикалық бақылаулар арқылы пункттердің қозғалысын анықтайтын және осы пункттер орналасқан орынды геодинамикалық полигон дейді. Геодинамикалық полигондар тектоникалық жарылымдар және жер бетінің қозғалысы белсенді жерге орнатылады. Мысалы, Алматы қаласын өте сейсмикалық қауіпті аумақ санайды, сондықтан болжамдық полигондар осындай аумаққа құрылады.

ГДП пункттері жер қыртысы бұзылған аудандарда салынады. Қазіргі уақытта геодинамикалық полигондарда бақылау жүргізілетін елдердің саны бүкіл жер шарын қамтиды. Бұрынғы Достастық елдерінің аумағында бұрынғы КСРО аумағының сейсмикалық белсенділігі жоғары аймақтарында орналасқан 50-ге жуық геодинамикалық полигондар орналасқан. Полигондардағы геодинамикалық зерттеулер 1970 жылдың басында басталып, жоғары дәлдікті геодезиялық өлшеудің дәстүрлі әдістерімен орындалды [16].

Орта Азияда Бішкек, Ташкент, Душанбе, Ашхабад, Алматы қалаларының маңында елеулі геодезиялық құрылыстар салынды. Себебі, бұл қалалар рельефі күрделі аймақта орналасқан. Рельефтің күрделілігі және геодинамикалық белсенділік Орта Азия аумағының көп бөлігіндегі тау түзілулерге байланысты. 1967 жылы құрылған және Қазақстан Республикасының ең сейсмикалық белсенді аудандарының бірін қамтитын Алматы геодинамикалық полигоны аймақтық және жергілікті қозғалыстар сипаты тұрғысынан ерекше қызығушылық тудырады.

Орта Азиядағы жер сілкінісі, су тасқыны, көшкін, мұздық көлдердің жарылуы, селдер, құрғақшылық ж.т.б. болып жатқан табиғи жағдайлар осы жоғары геодинамикалық белсенділіктің салдары деп білеміз. Табиғи және табиғи-техногендік апаттар адамдардың өліміне, материалдық және экономикалық шығындарға әкеп соқтырады, экологиялық проблемалар туғызады және Орталық Азиядағы қоғамның тұрақты дамуы мен әл-ауқатына қатты теріс әсер етеді (сур. 1.10) [17].



Сурет 1.10 - Орта Азия және Қазақстан геодинамикалық полигондары

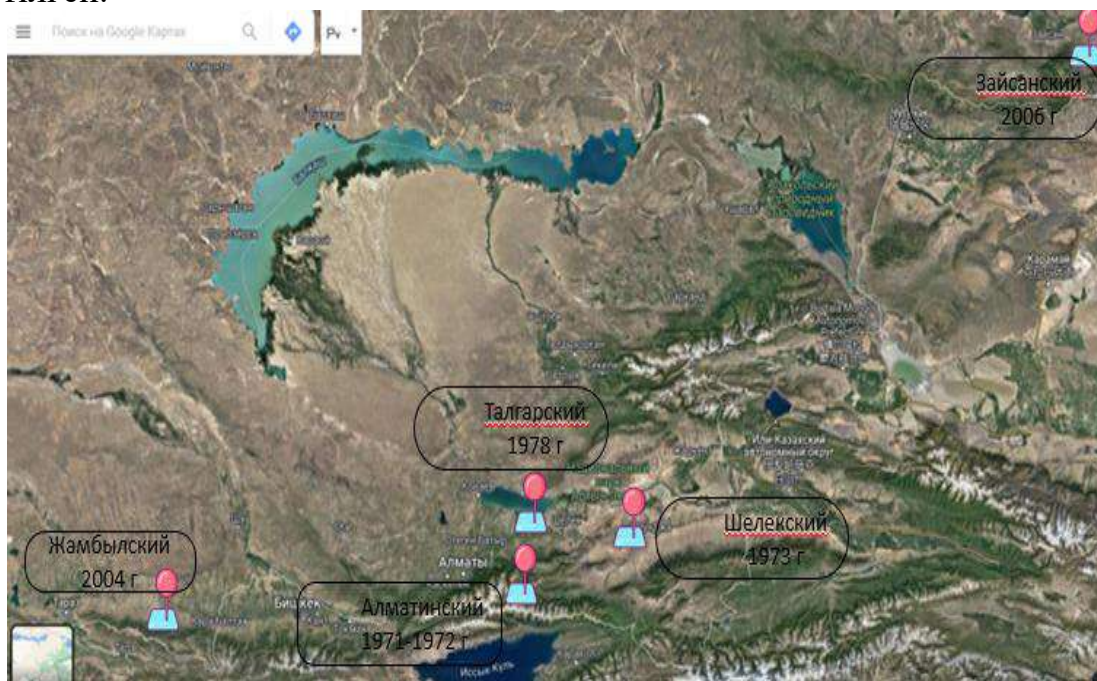


ҚР Төтенше жағдайлар Жөніндегі Агенттігінің деректері бойынша, Қазақстан үшін ықтимал қауіпті дүлей зілзалалар арасында, жер сілкінісі бірінші орында тұр. Бұл қауіп 7 миллионға жуық қазақстандық және республиканың 450 мың шаршы шақырымды аумағын қамтиды. Сейсмикалық аймақта 27 қала мен 400-ден астам елді мекен және де шамамен 40% жуық республиканың өнеркәсіптік әлеуеті орналасқан.

Алматы қаласы үшін, жер сілкінісінің максималды шамасы 7,5 баллмен бағаланған, Іле Алатауының зілзала аймағы ең үлкен қауіпті болып табылады. Осыған байланысты, 1970 жылы өңірлік (үлкен) және Алматы қаласы үшін(кіші) ГДП құрылды. Алғашқы байқау 1971-72 жылдары жасалды. Біріншісінің мақсаты – негізінде Жер қыртысының қазіргі вертикаль қозғалысын анықтау болды.

Жер сілкініс қаупі төніп тұрған нысандарға Алматы, Шығыс Қазақстан, Жамбыл, Оңтүстік Қазақстан облыстары және де Алматы қаласы жатады. Алматы қаласы орналасқан Тянь-Шань тауы солтүстік етегінің жер қыртысы бүкіл Орталық Азияда сейсмикалық қауіпті болып табылады. Геодинамикалық процестерге әсер ететін техногенді себептер: инженерлік қызмет, пайдалы қазбаларды игеру, метрополитендерді жүргізу және т.б. жатады [18].

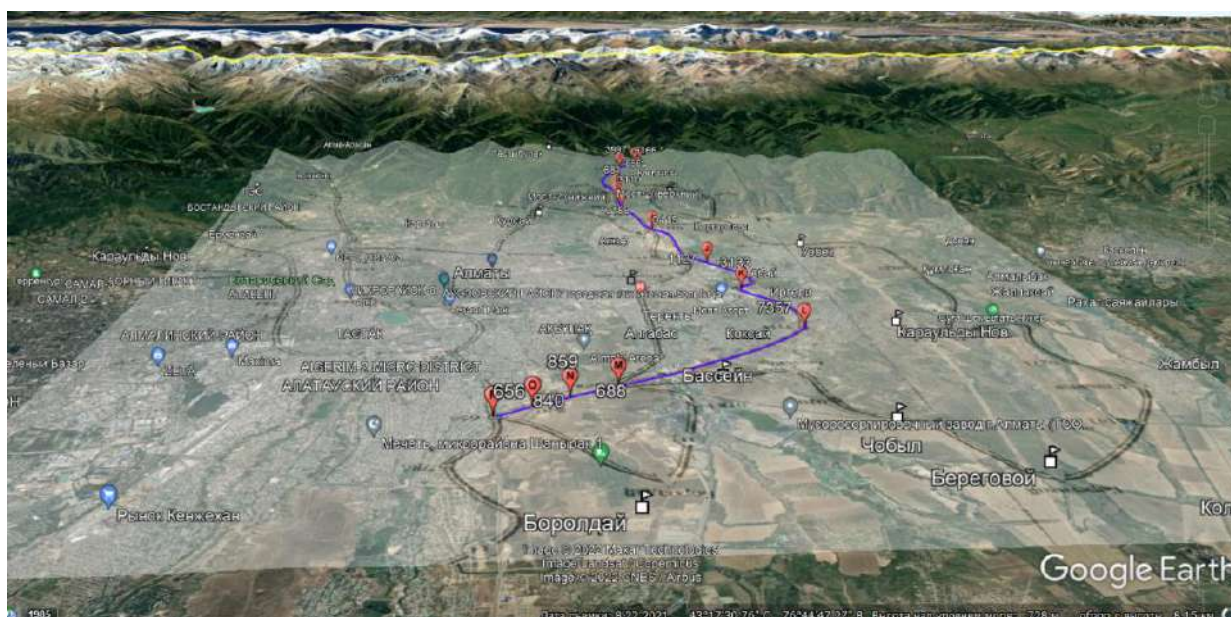
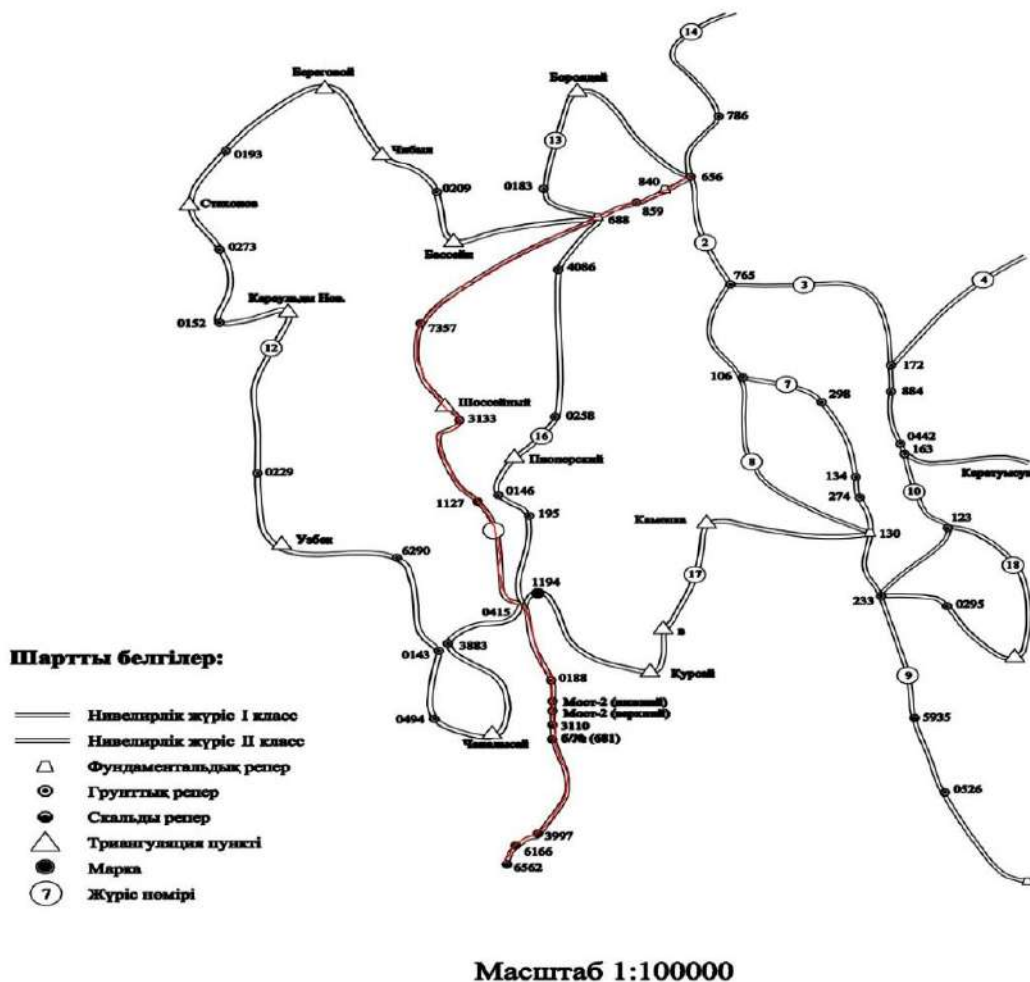
Сейсмикалық аумақта орналасқан кеңес елдерінде және оған қоса Алматы қаласында да геодинамикалық полигондар құрылды. Солтүстік Тянь-Шань баурайындағы геодинамикалық полигондардың орналасуы 1.11-суретте көрсетілген.



Сурет 1.11 - Солтүстік Тянь-Шань баурайындағы геодинамикалық полигондардың орналасуы.

**Жогары дәлдікі қайталап нивелирлеу.** Алматы геодинамикалық полигонында жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын анықтау үшін I және II кластық нивелирлік өлшеулер қайталанып орындалады. Нивелирлік

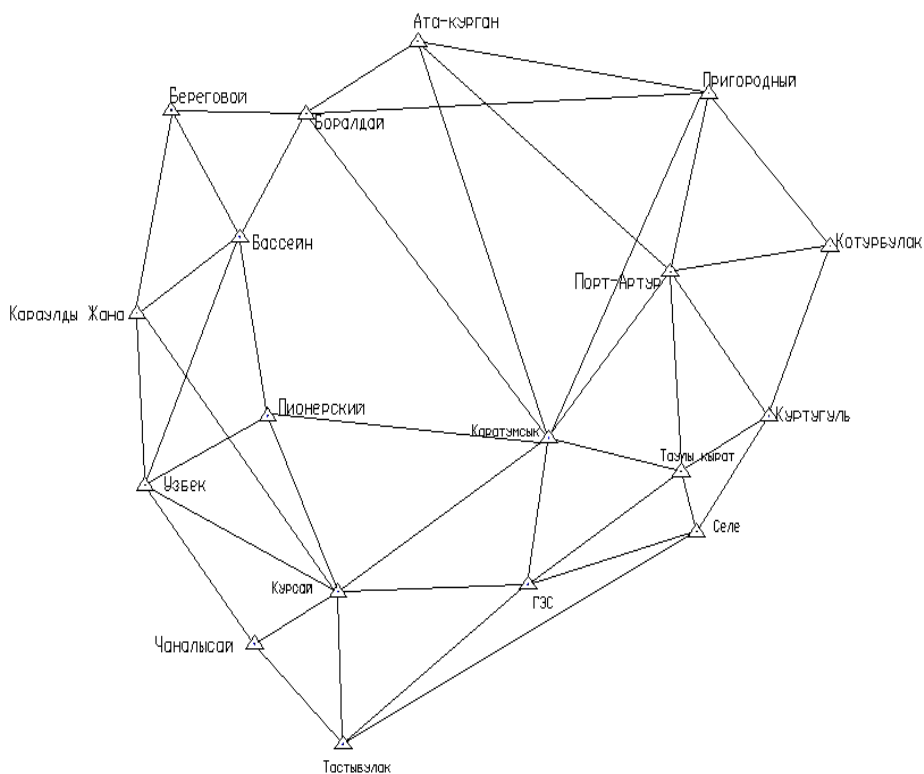
жүрістер үлкен аумаққа ие және ЦНИГАИК талаптарына сай құрылған [19,20]. Қайталанған жоғары дәлдікті нивелирлік геодезиялық өлшеулердің осы уақытқа дейін I және II кластық нивелирлік жүрістің шамамен 50 циклі жасалынды (сур. 1.12).



Сурет 1.12 - Алматы ГДП нивелирлік жүрістер схемасы

Ал, келесі жылдары полигон солтүстік және оңтүстік бағыттарда тұйық жүрістер жасалып дамыды. Мұнда ең ұзыны Талғар және Ақсай профилдері. Ақсай және Қотырбұлақ профилі 1979 жылы құрылды, ұзындығы 27,2 және 21,2км. Талғар профилі 1968жылы солтүстік және оңтүстік бағыттарда ұзартылып 21,8 км жетті.

**Бұрыштық-сызықтық өлшеулер.** Алматы геодинамикалық полигонында көлбеу жылжуды анықтау үшін, бұрыштық-сызықтық тораптар құрылған. Алматы ГДП-ғы геодезиялық тор схемасы 1.13-суретте көрсетілген. Тор 17 пунктке ие және Іле құламасының оңтүстік бөлігін, Іле Алатауының жотасын және тау бөктеріндегі жайлауларды алып жатыр. Пункттер әртүрлі тектоникалық блоктарда орналасқан. Тордан екі тізбек бөлуге болады: бірінші тізбек тау бөктерінің бойымен бойлап және 7 тектоникалық блокты қиып өтеді, ал екінші тізбек тау бөктерін бойлап 5 тектоникалық блокты қияды. Қателік көздерін болдырмау үшін, үлкен тор құру шарты бойынша тор қабырғасы 2,2-5,4км болатын 3 шағын төртбұрыш түрінде құрылды [21].



Сурет 1.13 - Алматы ГДП –дағы бұрыштық-сызықтық геодезиялық тораптың схемасы

Полигонның бастапқы периметрі 62,5км құрады. Аудандағы негізгі ірі жарылым ендік бойынша орналасқан, сондықтан негізгі нивелирлік трассаны меридиан бойынша жобалаған. Нивелирлік жүрістер тектоникалық жарылымдарға көлденең жобаланады, сонда реперлер жарылымдардың екі шетінде орналасады. Нивелирлік жүрістердің трассасын барлау 1967ж бастап жасалды және бұрын жүргізілген нивелирлік торлар (III,IVкласстар) ескерілді. Нивелирлік тордың пункттерін екі типтегі белгімен бекіту ұсынылды және олар фундаментальды және грунтты реперлер. Полигондағы барлық белгілер



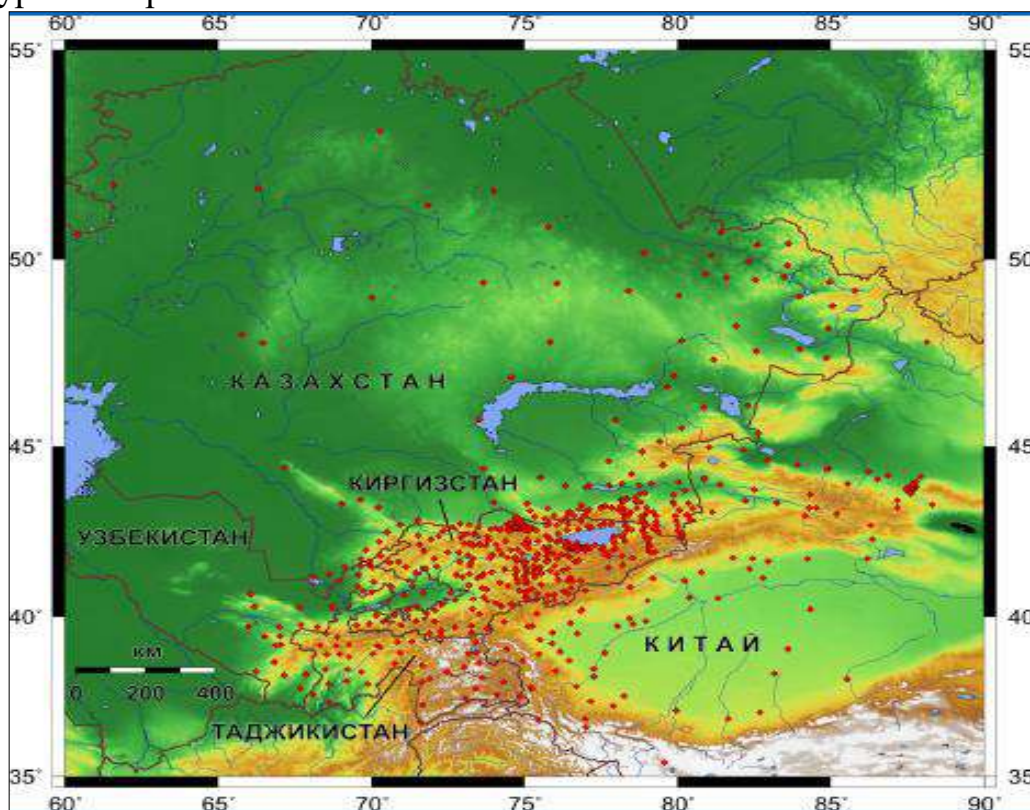
бетоннан дайындалған және олардың орындары жердің гидрогеологиялық, грунттық ж.т.б. шарттары сақталып таңдалынды. Сонымен қатар, 12 фундаментальды, 50 грунттық реперлер қағылды, олар түйық диагональды жүрістері бар полигон құрады жарылымдарды алты жерден қиып өтеді [22].

#### 1.4.Геодинамикалық полигондарда мониторинг жүргізудің заманауи әдістері

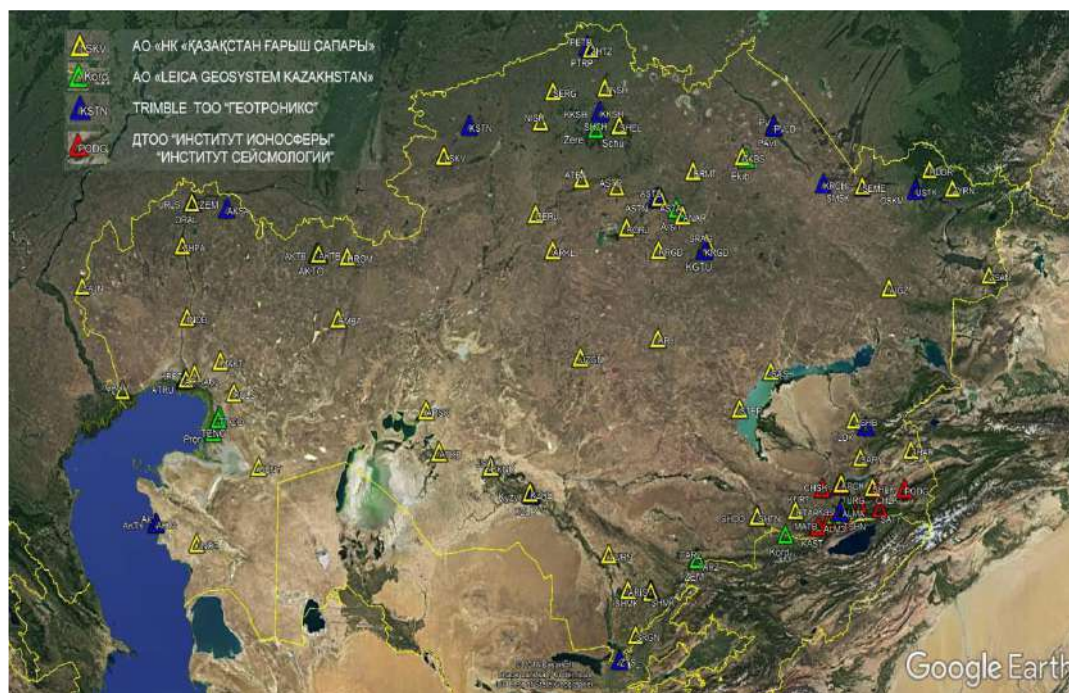
*Ғарыштық мониторинг.* Бүгінгі таңда геодинамикалық зерттеулерде жер қыртысының қазіргі қозғалыстарының сандық параметрлерін анықтаудың тікелей әдісі GPS болып есептеледі. Бұл жағдайда бақылау пункттерін жабдықтау – өлшенетін реперлік марканы жоғары дәлдікте бірнеше рет қайталап бақылауға сәйкес болуы қажет [23].

Орта Азия мен Қазақстанда GPS торабының қалыптасуы 1992 жылдан басталған. Қазіргі кезде ол 639 бақылау пункттерінен тұрады, оның ішінде Қырғызстанда 319, Қазақстанда 169, Тәжікстанда 42, Өзбекстанда 35 және Қытайда 74 пункттер орналасқан(сур. 1.14).

Геодинамикалық полигондарда үздіксіз GPS бақылауларын жүргізіп отыратын пункттер де (перманенттік) бар, олардың 11-і Қазақстан, 10-ы Қырғызстан және 4-еуі Тәжікстан аумағында орналасқан. Алматы қалалық геодинамикалық полигонында үздіксіз бақылау жүргізілетін GPS қабылдағыштары мен жабдыкталған станцияларды орналастыру схемасы 1.15-суретте көрсетілген.



Сурет 1.14 - Орта Азия геодинамикалық GPS торабы



Сурет 1.15 - Қазақстанның геодинамикалық бақылаулар жүргізетін GPS пункттері

GPS технологиялар жаһандық, региональдық және локальдық геодинамикалық торларды құру кезіндегі негізгі бақылау құралы. Мұндай, региональдық торлардың легі 250 үздіксіз бақылау пункті бар Оңтүстік Калифорнияның GPS торы, Жапонияның арасы 30 км болатын 1000 пункті бар торы, Орталық Еуропаның 11 елді қосатын 31 станциясы бар геодинамикалық торы, Альпілік геодинамикалық тор. Сондай-ақ Ресей, Байкал, Алтайда да региональдық торлар құрылды.

Халықаралық геодинамикалық қызметі (ХГҚ) GPS құралымен жер бетін жаһандық мониторингтейді [24]. ХГҚ 1993 жылы әлемдік тұрақты торларды біріктіру арқылы GPS жер серіктерін біріккен тормен қадағалау үшін Халықаралық Геодезия Ассоциациямен ұйымдастырылды. Қазіргі кезде 50 ден артық негізгі станция жұмыс жасайды. Пункттердің тығыздығы біркелкі емес, оның көбісі Батыс Еуропада және АҚШта орналасқан. Жаһандық тор ITRF (Жер координаттарының халықаралық жүйесі) жүйесінде және ол жер бетіндегі кез-келген пункттің координатасын 2-3см пландық, 5 см биіктіктік қателікпен анықтап береді. Әртүрлі кезеңде алынған координаттарды есептеулер арқылы тектоникалық плиталардың жылжу жылдамдығын алуға болады.

Локальдық геодинамикалық торлар кен орындарда жер бетінің деформациясын анықтау үшін құрылады. Олар теңіздердің деңгейін анықтау, вулкандардың және сейсмикалық қауіпті райондарды мониторингтегенде және экология сұрақтарын зерттегенде пайдаланады.

Алматы сияқты ірі мегаполистер үшін жер бетінің деформациясының туындау ықтималдығы өте зор. Алматы қаласы Қазақстанның ең жиі қоныстанған, көптеген табиғи апаттардан (жер сілкінісі, көшкіндер, су тасқыны және сел) қауіп-қатерлерге ұшырап тұратын таулы аумақта

орналасқан. Көшкіндік процестер Алматы қаласының аумағында және көршілес Орталық Азия елдердің кең таралуына –көбінесе таулы бедер әсер етеді. Көшкін құбылыстары Қазақстан Республикасының аумағында тіркелген табиғи апаттардың едәуір бөлігі болып табылады [25].

**Сейсмологиялық мониторинг.** Қазақстанда сейсмологиялық зерттеулер 1969 жылы бастау алған. Қазақстан Ғылым академиясының Қ. И. Сатпаев атындағы геологиялық ғылымдар институты құрамында сейсмология бөлімі ашылды. Ал 1976 жылы сейсмология бөлімі негізінде жеке институт құрылып, ғылыми-зерттеу жұмыстары қарқынды түрде жүргізіле бастады. Қазіргі кезде бұл институт республикамыздағы жер сілкіну әрекеттерін зерттейтін ірі ғылыми орталық болып саналады.

1976—1979 жылдары Түрген, Медеу және Күрті геофизикалық обсерваториялары іске қосылып, зерттеу жұмыстарының көлемі онан сайын арта түсті. Осы станциялардың көмегімен жер сілкіну ошағын дәлірек анықтауға және олардың дүмпу күшіне қарай, сейсмикалық аудандастыру жұмыстарымен айналысуға толық мүмкіндік туды. Қазіргі кезде ТМД бойынша 100-ге жуық сейсмикалық станциялар жұмыс жасайды.

Жер қойнауының ішкі құрылысын зерттеу жұмыстары тек қана сейсмикалық әдіс арқылы жүргізіледі. Сейсмикалық толқындарды зерттеу арқылы жер сілкіну кезінде жер қыртысының жеке блоктарының қай бағытта және қандай шамаға жылжитынын, жылжу жылдамдығын, тербеліс амплитудасы мен периодтылығын немесе жиілігін және т. б. көптеген геофизикалық мәселелерді шешуге болады [26].

Бүгінде Қазақстанда Сейсмология институты мен Сейсмологиялық тәжірибелік-әдістемелік экспедиция (СОМЭ) Ұлттық сейсмологиялық бақылау және зерттеу ғылыми орталығына біріктіру туралы қаулы қабылданды. Қаулыға сәйкес, ЖШС қызметінің негізгі түрлері - сейсмикалық қауіпті бағалау, күшті жер сілкіністерінің ғылыми болжамы, ірі елді мекендер мен стратегиялық объектілердегі сейсмикалық қауіпті бағалау, сондай-ақ елдің сейсмикалық қауіпті аумақтарында кешенді сейсмологиялық мониторинг жүргізу .

**Радарлық интерферометриялық мониторинг.** Соңғы жылдары жер бетін зерттеу үшін қашықтықтан зондтау спутниктерінің мәліметтері кеңінен қолданылуда. Синтетикалық диафрагмалық радар (SAR) бірқатар артықшылықтарға ие: радар бұлт жамылғысынан және түнде «көре алады», жоғары ажыратымдылықтағы кескіндер жасалады және жер асты қабаттарын зондылауы мүмкін.

SAR интерферометриясы қашықтан зондтау деректерін талдауға арналған заманауи құрал болып табылады, ол бір мезгілде сандық биіктік модельдерін бағалауға және түсірулер арасындағы уақыт ішінде жер жамылғысының динамикасын бақылауға мүмкіндік береді.

Жердегі интерферометриялық радар - бұл дифференциалды интерферометрия әдістерін қолдана отырып, 2D кескіндерді беруге және шамалы деформацияларды бағалауға қабілетті радар сенсоры, яғни, әртүрлі өлшеу кезеңдерінің екі түсірілімін салыстыру. Жоғары ішкі дәлдік оны ірі

табиғи және инженерлік құрылымдар мен объектілерді үздіксіз бақылау үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

Радиолокациялық жүйе бір уақытта антенна сәулесімен жарықтандырылған аймақтағы барлық нүктелердің жылжуын 0,1 мм дәлдікпен өлшейді. Объектіге қол жеткізу талап етілмейді, өйткені қашықтан құрылымдық бақылауды бақыланатын объектінің бетінде датчиктерді немесе көздеу нысандарын орнатусыз жүзеге асыруға болады [27].

Бақылауларды сараптай келе Алматы полигонындағы аймақтың деформация үдерісі горизонталь жазықтың бірегей блогі есебінде таңбасы өзгермелі сипатқа ие: созылу қысылумен ауысып отырады, содан соң деформация тіптен жоқ болады, соңынан тағы да қысылу пайда болады. Алматы геодинамикалық полигондағы бұрыштық-сызықтық торлардың пункттері Алматы қалалық геодезиялық торын ғарыштық технология көмегімен қайта өңдеу кезінде каркас ретінде қолданады.

### **Бірінші тарау бойынша тұжырым:**

Геодинамикалық полигондардағы және ғаламдық желілердегі жер бетінің қозғалыстары мен деформациялары туралы заманауи зерттеулерді талдау, өлшеулерді өңдеу мен талдаудың кең таралған бағдарламалық құралдарын қарастыру келесі негізгі қорытындыларды жасады:

1. Жер сілкінісінің хабаршыларын зерттеуге мүмкіндік беретін жер бетінің деформацияларына тұрақты мониторинг жүргізу бойынша геодинамикалық зерттеулер бойынша отандық және шетелдік тәжірибеге жан-жақты талдау жүргізілді. Оңтүстік-Шығыс Қазақстан өңірлеріндегі қазіргі сейсмикалық тәуекелдер өсуде, бұл осы өңірлердің урбанизациясының тереңдеуіне және сейсмикалық қауіптілік болжамының іс жүзінде болмауына байланысты.

2. Геодинамикалық полигондарда геодезиялық бақылаулар жүргізу әдістемесінің жай-күйін талдау және алынған деректерді тектоникалық және сейсмикалық әсерлермен өзара байланыста түсіндіру, ең алдымен, олардың сенімділігін, жеделдігін арттыруға мүмкіндік беретін жер бетінің тік қозғалыстарының шамаларын анықтаудың тиімді әдістерінің болмауымен байланысты, бұл қазіргі заманғы аспаптарды пайдалана отырып, деформацияларды геодезиялық бақылау әдістемесін жетілдіру қажеттілігін негіздейді.

3. Жаңа буын құрылғыларын қолданатын геодезиялық бақылаулар массивтің деформацияларын анықтауға мүмкіндік береді, бұл зерттелетін аймақтың геодинамикалық жағдайын бағалау үшін маңызды. Мұны 1.16-суретте келтірілген геодинамикалық мониторинг жүргізуге негізделген табиғи-техникалық жүйенің (КҚК) қауіпті жағдайларын зерттеу мен болжаудың кешенді әдістемесін қолдану арқылы ғана жүзеге асыруға болады. Осы негізде мақсат қойылды, идея негізделді және Алматы ГДП-да жүргізілетін мониторинг құрылымы тұжырымдалды.





Сурет 1.16 - Геодинамикалық мониторинг жүргізудің кешенді әдістемесінің блок-схемасы

4. Геодинамикалық полигондарда геодезиялық мониторинг жүргізу әдістемесінің жай-күйін талдау және алынған деректерді тектоникалық және сейсмикалық әсерлермен өзара байланыста түсіндіру, ең алдымен, олардың сенімділігін, жеделдігін арттыруға мүмкіндік беретін жер бетінің тік қозғалыстарының шамаларын анықтаудың тиімді әдістерінің болмауымен байланысты, бұл қазіргі заманғы аспаптарды пайдалана отырып, деформацияларды геодезиялық бақылау әдістемесін жетілдіру қажеттілігін негіздейді.

## **2 АЛМАТЫ ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУЛЕР**

### **2.1 Жер қыртысының қозғалысын жоғары дәлдікті геометриялық нивелирлеу арқылы зерттеу**

Жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын зерттеу үшін геодинамикалық полигондарда жоғары дәлдікті нивелирлеу әдісі, яғни I және II кл нивелирлеу орындалады. Нивелирлеу әдісі жерсілкінісін болжау, белсенді беттер мен терең сынықтарды және жер қыртысының өте белсенді тектоникалық құрылымды учаскелерін анықтауда рөлі орасан зор. Нивелирлік жүрістер полигонын және реперлерді орналастыру сызбасының жобасы әрқайсы жағдайда жеке әзірленеді [28].

Жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысы қайта нивелирлеу әдісінің I және II класс әдістемесі бойынша зерттеледі, жақын реперлер арасындағы секция бойынша өлшенген өсімшелер сарапталады. Нивелирлеу технологиясы «Нивелирлеу бойынша инструкцияда» қабылданған әдістеме талаптарына сәйкес болу керек.

Нивелирлік торлар тұйық полигон түрінде құрылады және диагональдық жүрістермен толықтырылады. Нивелирлік I және II класс торды мемлекеттік биіктік негізге байланыстырады. Нивелирлік тор бірнеше шақырымға дейін созылған бір немесе одан да көп тектоникалық бұзылыстарды қамтитындай етіп жобаланады.

Аудандағы негізгі ірі омырылулар ендік бойынша орналасқан, сондықтан негізгі нивелирлік трассаны меридиан бойынша барлады. Нивелирлік жүрістер омырылуларға көлденең жобаланады, сонда реперлер омырылулардың екі шетінде орналасады.

Дегенмен, геодинамикалық полигондарда жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын зерделеу үшін пайдаланған жоғары дәлдікті нивелирлеу, мемлекеттік I класс нивелирлеуден кейбір әдістемелік ерекшеліктермен ажыратылады. Бұл ерекшеліктер, ең алдымен полигонның ерекшеліктерімен байланысты, кейбір жүйелі қателіктердің әсерін шектеуге ұмтылу және онда жиі-жиі қайта нивелирлеу. Сондықтан, 1970-80жж Ю.Д.Буланже ұсынған әдістеме бойынша бақыланады.

Инструкцияға сәйкес, жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын зерделеу мақсатында орындалған дәлдікті нивелирлеу өндірісі кезінде, бақылауды нивелирлеу барысында тура және кері жүрістерді қағу және келесі жылдары орындалатын қайта нивелирлеу кезінде де станция саны мен орынын өзгеріссіз сақтап жүргізу қажет. Сонымен қатар, нивелирлеу кезінде ауыспалы нүкте ретінде болат костылдерді пайдалану, аспап пен рейканы орнату орындарының тұрақтылығын сақтайды және қайта нивелирлеу кезінде еңбек шығынын азайтады. Полигонда жұмыс практикасы костылдердің 50% сақталмайтынын және қайта нивелирлеуге жарамсыз болатынын көрсетті.

Алматы полигонында нивелирлеу көбінесе асфальт үстімен костыл көмегімен орындалды, сондықтан жұмыс процесінде олардың тұрақтылығына көз жеткізу қажет [29].

Нивелирлік жүрістер жер бетінде қатаң түрде реперлермен бекітіледі. Нивелирлік белгілердің түрі, құрылымы және қағу тәсілі жұмыс орындалатын ауданның физикалық-географиялық сипаттамасына байланысты болады. Геодезиялық белгілердің тұрақтылығына жоғары талап қойылады.

Геодинамикалық полигонда жұмыс орындау туралы әдістемелік нұсқауларда геодезиялық белгілер қағылған соң, өлшеудің бірінші циклі бір жыл өткеннен кейін ғана жасалу керек делінген. Сондықтан, реперге мынадай талаптар қойылады:

- уақытқа байланысты сенімді тұрақтылық;
- центрі бұзылмай көп жылдық сақталуы;
- қайта өлшеулер жасау үшін қолжетімділігі;
- геологиялық-тектоникалық, геоморфологиялық және гидрологиялық

шарттарды ескере орналастыру.

Мұндай талаптарға тек қана мемлекеттік геодезиялық тор реперлері ғана сай келеді. Сондықтан қазіргі уақытта осы белгілер бойынша өлшеулер жүргізіледі және мүмкіндігінше жоғары дәлдікті нивелирлеу, ғарыштық және гравиметриялық өлшеулер жүргізу үшін бірдей қолдану қажет.

Реперлер ауданның климаттық және физика-географиялық шарттарын ескере отырып қолданылады. Олар ұзақ уақыт биіктік бойынша тұрақты сақталуын қамтамасыз ететіндей ерекше ұқыптылықпен жасалып қағылу керек. Реперлер механикалық ауырлық пен топырақтың химиялық әсеріне шыдамды болу керек. Реперлерді қағатын кезде ұзақ сақталуы үшін деформацияға ұшыраған топырақты, су басқан жерге және құрылыс пен ауылшаруашылық жерден аулақ орыннан таңдау керек. Одан орынды жерасты суы 3м тереңдіктегі жерден таңдап қағу керек [30].

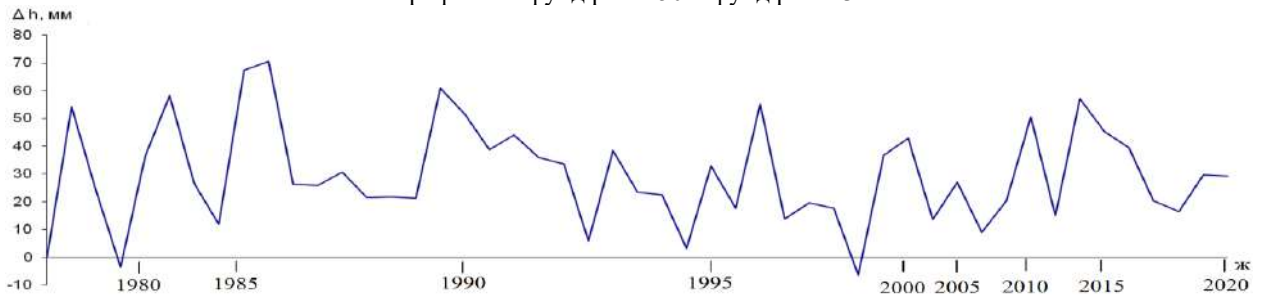
Геодинамикалық полигондарда жоғары дәлдікті геодезиялық бақылауларды ГУГК және геодезиялық қызмет көрсету кәсіпорын мамандары орындайды. Геодезиялық-маркшейдерлік жұмыстарды орындау және ұйымның тәжірибелік басқару үшін, геодинамикалық полигондардағы геодезиялық жұмыстар бойынша арнайы ұсынымдар дайындалды [31,32], ол бақылау өндірісіне талаптарды күшейтті.

Жер бетіндегі нүктелердің биіктігін жеке және аймақтық масштабта немесе қала масштабында анықтау жер бетіндегі нүктенің салыстырмалы биіктігін (өсімше) анықтау жолымен жүзеге асады. Биіктік анықтау әдістерінің жиыны «нивелирлеу» деп аталады. Нивелирлеу әдістері нивелирлеу класымен анықталады және нивелирлеу I,II,III,IV классты, техникалық нивелирлеу болып бөлінеді [33].

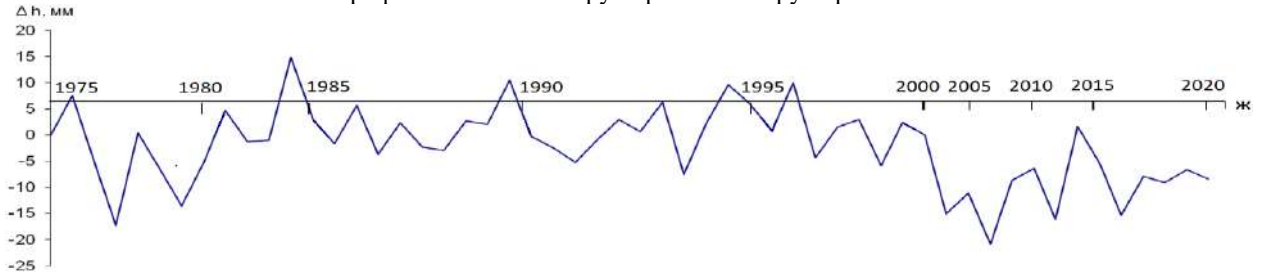
Жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын зерттеу үшін жоғары дәлдікті нивелирлеу I және II класс қолданылса, ал горизонталь қозғалыс үшін сызықтық-бұрыштық өлшеулер орындалады.

Жүйелі қателік шамасы және сипаты жайлы білу үшін I класс нивелирлеу сызығының әрқайсысына  $d_i$  шамасының жиынтық графигін құрады, график төменде 2.1-суретте және оның жыл сайын қайталанған өлшемдері D және E қосымшада көрсетілген [34].

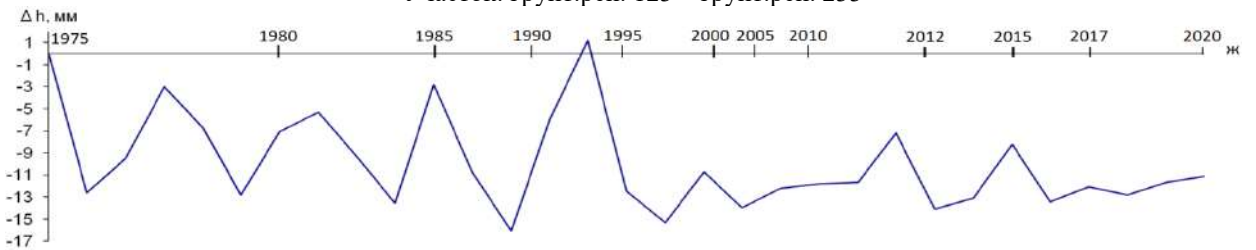
Профиль 1: фонд.реп. 250 – фонд.реп. 134



Профиль 2. Участок: грунт.реп. 172 – грунт.реп. 123



Участок: грунт.реп. 123 – грунт.реп. 233



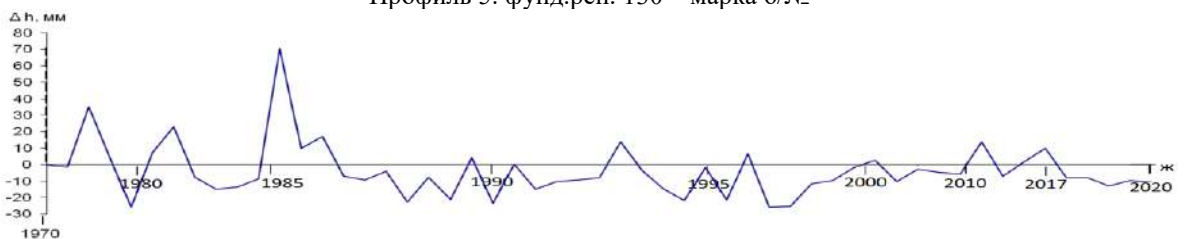
Профиль 3. Участок: грунт.реп. 106 – грунт.реп. 134 – фонд.реп. 130



Профиль 4. Участок: грунт.реп. 106 – грунт.реп. 130



Профиль 5. фонд.реп. 130 – марка б/№



Сурет 2.1 - Вертикаль қозғалыстың өзгеріс графигі

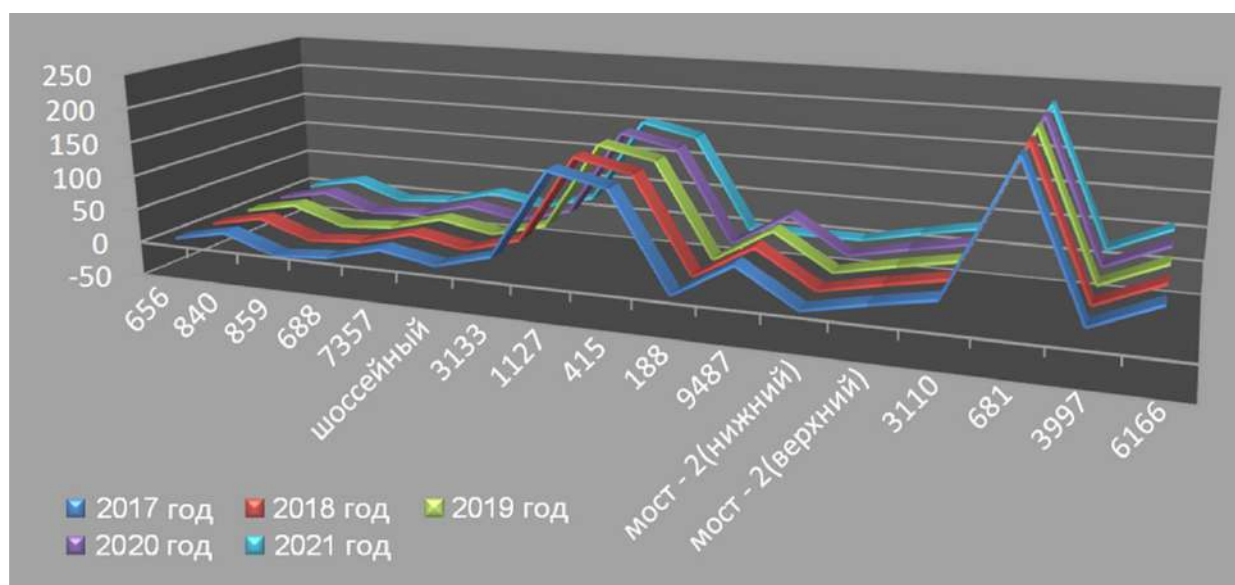


## 2.2 Қайталап нивелирлеудің нәтижелерін салыстырмалы түрде талдау

Жер бетінің заманауи жылжуын зерттеу – Алматы ГДП-сында жүргізілді. Полигондағы ең ұзыны Талғар және Ақсай профилдері. Олардың ұзындығы 27,2 және 21,2км. Ақсай профилі полигондағы ең негізгі болып саналады. Қазіргі уақытта Алматы геодинамикалық полигонның нивелирлік ендік жүрістермен тұйықталған меридианальдық трассалар жүйесінен тұрады және ол 12 профиль құрайды. Нивелирлік құрылымдар жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын зерттеуге жеке полигондар мен профилде орналасқан, арнайы мемлекеттік нивелирлік торап пункттеріне тіреледі. Іле ойпатының солтүстік жағы мен Дмитриевка ауылы арқылы өтетін ендіктен басталып Кіші және Үлкен Алматы өзендерінің шатқалы бойынша жүретін Медеу ендігімен аяқталатын нивелирлік сызықтардың жалпы ұзындығы 200км және онда 200 фундаментальды репер салынған [35].

Алматы геодинамикалық полигонында жер бетінің заманауи вертикаль қозғалысын анықтау үшін I және II кластық жоғары дәлдікті қайталап нивелирлеулер орындалды. Нивелирлік жұмыстар, бүгінгі таңдағы дәлдігі жағынан кеңінен таралған, 1 км екі жүрісте орташа квадраттық қателігі  $\pm 0,3$  мм аспайтын, инварлық рейкалы Trimble фирмасының DiNi-12 сы цифрлы нивелирі арқылы жүргізілді. I және II класс нивелирлеу жұмысы жоғары дәлдікті Ni-002A, Ni-005A оптикалық нивелирлерімен, біржақты үшметрлік инварлы рейкалармен орындалды және арнайы зертханада тексеруден өтті.

2017-2021 жылдар аралығында Ақсай профилінде жүргізілген I кластық қайталап нивелирлеудің нәтижелері сур. 2.2 және 2.1-кестеде келтірілген [36].



Сурет 2.2 - 2017жылдан 2021жыл арасында I класс нивелирлік жүріс нәтижесі

Кесте 2.1- Ақсай профиліндегі бес жылдық I класс нивелирлеу нәтижелері

Репер	2017 жыл	2018 жыл	2019 жыл	2020жыл	2021жыл	Биіктік айырмасының қосындысы				
656										
	3,0874	3,0892	3,0878	3,0877	3,0871	1,8	-1,4	-0,1	-0,6	
840										
	19,1441	19,1442	19,1419	19,1423	19,1412	0,1	-2,3	0,4	-1,1	
859										
	-6,5678	-6,5696	-6,5678	-6,5672	-6,5668	-1,8	1,8	0,6	0,4	
688										
	-0,5168	-0,5079	-0,5064	-0,508	-0,5077	8,9	1,5	-1,6	0,3	
7357										
	19,8836	19,8814	19,8805	19,8772	19,8742	-2,2	-0,9	-3,3	-3	
Шоссейн.										
	5,5462	5,5452	5,5448	5,5421	5,5403	-1	-0,4	-2,7	-1,8	
3133										
	26,914	26,9128	26,9106	26,915	26,917	-1,2	-2,2	4,4	2	
1127										
	153,983	153,9703	153,9594	153,9655	153,9672	-12,7	10,9	6,1	1,7	
415										
	136,8918	136,8934	136,8914	136,8955	136,896	1,6	-2	4,1	0,5	
188										
	1,1272	1,1277	1,1273	1,1274	-	0,5	-0,4	0,1	0	
9487										
	50,9281	50,9265	50,9241	50,9227	-	-1,6	-2,4	-1,4	0	
Мост 2ниж										
	0,2384	0,2383	0,2385	0,2387	0,2386	-0,1	0,2	0,2	-0,1	
Мост 2вер)										
	18,266	18,2665	18,2666	18,269	18,27	0,5	0,1	2,4	1	
3110										
	34,1897	34,189	34,1875	34,189	34,188	-0,7	-1,5	1,5	-1	
681										
	220,3308	220,3207	220,3142	220,3158	220,3126	-10,1	-6,5	1,6	-3,2	
3997										
	19,6534	19,6535	19,653	19,6526	19,6535	0,1	-0,5	-0,4	0,9	
6166										
	57,5817	57,5812	57,5803	57,5801	57,5794	-0,5	-0,9	-0,2	-0,7	
6562										

Қайталап нивелирлеу нәтижелері бойынша біз 2021 жылы вертикаль жылжулар шамалы болды деп тұжырымдай аламыз, өйткені профильдер бойындағы жылжулар жинақталған өлшеулер қателігінің шекті шамасынан  $\pm\eta\sqrt{L}$  мм аспады.

## 2.3 Деформациялық үдерістерді жаһандық навигациялық жерсеріктік жүйелері көмегімен зерттеу

### 2.3.1 GPS –өлшеулер нәтижелері және оларды талдау

Қазіргі уақытта жер бетінің заманауи қозғалысы (ЖБЗК) зерттеуінде геодезиядағы классикалық өлшеу әдістерін алмастыра алатын GPS спутниктік навигациялық жүйелері кеңінен қолданылады және қолданылуда. Геодезиядағы классикалық әдістердің дәлдігін қанағаттандыратын дәлдік, бірақ сонымен бірге бұл әдісті жер бетінің заманауи қозғалысын зерттеулерінде тиімді қолданған жөн, өйткені ол аз уақытты және аз қаржылық шығындарды қажет етеді [37].

Алматы геодинамикалық полигоны ертеде құрылған, 17 пункті бар

1 кластық пландық геодезиялық торға ие және осы пункттерде ғарыштық өлшеулер орындалды.

Ғарыштық геодезиялық қабылдағыштардың пайда болуына байланысты 2004 жылдан бастап координаттық өлшеулер GPS жүйесіндегі аспаптармен орындалады. GPS қабылдағыштары далалық түсірістен бұрын техникалық қараудан өтті және Leica Geosystem фирмасы ұсынған компьютерлік тестілеуден өткізілді.

Алматы қаласында жер қыртысының жылжу жылдамдықтарын анықтауда екіжылдағы Leica GRX1200PRO GPS қабылдағыштары және қайталап нивелирлеуде Trimble DiNi фирмасының штрих-кодтық рейкамен жабдықталған сандық лазерлік нивелир қолданылды. Мұндай жүйенің артықшылығы өлшеу қарапайымдылығы, оқу және жазу қателігінің болмауы, деректерді өлшеу және тіркеу кезінде биіктікті автоматты есептеу болып табылады [38].

Осы аспаптарды пайдалану жұмыс барысында өлшеу дәлдіктерінің жоғарылауына және жұмыс өнімділігінің артуына әкеледі.

Жер бетінің қозғалысын анықтау үшін, ғарыштық өлшеулер статика әдісімен орындалды. Статика әдісі ұзақ арақашықтықта (20 км және оданда үлкен) жоғары дәлдікті сақтайды, бірақ өлшеулер баяу орындалады. WGS-84 жүйесінде координаттар алынған. 2017-2021 жылдар аралығында триангуляция пункттерінде жүргізілген GPS бақылауларының нәтижелері кесте 2.2 келтірілген. Координаттарды 2017-2019 жылдар өлшенген (Кесте 2.2) координаталармен салыстырылды және ол кесте 2.3 көрсетілген. Горизонталь жылжу векторының схемасы сур. 2.6 көрсетілген.

GPS жабдықтарын пайдаланып, жоғары дәлдіктегі геодезиялық жұмыстарды жүргізудің маңызды талаптарының бірі барлық анықталған нүктелерде жақсы радио көру қабілеті болғандықтан, ол келесі факторлармен қамтамасыз етіледі: PDOP коэффициентінің төмен мәні, жоғары сигнал/шу қатынасы, радио сигналының сапасы және радио сигналын қабылдау кезінде барлық циклдардың жоғалуының болмауы, осы факторларды алдын-ала ескеру қажет. Бақылаулардың сапасын анықтайтын кейбір факторларды арнайы бағдарламалық жасақтаманы қолдану арқылы алдын-ала болжауға болады.

Геодинамикалық полигондар аймағында жер бетінің горизонталь және вертикаль жылжуын бақылау үшін ғарыштық геодезияның қазіргі заманғы әдістерін пайдалану осы зерттеулерді жоғары сапада жүргізуге мүмкіндік береді.

Кесте 2.2 – GPS қабылдағышымен өлшенген триангуляция пункттерінің координаттары

Пункт-тер №	Пункттер атауы	2021 ж		2019ж		2017ж	
		Ендік, N ° ' "	Бойлық, E ° ' "	Ендік, N ° ' "	Бойлық, E ° ' "	Ендік, N ° ' "	Бойлық, E ° ' "
1	Боролдай	43°18'48,10964"	076°48'33,21969"E	43°18'48,15005"N	076°48'33,20969"E	43°18'48,10961"N	076°48'33,21803"E
2	Чаналысай	43°08'32,10525"N	076°46'56,17735"E	43°08'32,13471"N	076°46'56,17427"E	43°08'32,10524"N	076°46'56,17587"E
3	Пионерский	43°12'57,13447"N	076°47'20,86188"E	43°12'57,14253"N	076°47'20,78303"E		
4	Порт-Артур	43°15'45,22744"N	077°00'11,69686"E	43°15'45,26526"N	077°00'11,69686"E	43°15'45,22573"N	077°00'11,69755"E
5	Каратумсук	43°12'32,03339"N	076°56'18,14688"E			43°12'32,03292"N	076°56'18,14638"E
6	Узбек	43°11'36,28130"N	076°43'26,83870"E	43°11'36,30455"N	076°43'26,86603"E	43°11'36,28155"N	076°43'26,83705"E
7	Курсай	43°09'33,09924"N	076°49'36,09348"E			43°09'33,09920"N	076°49'36,09222"E
8	Горный Гигант			43°11'53,51966"N	077°00'31,35313"E	43°11'53,48369"N	077°00'31,35607"E
9	Береговой	43°18'52,05618"N	076°44'15,34165"E	43°18'52,08479"N	076°44'15,33536"E	43°18'52,05623"N	076°44'15,34047"E
10	Ата-Курган	43°20'13,23228"N	076°52'07,09676"E	43°20'13,26906"N	076°52'07,09407"E	43°20'13,23173"N	076°52'07,09752"E
11	ГЭС	43°09'41,88339"N	076°55'38,51109"E	43°09'41,92193"N	076°55'38,50977"E	43°09'41,88284"N	076°55'38,50997"E
12	Куртугуль	43°12'57,37334"N	077°03'18,66022"E	43°12'57,40665"N	077°03'18,64704"E	43°12'57,37307"N	077°03'18,65952"E
13	Караульды Нов,	43°15'18,77433"N	076°43'31,54888"E	43°15'18,79842"N	076°43'31,53816"E	43°15'18,77422"N	076°43'31,54775"E
14	Пригородный	43°19'12,80433"N	077°01'24,31257"E	43°19'12,83593"N	077°01'24,30231"E	43°19'12,80487"N	077°01'24,31218"E
15	Бассейн					43°16'24,87023"N	076°46'26,78728"E
16	Котурбулак	43°16'15,03293"N	077°05'16,51703"E	43°16'15,07116"N	077°05'16,51415"E	43°16'15,03334"N	077°05'16,51679"E
17	Тастыбулак			43°06'36,20207"N	076°49'45,51043"E	43°06'36,16943"N	076°49'45,51308"E
18	SELE	43°10'43,43590"N	077°01'00,83783"E	43°10'43,43590"N	077°01'00,83783"E	43°10'43,43590"N	077°01'00,83783"E

Кесте 2.3 – GPS қабылдағышымен өлшенген триангуляция пункттерін координатасы бойынша горизонталь қозғалыстары векторларын санау

№	Пункттер атауы	dB ендік б/ша, секунд	dL бойлық б/ша, секунд	dX, мм	dY, мм	V, мм	Ширек атаулары	Дирекциондық бұрыш
2	Боролдай	-0,00003	0,00047	-0.9	10,6	10,6	ОШ	94° 51' 11"
10	Чаналысай	-0,00041	0,00069	-12.6	15,6	20	ОШ	128° 55' 39"
15	Пионерский	-0,00132	0,00270	-40.7	61,1	73,4	ОШ	123° 40' 06"
14	Порт-Артур	0,00239	0,00052	73.8	11,8	74,7	СШ	09° 05' 03"
16	Каратумсук	0,00012	0,00012	3.7	2,7	4,6	СШ	36° 07' 09"
11	Узбек	-0,00037	0,00018	-11.4	4,1	12,1	ОШ	160° 13' 08"
17	Курсай	0,00005	-0,00002	1.5	-0,4	1,6	СБ	345° 04' 06"
7	Горный Гигант	0,00020	0,00015	6.2	3,4	7,1	СШ	28° 44' 23"
1	Береговой	-0,00029	0,00065	-8,9	14,7	17,2	ОШ	121° 11' 33"
3	Ата-Курган	-0,00040	0,00073	-12,3	16,5	20,6	ОШ	126° 42' 10"
8	ГЭС	0,00015	0,00021	4,6	4,8	6,6	СШ	46° 13' 08"
6	Куртугуль	-0,00001	0,00015	0,3	3,4	3,4	СШ	84° 57' 27"
12	Караульды Нов,	-0,00025	0,00066	-7,7	15,6	17,4	ОШ	116° 16' 14"
4	Пригородный	-0,00011	0,00089	-3,4	20,1	20,4	ОШ	99° 36' 03"
13	Бассейн	-0,00031	-0,00025	-9,6	-5,6	11,1	ОБ	210° 15' 23"
5	Котурбулак	-0,00001	0,00008	-0,3	1,8	1,8	ОШ	99° 27' 44"
9	Тастыбулак	0,00020	0,00030	6,2	6,8	9,2	СШ	47° 38' 33"
18	SELE	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0,00		

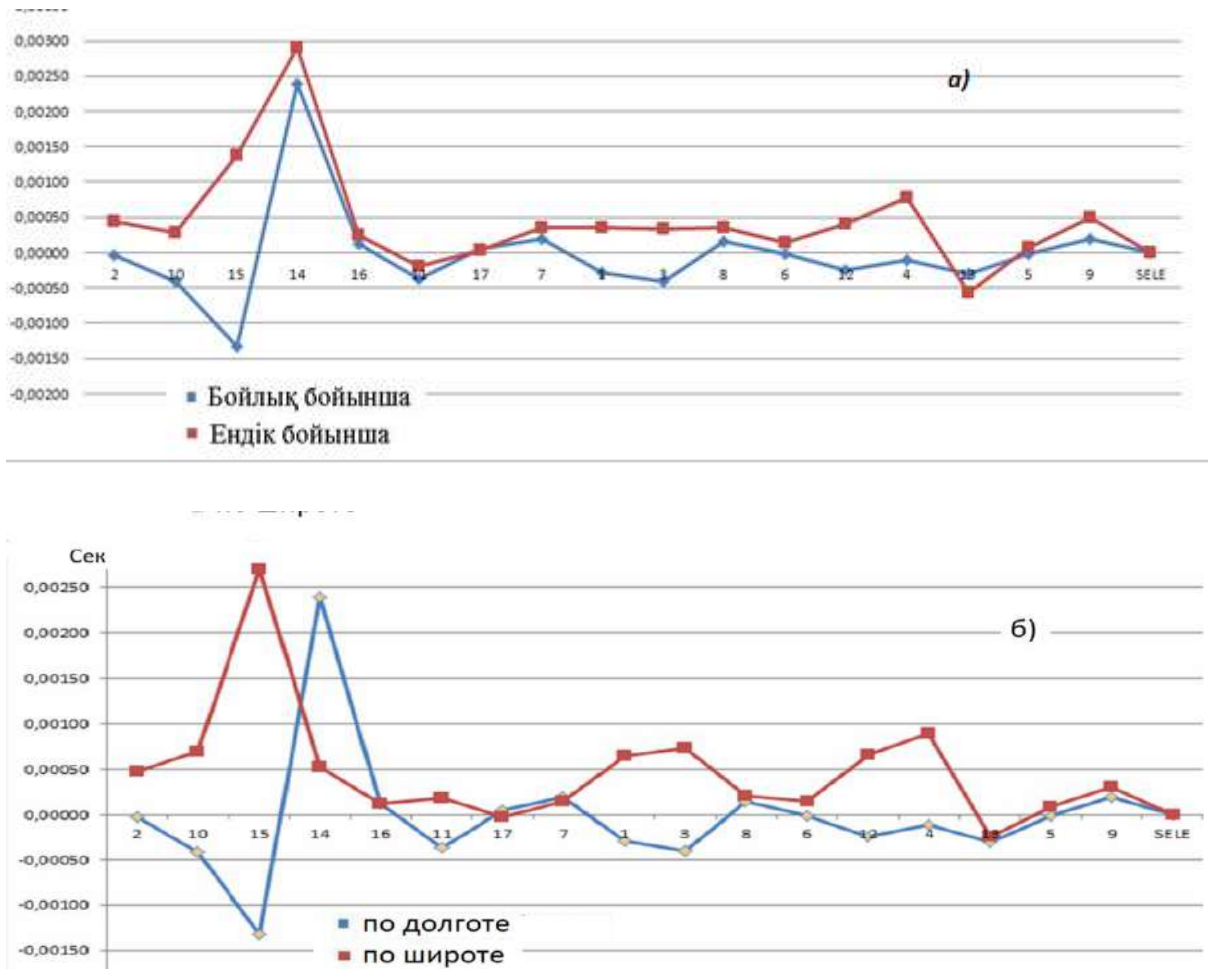


Сурет 2.3 - Қаратұмсық пунктінде өлшем алу

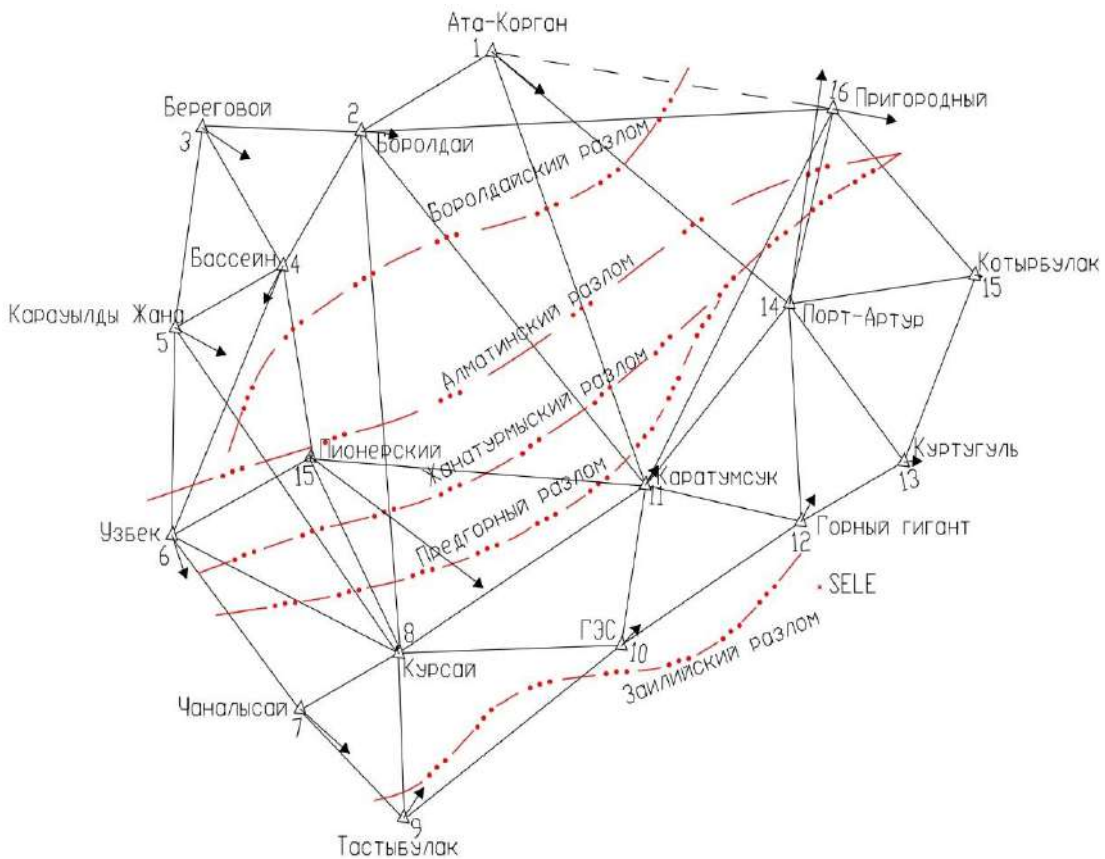




Сурет 2.4 – Порт-Артур пунктінде өлшем алу



Сурет 2.5 – Пункттердің координата бойынша әр циклдағы жылжуы:  
 а) 15-Пионерский және б) 14-Порт-Артур пункттерінің



Сурет 2.6 – Горизонталь жылжу векторының сызбасы

GPS бақылау нәтижелерінен сур. 2.5, *a* және *b* Пионерский және Порт-Артур пункттерінде ең үлкен ауытқуларды байқауға болады. Мысалы, осы жылдар аралығында 15-Пионерский пункті бойлық бойынша шығысқа қарай  $0,00328''$ , ал ендік бойынша оңтүстік жаққа  $-0,00132''$  ауытқыды. Ал, 14-Порт-Артур пунктiнiң ендік және бойлық бойынша жылжуы шамалы екендігін сур. 2.4,б байқауға болады [39].

Пункт координаталары тұрақты жұмыс істейтін «Селезащита» (SELE) станциясына байланыстырылды және 2017 жылдан бастапқы GPS бақылаулары нәтижелерімен салыстырылды. GPS бақылауларынан алынған нәтижелер заманауи қозғалыстардың жылдамдық карталарын құру үшін және де олар кейіннен Солтүстік Тянь-Шань аумағы жер қыртысының кернеулі-деформациялық күйін есептеулерде қолданылады.

### 2.3.2 Халықаралық IGS (ITRF) базалық станциялары

GNSS халықаралық қызметі сур. 2.7 көрсетілгендей, әлемнің жүзден астам түрлі елдерінде орналасқан бес жүзден астам тұрақты жұмыс істейтін тірек станцияларын ұсынады. IGS тірек станцияларының күнделікті GPS түзетулері [40] тәуліктің кез келген уақытында барлығына қол жетімді.

Ғаламдық мағынада желіні қоршап, кеңейтетін IGS станцияларының деректерін есептеу желісін өңдеуге қосу қажеттілігі сыртқы қате көздерінің желінің негізгі көрсеткіштеріне әсерін азайтады.

Тірек пункттері үшін X,Y,Z тікбұрышты координаттары және олардың жылдамдығы  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  тиісті координаталық осьтер бойынша келтірілген, олар жер қыртысы плиталарының тектоникалық қозғалысымен шартталған. Тармақтардың саны бірнеше жылда бір рет бекітіледі. Қазіргі кезеңде өлшеу дәлдігі литосфералық плиталардың жылдамдығын анықтауға мүмкіндік беретін 0,5 мм/жылына дейінгі нүктелердің қозғалу жылдамдығын өлшеуге мүмкіндік береді [41,42].



Сурет 2.7 - IGS базалық станциясының орналасуы

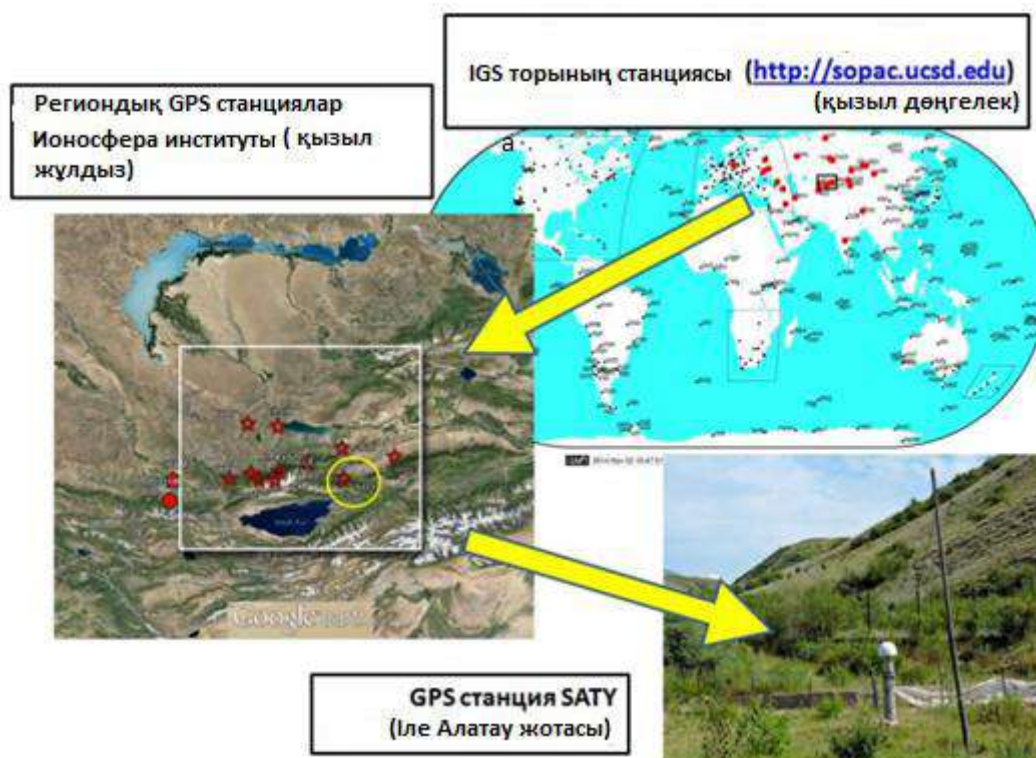
Геодинамикалық полигондарда үздіксіз GPS бақылауларын жүргізіп отыратын пункттер де (перманенттік) бар, олардың 11-і Қазақстан, 10-ы Қырғызстан және 4-еуі Тәжікстан аумағында орналасқан.

Кесте 2.4 - Жергілікті GPS тораптарының тұрақты пункттері

Код	Атаулары	Бойлық	Ендік	GPS-қабылдағыштарының түрлері
SELE	Селезащита	77,01689	43,17873	TurboRogue SNR 8000
TSHN	Тянь-Шань	76,94381	43,04197	Leica GRX1200GGPRO
CHLK	Шелек	78,37300	43,52900	Leica GRX1200GGPRO
CHUM	Шөміш	74,75100	42,99900	ROGUE SNR-8000
IZVS	Известковое	44,43840	33,34140	TRIMBLE 4000SST
CAST	Кастек	75,96700	43,04500	ROGUE SNR-8000
KURY	Курты	76,33900	43,89400	ASHTECH Z-XII3
MATV	Майтөбе	76,42687	43,12999	TRIMBLE 4000SST
SATY	Саты	78,40800	43,05700	ASHTECH Z18
TURG	Тургень	75,38800	40,51700	ROGUE SNR-8000
CHSH	Шошқалы	76,99760	43,85394	Leica GRX1200PRO



Алматы қалалық геодинамикалық полигонында үздіксіз бақылау жүргізілетін GPS қабылдағыштарымен жабдықталған станцияларды орналастыру схемасы 2.6-суретте және координаталары мен сигнал қабылдау кодтары кесте 2.4 келтірілген [43].



Сурет 2.6 - Геодинамикалық бақылаулар жүргізетін региондық GPS станциялары

#### 2.4 Сейсмологиялық мониторинг

Алматы қаласы, халқы 1,8 миллион адамнан асатын - Қазақстанның ең ірі мегаполисі. Алматы өте қауіпті сейсмикалық аймақта орналасқан, бұрын ол екі рет күшті: 1887 жылы 7,2 баллдық Верненский және 1911 жылы 8,2 баллдық Кеминский жер сілкіністерінен қираған. Соңғы жылдардағы оқиғалардың қатарында 1978 жылғы Жалаңаш-Түп (6,9 балл) және 1992 жылғы Сусамыр (7,3 баллдық) жер сілкіністерін атауға болады. Бүгінде қала аумағының әртүрлі бөліктерінде 5 және 6 баллдық жерсілкіністер болып тұратыны да белгілі.

Алматы қаласының сейсмикалық қауіптілігін, әдетте, Солтүстік Тянь-Шань сейсмикасын тудыратын аймақтармен байланыстырады. Қалаларға ең жақын орналасқан бұлардың ішіндегі сейсмикалық потенциалы өте үлкен, ең негізгілері - Алматы, Іле және Чілік-Кемин аймақтары. Аймақтардың созылым бағыттары Іле және Күнгей Алатауы жоталарының, Чілік-Кемин жарылымының созылымына сәйкес келеді.

Солтүстік Тянь-Шаньның сейсмикалық жағдайын зеттеу көптеген жарияланымдарда көрініс тапты, алайда зерттеушілер үлкен аумақта ірі көлемде жойқын жерсілкіністер туындататын көздер мен көріністеріне және

осындай жер сілкіністері орын алуы мүмкін аймақтардың сейсмикалық режиміне көбірек қызығушылық танытты.

Алматы қаласының сейсмикалық режимінің көпжылдық мониторингінің материалдары зерттелді және Қазақстанда XX ғасырдың 70-ші жылдарының екінші жартысынан басталған геодезиялық бақылау нәтижелері бойынша массив жыныстарының деформациялары туралы ақпарат алынды. Мұндай зерттеулерді өткен ғасырдың 70-80 жылдарында КСРО Ғылым академиясының Жер физикасы институтының экспедициясы (Ю.Д.Буланже, Г.Ц.Медоев, Ж.С.Ержанов, Н.М.Чабдаров, П.А.Атрушкевич және т.б.) жүргізген. Өкінішке орай, 1983 жылдан кейін бұл жұмыс, қаржы ресурстарының жетіспеушілігіне байланысты жер сілкіністерді жүйелі түрде бақылау тоқтатылды.

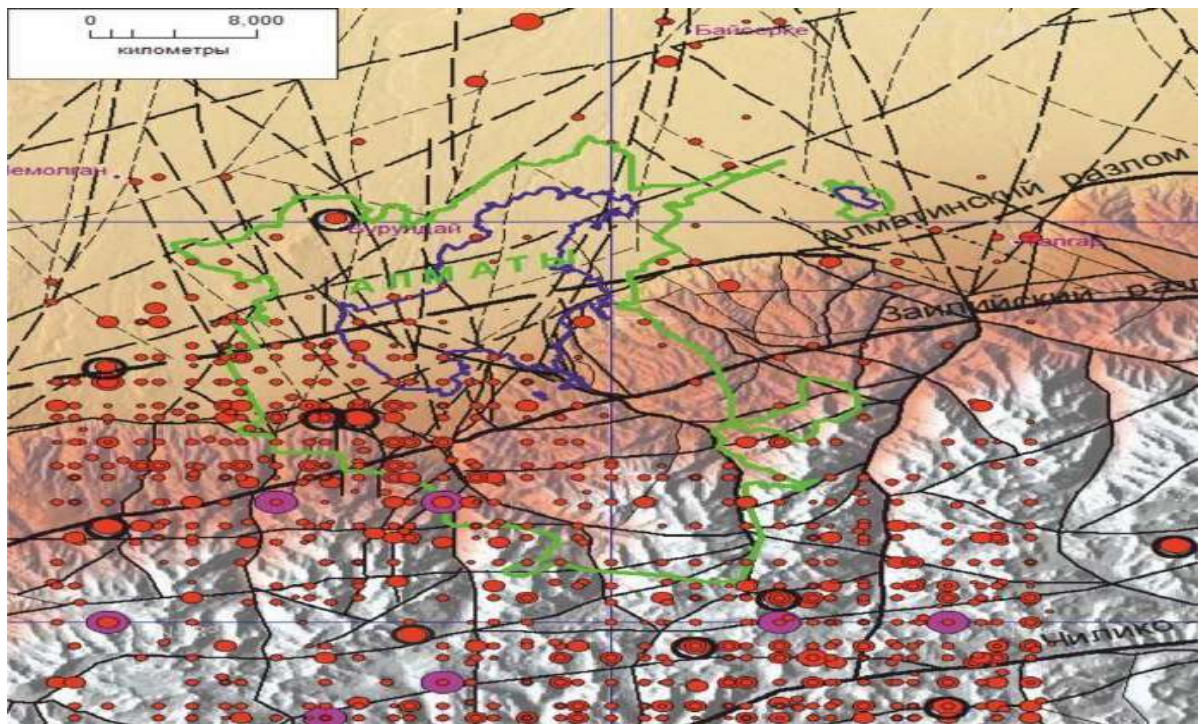
2000 жылдардың басында Алматы қаласының маңында орналасқан ҚР БҒМ қарасты «Сейсмологиялық тәжірибе-әдістемелік экспедициясының» (СОМЭ) сейсмикалық станциялар жарнартылды, нәтижелерін өңдеудің цифрлы сезімтал жабдықтары орнатылды, нақты уақыт режимінде деректерді өңдеу орталығына жіберіп отыратын жағдайға жетті, сөйтіп СОМЭ жұмысы соңғы 10 жылдағы қаланың сейсмикалық режиміне егжей-тегжейлі талдау жүргізуге мүмкіндік берді. Осы жүйеге қосымша, ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институтының станциялары жұмыс істей бастады. Осы екі ұйым санцияларының нәтижелерінен басқа Қырғызстан станцияларының дерктері де қолданылады.

Сур. 2.7 2005-2016 жылдардағы жер сілкінісі эпицентрлерінің топографиялық картасы және 60×70 км контурдағы Алматы ауданының тектоникасы ұсынылған.

Қайталап нивелирлеу мен GPS бақылаулары нәтижесінде 15-Пионерский және 14-Порт Артур пункттерінің бойлық және ендік бойынша бойынша ығысулары жайлы жоғарыдағы 2.3.1-параграфында айтылды. Оның себебін анықтау үшін «Сейсмологиялық тәжірибе-әдістемелік экспедициясы» зерттеулерімен танысып және де оның қызметкерлерімен бірігіп 2019 жылы геофизикалық зерттеулер жүргізілді. СОМЭнің зерттеулері бойынша 2005-2015 жылдар аралығында қала мен оның жақын маңында 2-3 баллдық 1347 жер сілкінісер тіркелген және Алматы ГДП сы аумағының жаңа анықтаулар енгізілген тектоникалық жарылымдарының сұлбасы анықталған.

СОМЭде жүргізілген зерттеулер ең озық геофизикалық жабдықтар арқылы жүзеге асырылды. Негізгі геофизикалық әдістердің қатарына георадар, сейсмикалық, электрлік барлаулар жатады. Біздер георадарлық әдіс жабдығын пайдаландық (сур. 2.8) және ол геологиялық зерттеулерді егжей-тегжейлі жүргізуге, топырақ жамылғысы мен қоршаған ортаға зиян келтірместен объектінің нақты сипаттамаларын алуға мүмкіндік береді.





Тектоникалық жарылым (үзік сызқықтармен): 1 – бастапқы жарылымдар; 2 – негізгі жарылымдар; 3 – қосымша жарылымдар; жерсілкіністердің 4 – с 4 до 4,7; 5 - с 3 до 4; 6 – с 2 до 3; 7 – до 2; 8 – алдық эпицентры; 9 – 2005 ж кейінгі жерсілкіністердің орталықтары; 10 – 2015 ж.. Алматы қаласының шекарасы.

Сурет 2.7 - 2005-2016 жылдардағы жер сілкінісі эпицентрлерінің топографиялық картасы және 60×70 км контурдағы Алматы ауданының тектоникасы



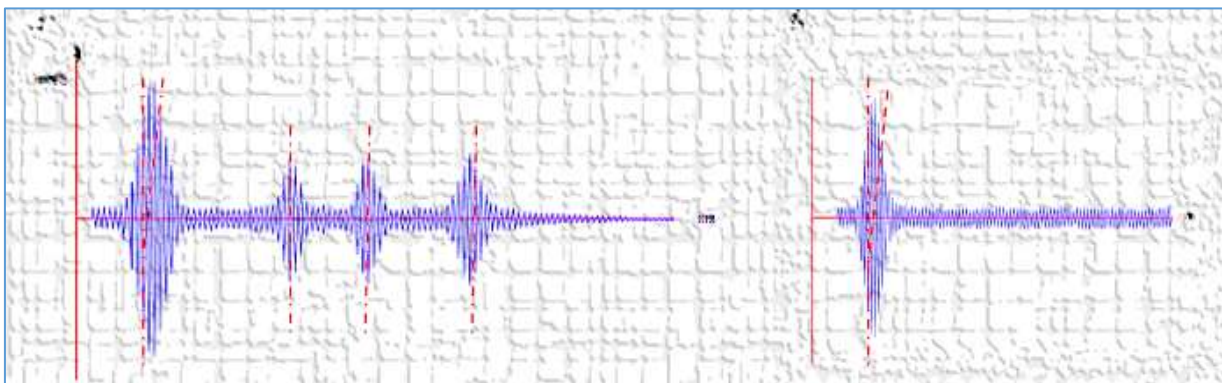
Сурет 2.8 - Георадарлық әдіспен барлау

Нәтижесінде Тастұлақтан бастап- Курсай -Пионер пункттері мен Горный Гигант – Порт-Артур пункттері аралығы профилдерінің радарограммасы алынды сур. 2.9.

Бұл радарограммалардан және сур. 2.9 Тастыбұлақ- Курсай -Пионер пункттері аралығында Іле, Предгорный және Жаңатұрмыс тектоникалық жарылымдары өтетіндігін, сонымен қатар 15-Пионер пунктiнiң

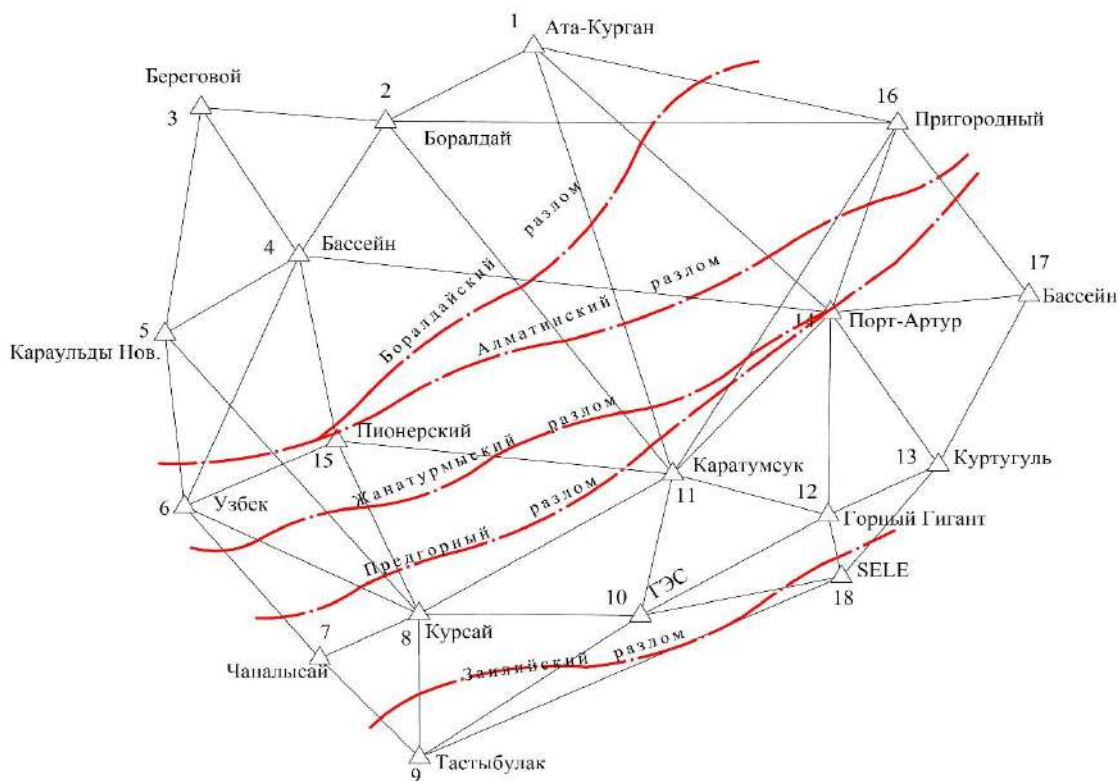
а)

ә)



Сурет 2.9 - Пункттер аралығының радарограммалары: а) Тастыбұлақ-Курсай –Пионер; ә) Горный Гигант- Порт-Артур

Алматы мен Боралдай жарылымдары түйіскен жерінде сур. 2.10 ығысулардың ең жоғарғы мәніне сәйкес келетіндігі айқын көрінеді. Ал, Горный гигант пен Порт –Артур пункттері аралығында ешқандай тектоникалық жарылым жоқ, тек 14-Порт Артур пункті Предгорный мен Жаңатұрмыс жарылымдарының қиылысқан жерінде орналасқандығы.



Сурет 2.10 - Триангуляциялық пункттермен беттескен тектоникалық жарылымдардың жаңа схемасы

Жоғары дәлдікті қайталап нивелирлеу, GPS бақылаулар және сейсмологиялық зерттеулерден тұратын кешенді мониторинг – бақылаулар жүргізуде еңбек өнімділігін, өлшеулердің дәлдігін, жер қыртысының кернеулі-деформациялық күйін (КДК) анықтаудың сенімділігін жоғарылатуға және сейсмикалық қауіпті аймақтарда жер қыртысының жай-күйі жайлы кеңістіктік деректерді жинақтауға мүмкіндік жасады. Алматы ГДПы жер қыртысының уақыт өте келе баяу деформациялану тенденциясы Солтүстік Тянь-Шань аймағының сейсмикалық көрсеткіштері және тектоникалық бұзылыстарына тікелей байланыстылығы анықталды.

Пункт координаталары тұрақты жұмыс істейтін «Селезащита» (SELE) станциясына байланыстырылды және 2015 жылдан бастапқы GPS бақылаулары нәтижелерімен салыстырылды. GPS бақылауларынан зерттелетін аумақтың заманауи вертикальды деформацияларының тенденциясы Алматы ойпатының біртіндеп төмендеуі және солтүстіктен Алматы мен оңтүстігінен Предгорный жарылымдарымен шектелген тұтас көлбеу жазықтың көтерілуімен сипатталады. Осы екі тектоникалық жарылымдар аралығындағы орналасқан орта және биік таулы блоктар өте қарқынды вертикаль деформацияларға ұшырайды. Алайда, іргелес осы екі геоморфологиялық блоктардың вертикаль деформацияларының белгілері, әдетте бір-біріне қарама-қайшы болып келеді. Демек, Іле Алатауының орта және тік таулы жоталарының деформациялары ауыспалы сипатқа ие [43,44, Қосымша Б].

## **2.5 Жер бетінің қозғалысын радарлық интерферометрия көмегімен зерттеу**

Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) деректері ғылыми-қолданбалы міндеттерді шешу, құрлықта да, Дүниежүзілік мұхитта да жер бетінде болып жатқан процестерді бақылау, сондай-ақ жер бетіне экологиялық және геодинамикалық мониторинг жүргізу үшін кеңінен пайдаланылады және қолданылады.

Жер бетін қашықтықтан зондтау-бұл объект немесе онымен тікелей физикалық байланыссыз болған құбылыстар туралы қажетті ақпаратты алудың тиімді және ғаламдық әдісі.

Жерді түсіру ғарыштық ұшу аппаратында (КЛА) орнатылған түрлі түсіру аппаратурасынан жүргізіледі.

ЖҚЗ радарлық жүйелері артықшылығының критерийлері – бұл:

- тәулік уақыты мен ауа райы жағдайларына қарамастан түсірілімдерді орындау, бұл жер бетін күрделі метеожағдайлармен (бұлттылықтың басым болуы) немесе күн сәулесі жаз айларымен шектелген Арктика аудандарында картографиялау үшін ақпараттылықтың негізгі өлшемі болып табылады;

- радиодиапазондағы сәулеленудің жоғары ену қабілеті, онда топырақтың (шөлдің) ылғалдылығы мен тығыздығының көрсеткіші төмен аудандарда ақпарат алу қажет, кейіннен тереңдетілген объектілердің ақпарат алу мүмкіндігі;



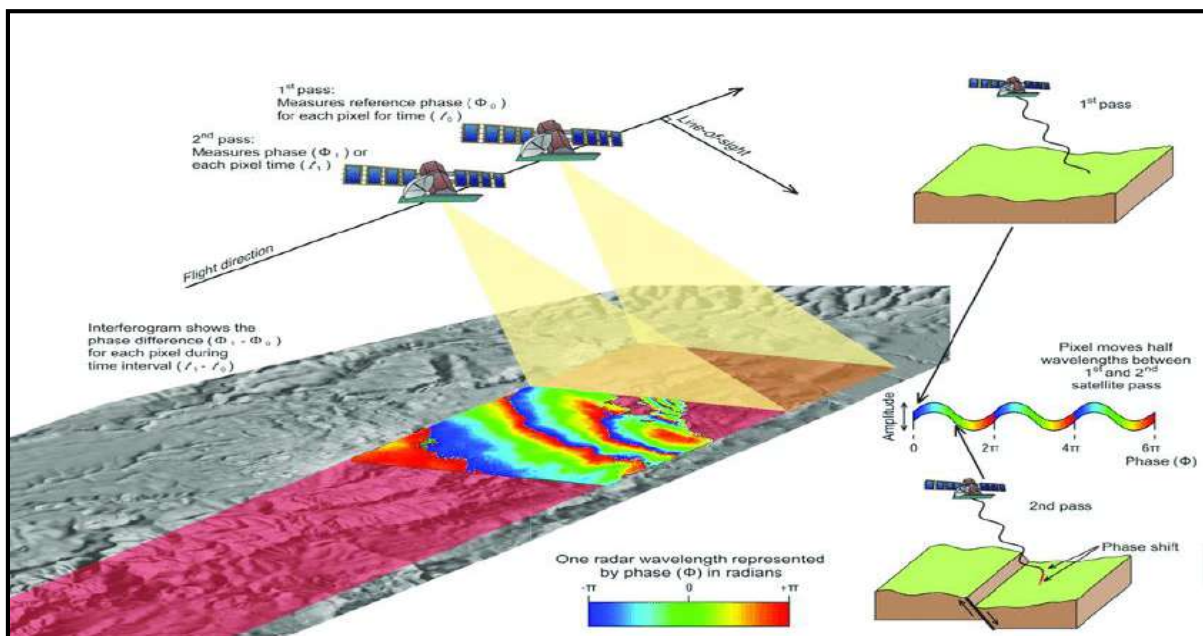
- радарлық суреттердің параметрлері мен оптикалық параметрлердің арасындағы айырмашылық жергілікті объектілерді шифрлау кезінде қосымша ақпарат береді.

Радар интерферометриясы (INSAR). Синтезделген диафрагмалық Радар (SAR) - бұл микротолқынды энергияның импульстарын жер бетіне жіберетін және кері бағытта шашыраған энергия мөлшерін тіркейтін микротолқынды бейнелеу жүйесі. SAR сигналдары үлкен толқын ұзындығына байланысты бұлттарға ене алады.

Дифференциалды интерферометриялық SAR (InSAR) уақыттың әртүрлі нүктелерінде алынған бірдей аймақтың екі суретін қолданады. Егер жер бетіндегі қозғалыс салдарынан жіберілген жер мен спутниктің сәулелері арасындағы қашықтық екі өлшем арасында өзгерсе, онда сур. 2.11 көрсетілгендей фазалық ығысу болады.

Сондықтан дифференциалды InSAR бетінің өзгеруін немесе қозғалысын анықтау үшін кеңінен қолданылады.

Егер екі сурет арасындағы интерферометриялық корреляция жоғары болса, беттік өзгерістерді интерферометриямен 1 см-ден аз дәлдік деңгейіне дейін өлшеуге болады. Жүйе нүктенің радар спутнигіне немесе одан жоғары бағытта жылжуын білдіретін түзу сызықтағы ығысуларды ғана өлшей алады. Алайда, егер спутник орбиталарының жоғары және төмен сегменттері сияқты әр түрлі көріністерден екі сурет жұптарының жиынтығы алынған болса, 2D бетінің жылжуын анықтауға болады.



Сурет 2.11- InSAR кескінін алу процесі

InSAR технологиясы дәстүрлі түсіру әдістерімен салыстырғанда көптеген артықшылықтарға ие. Бір артықшылығы-бұл күндіз-түні операциялық түсірілім мүмкіндіктері бар, өйткені бұл белсенді жүйе. INSAR-ны қолданудың тағы бір артықшылығы-ол бірнеше миллиметрден биіктік айырмашылықтарын анықтай алады.

Демек, бұл әдіс геодинамикалық бақылаудың тиімді және үздіксіз қашықтан басқару әдісі бола алады. Алайда, беттің жылжуын анықтау үшін осы әдіспен байланысты бірнеше кемшіліктер бар. Кемшіліктердің бірі-InSAR тек спутниктің орбиталық бағытынан көру сызығындағы ығысуды өлшейді, бірақ жер үсті әдістерімен үйлесу жоғары нәтижеге қол жеткізуге және жер бетінің жылжуы туралы сенімді мәліметтер алуға мүмкіндік береді [45,46].

### **Екінші тарау бойынша тұжырым**

Жер үсті түсіру әдістері мен спутниктік технологияларды пайдалана отырып орындалған Алматы геодинамикалық полигонының бірнеше геодезиялық өлшеулерін кешенді талдау нәтижесінде зерттелетін объектінің жер бетінің қазіргі заманғы қозғалыстарын егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік берді.

1. 2017 ж нивелирлеу нәтижесі бойынша вертикаль қозғалыстар болмашы деп қорытындылауға болады, себебі реперлер бойынша өзгерістерінің амплитудасы жылына - 0.1-ден +14.1 мм-ге дейін болады және өлшеу қателіктерінің ықтимал жинақталуынан  $\pm 3 \eta \sqrt{L}$  -тен аспайды. Профильдердің қозғалысы тербелмелі.

2. Алматы ГДП-да 1 класс тордың Порт-Артур пунктінде вертикаль және горизонталь жылжуында өте үлкен өзгеріс болды. Біз вертикаль жылжуды 2017-2021жылдар арасындағы вертикаль қозғалыстың салыстырмалы жылдамдықтың жинақ мәні бойынша қарағанда ол -216мм/жыл құрады. Ғарыштық бақылаулардың 2017-2021 жж нәтижесі бойынша горизонталь жылжу векторы Порт-Артур пунктінде СШ 74,7мм құрады және Пионер пункті ОШ 73,4 мм құрады. Пионер пункті Алматы және Боралдай жарылымдарының қиылысында орналасқан. Порт-Артур пункті Предгорный жарылымына жақын және Кенсай қорымында орналасқан.

3. Жоғары дәлдікті қайталап нивелирлеу, GPS бақылаулар және сейсмологиялық және радарлық интерферометрия зерттеулерден тұратын кешенді мониторинг – бақылаулар жүргізуде еңбек өнімділігін, өлшеулердің дәлдігін, жер қыртысының кернеулі-деформациялық күйін анықтаудың сенімділігін жоғарылатуға және сейсмикалық қауіпті аймақтарда жер қыртысының жай-күйі жайлы кеңістіктік деректерді жинақтауға мүмкіндік жасады.

### 3 КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУЛЕР НӘТИЖЕЛЕРІН ӨНДЕУДІҢ ЗАМАНАУИ БАҒДАРЛАМАЛАРЫ

#### 3.1 GPS қабылдағыштарынан алынған ақпаратты Gamit Globk бағдарламада өңдеу

Литосфераның геодинамикалық жағдайын геодезиялық мониторинг жасау үшін GPS – бақылауларды жоғары дәлдікте өңдейтін GAMIT және GLOBK бағдарламалық кешен болып табылады. Бұл бағдарлама операциялық жады және видео-карта жадының үлкен қорын қажет ететін, өте ауқымды күрделі математикалық операцияларды және визуализация процестерін орындайды. Массачусет технологиялық институтында ойлап шығарылған GAMIT/GLOBK бағдарламалық пакетінің ерекшелігі ол GPS деректерді өңдеу кезінде әртүрлі тапсырмаларды шешетін қуатты құрал болып табылады [47,48].

GAMIT/GLOBK бағдарламасы Ионосфера институтында және Сейсмология институтында пайдаланылады. Осы институттармен бірігіп жұмыс атқару барасында 2019 жылдағы нәтиженің осы бағдарлама бойынша өңделді Кесте - 3.1 келтірілген.

Кесте 3.1- 2019 ж деректерді Gamit Globk бағдарламасында өңдеу нәтижесі

Пункт атауы	X, м	Y, м	Z, м	ОКҚ X, м	ОКҚ Y, м	ОКҚ Z, м
4	1060810.73778	4526067.57066	4353444.32900	0,0006	0,0001	0,0039
9	1062173.91421	4538109.50645	4341247.11975	0,0016	0,0020	0,0053
2	1066430.46031	4524576.30074	4353455.32902	0,0011	0,0013	0,0040
7	1068441,9456	4528804,9196	4348723,7341	0,0010	0,0013	0,0040
14	1069638.04201	4533410.80041	4343771.07444	0,0012	0,0014	0,0043
16	1064087.96740	4532892.63008	4345526.73041	0,0041	0,0047	0,0161
15	1066021.12944	4538686.10891	4340016.11852	0,0017	0,0021	0,0057
17	1065439.35665	4526144.81896	4352101.45334	0,0013	0,0015	0,0044
6	1052442,1964	4536361,8828	4345151,1784	0,0035	0,0036	0,0132
1	1055691.26739	4525339.88639	4355288.08860	0,0015	0,0018	0,0054
12	1043742.75315	4529391.78347	4353901.80280	0,0035	0,0036	0,0132
8	1039598.54056	4534731.60715	4350391.58278	0,0022	0,0026	0,0077
10	1043159.24838	4538356.06438	4346087.49441	0,0037	0,0089	0,0083
11	1046383.33166	4533556.29544	4349481.65022	0,0040	0,0036	0,0135
3	1054180.27078	4539889.91602	4341542.85531	0,01	0,0127	0,0468
13	1060976,2336	4539774,7839	4340161,3869	0,0043	0,0039	0,0141

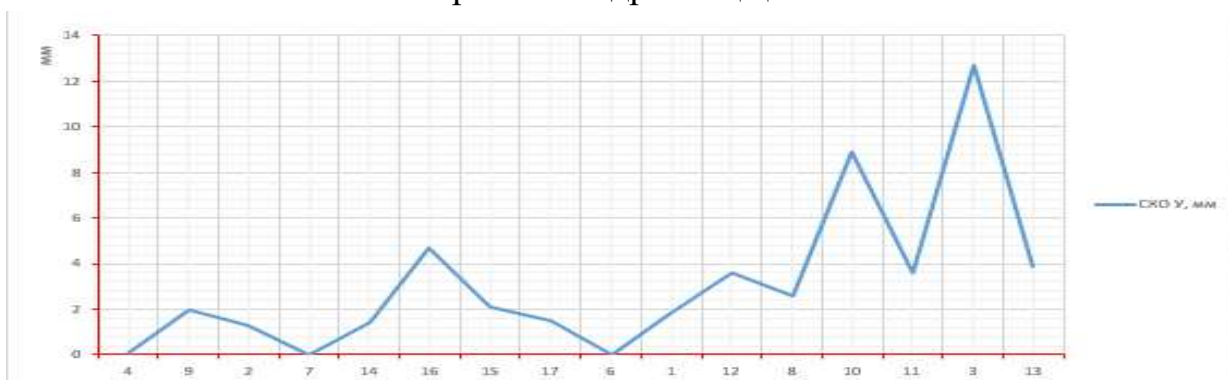
Осы бағдарламада өңделген мәндер Кесте - 3.1 көрсетілген және орташа квадраттық қателіктер бойынша графиктер сур. 3.1 көрсетілген.

«Ірі тектоникалық жылжудың қазіргі тенденцияларын шектеуге негізделген Сычуань-Юньнань аймағының GPS жылдамдық өрістері» тақырыбында Caiya Yue, Qiang Yang қытайлық әріптестермен 2021 ж май айында «Advances in Space Research» журналына мақала жарияланды [49].

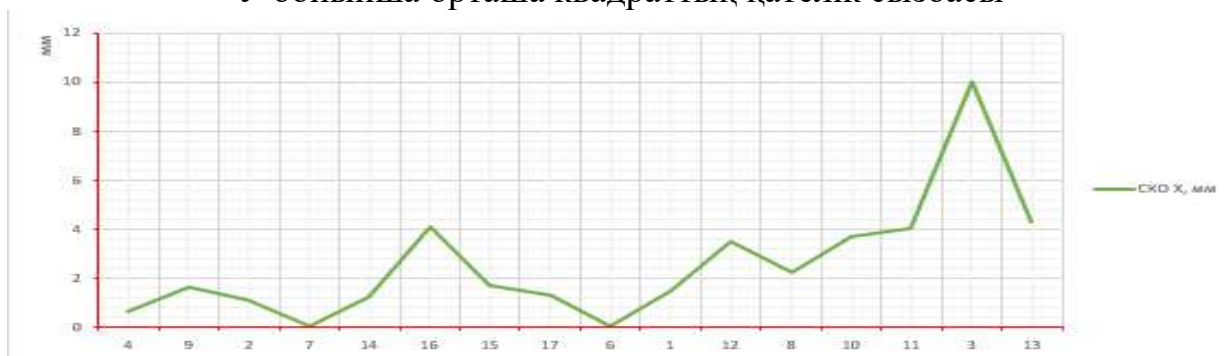


Мұнда, Сычуань-Юньнань (Сырдария) аймағындағы жер сілкіністерін болжау үшін іргелі материал ұсынуы керек болды және GPS алынған мәліметтерді GAMIT / GLOBK бағдарламасымен өңдеді. Бұл жерде, Венчуандағы жер сілкінісінен кейін GPS алынған мәліметтерді қолдана отырып 2008-2010, 2010-2013, 2013-2016 жж аралығына бір уақыттағы деформация моделі құрылды және Сырдария маңындағы жылдамдық 15 мм/жыл құрады. Жер қыртысындағы кернеулердің өзгеруін зерттеу және Сычуань-Юньнань аймағындағы жер сілкіністерін болжау үшін іргелі материал ұсынуы керек деген қорытындыға келді.

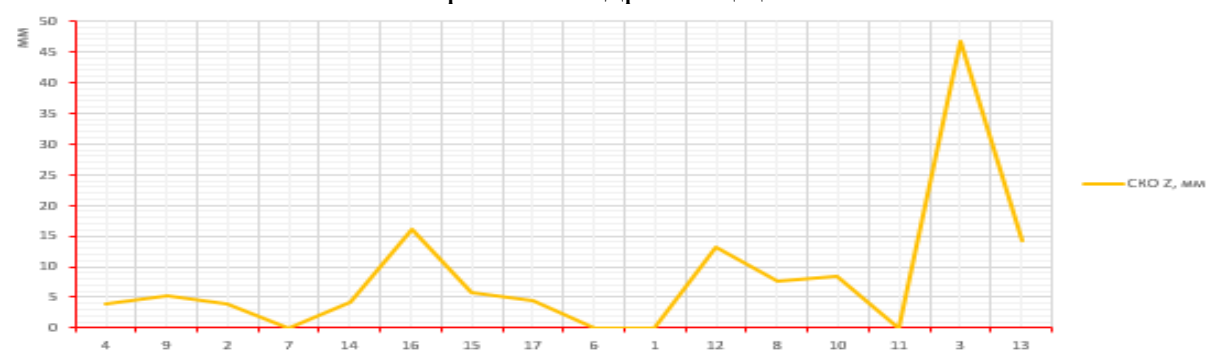
X бойынша орташа квадраттық қателік сызбасы



У бойынша орташа квадраттық қателік сызбасы



Z бойынша орташа квадраттық қателік сызбасы



Сурет 3.1 – GAMIT/GLOBK бағдарламасында ОКҚ бойынша графигі

GAMIT – фазалық деректерді өңдейтін бағдарлама, яғни жер үсті станциялары мен жерсеріктік орбитаның, зенитті атмосфералық кідірістің

және барлаудың жер үсті параметрлерінің үш өлшемді орналасуын бағалайды, тағы координат анықтау үшін тасымалдаушы жиіліктердің фазалық мәндері қолданылады, олардың бөлшек бөліктері қабылдағыштарда үлкен дәлдікпен жазылады. Өлшеу кезінде пайда болатын қателерді жою үшін GAMIT-те әртүрлі әдістер қолданылады [50].

GLOBK – Кальман фильтри, оның негізгі мақсаты GPS, VLBI, және SLR эксперименттері сияқты әртүрлі геодезиялық шешімдерді біріктіру болып табылады. Ол деректер ретінде қабылданады, немесе "квази-бақылау" бағалау және станция координаттары, жер бағдарының параметрлері, орбиталық параметрлер және негізгі бақылауларды талдаудан туындайтын бастапқы позициялар үшін коварианттық матрицалар. Кіріс шешімдері, әдетте, шектеулер Біріккен шешімде біркелкі қолданылуы үшін барлық жаһандық параметрлерге берілген априорлық белгісіздікпен жүзеге асырылады.

Әзірленген бағдарламалық-математикалық қамтамасыз ету жерсеріктік өлшеулердің Жаңа деректерін және математикалық модельдеудің қазіргі заманғы әдістерін қолдану арқылы Қазақстанның сейсмикалық қауіпті өңірлерінің, атап айтқанда Солтүстік Тянь-Шань мен Жетісу Алатауы аумақтарының жер қыртысының геодинамикалық жағдайын зерттеуге бағытталған. Кіріс параметрлері-зерттелетін аумақтардың геологиялық-геофизикалық, картографиялық ақпаратын сақтайтын жер қыртысының үш өлшемді компьютерлік модельдері.

Геодинамикалық параметрлердің екі өлшемді, үш өлшемді таралуы-ортаның деформациясы есебінен жинақталған энергияның көрсеткіштері және Солтүстік Тянь – Шань мен Жетісу Алатауы аумақтарының жер қыртысының кернеулі-деформацияланған күйінің түрі бағдарламалық-математикалық қамтамасыз етудің нәтижесі болып табылады. Бұл нәтижелер геодинамикалық параметрлердің аномальды таралу аймақтарын бөліп, аудандастыруға және зерттелген аумақтардың сейсмикалық белсенділігін бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер ғылыми және қолданбалы қызығушылық тудырады.

Ғаламдық және жергілікті желілердің GPS-деректерін жинау, өңдеу және талдау жүзеге асырылады, топырақтың құрылымдық құрылымы, геомеханикалық параметрлер, беріктік және тығыздық деректері туралы деректер жиналады. Бастапқы кезеңде бұл эксперименттік мәліметтер физикалық процестің математикалық моделін түзету және мәселені қою – бастапқы – шекаралық жағдайларды анықтау үшін қолданылады. Математикалық физиканың негізгі теңдеулері үшін математикалық модельді құрып, түзеткеннен кейін сандық модель құрылады, бастапқы шекаралық есеп шешіледі, мұнда есептеу аймағы зерттелетін аймақтардың жер қыртысының тиісті тор көрінісі болып табылады [51].

GAMIT / GLOBK бағдарламалық жасақтамасының бастапқы дерекқор файлдары:

- Rinx (Receiver Independent Exchange Format) – спутниктік навигациялық қабылдағыштардың бастапқы деректерінің файлдары үшін деректер алмасу

форматы. Ол сыртқы көздерден SOPAC немесе CCDIS мұрағаттардан, локальдық станциялардан жүктеледі.

- The navigation (“Broadcast Ephemeris”) files. Дәл эфемеридті жерсеріктердің файлдары бар. Сыртқы көздерден - SOPAC немесе CCDIS мұрағаттарынан жүктеледі.

- Sp3 (Special Product 3) – АҚШ Ұлттық геодезиялық қызметі әзірлеген пішімде белгіленген күн үшін навигациялық хабарлама файлдары бар. Сыртқы көздерден жүктеледі - SOPAC, BKG, CCDIS, IGN архивтері [84].

GAMIT/GLOBK бағдарламалық кешенін өңдеу алгоритмінің кезеңдері:

- Rinex-файлдарды халықаралық және локальды серверлерден алу және конвертация жасау. (Халықаралық тор IGS, локальдық тор АО «КГС», Алматы полигоны локальдық тор);

- деректерді бірегей базаға топтау;

- қате кестелерін, эфемеридтерді, нутация параметрлерін, ай мен күннің толқындарын, ионосфералық және тропосфералық түзетулерді жүктеу және қалыптастыру,;

- негізгі скрипттерді іске қосу арқылы деректерді бастапқы өңдеу;

- әрбір тармақ бойынша тәуліктік дискреттілікпен уақыт қатарларын алу;

- жылдамдық карталарын алу;

- алынған нәтижелерді талдау;

- Tecplot, ParaView, Surfer бағдарламаларында алынған деректерді түсіндіру[52].

### **3.2 GPS қабылдағыштарынан алынған ақпаратты GIODIS бағдарламасында өңдеу**

«Giodis» - бағдарламасы GNSS-өлшеулерді өңдеудің анағұрлым жалпыланған әдістеріне негізделген, өңдеу вектор бойынша жүргізілмейді, бірақ бір уақытта өлшеу сессиясына қатысатын барлық нүктелердің деректері бірден өңделеді. Бұл тәсіл жоғары дәлдіктегі ғылыми бағдарламаларда қолданылады. Көп негізді немесе «сессиялық» өңдеу, ол ондағы тривиальды векторлар деп аталатын ескі мәселені қатаң түрде алып тастайды және бір уақытта өлшенетін векторлар арасындағы корреляциялар автоматты түрде есепке алынады. Сонымен, N станцияларынан бірыңғай өлшеу сеансын өңдеудің нәтижесі N-1 тәуелсіз векторлар желісі және оның бірыңғай ковариациялық матрицасы болып табылады. GNSS өлшемдерінің фазалық түсініксіздігін шешу үшін бүгінгі күнге дейін ең тиімді Ламбда әдісі қолданылады. Бұл әдіс, атап айтқанда, АҚШ Геодезиялық қызметінің пост-өңдеу бағдарламасында қолданылады. Тағы бір әртүрлілік-бұл кездейсоқ өлшеу қателіктерінің әсерін болдырмайтын бірінші және екінші фазалық айырмашылықтардың пайда болуынан бас тарту, сонымен қатар бақыланатын спутниктердің орбиталық параметрлерінің қателері белгісіздер қатарына кіреді.

Тағы бір әртүрлілік-бұл кездейсоқ өлшеу қателіктерінің әсерін болдырмайтын бірінші және екінші фазалық айырмашылықтардың пайда болуынан бас тарту, сонымен қатар бақыланатын спутниктердің орбиталық параметрлерінің қателері белгісіздер қатарына кіреді. Орбитаның барлық параметрлері нақтыланбайды, бірақ "дәл" орбитаға қатысты борттық эфемеридтер бойынша есептелген спутниктің позициясының ауысуы есептеледі. Бұл әдіс дәл эфемеридтерді қолданбай-ақ анықталған нүкте арасындағы қашықтықты екі мың шақырымға дейін арттыруға мүмкіндік берді. Осылайша, дәл немесе өте дәл эфемеридтерді жүктеу үшін үш күн немесе екі апта күтудің қажеті жоқ.

Тұрақты жұмыс істейтін базалық станцияларды пайдалануға қатысты жаңа тәсіл іске асырылады, олардың деректері Интернетке таратылады. GIODIS олардың өлшемдері мен анықтамалық координаттары пайдаланушының деректерімен бірлесіп өңделеді, бұл өзінің түсірілім желісінің дәлдігін жақсартады. Тағы бір жаңалық – тропосфераның әсерін есепке алу үшін метеопараметрлерді алады. Бақылау сеанстарын өңдеуден алынған жеке векторлар да, векторлар жиынтығы да (және олардың жалпы ковариациялық матрицалары) бағдарламада теңестірілуі мүмкін.

GPS пен жердегі желіні бірлесіп теңестіру кезінде нүктелік координаттардан басқа теңестіру параметрлерінің қатарына спутниктік және жергілікті координаттар жүйелері арасындағы ауысу параметрлері де кіреді. Жобада қандай негіз қолданылатынына байланысты-Биіктік, жоспарланған немесе екеуі де тек биіктіктермен теңестірілуі мүмкін, тек жоспарланған координаттар немесе екеуі де бірге [53].

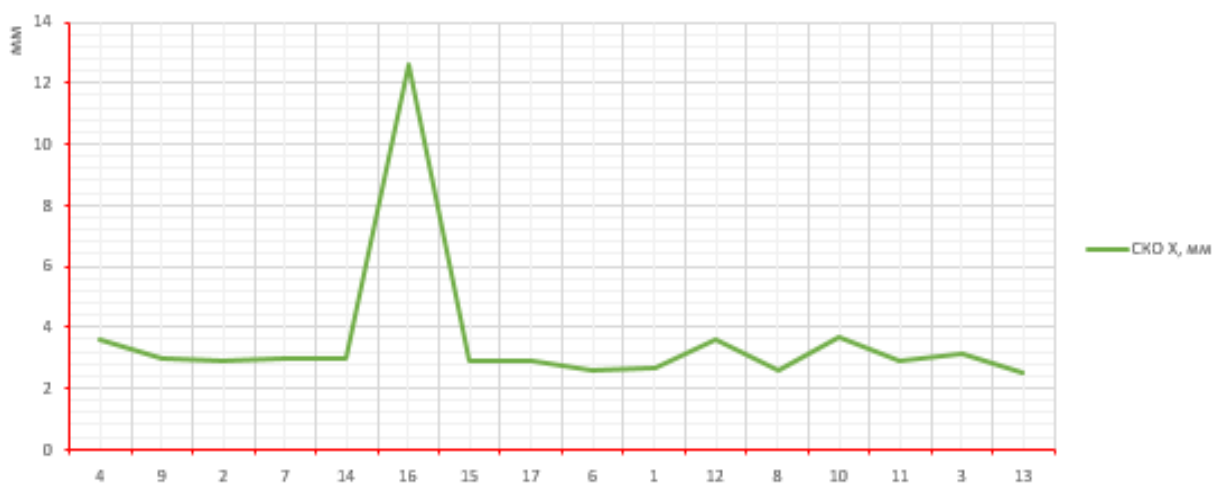
Бағдарламаның басқа ерекшеліктері: координаттар жүйесінің кеңейтілген кітапханасы (СК), трансформация параметрлері және әлемнің әртүрлі аймақтарына арналған геоид модельдері. GPS пен жердегі желілер арасындағы сәйкессіздіктерді ескеретін түзетулер торына негізделген "арнайы" проекциялар. Бағдарламада жоспарлы координаттар жүйесін бөлек қолданамыз (мысалы., СК42 немесе СК63) және биіктік жүйелері (яғни Балтық және т.б.). СК арасындағы ауысу параметрлері де айтарлықтай жаңартылды-енді олар жоспарлы және биіктік СК арасында беріледі, соңғы геоидтар қосылды және т. б; жаңа координаттар жүйелерінің редакторы, өту параметрлері, сондай-ақ геоидтар; локализация (калибрлеу) параметрлерін есептеуге арналған құрал; нүктелер каталогтарымен жұмыс істеуге арналған құрал; рұқсатсыз кіруден шифрланған жобамен жұмыс. Бағдарламада заманауи және қолдануға оңай пайдаланушы интерфейсі бар [54,55].

Giodis жоғары дәлдікті түсірістер және пландық-биіктікті геодезиялық негіз құруға, тағы ғимараттар мен торлардың деформациясын сараптау үшін JAVAD GNSS компаниясында ойлап шығарылған. Бұл бағдарламаны РГКП КазГеодезия ұжымы пайдаланады. Алматы ГДП-да өлшенген 2019 ж деректерді GIODIS бағдарламасында өңдеу нәтижесі 3.2 – кестеде көрсетілген және орташа квадраттық қателік бойынша графигі сызылған сур. 3.2.

Кесте 3.2 - 2019 ж деректерді GIODIS программасында өңдеу нәтижесі

Пункт ағауы	X, м	Y, м	Z, м	ОКҚ X, м	ОКҚ Y, м	ОКҚ Z, м
4	1060810.73778	4526067.57066	4353444.32900	0,0036	0,0054	0,0048
9	1062173.91421	4538109.50645	4341247.11975	0,0030	0,0038	0,0032
2	1066430.46031	4524576.30074	4353455.32902	0,0029	0,0038	0,0033
7	1068441,9456	4528804,9196	4348723,7341	0,0030	0,0041	0,0036
14	1069638.04201	4533410.80041	4343771.07444	0,0030	0,0044	0,0039
16	1064087.96740	4532892.63008	4345526.73041	0,0126	0,0171	0,0141
15	1066021.12944	4538686.10891	4340016.11852	0,0029	0,0037	0,0031
17	1065439.35665	4526144.81896	4352101.45334	0,0029	0,0038	0,0033
6	1052442,1964	4536361,8828	4345151,1784	0,0026	0,0060	0,0056
1	1055691.26739	4525339.88639	4355288.08860	0,0027	0,0066	0,0062
12	1043742.75315	4529391.78347	4353901.80280	0,0036	0,0086	0,0082
8	1039598.54056	4534731.60715	4350391.58278	0,0026	0,0063	0,0058
10	1043159.24838	4538356.06438	4346087.49441	0,0037	0,0089	0,0083
11	1046383.33166	4533556.29544	4349481.65022	0,0029	0,0064	0,0058
3	1054180.27078	4539889.91602	4341542.85531	0,0031	0,0081	0,0076
13	1060976,2336	4539774,7839	4340161,3869	0,0025	0,0043	0,0043

X бойынша орташа квадраттық қателік сызбасы



Y бойынша орташа квадраттық қателік сызбасы



Z бойынша орташа квадраттық қателік сызбасы



Сурет 3.2 –"GIODIS“ бағдарламасында ОКҚ бойынша графигі

### 3.3 GAMIT GLOBK және GIODIS программаларын салыстыру нәтижесі

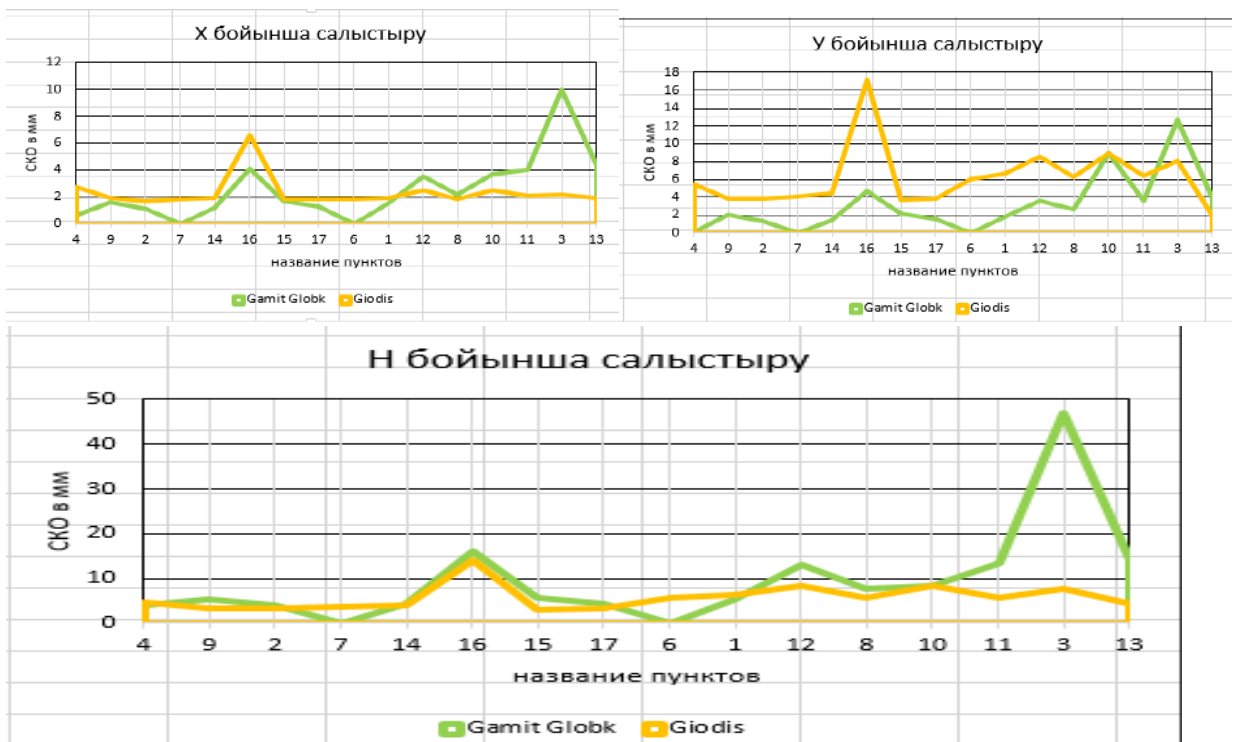
Жер бетінің қазіргі заманғы қозғалысын зерттеуде спутниктік технологияларды пайдалану және қолдану дәлдік бойынша да, өнімділік бойынша да классикалық әдістерді алмастыра алатын геодинамикалық мониторинг міндеттерін тиімді шешуге мүмкіндік береді [56].

Өлшеу кезінде біз GPS деректерін 1-3 мм орташа квадраттық дәлдікпен аламыз және осы GAMIT GLOBK және GIODIS бағдарламаларымен теңестіруден соң пункттердің координата дәлдіктері 0,5 мм-ге дейін жоғарылайды [57,58].

Екі бағдарламаның орташа квадраттық қателігі бойынша салыстыру жүргізілді Кесте 3.3 салыстыру графигі сур. 3.3 сызылды. Салыстыру нәтижесінен біз, X және Y ОКҚ айырмасы бойынша GIODIS бағдарламасынан GAMIT GLOBK бағдарламасы дәл екенін көруге болады. Ал, биіктік бойынша ОКҚ айырмасы екі бағдарлама бойынша аз, яғни дәлдігі ұқсас деуге болады.

Кесте 3.3 - GAMIT GLOBK және GIODIS бағдарламаларын салыстыру нәтижесі

Пункт атауы	Gamit Globk			GIODIS			Gamit Globk -GIODIS		
	ОКҚ X, м	ОКҚ Y, м	ОКҚ Z, м	ОКҚ X, м	ОКҚ Y, м	ОКҚ Z, м	ОКҚ X, м	ОКҚ Y, м	ОКҚ Z, м
4	0,0006	0,0001	0,0039	0,0036	0,0054	0,0048	-0,003	-0,0053	0,0009
9	0,0016	0,0020	0,0053	0,0030	0,0038	0,0032	-0,0014	-0,0018	0,0032
2	0,0011	0,0013	0,0040	0,0029	0,0038	0,0033	-0,0018	0,0025	0,0007
7	0,0010	0,0013	0,0040	0,0030	0,0041	0,0036	-0,0020	-0,0028	0,0004
14	0,0012	0,0014	0,0043	0,0030	0,0044	0,0039	-0,0018	-0,0030	0,0039
16	0,0041	0,0047	0,0161	0,0126	0,0171	0,0141	-0,0071	0,0124	0,0120
15	0,0017	0,0021	0,0057	0,0029	0,0037	0,0031	-0,0016	-0,0015	0,0002,
17	0,0013	0,0015	0,0044	0,0029	0,0038	0,0033	-0,0016	0,0023	0,0011
6	0,0035	0,0036	0,0132	0,0026	0,0060	0,0056	0,0009	-0,0024	0,0076
1	0,0015	0,0018	0,0054	0,0027	0,0066	0,0062	-0,0009	-0,0008	0,0008
12	0,0035	0,0036	0,0132	0,0036	0,0086	0,0082	-0,0001	-0,005	0,005
8	0,0022	0,0026	0,0077	0,0026	0,0063	0,0058	-0,0041	0,0037	0,0019
10	0,0037	0,0089	0,0083	0,0037	0,0089	0,0083	0	0	0,0
11	0,0040	0,0036	0,0135	0,0029	0,0064	0,0058	0,0011	-0,0018	0,0077
3	0,01	0,0127	0,0468	0,0031	0,0081	0,0076	0,007	0,0046	0,0076
13	0,0043	0,0039	0,0141	0,0025	0,0043	0,0043	0,0018	-0,004	0,0088



Сурет 3.3 – GAMIT GLOBK және GIODIS бағдарламаларының ОКҚ бойынша графигі



## Үшінші тарау бойынша тұжырым

Жер бетінің көлденең ығысуын бағалау үшін өлшеу жүргізу және деректерді өңдеу параметрлері мен шарттарымен бір-бірінен ерекшеленетін ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді зерттеу нәтижесінде, үшінші тарауда мынадай тұжырым жасалды.

Спутниктік технология геодезиядағы классикалық әдістерге қарағанда өзінің артықшылығына қарамастан, белгілі бір кемшіліктерге ие. Олардың негізгілері спутник орбитасының эфемерид қателіктерінің көздері және тропосфера мен Ионосфера арқылы сигналдың атмосфералық қателіктері, сондай-ақ спутник пен қабылдағыш сағаттарының қателіктері. Көп сәулелі таралу, әдетте, дамыған урбанизмі бар Қалалық жерлерде кездеседі. GPS бақылауларының 2017 ж - 2021 жылғы деректерді салыстыру нәтижесінде шамалы сәйкессіздіктерді көрсетті, бұл кейінгі өңдеу мен теңестіру үшін әдіс пен бағдарламалық жасақтама дұрыс таңдалғанын көрсетеді.

Ғарыштық бақылау нәтижелері GIODIS және Gamit Globk бағдарламаларда өңделді және орташа квадраттық қателіктері бойынша салыстырылды. Салыстыру бойынша Gamit Globk бағдарламасы бойынша анықталған орташа квадраттық қателік GIODIS бағдарламасы бойынша анықталған орташа квадраттық қателіктен 10-20мм айырмашылық бар. Қорыта айтатын болсақ, X және Y бойынша айырмадан Gamit Globk бағдарламасы GIODIS бағдарламасынан есептеу жағынан артық екенін көруге болады.

Ғарыштық бақылау кезінде пункттің биіктік мәндері дөрекі қателікпен анықталатыны белгілі жәйт, ал біздің биіктік бойынша орташа квадраттық қателік салыстыру нәтижесі ОКҚ айырмасы аз екенін көрсетеді, яғни, екі бағдарлама дәлдігі ұқсас.

## 4. ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ҮДЕРІСТЕРДІ АУМАҚТЫҢ СЕЙМИКАЛЫҚ – ТЕКТОНИКАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫМЕН ҚОСА ТАЛДАУ

### 4.1 Алматы геодинамикалық полигон аумағындағы үздіксіз сейсмологиялық бақылаулар

Жер қыртысының әр түрлі уақыт аралығында біркелкі деформацияланбайтындығы, жер қыртысының баяу тектоникалық деформациясы және сейсмикалығы геологиялық тұрғыдан дәлелденді – бұл қоршаған ортаның реологиялық қасиеттеріне сәйкес белгілі бір уақыт аралығында дамып келе жатқан терең процестердің нәтижесі, яғни бір-бірімен генетикалық байланысты.

Алайда, геодинамикалық процестерді әртүрлі дәлдіктегі аспаптармен зерттеу және олардың күрделілігін өңдеу (бағдарламалардың әртүрлі пакеттері) бойынша бақылаулардың салдарынан қазіргі уақытқа дейін уақыт өте келе баяу деформациялардың көрінуінің және олардың сейсмикалықпен байланысының сенімді функционалдық, статистикалық және өзге де заңдылықтары анықталған жоқ. Осылайша, мұндай мәліметтерді ЖҚЗҚ және сейсмикалық оқиғаларды болжау тұрғысынан жинақтау және талдау өзекті міндет болып табылады. Сондықтан осы тараудың мақсаты-Алматы полигонының ЖҚЗҚ процестерінің уақытша барысы туралы және деформациялардың Солтүстік-Тянь-Шань аймағының сейсмикалығының кейбір көрсеткіштерімен байланысы туралы мәліметтер алу.

Алматы қаласы Қазақстанның ірі мегаполисі болып табылады. Оның халқы 1.7 миллион адамнан асады. Қала Қазақстанның жоғары сейсмикалық аймағында орналасқан, бұрын ол 1887 жылы Верный 7,2 магнитудасымен және 1911 жылы Кемин 8,0 магнитудасымен екі рет қатты жер сілкіністерімен бұзылған [59-61].

Солтүстік Тянь-Шаньның сейсмикалық режимін зерттеу көптеген жарияланымдарда көрініс тапты, алайда зерттеушілерді үлкен аумақта ауқымды қирауды тудыруы мүмкін күшті жер сілкіністерінің көздері мен көріністері, осындай жер сілкіністері орын алуы мүмкін аймақтардың сейсмикалық режимі көбірек қызықтырды [62]. Қала аумағының және оған жақын аудандардың сейсмикалығын зерттеу көптеген жылдар бойы шешілмеген мәселе болып қала берді. Бұл қала мен оның төңірегіндегі сейсмикалық және геодинамикалық процестерді егжей - тегжейлі зерттеу үшін жоғары сезімтал үздіксіз сейсмикалық мониторинг қажет болды, ол техногендік кедергілердің жоғары деңгейі аясында сейсмикалық оқиғаларды тіркеудің ерекше ерекшеліктерін ескеруі керек. Бұл мәселені шешу үшін аналогтық жабдықты жиілікті сүзгілеуді қолданбай пайдалану қиын болды.

Мұндай зерттеулерді жүргізудің алғашқы әрекеті өткен ғасырдың 70-80-ші жылдары жасалды. Сол жылдары Алматы қаласының маңында КСРО ҒА Жер физикасы институтының кешенді сейсмологиялық экспедициясының қызметкерлері терең ұңғымаларда орналасқан 8 жоғары сезімтал радиотелеметриялық станциялардың желісін құрды және сәтті жұмыс істеді.

2000 жылдардың басында Алматы қаласына жақын орналасқан ҚР БҒМ СОМЭ -ге жататын сейсмикалық станциялар желісі жаңғыртылды. Оларға сандық сезімтал аппаратура орнатылды кесте 4.1, сур. 4.1 деректерді өңдеу орталығына нақты уақыт режимінде беретін, бұл соңғы 10 жылдағы қаланың сейсмикалық режиміне егжей-тегжейлі талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Осы торға қосымша геофизикалық зерттеу институтының станциялары жұмыс жасап бастады. Қазіргі уақытты қала аумағында үш сейсмикалық станция жұмыс жасап тұр - «Алматы» (пр.Аль-Фараби), станция KNDC (пр. Достық- Чайкина көш.), станция Медео.

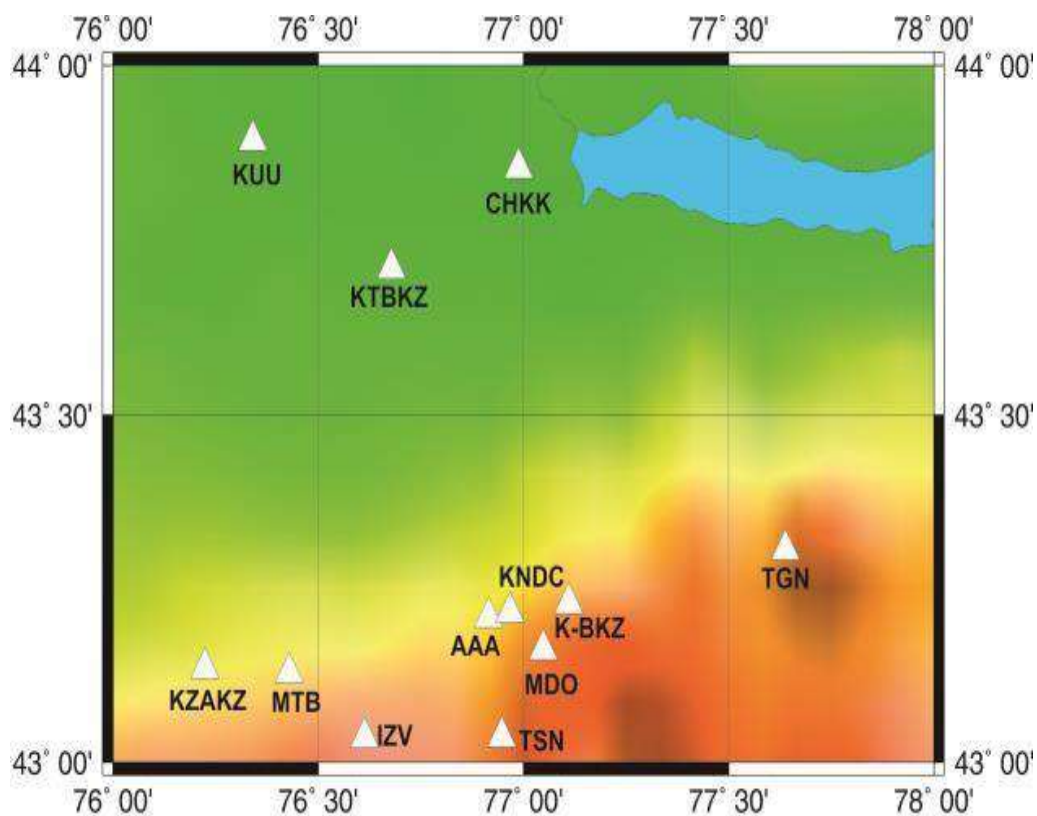
Кесте 4.1 - Алматы қ. жақын сандық сейсмикалық станциялардың параметрлері (СОМЭ МОН РК, РГП ИГИ)

Станция атауы	Станция кодтары	Ендік	Бойлық	h, м
Алматы	AAA	43,209	76,915	920
Чушкалы	СНKK	43,854	76,988	540
Известковый	IZV	43,036	76,613	1720
Котур-Булак	К-ВКZ	43,23	77,111	1600
KNDC	KNDC	43,2171	76,9671	1006
Каратобе	КТВКZ	43,71	76,678	760
Курты	KUU	43,893	76,34	540
Қзыласкер	KZAKZ	43,136	76,224	1085
Медео	MDO	43,163	77,048	1590
Майтөбе	MTB	43,13	76,429	1050
Тянь-Шань	TNS	43,037	76,947	3480
Тургень	TGN	43,307	77,638	1410



Сурет 4.1 - Радиолокация және сейсмикалық әдістермен геофизикалық жұмыстарды орындау

Белгілі жарылымдардың орнын қайта қарау үшін және жаңа жарылымдар табу үшін ғарыштық суретте 100×100 км аумақты дешифрилеу жасады.



Сурет 4.2 - Алматы қ. маңындағы заманауи сандық станциялардың орналасу картасы

Дешифрирлеу кезінде, бірінші кезекте LANDSAT TM 1989 ж. және ETM 1999 ж. көпспектрлі сканирлеуші ғарыштық түсіріс материалдары пайдаланылды.

**Алматы қаласы аумағының сейсмикалық жағдайын талдау.** Алматы қаласы аумағының сейсмикалық жағдайын ИФЗ радиотелеметрикалық станция торларымен көпжылдық мониторинг жасау нәтижелері монографияда жазылды, және өңдеу нәтижелері бойынша Алматы қаласының маңындағы сейсмикалық жағдайлар каталогы құрылды. Каталог 1.4.1972-31.12.1982 үшін каталогқа  $K=5.0 - 13.0$  энергетикалық кластары бар 983 сейсмикалық оқиғалар енгізілген сур. 4.2. Алматы қаласы аумағындағы жер сілкінісінің эпицентрлерінің картасы көрсетілген (2014 ж.). Көріп отырғаныңыздай, қала аумағындағы жер сілкіністерінің эпицентрлері оңтүстік-шығыстан солтүстік-батысқа дейінгі кең аумақта орналасқан. Солтүстікте, солтүстік-шығыста бірде-бір сейсмикалық оқиға тіркелген жоқ.

2005-06. 2015 жылдар кезеңінде қала аумағында және оған жақын маңда  $K=2.7-11.1$  энергетикалық кластары бар 1347 жер сілкінісі тіркелді.

Қала аумағы арқылы өтетін Алматы жарылымы қаланың солтүстік жағындағы сейсмикалық аумағын шектеуші қызметін атқарады. Алматы жарылысына орайластырылған аса күшті жер сілкіністерінің ошақтары қала шегінен тыс Қаскелең қаласына қарай орналасқан.

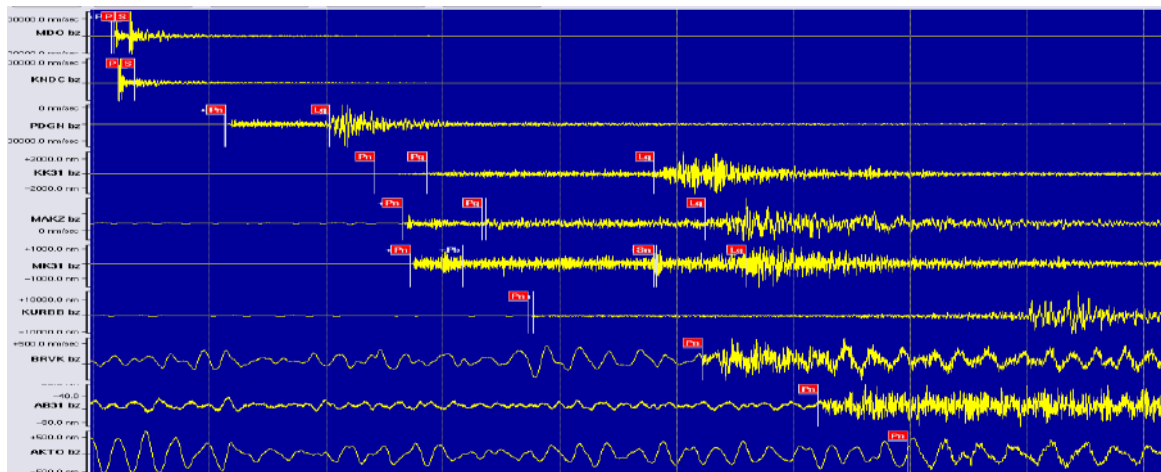
Сейсмикаға төзімді құрылыстың ғылыми зерттеулері мен практикасы үшін күшті қозғалыстар жазбаларының параметрлерін талдау үлкен

қызығушылық тудырады. КХДО-да күшті қозғалыстардың тұрақты мониторингі 2006 жылдан басталды, осы уақыттан бастап күшті қозғалыстардың сандық жазбаларының деректер базасы құрылды және үнемі толықтырылып отырды. 2015 жылғы 15 наурыздағы жер сілкінісі болды, оның ошағы 29.12.2007 жылғы жер сілкінісінің фокустық аймағына жақын орналасқан, KNDC станциясына дейінгі қашықтық 26 км, максималды үдеу 27.2 см/с<sup>2</sup> болды.

Соңғы уақытта, 2014 жылғы қарашадан бастап Алматы қаласының аумағында жер сілкіністерінен дүмпулер жиі сезіліп тұрды, олардың эпицентрлері қала шекараларына тікелей жақын орналасқан. 2014 жылғы 23 қарашада және 2014 жылғы 26 Қарашада жер сілкіністері қаланың батыс және солтүстік-батыс жағынан, 2014 жылғы 4 желтоқсанда – оңтүстік-шығыс жағынан, 2015 жылғы 15 наурызда – оңтүстік-батыстан болды.

Сур. 4.4 2015 жылғы 15 наурыздағы 14 сағат 01 минутта болған жер сілкінісінің сейсмикалық жазбалары көрсетілген.

Алматы қаласының аумағындағы және оған жақын жердегі ошақтары бар әртүрлі жер сілкіністерінің реакцияларының барлық спектрлері ұқсас пішінге ие, 0.10-нан 0.13 с-қа дейінгі спектрдің ең жоғары тербеліс кезеңдерімен жоғары жиілікті болып табылады. 100×100 км.дешифрлеу кезінде бірінші кезекте 1989 жылдан бастап LANDSAT TM және 1999 жылдан бастап ETM көп спектрлі сканерлейтін ғарыш түсірілімдерінің материалы 1990 ж. (күз) және 2000 ж. (көктем) үшін геометриялық және түстік түзету бойынша бірыңғай жерсеріктік бейнелерге 1990 ж. (күз) үшін құрастырылған. Олар Landsat TM/ETM+көріністерінен түрлі-түсті үш арналы (7-4-2 GeoCover арналарының RGB комбинациясы қолданылады) Мозаика. 7-4-2 GeoCover жерсеріктік кескіндерінің RGB түс комбинациясы Landsat TM / ETM+ жер бетінің түс гаммасын табиғи түрде көрнекі қабылдауға жақын [63-67].



Сурет 4.3 - 2015 жылғы 15 наурыздағы 14 сағат 01 минутта болған жер сілкінісінің сейсмикалық жазбасы РГП ИГИ



Қорыта келгенде, сейсмикалық бақылау нәтижелері бойынша материалдары ойынша Алматы қаласының аумағында оның оңтүстік және оңтүстік-батыс бөлігінде жер сілкіністері орын алатыны анық анықталған.

- қала аумағында жер сілкінісі ошақтарына байланысты және оның сейсмикалық белсенді бөлігін шектейтін белсенді ақаулар анықталды.

- микросейсмораиондау мақсаттары үшін Алматы қаласы ауданының қазіргі заманғы сейсмотектоникалық жағдайына неғұрлым егжей-тегжейлі нақтылау жүргізу талап етіледі:

- 1-5 м дейінгі рұқсаты бар бүкіл зерттелетін аумақтың кең ауқымды ғарыш түсірілімдерін егжей-тегжейлі дешифрлеу;

- 1:25 000 және 1:10 000 масштабтағы топографиялық карталарды егжей-тегжейлі талдау, бұл зерттелетін аумақтың аз бөлінген тау бөктері үшін өте маңызды.

- қала аумағындағы жарылымдардың сейсмикалық әлеуетін зерттеу қажет, яғни қала шегінде қандай күшті жер сілкіністерінің болуы мүмкін екенін анықтау қажет.

- қала маңындағы далалық сейсмикалық станциялардың тығыз желісін орналастыру арқылы аумақтың сейсмикалық мониторингін ұйымдастыру жолымен қала аумағындағы ошақтардың терең жағдайын нақтылау, сондай-ақ Алматы қаласы үшін болып жатқан оқиғалар туралы ерте хабарлау жүйесін ұйымдастыру қажет.

#### **4.2 Радарлық интерферометрия әдісімен мониторингтеу**

Синтезделген апертуралық Радар бейнелеу радар деп аталатын радар жүйелерінің арнайы класына жатады. Радиолокациялық бейнелеу жүйелері әдетте ұшаққа немесе спутникке орнатылған бүйірлік антеннаны пайдаланады.

Мақсаты – анық емес шағылысуларды болдырмай, ауқымды қамтамасыз ету. Алғашқы борттық радарлар (SLR немесе SOLAR) тек диапазон туралы ақпарат бере алады, ал жіберілетін және шағылысқан сигналдың фазасы туралы ақпарат жазылмады. Сонымен қатар, олар физикалық ұзын антеннаны қолданды; сондықтан жүйе нақты апертуралы радар (RAR) деп аталды [68].

Радиолокациялық сигналдарда фазалық ақпаратты пайдалану тұжырымдамасын алғаш рет Карл Вили енгізді. 50-60 жылдары Иллинойс және Мичиган университеттерінің осы тұжырымдаманы одан әрі дамытуы синтезделген апертуралық радардың (SAR) дамуына әкелді. Когерентті радардың болуы сигналдың фазасы мен амплитудасы туралы ақпаратты қабылдау мен сақтаудың нақты процесі үшін өте маңызды болды. Бұл ақпарат кейінгі салыстыру және өңдеу үшін жеткілікті дәл болуы керек.

Жоғарыда айтылғандарды, сондай-ақ сигналды жіберу және қабылдау кезеңінде фазалық күй тұрақтылығының қажеттілігін ескере отырып, синтетикалық қозғалатын антеннамен жасалған ұзын жасанды антенна идеясы қабылданды. Бұл тәсіл антеннаның синтетикалық ұзындығындағы көптеген

шағылысқан сигналдардан алынған ақпаратты біріктіреді; ол сонымен қатар азимут ажыратымдылығын үш ретке дейін арттыра алды [69, 70].

Landsat спутниктері сияқты ерте қашықтықтан зондтау спутниктері көрінетін және инфрақызыл толқын ұзындығын пайдаланатын оптикалық сканерлерді пайдаланады. Осылайша, оптикалық сканерлердің шектеулерін еңсеретін қашықтықтан зондтаудың жаңа әдістеріне қажеттілік спутниктік SAR миссияларының дамуына түрткі болып отыр.

60-70-ші жылдардағы әуедегі SAR тәжірибесі Seasat бортында L-диапазонды SAR жүйесін жобалау және құрастыру кезінде пайдаланылды. Бұл спутник 1987 жылы мұхитты зерттеу үшін ұшырылған. Seasat миссиясының сәтсіздігіне қарамастан, SAR суреттері өте сәтті болды және кейінірек SAR жүйелерін көптеген алдағы спутниктік миссияларға біріктіруге әкелді [71, 72].

Seasat сәтті болғаннан кейін Shuttle Imaging radar (SAR) зертханасы 1981 жылы ғарыш кемесімен тасымалданатын алғашқы SAR құралы ретінде салынды. SIR-A 2,5 күн жұмыс істейтін 50 градусық құлау бұрышы L-диапазонындағы құрал болды.

Синтетикалық апертуралық радардың тарихы Еуропалық ғарыш агенттігі (ESA) 1991 жылы шілдеде өзінің алғашқы SAR жерсерігін ұшырған кезде жаңа деңгейге жетті. ERS-1 (Еуропалық қашықтан зондтау спутнигі) негізгі миссиясы С диапазонындағы радар арқылы полярлық теңіздер мен мұзды бақылау болды.

1992 жылы Жапония өзінің алғашқы SAR жерсерігін, жапондық Жер ресурстарының серігін (JERS) ұшырды. JERS 35 градусық L-диапазонындағы радармен жабдықталған. 1995 жылы Канада ғарыш агенттігі (CSA) Radarsat-1 лигасына қосылды, бұл ScanSAR режимі мен кең ауқымды жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Radarsat-1 2007 жылдың желтоқсанында Radarsat-2 ұшыруымен жалғасты.

2000 жылы Шаттлдың радиолокациялық топографиясы (SRTM) миссиясы миссияның қайталау мәселесін шешуге тырысты. SRTM миссиясы 2000 жылдың 11-23 ақпаны аралығында 11 күн ішінде барлық құрлық массивтерін картаға түсіру үшін екі радиолокациялық антенна орнатылған 60 метрлік бір реттік бекітілген жебе конфигурациясын қолдана отырып орындалды. Ол дәлдіктің екі деңгейін, бүкіл әлем үшін С диапазонын және АҚШ тақталары үшін Х диапазонын пайдаланады [73].

2002 жылдың 1 наурызында Еуропалық ғарыш агенттігі Envisat-ты ERS-1 және 2 мұрагері ретінде іске қосты. Envisat ERS-1, 2-ге ұқсас конфигурацияға ие және алдыңғы спутниктерден деректерді өлшеудің үздіксіздігін қамтамасыз етеді. Envisat жеті режимде жұмыс істейді, соның ішінде жетілдірілген синтезделген диафрагма радары (ASAR). ASAR өзі бес түрлі деректер түрін шығара алады, соның ішінде: жолақ картасы режимі (сурет), толқын режимі, жаһандық бақылау, айнаымалы поляризация және кең көру жолағы.

2006 жылы жапондықтар жерді бақылаудың екінші жер серігін (ALOS) ұшырды. ALOS екі PRISM және AVNIR-2 оптикалық сенсорлары және бір PALSAR белсенді радар сенсоры бар. PALSAR — L-диапазоны 18 түрлі

жолақты емес сәулелерді SAR жолағын біріктіруге қабілетті және бес бақылау режимін қамтамасыз етеді: Бірыңғай жұқа сәуле (FBS), жұқа сәулелік қос (FBD), тікелей беру (DT), SCANSAR және поляриметрия.

2007 жылдың маусымында ұшырылған ең жаңа SAR жерсерігі TerraSARX, DLR және EADS Astrium GmbH арасындағы мемлекеттік-жекеменшік әріптестік келісіміне негізделген Германияның ұлттық SAR жерсерік жүйесі. TerraSAR-X бұрын X-SAR (1994) және SRTM (2000) миссияларында қолданылған технологияға сәйкес келеді. Бұл жерсерік X диапазонындағы деректерді және үш бейнелеу режимін қамтамасыз етеді: SpotLight (1м ажыратымдылыққа дейін), StripMap (3м ажыратымдылық) және ScanSAR (18м ажыратымдылық). 4.2-кестеде SAR жерсеріктері және олардың сипаттамалары берілген.

Кесте 4.2 - SAR жерсеріктік миссияларының тізімі және олардың техникалық сипаттамалары (Hanssen (2001) кейін өзгертілген) [74]

Миссия	Жыл	Қайталау циклі (күндер)	Спутник биіктігі (км)	Диапазон	Құлау бұрышы (град.)	Жолақ ұзындығы (км)
1	2	3	4	5	6	7
Seasat	1978	3	800	L-диапазоны	23	100
SIR-A	1981	-	235	L-диапазоны	50	50
SIR-B	1984	-	235	L-диапазоны	15-64	10-60
Cosmos 1870	1987-89	өлш.	250	S-диапазоны	30-60	20-45
ALMAZ	1991-92	-	300	S-диапазоны	30-60	20-45
Magellan	1989-92	өлш.	290	S-диапазоны	17-45	20
Lacrosse 1,2,3	1988-97	өлш.	275	S-диапазоны	басқарылатын	өлш.
ERS-1	1991-2000	35	790	C-диапазоны	23	100
ERS-2	1995	35	790	C-диапазоны	23	100
JERS-1	1992-98	44	568	L-диапазоны	39	85
SIR-C/X-SAR	1994	-	225	L, C, X-диапазоны	15-55	10-70
Radarsat	1995	24	792	C-диапазоны	20-49	10-500
Envisat	2001	35	800	C-диапазоны	20-50	100-500
ALOS	2006	44	700	L-диапазоны	8-60	40-350
Radarsat-2	2007	24	798	C-диапазоны	20-60	20-500
TerraSAR-X	2007	11	530	X-диапазоны	20-45	10-150

**Интерферометриялық өңдеу әдісі.** SAR-интерферометрия (синтезделген апертуралық радар) немесе InSAR (Interferometric synthetic Aperture Radar-дан) - сандық рельефтік модельдерді (dem) құрудың және жер бетіндегі өлшемдер қол жетпейтін дәлдікпен қайта түсіру арасындағы кезеңдегі жер бетінің динамикасын бақылаудың тиімді әдісі.



**Тұрақты шағылыстырғыш әдісі.** Классикалық SAR интерферометриясының негізгі шектеуші факторлары қайталанатын кескіндерде бір беттік ауданнан шағылысқан сигналдар арасындағы когеренттілікті жоғалту болып табылады. Бұл әсер декорреляция деп аталады және оны кеңістіктік және уақытша компоненттерге бөлу әдетке айналған.

Кеңістіктік немесе басқа геометриялық декорреляция жер бетінің бірдей ауданын түсіру кезінде спутниктік позициялардың айырмашылығынан туындаған бақылау бұрыштарының айырмашылығымен байланысты [75].

Интерферограмманы алу үшін әртүрлі позициялардан түсірілген екі сурет қолданылады. Суретке түсіру кезінде спутниктік позициялар арасындағы қашықтық базалық сызық деп аталады. Оны екі компонентке бөлуге болады: сигналдың таралу бағытына параллель және оған перпендикуляр, олар сәйкесінше параллель және перпендикуляр базалық сызық деп аталады [76]. Екі суреттегі сигнал спектрлері бір-біріне қатысты қозғалады, өйткені сәуленің зерттелетін шағылысатын жерге түсу бұрыштары спутниктің әртүрлі позицияларында әр түрлі болады. Аппаратураның өткізу қабілеттілігі өзгермейтіндіктен, екі суреттің спектрлері ішінара қабаттасады, сонымен қатар шу ретінде қарастырылуы мүмкін екі қабаттаспайтын аймақ бар. Бұл қабаттаспайтын бөліктерді жолақты фильтрлау арқылы алып тастау керек. Жолақты фильтрлап реттеу үшін спектрлік аймақтағы жылжу мөлшерін максималды дәлдікпен анықтау керек. Бұл жылжуды сурет арқылы бағалауға болады, өйткені интерференция жолақтарының жиілігі жылжу шамасын дәл көрсетеді немесе оны орбиталық мәліметтерден бағалауға болады.

***Feretti әзірлеген тұрақты шағылыстырғыш әдісі.*** Тұрақты шағылыстырғыш әдісінің негізгі идеясы - ұзақ уақыт аралықтарында когеренттілік мәнінің әлсіз өзгеруімен сипатталатын тұрақты шағылыстырғыш — кері шашырау элементтері бар SAR кескінінің пикселдерін анықтау [77]. Егер әдеттегідей, тұрақты шағылыстырғыштың өлшемдері ажыратымдылық элементінің өлшемдерінен аспаса, онда когеренттілік мәні интерферометр негізі критикалық мәнге жақын интерферограммалар үшін де қолайлы болады. Бұл жағдайда интерферометриялық есептеулерге барлық қол жетімді SAR суреттерін қосуға болады. Радиолокациялық кескіндер сериясындағы тұрақты шағылыстырғышды анықтау атмосфералық кедергілерді бағалауға және оларды дифференциалды интерферограммалардан жоюға мүмкіндік береді, бұл жер бетінің жылжуын бағалаудың дәлдігін арттырады.

***А. Хупер әзірлеген тұрақты шағылыстырғыш әдісі.*** А. Хупер тұрақты шағылыстырғыштардың кеңістікте таралуын талдайтын әдісті ұсынды [78]. Бұл әдіс уақыт бойынша орын ауыстыру жылдамдығы қалай өзгередіні туралы гипотезалардан бос. Бұл өте маңызды, өйткені көптеген табиғи объектілер үшін орын ауыстыру жылдамдығының уақыт бойынша өзгеру сипаты белгісіз, бірақ спутниктік интерферометрия мәліметтері бойынша анықталуы керек. Мысалы, жанартауларда және көшкін процестерінің даму аймақтарында деформациялар уақыт бойынша біркелкі болмайды. Бұл әдіс StaMPS (Тұрақты

шағылыстырғышқа арналған Стэнфорд әдісі) пакетінде жүзеге асырылады және табиғи объектілердегі тұрақты шағылыстырғыштарды ерекшелеуге арналған, мұнда шағылысу қарқындылығы әлдеқайда төмен (бұл ретте жасанды нысандар да жақсы ерекшеленеді). Тұрақты шағылыстырғыштарды анықтағаннан кейін олар өңделеді, атап айтқанда, атмосфералық кедергілерді тиімді басу үшін сүзгілеу қолданылады.

**Шағын базалық әдісі.** Бұл әдіс әдетте ағылшын әдебиетінде SBAS (Шағын базалық ішкі жиын, [79]) деп аталады. Әдістің идеясы А. Хупердің көзқарасына жақын және шудың әсері аз болатын шағылыстыратын аймақтарды іздеуден тұрады. Мұндай пиксельдер үшін деформациялармен байланысты фаза атмосфералық және DEM артефактілерімен байланысты фазалық ығысулардан бөлінеді. Атап айтқанда, ол сонымен қатар DEM қателерінің перпендикуляр негізгі сызыққа тура пропорционал фазалық ығысуларды жасайтын фактісін пайдаланады. Атмосфералық шу үшін олар кеңістікте бірқалыпты, бірақ уақыт өте тез өзгереді деп болжанады. Осы негізде атмосфераның үлесі мен қателіктердің DEM-ге үлесі бөлінеді және жойылады, бұл учаскелердің уақытында ауысуымен байланысты құрамдас бөлікті оқшаулауға мүмкіндік береді.

### **4.3 Алматы геодинамикалық полигонының жер бетінің жылжуын радиолокациялық интерферометрия көмегімен бақылау**

#### **4.3.1 Зерттелетін объект үшін радиолокациялық спутниктік суреттердің оңтайлы тандемдік интерферометриялық жұптарын алу үшін ғарыш жүйесін таңдау**

SNAP бағдарламалық құралы 1-деңгейден бастап радарлық кескіндерді өңдеуге және талдауға арналған. Интерферометрия модулі Делфт технологиялық университетінің қызметкерлерінің қатысуымен әзірленді. SNAP бағдарламалық жасақтамасы Java тілінде жүзеге асырылады. GNU GPL бойынша таратылады. Сондай-ақ, SNAP бағдарламалық жасақтамасы - SAR үшін көп миссиялық қолдауды және ESA қолдауына арналған оптикалық миссияларды қоса алғанда, қазіргі BEAM және NEST мүмкіндіктерінің барлығын иеленетін ESA дәлелденген BEAM/NEST архитектурасының одан әрі дамуы. SNAP ESA және SNAPHU бағдарламалық құралы SNAP бағдарламасын іске қосу үшін қажет. SNAPHU – тек Windows және Linux компьютерлерінде іске қосуға болатын фазалық мәндердің екі өлшемді массивінен бір фазалық деректерді қалпына келтіруге арналған тегін бағдарламалық құрал. SNAP ESA-да өңделген деректердің нәтижесін Google Map сияқты Open Street Map қолданбасында нақты уақыт режимінде көрсетуге болады. Сондай-ақ, ArcGIS және QGIS сияқты жетілдірілген бағдарламалық өнімдерде.

Осы диссертациядағы Sentinel интерферометриялық радиолокациялық суреттерді өңдеу келесі алгоритмдер арқылы орындалды:

SNAP ESA бағдарламалық құралын іске қосу;



«АЛМАТЫ ПОЛИГОНЫ» каталогын құру;  
 параметрлері бар файлдарды енгізу;  
 бірлескен тіркелу;  
 Алматы геодинамикалық полигонының ауданын белгілеу;  
 интерферограмманы қалыптастыру;  
 TOPS deburst;  
 Topo phase removal;  
 Goldstein filtering;  
 SNAPHU EXPORT;  
 Файлдар экспортталған папкаға өтіңіз;  
 cmd пәрмен жолын ашыңыз;  
 Экспортталған файлдан пәрменді көшіріп, іске қосыңыз;  
 SNAPHU IMPORT;  
 Интерферограмма фазасын жаймалау;  
 Фазаны жылжуға түрлендіру;  
 Алматы полигонының вертикалды\_жылжуының жаңа жолағын құру;  
 Когеренттігі төмен аймақтарды алып тастау;  
 Геокодтау;  
 Нәтижелерді экспорттау.

Қазіргі уақытта жер бетін радиолокациялық зондтауға арналған аппаратурамен жабдықталған спутниктердің үлкен жиынтығы бар. 4.3-кестеде олардың кейбіреулері туралы мәліметтер келтірілген.

Айта кету керек, бірқатар спутниктер өздерінің ресурстарын өндіруге байланысты түсірілім жасамайды, алайда бұл спутниктерден алынған мәліметтер архивтерде сақталады және оларды тапсырыс беруші талап ете алады.

Кесте 4.3 - Радиолокацияны қолданатын спутниктер

Деректер жинағы	Поляризациялау	Толқын ұзындығы	Уақытты қайта қарау
ERS-1 ERS-2	C-VV	5.7 см	35 күн (тандем: 24 сағат)
JERS-1	L-НН	23 см	46 күн
Radarsat-1	C-НН	5.6 см	24 күн
Envisat ASAR	C- диапазоны	5.6 см	35 күн
ALOS PALSAR	L- диапазоны	23.6 см	46 күн
Radarsat-2	C- диапазоны	5.6 см	24 күн
Sentinel -1	C-диапазоны	5.6 см	48 күн

Жоғарыда келтірілген радиолокациялық зондтау үшін ғарыш аппараттарының тізімінен Sentinel-1 кеңістіктік ажыратымдылығы және бақылау режимінде деректерді алу тиімділігі бойынша ең жақсы сипаттамаларға ие. Төменде олардың техникалық сипаттамалары берілген.

Sentinel-1A - Еуропалық ғарыш агенттігі жүргізетін Коперник бағдарламасының бірінші спутниктік шоқжұлдызы. Бұл миссия бір орбиталық

жазықтықта орналасқан Sentinel-1A және Sentinel-1B деген екі спутник шоқжұлдызынан тұрады. Олар С диапазонында синтетикалық апертуралық радармен жабдықталған. Sentinel-1 жолақтары кез келген ауа райы жағдайында суретке түсіруге мүмкіндік береді. Ол қызметтің жоғары сенімділігіне қол жеткізу және ұзақ мерзімді сериялық қолданбада пайдалану үшін ұзақ мерзімді дәйекті деректер мұрағаттарын жасау үшін бағдарламаланған, қайшылықсыз жұмыс режимінде жұмыс істейді.

Кесте 4.4 – Sentinel-1A спутнигінің техникалық деректері

Параметр	Сипаттама
Қызмет мерзімі	7 жыл (максималды есептеу 12 жыл)
Орбита	Субполярлық Күн-синхронды @ 693 км Циклды 12 күн қайталау 175 циклдегі орбиталар
Орташа жергілікті күн уақыты	18:00 көтерілу түйінінде
Орбиталық кезең	98.6 минут
Тұтылудың максималды ұзақтығы	19 минут
Бағдарлауды тұрақтандыру	3 осьтер тұрақтанды
Бағдарлау дәлдігі	0.01 градус (әр ось)
Номиналды ұшу бағдары	нөлдік доплерлік руль Рульді басқару (-0,8-ден +0,8 градуска дейін)
Ғылыми деректер Жетек сыйымдылығы	1,410 Гигабайт (Қызметтің соңында)
S-Band TT&C Деректер жылдамдығы	4 kbps TC; 16/128/512 kbps <sup>TM</sup> (бағдарламаланатын)
X-Band Деректерді тасымалдау	2 x 260 Mbps

Осы диссертациялық жұмыста Sentinel – 1A ғарыш аппаратының 2017 жылғы қашықтықтан зондтаудың мұрағаттық радиолокациялық деректері бойынша полигон аумағындағы жер бетінің жылжуын тіркеу үшін ғарыштық радиолокациялық интерферометрия (SAR-интерферометрия) әдістерін әзірлеу бойынша жұмыстар жүргізілді.

#### **Интерферометрия үшін Sentinel-1 деректеріне қол жеткізу**

Тегін радар деректерін алуды таңдаудың негізгі ережелері:

1. Sentinel-1 радар деректерін тегін алу үшін келесі сілтемеге өтіңіз - <https://search.asf.alaska.edu>;

2. Қызығушылық аймағын анықтаңыз. Таңдалған аумақтың ені 50°95'15", 50°91'27" бойлық 81°41'89", 81°42'08";

3. Радар суреттерін таңдау күндерін анықтаңыз;

4. Қызықты суреттерді таңдаңыз: Sentinel-1 A/B;

5. Жолды таңдаңыз;

6. Іздеу түймесін басыңыз;

## 7. L1 SingleLook Complex (SLC) жүктеп алыңыз.

1-денгейдегі Бірыңғай көрініс кешені (SLC) өнімдері жерсерік деректерінен алынған сурет жазықтығындағы азимуттық сурет жазықтығындағы көлбеу диапазондағы суреттер болып табылады. Әрбір сурет пикселі күрделі (I және Q) шама мәнімен ұсынылған, сондықтан амплитудасы мен фазасы туралы ақпаратты қамтиды. Әрбір I және Q мәні пикселге 16 бит. Барлық SLC өнімдерін өңдеу барлық қол жетімді сигнал өткізу қабілеттілігін пайдаланып өлшемге бір сканерлеуге әкеледі. Суреттер спутниктік орбита және қатынас деректері арқылы геосілтемеленеді. SLC кескіндері нөлдік Доплер геометриясында шығарылады. Бұл конвенция басқа SAR сенсорларынан қолжетімді стандартты көлбеу диапазондағы өнімдерге ортақ болып табылады.

SM SLC өнімдері әр поляризация арнасына бір кескінді (яғни, бір немесе екі кескін) қамтиды және табиғи пиксель қадамында іріктеледі. Бұл пикселдер арасындағы қашықтық импульстік қайталану жиілігімен (PRF) азимутпен және диапазонда радар таңдау жылдамдығымен анықталады дегенді білдіреді.

IW SLC өнімінде жалпы үш немесе алты кескін үшін бір ішкі жолақ, бір поляризация арнасы үшін бір сурет бар. Әрбір ішкі сурет әр серпінді бөлек SLC суреті ретінде өңделетін сериялар сериясынан тұрады. Азимут-уақыт реті бойынша серияның жеке бағытталған күрделі кескіндері олардың арасында қара реңкпен шектелген бір ішкі жолақты кескінге қосылады. Деректерге тән біртұтас табиғи азимут көрінісіне байланысты, іргелес пакеттердің көрсетілген жер аумағы азимутта аз ғана қабаттасады - үздіксіз жерді қамтуды қамтамасыз ету үшін жеткілікті. Табиғи пиксель аралығымен іріктелетін SM және WV SLC өнімдеріне қарағанда, IW SLC өнімінің барлық ішкі жолақтарындағы барлық жарылыстардың суреттері диапазондағы және азимуттағы пикселдердің ортақ торына қайта үлгіленеді.

EW SLC өнімдерінде барлығы бес немесе он суретке арналған ішкі жолаққа, поляризация арнасына бір сурет бар. Көмекші жолақтағы әрбір TOPSAR EW пакеті жеке SLC суреті ретінде өңделеді және IW жағдайындағыдай көмекші суретке қосылады. IW режимі сияқты, EW табиғи азимут режимі болып табылады, сондықтан EW және IW суреттерінің ұқсас қасиеттері бар. IW SLC өнімдері үшін EW SLC өнімінің барлық ішкі жолақтарындағы барлық пакеттерге арналған кескіндер пиксел, ауқым және азимут бойынша жалпы торға қайта үлгіленеді.

SLC өнімдері барлық жинау режимдері үшін жасалады:

[StripMap SLC](#)

Интерферометриялық кең ауқымды SLC

[Extra Wide SLC](#)

[Wave SLC](#)

#### 4.3.2 SNAP ESA бағдарламалық жасақтамасында Sentinel радиолокациялық деректерін өңдеу

Sentinel радиолокациялық деректері SNAP ESA бағдарламалық жасақтамасында өңделді. SNAP ESA бағдарламалық құралында жұмысты бастамас бұрын ALMATY POLYGON каталогын жасау қажет. Бұл каталогта келесі деректері бар радар файлдары болуы керек: метадеректер, векторлық деректер, типтік нүктелер торы, жылдам көріністер, жолақтар.

Диссертациялық жұмыстың негізгі міндеттерінің бірі зерттеу объектісінің жер бетінің шөгуді радиолокациялық дифференциалды интерферометрия әдістерін қолдану арқылы анықтау және жылжу картасын құру болып табылады.

Өздеріңіз білетіндей, радиолокациялық түсіру нәтижесінде алынған негізгі ақпарат амплитудасы мен фазасы (сигналдың уақыттық кешігуі) болып табылады. Қайталанатын радиолокациялық зерттеу жер бетінің ығысуына байланысты фазалар айырмашылығын анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай жылжуларды әртүрлі әдістерді қолдана отырып, мамандандырылған бағдарламалық өнімдерде радиолокациялық зерттеу деректерін өңдеу кезінде анықтауға болады. Интерферометриялық өңдеу нәтижесінде алынған файл жер бетінің жылжуларының интегралды суретін көрсетеді.

Зерттеу үшін еуропалық Sentinel - 1a, Sentinel - 1b спутнигінен бірнеше рет бақылаулар сериясы пайдаланылды. Суреттердің жалпы саны 40 дана болды. Олар 2017 жылдың желтоқсанынан 2021 жылдың сәуіріне дейінгі кезеңді қамтыды.

Sentinel-1a ғарыш аппаратының пайдаланылған көріністерінің саны зерттеу объектісінде 40 дана болды (Кесте 4.5).

Кесте 4.5 - Sentinel-1a түсіру күндері

№	Күн	Перпендикуляр (м)	Уақытша (күндер)
1	2017-12-20	0	0
2	2017-12-27	12	-12
3	2018-01-01	0	0
4	2018-01-08	48	-12
5	2018-01-25	0	0
6	2018-02-06	16	18
7	2018-02-18	0	0
8	2018-02-25	104	-12
9	2018-03-09	0	0
10	2018-03-14	84	6
11	2018-04-07	0	0
12	2018-04-14	-22	0
13	2018-04-19	0	0
14	2018-04-26	-88	-12
15	2018-05-08	0	0
16	2018-05-13	-116	26
17	2018-05-20	0	0

			Кестенің жалғасы
18	2019-05-25	-106	48
19	2019-06-01	0	0
20	2019-06-06	102	24
21	2019-06-13	0	0
22	2019-06-18	-96	12
23	2019-06-30	0	0
24	2019-07-07	-102	0
25	2019-07-12	0	0
26	2019-07-19	-62	24
27	2019-07-24	0	0
28	2019-07-31	-111	48
29	2020-01-03	0	0
30	2020-01-10	-64	12
31	2020-03-03	0	0
32	2020-03-10	-8	48
33	2020-04-20	0	0
34	2020-04-27	25	12
35	2020-06-07	0	0
36	2020-06-14	-65	48
37	2021-04-27	0	0
38	2021-05-09	-9	12
39	2021-06-14	0	0
40	2021-06-26	-50	12

Жүргізілген түсірістердің контуры сур. 4.6 көрсетілген. Sentinel 1a спутнигінен Алматы геодинамикалық полигонының аумағына дейінгі 17 жолақты радиолокациялық суреттер сериясының мысалын пайдалана отырып, технологиялық өңдеу схемасын толығырақ қарастырайық.

SNAP бағдарламалық құралында радиолокациялық суреттерді өңдеу алдында келесі тармақтарды ескеру қажет:

1. Кеңістіктік базалық сызық (Warp) белгілі бір сыни мәннен аспауы керек (Sentinel-1 IW үшін – шамамен 200 м). Әдетте, бұл талапты бір салыстырмалы орбитаға қатысты бейнелер қанағаттандырады. SENTINEL-1 спутниктерінің әрқайсысы планетаны 12 күндік циклде осындай 175 орбитаға «желдейді».

2. Коперник іздеу нәтижелерінен салыстырмалы орбита санын табыңыз: Өнім мәліметтерін көру > Өнім > Салыстырмалы орбита

3. Суреттер спутниктік қозғалыстың бір түріне сілтеме жасау керек: көтерілу немесе төмендеу (өсу/төмендеу).

Суреттер бір-бірінен тым ұзақ уақыт бойы бөлінбеуі керек. Әйтпесе, кескіндердің уақытша декорреляциясы орын алады.

### **Sentinel Toolbox көмегімен деректерді ашу**

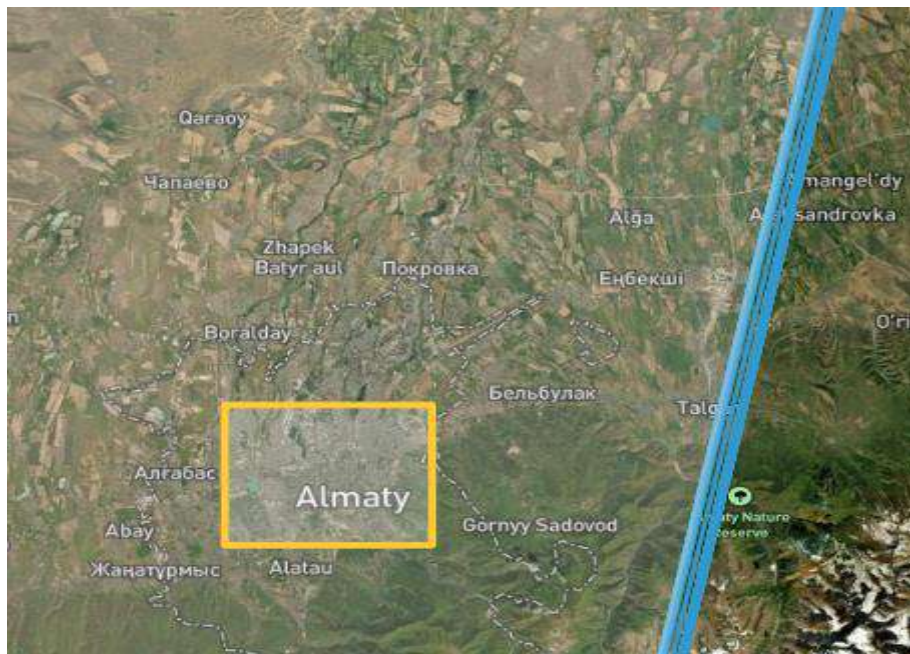
1. Жұмыс үстелі белгішесін басы арқылы Sentinel Toolbox (SNAP) іске қосыңыз.

2. Sentinel Toolbox интерфейсінде «Файл» мәзіріне өтіп, «Ашу» өнімді таңдаңыз.



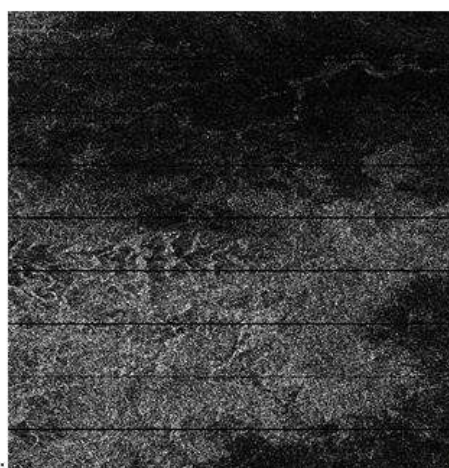
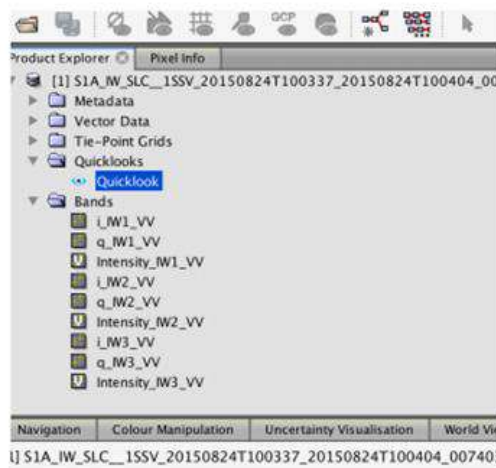
3. Sentinel-1 SLC файлы бар папканы таңдап, .zip файлын екі рет басыңыз (файлды ашпаңыз - бағдарлама мұны сіз үшін жасайды.).

4. Sentinel құралдар тақтасының Product Explorer терезесі файлды қамтиды. Суретке қатысты ақпаратты қамтитын файлдағы каталогтарды көру үшін файлды екі рет басыңыз (сур.4.7) [80]:

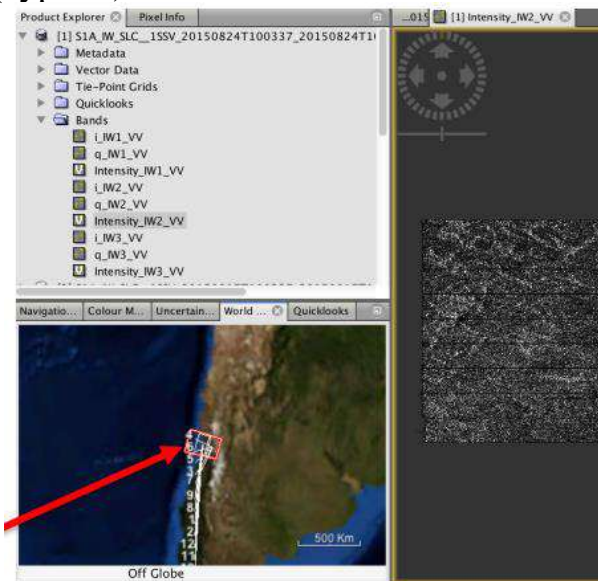


Сурет 4.6 - Алматы қаласының аумағын Сентинель 1a суретімен қамту схемасы

- Метадеректер: орбиталық деректермен байланысты параметрлер;
- Бекіту нүктесінің торлары: ендік/бойлық интерполяциясы, еңіс бұрышы және т.б.;
- Жылдам көрініс: радар координаттарындағы бүкіл көріністің суреттерін көру;
- Жолақтар: әрбір «i» және «q» ішкі жолағы және қарқындылығы үшін күрделі мәндер (қарқындылық амплитуданың квадраты - виртуалды жолақ).



Сурет 4.7 - SNAP бағдарламалық құралында радар деректерін ашу  
 5. Төменгі сол жақ бұрыштағы Worldview суреті таңдалған суреттің бас бармақ ізін көрсетеді (сур.4.8).



Сурет 4.8 - Worldview суретті ашу

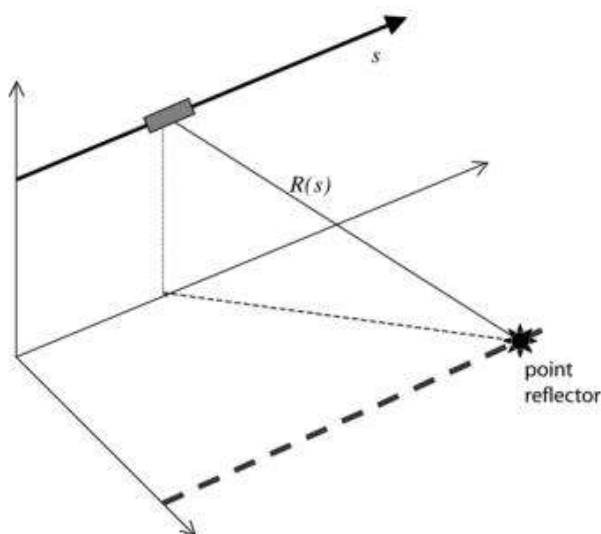
Радар деректерін алғаннан кейін және оларды SNAP бағдарламалық құралында ашқаннан кейін кескінді өңдеу процесі келесідей болады (сур. 4.9).

### Фокустау

Фокустау процесі айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет етеді, бірақ оның алгоритмі өте қарапайым. SAR кескінін фокустау кезінде (синтетикалық апертуралық радар арқылы алынған) SAR кескінінің бірінші дұрыс фокусы сур. 4.10 көрсетілгендей синтетикалық апертураның ұзындығы бойынша диапазонға тураланған жаңғырықтардың когерентті қосындысын қамтиды.



Сурет 4.9 - SNAP бағдарламалық құралында радар мәліметтерін өңдеу процесі



Сурет 4.10 - Жердегі нүктелік рефлектордың үстінен ұшатын SAR антеннасының геометриясы

$R$  диапазоны жерге байлаулы координаттар жүйесіндегі орбитаның дәл координаталарымен өлшенетін  $s$  уақыт аралығынан өзгереді. Сондықтан  $R$  қашықтығы  $S$  уақыт функциясы ретінде есептеледі:

$$R(s) = R_0 + \dot{R}(s - s_0) + \frac{\ddot{R}}{2} \dots, \quad (1)$$

мұнда  $R_0$ - ғарыш аппаратының шағылыстырғыш нүктеге ең жақын жақындау қашықтығы;

$s_0$  - ең жақын жақындау уақыты.

Үш параметр  $R_0$ ,  $\dot{R}$  және  $\ddot{R}$  суретті фокустау үшін қажет. SAR процессоры тұрғысынан олар жақын диапазон  $R_0$ , Doppler центроид деп аталады  $f_{DC}$  және Доплер жиілігі  $f_R$ , бұл көпмүшенің коэффициенттерімен байланысты:

$$f_{DC} = \frac{-2\dot{R}}{\lambda} \text{ или } f_R = \frac{-2\ddot{R}}{\lambda}, \quad (2)$$

мұнда  $\lambda$ - радардың толқын ұзындығы.

Радар суреті нөлдік Доплерге бағытталған кезде,  $s_0$  позициясындағы диапазон жылдамдығы, анықтамасы бойынша нөлге тең болады.

Әрі қарай жер бетіндегі әрбір нүкте (ендік/бойлық, топография) радардың қашықтық/азимуттық координаталарымен салыстырылады. Егер радар кескіні Доплер центроидіне бағытталған болса, онда (2) теңдеуді осы Доплер коэффициентінде нөлдік емес диапазонды есептеу үшін пайдалануға болады:

$$R = -\frac{f_{DC}}{2}, \quad (3)$$

Жоғарыда көрсетілген түрлендірулердің нәтижесінде қашықтық/азимуттық және ендік/бойлық жүйелеріндегі фаза, амплитуда және координат сілтемелері бар күрделі SLC файлы жасалады (4.11-сурет)

### ***Радарлық суреттерді қоса тіркеу***

Белгілі болғандай, радиолокациялық интерферометрия әдісі сурет жұптардың суперпозициясына негізделген. Бұл жағдайда интерферограммаларды құрудың негізгі шарты сәйкес рельеф нүктелерінің мәндерін алып тастау болып табылады. Бірлескен тіркеу кезеңі қолжетімді SLC кескіндерінде көрініс сәйкестігін орындауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда көріністер нүктелердегі шағылысқан сигналдар қарқындылығының қол жетімді мәндеріне сәйкес біріктіріледі. Кескінді қоса тіркеу негізгі көрініске қатысты барлық түсірілімдер үшін орындалады. Бұл кезеңде қызығушылық тудыратын көрініс фрагменті кесіледі және дайындалған басты көрініске барлық көріністердің пиксельді туралауы (қабаттамасы) орындалады.

Бірлескен тіркеу келесі тәртіппен жүзеге асырылады (сур. 4.11):

- Интерферометриядағы бірінші қадам екі SLC кескінін біріктіру болып табылады;

- Жоғарғы мәзірден Radar - Coregistration - S1 TOPS Coregistration - S1 TOPS Coregistration таңдаңыз;

- Оқу бөлігінде Бірінші сурет 20150824 SLC және Оқу (2) бөлігінде Екінші сурет 20150917 SLC параметрін таңдаңыз (сур. 4.12).

- Бір уақытта тек бір ішкі бағдарламаны өңдеуге болады. TOPSAR-Split және TOPSAR-Split (2) бөлімдерінде Subswath IW2 таңдаңыз (сур. 4.13); (Барлық жолақтар мен VV таңдаңыз, өйткені бір ғана поляризация бар);

- Орбиталарды қолдану папкасында файлдар әдепкі ретінде қалдырылуы керек;

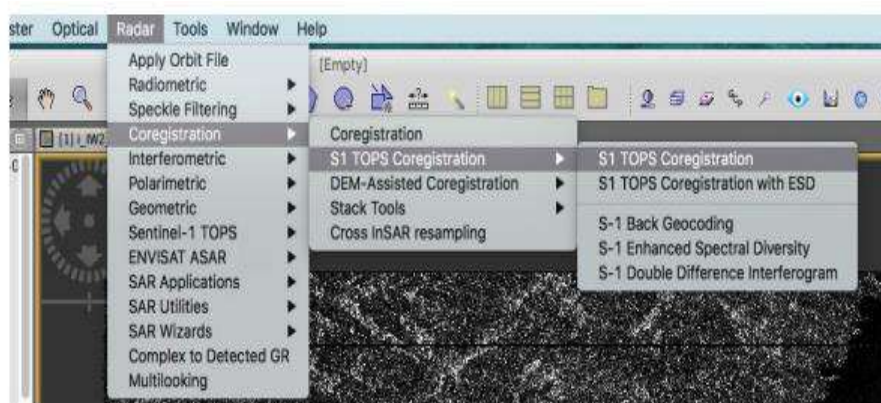
- Кері геокодтау деректерді өңдеу үшін пайдаланылатын DEM анықтайды

- әдепкіді пайдаланыңыз;

- Жазу папкасы шығу файлы көрсетеді. Әдепкі параметрді пайдаланыңыз.

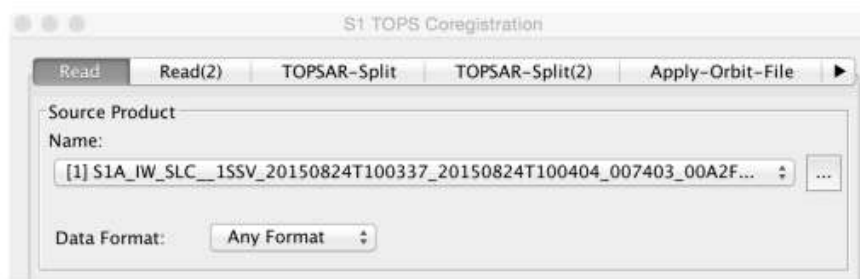
Тіркелген файл атауының соңында orb\_stack болады;

- Іске қосу түймесін басыңыз.

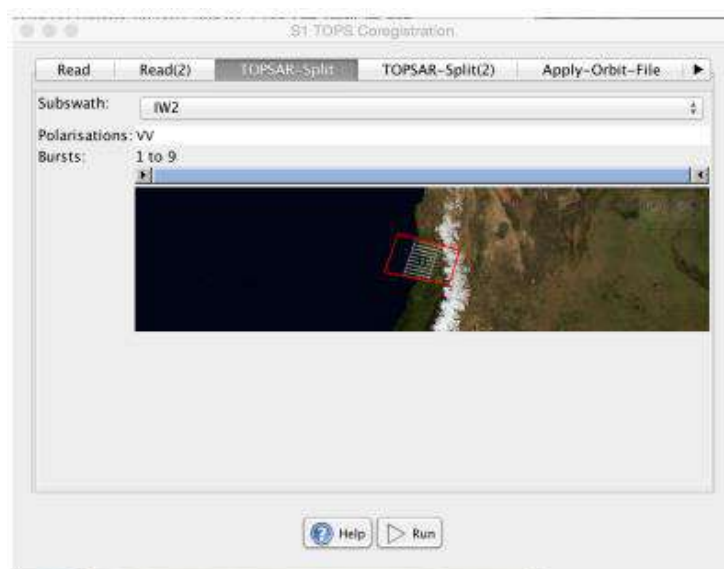


Сурет 4.11- Радиолокациялық суреттерді қоса тіркеу процесі





Сурет 4.12 - Бірлескен тіркеу кезінде суреттерді таңдау



Сурет 4.13 - Бірлескен тіркеу кезінде жолақтарды таңдау

Нақты бірлескен тіркеуден кейін суреттің әрбір нүктесі сол күйдегі басқа нүктеге сәйкес келеді.

### ***Интерферограмманы қалыптастыру***

SAR интерферограммасын алу үшін нысанның үшінші өлшемі (биіктігі) туралы ақпаратты ашу үшін немесе екі алу арасындағы объектілердің шағын орын ауыстыруын өлшеу үшін екі SAR кескінін біріктіру керек. Демек, интерферограмма кедергі үшін бір жердің екі SAR кескінінің фазаларын жасау арқылы алынған кескін болып табылады.

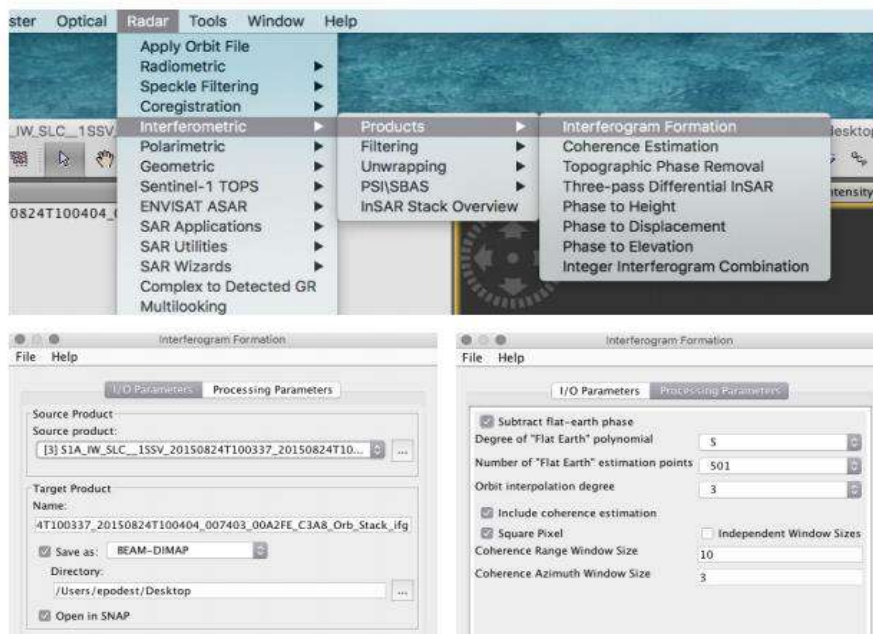
Осылайша, бірлескен тіркеуден кейін бірінші кескінің әрбір күрделі пикселін екінші суреттегі сол пиксельдің күрделі түйіндісіне көбейту арқылы күрделі интерферограммалар түзіледі. Алынған интерферограмма күрделі кескін болып табылады. Интерферограмманың интенсивтілігі кескіндердің өзара байланысының өлшемі болып табылады. 4-суреттегі жолақтарды мұқият бақылау жолақтар жақындаған сайын топографиялық немесе биіктіктің өзгеретінін көрсетеді.

### ***Интерферограмманы алу процесі***

1. Интерферограмма жасау үшін негізгі мәзір жолағына өтіп, Радар - Интерферометриялық - Өнімдер - Интерферограмма қалыптастыру (сур. 4.14) таңдаңыз.;

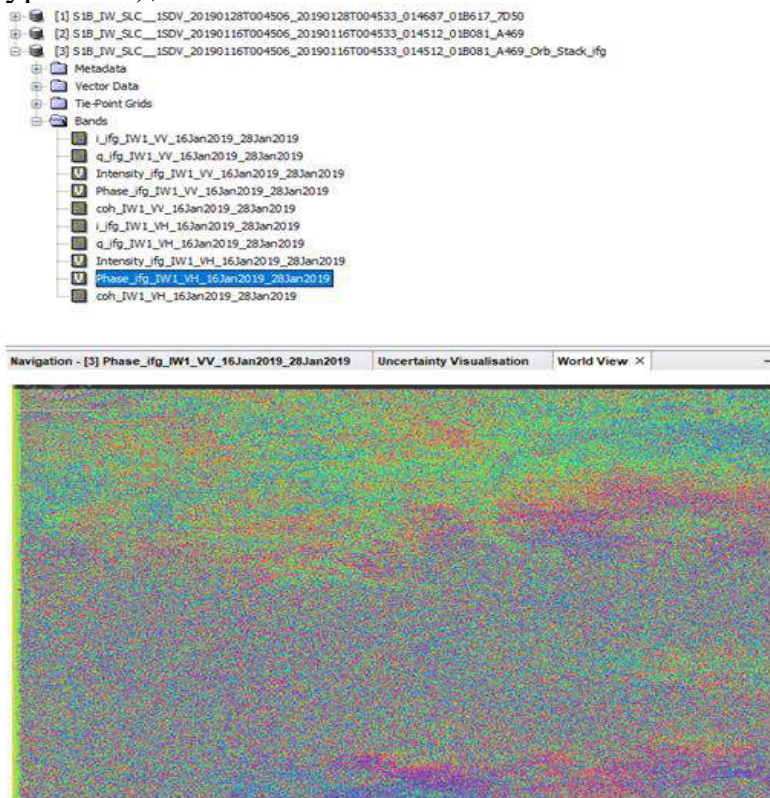


2. Кіріс/шығыс параметрлері қойындысында түпнұсқа өнімді тіркелген файл ретінде орнатыңыз. Мақсатты өнім.ifg деп аяқталатын шығыс файл атауы болып табылады;
3. Өңдеу параметрлері папкасында әдепкі мәндерді пайдаланыңыз;
4. «Іске қосу» түймесін басыңыз;



Сурет 4.14 - Интерферограмманы алу процесі

5. Нәтижелерді көрсету – кескіннің қарқындылығы, фазасы және үйлесімділігі (сур. 4.15);



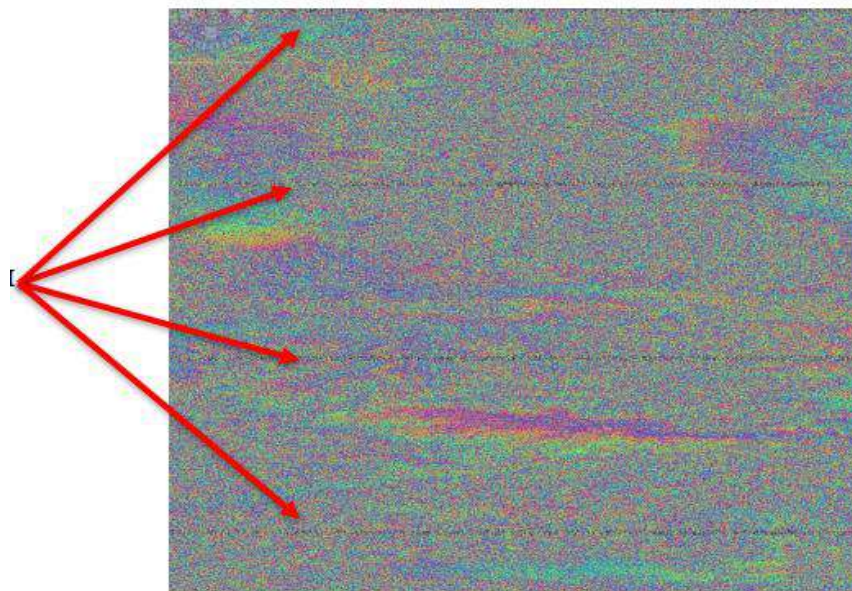
Сурет 4.15 - Кескін қарқындылығы, фаза және когеренттілік дисплейі

6. Интерферограмма бұрынғысынша күрделі интерферограмма (қайтарылған интерферограмма) болғандықтан ойдағы және нақты бейнелер әлі де бар;

7. Қарқындылық екі қарқындылықтың орташа мәні болып табылады;

8. Фаза топографиялық фаза мен беттік деформация фазасының қоспасы болып табылады;

9. Интерферограммада түпнұсқа жиектер (суреттегі жіңішке сызықтар) бар екенін ескеріңіз (сур. 4.16) [80, 65 бет];



Сурет 4.16 - Алынған интерферограммадағы жіңішке сызықтарды көрсету

Интерферометриялық жиектер толық  $2\pi$  циклін білдіреді. жіңішке сызықтар интерферограммада ерікті түстердің циклдері ретінде пайда болады, әрбір цикл сенсордың толқын ұзындығының жартысын білдіреді. Екі нүкте арасындағы салыстырмалы жер қозғалысын жиектерді санау және толқын ұзындығының жартысына көбейту арқылы есептеуге болады. Жиектер бір-біріне неғұрлым жақын болса, соғұрлым жерге жүктеме күшейеді.

Тегіс рельеф жүйелі түрде орналасқан, параллельді жиектер сериясын шығаруы керек. Параллельді жиек үлгісінен кез келген ауытқу топографиялық вариация ретінде түсіндірілуі мүмкін.

Бір оператордың көмегімен сіз интерферограмма сияқты бірдей өңдеу қадамында когеренттілік бағасын жасай аласыз.

Негізгі және қосалқы кескіндер арасындағы үйлесімділік кескіндердің ұқсастықтары бар-жоғын және сондықтан DEM құруға жақсы үміткерлер екенін көрсете алады. Когеренттікті жоғалту нашар интерферометриялық нәтижелерге әкелуі мүмкін. Когеренттікті жоғалту уақытша (алу арасындағы уақыт), геометриялық (орбита қателері), көлемдік (өсімдік) немесе өңдеуден туындауы мүмкін.

Бір оператордың көмегімен интерферограмма сияқты бірдей өңдеу қадамында когеренттілік бағасын жасауға болады.

Негізгі және қосалқы кескіндер арасындағы сәйкестік кескіндердің қатты ұқсастығы бар-жоғын және сондықтан DEM құруға жақсы үміткерлер екенін айта алады. Когеренттікті жоғалту нашар интерферометриялық нәтижелерге әкелуі мүмкін. Когеренттіліктің жоғалуы уақытша (айналым арасындағы уақыт), геометриялық (орбитадағы қателер), көлемдік (өсімдік) немесе өңдеуден туындауы мүмкін.

$$\gamma = \gamma_T \cdot \gamma_G \cdot \gamma_V \cdot \gamma_P$$

10. Әрі қарай өңдеу үшін жолақтарды бір үздіксіз кескінге біріктіреміз.

### TOPS Deburst

TOPS Deburst процесі интерферограмманы тегістеу үшін барлық жиектерді бір кескінге дұрыс біріктіруі керек. Бұған топографияны алып тастау арқылы микрограмм процесі арқылы қол жеткізіледі.

### Интерферограмманы тегістеу үшін жіңішке сызықтарды біріктіру процесі

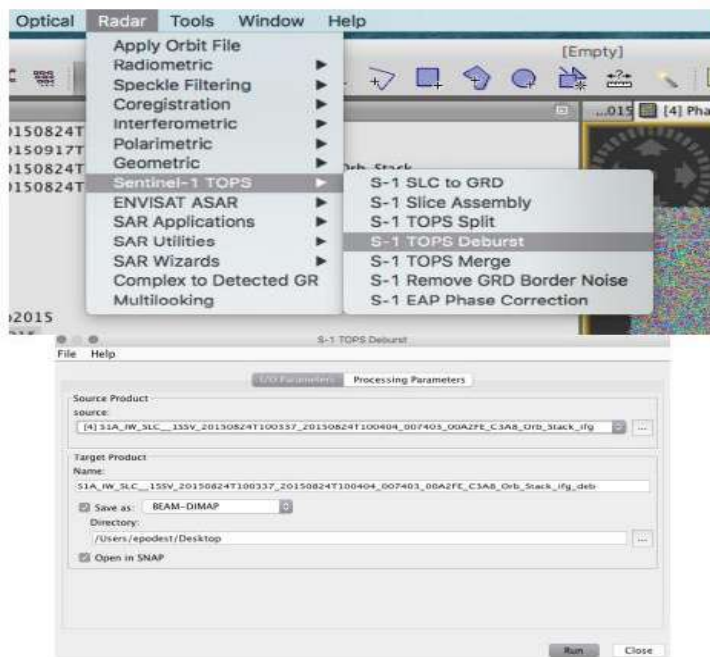
1. TOPS Deburst функциясында жолақтарды біріктіру үшін негізгі мәзірге өтіп, Radar - Sentinel-1 TOPS - Sentinel-1 TOPS Deburst тармағын таңдаңыз (сур. 4.17);

2. Кіріс/шығыс параметрлері қойындысында.ifg файлы ретінде көзді таңдаңыз. Мақсатты өнім .deb деп аяқталатын шығыс файлының атауы болып табылады.;

3. Өңдеу параметрлері қойындысында әдепкі мәндерді пайдаланыңыз;

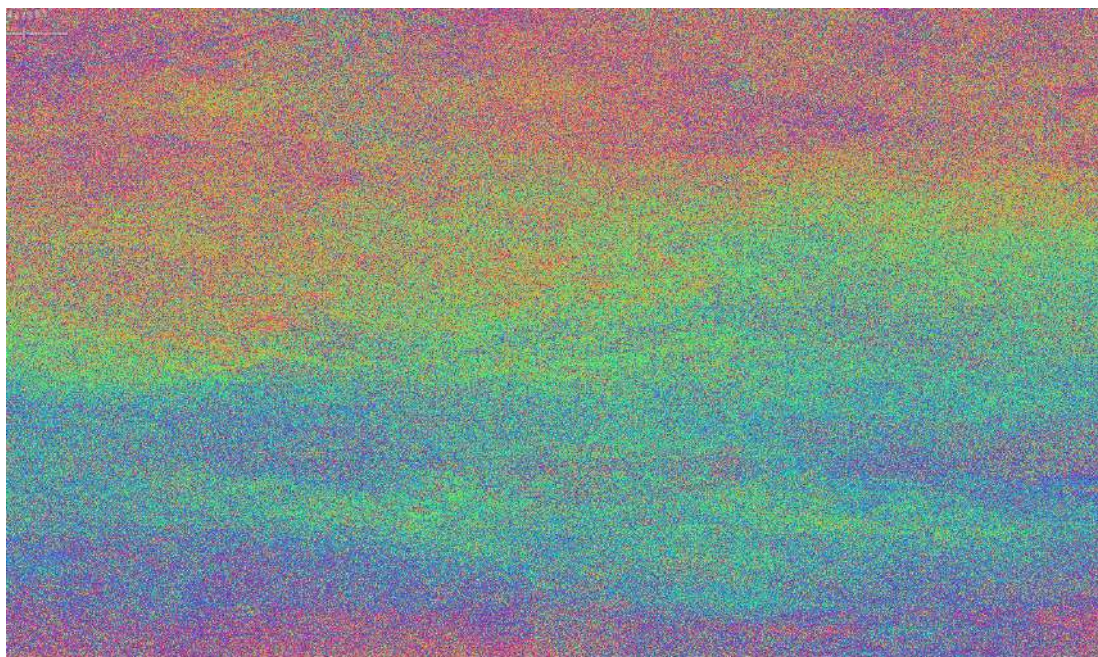
4. Іске қосу түймесін басыңыз;

5. Өңдеуден кейін алынған кескінді ашыңыз. Жолақтар бір-бірінің үстіне қойылғандықтан, суреттегі жіңішке сызықтар жоғалып кеткенін ескеріңіз (сур. 4.18).



Сурет 4.17 - TOPS Deburst функциясындағы жолақтарды біріктіру процесі





Сурет 4.18 - TOPS Deburst процесінің соңғы кескіні

### **Торо phase removal (Топографиялық фазаны жою)**

Интерферограммаларды топографиялық фазаларды жою арқылы тегістеуге болады. Оператор анықтамалық DEM негізінде интерферограмманы модельдейді және оны өңделген интерферограммадан шығарады.

#### **Торо phase removal алу процесі**

1. DTM көмегімен топографияны ескере отырып фазаларды есептеңіз. Негізгі мәзірге өтіп, Радар - Интерферометриялық - Өнімдер - Топографиялық фазаны жою тармағын таңдаңыз (сур. 4.19);

2. Енгізу/шығару параметрлері папкасында .deb файлы ретінде таңдаңыз. Мақсатты өнім - соңында .dinsar болатын шығыс файл атауы.

3. «Өңдеу опциялары» қойындысында пайдаланылған DEM көрсетіңіз. Бұл жағдайда әдепкі мәнді пайдаланыңыз. Шығыс жолақтарын жасау үшін топографиялық фаза диапазоны мен биіктік ауқымын таңдаңыз.

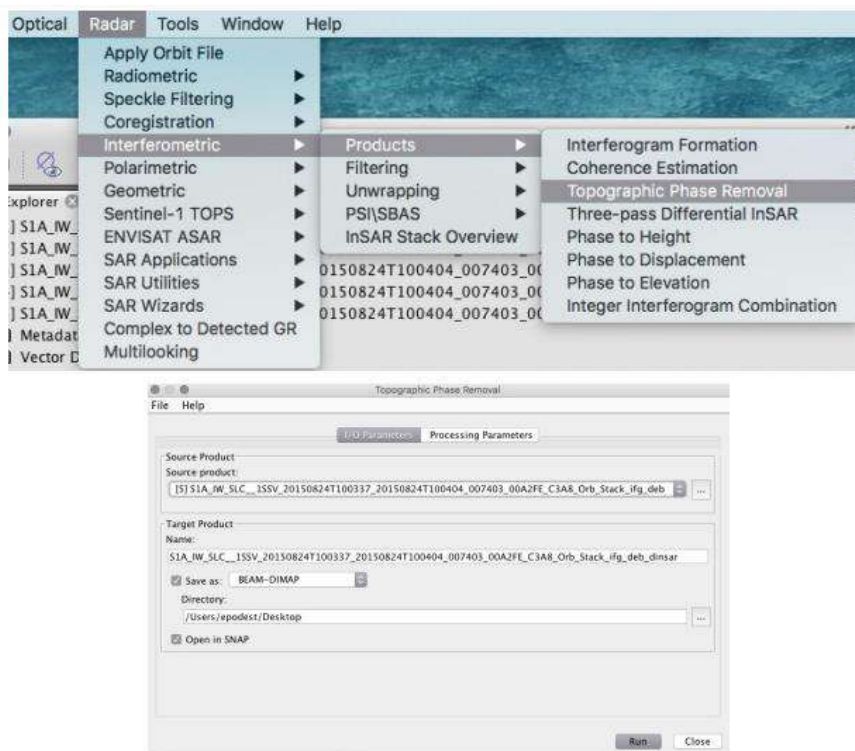
Нәтижесінде есептелген фаза деформацияны көрсетеді. Сондай-ақ, интерферограмма әлі де өте шулы екенін ескеріңіз. Фазада көптеген дақтар бар. Фазаны көруді жеңілдету үшін сүзуге болады.

#### **Фильтрлеу (Goldstein filtering)**

Радиолокациялық интерферограммадағы фазалық шу интерферометриялық когеренттілікке және интерферограмманың пайда болуына тікелей байланысты. Сондықтан оңтайлы радиолокациялық интерферограмма сүзгісі интерферометриялық когеренттілік пен кескіндер саны туралы ақпаратты қамтуы керек. Голдштейн сүзгісі интерферограмманың кішігірім қабаттасатын бөлімдерінің қарқындылығын тегістейді.

#### **Goldstein filtering өңдеу процесі**

1. Кескінді фильтрлеу үшін негізгі мәзірге өтіп, Радар - Интерферометрия - Фильтрлеу - Голдштейн фазасын сүзу (сур. 4.20) таңдаңыз.;

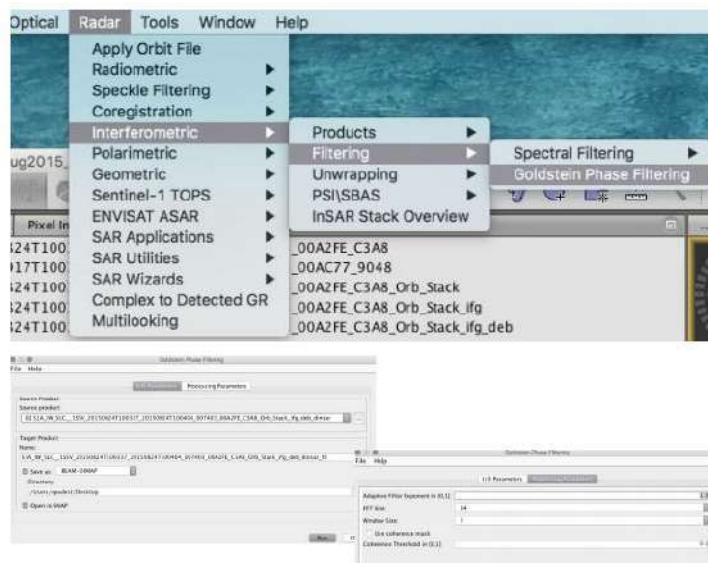


Сурет 4.19 - Topo phase removal процесін іске қосу

2. Кіріс/шығыс параметрлері қойындысында .dinsar файлы ретінде көзді таңдаңыз. Мақсатты өнім.flt деп аяқталатын шығыс файл атауы болып табылады;

3. Өңдеу параметрлері папкасында әдепкі мәндерді пайдаланыңыз. Көбірек сүзгілеу қажет болса, сүзгі көрсеткіші жоғары болуы мүмкін;

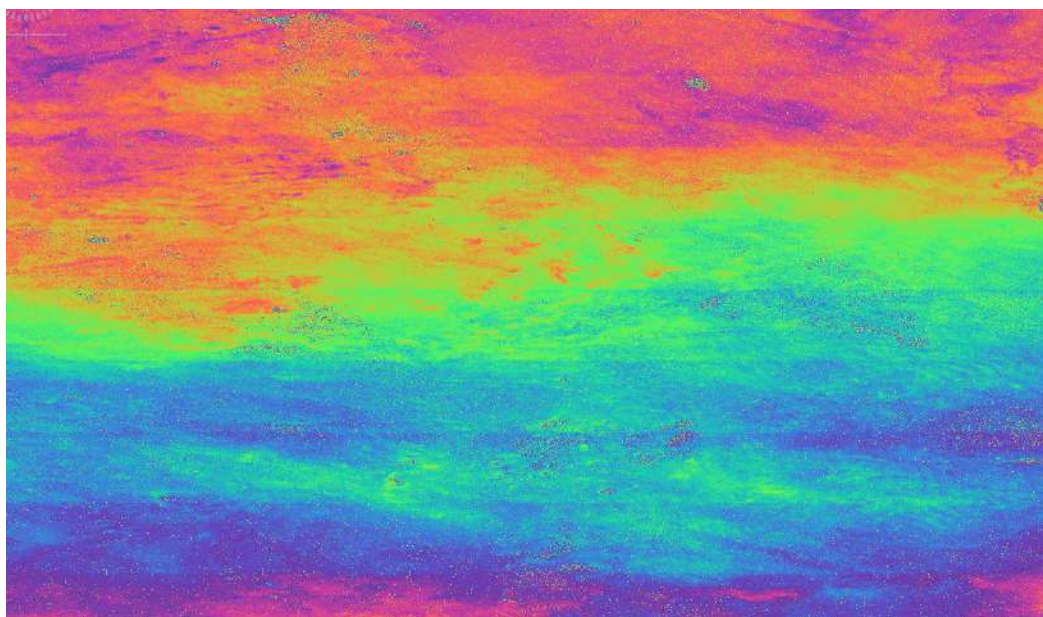
4. Іске қосу түймесін басыңыз;



Сурет 4.20 - Goldstein filtering іске қосу процесі



5. Фильтрленген фаза әлдеқайда таза көрінеді (сур. 4.21). Жоғарғы жағында көбірек жолақтар бар, өйткені шөгү дәл осы жерде болды



Сурет 4.21 - Goldstein filtering соңғы нәтиже

### **Фазалық жаймалау**

#### **SNAPHU EXPORT**

SNAP 6.0 бағдарламалық құралы орналастыру кезеңін қамтымайды. Интерферограмманы экспорттаудың және үшінші тараптың Snaphu бағдарламасының көмегімен орналастырудың жолы бар.

#### **SNAPHU EXPORT бағдарламалық құралында өңдеу процесі**

1. Негізгі мәзірдің жоғарғы жолағынан Радар, содан кейін Интерферометрия, содан кейін (Орамнан шығару) Орналастыру, содан кейін Snaphu экспорттау тармағын таңдаңыз;

2. File Explorer арқылы экспортталған деректерді қамтитын папкаға өтіңіз;

3. Пәрмен терминалында CD файлы Sentinel-1 Toolbox ішінен ықшамдалмаған SNAPHU экспорттау файлдары бар каталогқа жіберіңіз;

4. snaphu.conf файлы ашу;

5. snaphu.conf пәрменін көшіріп, іске қосыңыз. Есептер уақытты алады!

6. Біз пәрменді терминалға енгіземіз және оны орындауға жібереміз (сур. 4.22);

Орналастыру көп жад пен уақытты қажет етеді.

Егер еншілес процестен күтпеген немесе қалыптан тыс шығу қатесі орын алса, SNAPHU-ге экспорттау кезінде жол және баған мәндерін 10-нан (әдепкі) 20-ға дейін арттырыңыз. Мәселені шешудің қалаулысы: ЖЖК көлемін көбейтіңіз.

```

Командная строка - snaphu -f snaphu.conf Phase_ifg_VV_16Jan2019_28Jan2019.snaphu.img 21045
Microsoft Windows [Version 10.0.17134.1304]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation), 2018. Все права защищены.

C:\Users\1>cd /c: \Users\1\Desktop\ДИССЕРТАЦИЯ\космические снимки\обработанные\2019\2019\new\S1B_IW_SLC_1SDV_20190116T004506_20190116T004533_014512_01B081_A469_Orb_Stack_ifg_deb_dinsarflt

C:\Users\1\Desktop\ДИССЕРТАЦИЯ\космические снимки\обработанные\2019\2019\new\S1B_IW_SLC_1SDV_20190116T004506_20190116T004533_014512_01B081_A469_Orb_Stack_ifg_deb_dinsarflt>snaphu -f snaphu.conf Phase_ifg_VV_16Jan2019_28Jan2019.snaphu.img 21045

snaphu v1.4.2
27 parameters input from file snaphu.conf (84 lines total)
Logging run-time parameters to file snaphu.log
Creating temporary directory snaphu_tiles_15308
Unwrapping tile at row 0, column 0 (pid 19108)
Unwrapping tile at row 0, column 1 (pid 984)
Unwrapping tile at row 0, column 2 (pid 9864)
Unwrapping tile at row 0, column 3 (pid 13568)

```

Сурет 4.22 - Фазалық жаймалауды өңдеу процесі

### 7. SNAP бағдарламалық жасақтамасына импорттау:

- SNAPHU өңдеуінен кеңейтілген фазаны импорттау үшін «Радар» - «Интерферометриялық» - «Ораудан шығару» - «Snaphu импорты» таңдаңыз.;
- Оқу фазасы папкасында интерферограмма өнімін таңдаңыз;
- Ашылған кезенді оқу бөлігінде Snaphu экспорттау папкасына өтіп, UnwPhase\_XXX.hdr файлды таңдаңыз;
- Экспортталған өнімдер, егер олар zip файлына тасымалданса, шығарылуы керек;
- Орналастырылған өнімді бастапқы интерферограмманың басқа жиектерін қоспай жасағыңыз келсе, Snaphu Import бөлігіндегі мақсатты өнім опциясында оралған интерферограмманы САҚТАМАУ үшін құсбелгіні қойыңыз. Әдепкі бойынша шығыста барлық бастапқы жолақтар сақталады;
- Жазу бөлігінде қажетті шығыс файлының атын енгізіңіз.

### Жылжуды түрлендіру кезеңі

Фазаны орын ауыстыруға түрлендіру үшін келесі пәрмендерді қолдану керек: Радар - Интерферометриялық - Өнімдер - Фазадан орын ауыстыру. Осы процестің нәтижесінде радардың (Line-of-sight, LOS) көру сызығының бағыты бойынша ығысуды алуға болады.

LOS-орын ауыстырулардың оң мәндері жер бетінің радарға қарай қозғалысын білдіреді (көтеру), теріс мәндер радардан алыстау (төмендеу, шөгу).

Жылжу формуласы арқылы «Фазадан жылжуға» командасы арқылы есептеледі :

$$\Delta R = -\frac{\lambda}{4\pi} \phi_{diff}$$

және минус белгісімен алынған және метрмен өлшенген LOS жылжуын білдіреді.

Жылжулар арасындағы қатынас нысаны бар [124]:

$$\Delta R = \Delta y \sin \theta - \Delta z \cos \theta,$$

мұндағы белгілер суреттен алынған.

Осылайша, тік жылжулардың есептеу формуласы болып табылады:

$$\Delta z = -\frac{\lambda}{4\pi \cos \theta} \phi_{diff}$$

Жасалған интерферограммадан тік жылжуларды есептеу келесі кадамдарды қамтиды:

1. Жылжуларды есептеу үшін формуласы бар жаңа жолақ жасаңыз.
  2. Одан төмен когерентті аймақтарды алып тастаңыз.
  3. Бекітілген деп есептелетін нүктені таңдап, оның биіктігінің мәнін табыңыз.
  4. Бұл биіктіктің мәнін кескіннің барлық нүктелерінен алып тастаңыз.
- 3 және 4-қадамдар қажет емес, өйткені бекітілген нүктені таңдау жеке тривиальды емес тапсырма болып табылады.

### 1. Жаңа топ құру

1. Оралмаған фазасы бар жолақты таңдаңыз (unwrapped phase).
2. Математикалық жолақ опциялары.
3. Виртуалды құсбелгіні алып тастаңыз (қабатты «нақты» етіңіз). Жаңа топтың атын атайық: `vertical_displacement_almaty_polygon`.
4. Өрнекті өңдеу... түймешігін басып, тік жылжуды есептеу формуласын енгізіңіз:

```
(Unw_Phase * wavelength_in_cm) / (-4 * PI * cos(rad(incident_angle)))
```

Unw\_Phase — ағымдағы өнімнен кеңейтілген интерферограммасы бар жолақтың атауы.

incident\_angle Tie-Point Grids-дан алынған. Бұл мәндерді қосу үшін формуланы енгізу кезінде құсбелгіні қою керек Show Tie-Point Grid.

wavelength\_in\_cm — толқын ұзындығы сантиметрмен (см). Sentinel-1 үшін бұл 5,55 см.

Нәтиже сантиметрдегі тік жылжу болады.

Виртуалды құсбелгіні алып тастау керек, өйткені виртуалды жолақтар өңдеудің келесі кезеңдерінде (мысалы, геокодтау кезінде) ескерілмейді. Виртуалды жолақтың белгішесі «V» әрпімен белгіленген (RMB, Convert Band виртуалды жолақты нақтыға түрлендіруі керек, бірақ ол дұрыс жұмыс істемейді).

Бірлік өрісіне өлшем бірлігін енгізіңіз, мысалы, сантиметр. Содан кейін бұл бірліктер Google Earth жүйесіндегі түсті белгілерде көрсетіледі. Сондай-ақ, жолақты жасағаннан кейін Бірлікті қосуға болады: RMB, Сипаттар – Бірлік.

SNAP бағдарламалық құралы S1 TOPS Coregistration сатысында суреттің қайсысын Master, ал қайсысы Slave жасау керектігін дербес таңдайды. Сондықтан, метадеректерді пайдаланып Master және Slave суреттерінің уақыт ретін тексеру керек. Егер Slave суреті Мастерден кейінірек алынғаны анықталса, формуланы -1 көбейту арқылы түзету қажет.

### 2. Когеренттігі төмен аймақтарды алып тастау

Параметрлерде `vertical_displacement_almaty_polygon` өрісінде `valid pixel expression` пішіннің логикалық шартын көрсетіңіз:

`coh_HH_11Feb2008_04Mar2008 > 0.6`

`coh_HH_11Feb2008_04Mar2008` — топтың атауы келісілген болса, оны алдымен көшіру керек (Parameters copy Name).

Когеренттілік шегі өзгереді және шамамен 0,3-тен басталады.

Енді бізде екі суреттің арасында салыстырмалы тік жылжу бар.

### **3. Ауысу нөлге тең нүктені таңдау**

`Vertical_displacement_Almaty_geodynamic_polygon` топтың аты деп есептейік, және нүктенің жылжу (биіктігі) 15 (Pixel Info іздеу).

### **4. Биіктік мәндерін алу**

1. `Vertical_displacement_Almaty_geodynamic_polygon` белгілеңіз.

2. Band Math параметрлері, Виртуалды құсбелгіні алып тастаңыз. Жаңа топтың атын: `vertical_displacement_Almaty_geodynamic_polygon_ref` атайық.

3. Өрнек өрісіне жазыңыз:

`vertical_displacement_Almaty_geodynamic_polygon - 1`

Енді бізде абсолютті тік ығысу бар, яғни, бекітілген нүктеден ауытқу.

Егер тек LOS ауысымдары қызығушылық тудырса, орамды емес фазадан когеренттігі төмен аймақтарды алып тастауға тырысу керек. Фазадан орын ауыстыру операциясының өзі параметрлерді таңдауды қамтымайды [81].

### **Геокодтау**

Көріністегі топографиялық өзгерістерге және спутниктік сенсордың қисаюына байланысты SAR кескіндерінде қашықтық бұрмалануы мүмкін. Жер бедерін түзету кескіннің геометриялық көрінісі шынайы әлемге барынша жақын болуы үшін осы бұрмаланулардың орнын толтыруға арналған. Sentinel-1 өнімдерін геокодтау үшін біз Range Doppler Terrain Correction операторын қолданамыз, ол Range Doppler орто-конверсия әдісін жүзеге асырады.

Doppler Elevation Correction операторын қосу үшін Radar - Geometry - Elevation Correction - Doppler Elevation Correction таңдаңыз.

Кіру/Шығу қойындысында келесі опцияларды орнатыңыз:

Деректерді

енгізу:

`S1B_IW_SLC__1SDV_20190116T004506_20190116T004533_014512_01B081_A469_Orb_Stack_ifg_deb_dinsarflt_import_dsp.`

Шығу:

`S1B_IW_SLC__1SDV_20190116T004506_20190116T004533_014512_01B081_A469_Orb_Stack_ifg_deb_dinsarflt_import_TC.`

Өңдеу параметрлері қойындысында келесі опцияларды орнатыңыз:

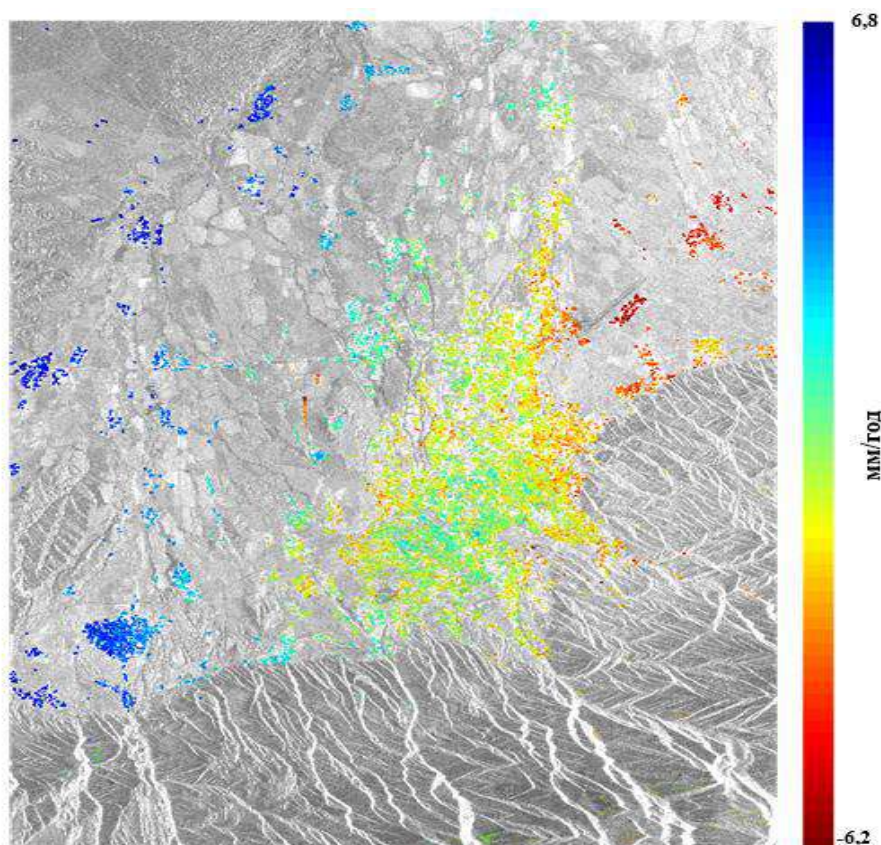
Пиксель қашықтығы (м): 100;

Карта проекциясы: WGS84 (DD);

Енді Іске қосу түймесін басыңыз.

Көрініс терезесінде (4.23-сурет) жаңа геокодталған өнімді көру үшін өнімді зерттеуші тақтасында "displacement\_VV" тобын таңдаңыз.





Сурет 4.23 - Алматы қаласы бойынша PS өңдеу нәтижелері, 191-жол, 45 суреттер. Жер бетінің жылжуының орташа жылдық жылдамдығына арналған шкала [82]

#### 4.4 Зерттелетін объект аумағындағы деформацияларды бағалау

Радиолокациялық интерферометрияның дистанциялық әдісімен полигонның жер бетінің вертикальды жылжуын анықтау үшін радиолокациялық суреттердің нәтижелерін алып, олар бойынша зерттеулер жүргіздік.

Аспаптық бақылауларды талдау нәтижелерін байланыстыру шартты координаттар жүйесінде жүргізіледі. Интерферометриялық талдау нәтижелерін байланыстыру дәлдігі сауалнаманың жоспарланған шешімі шегінде орындалды.

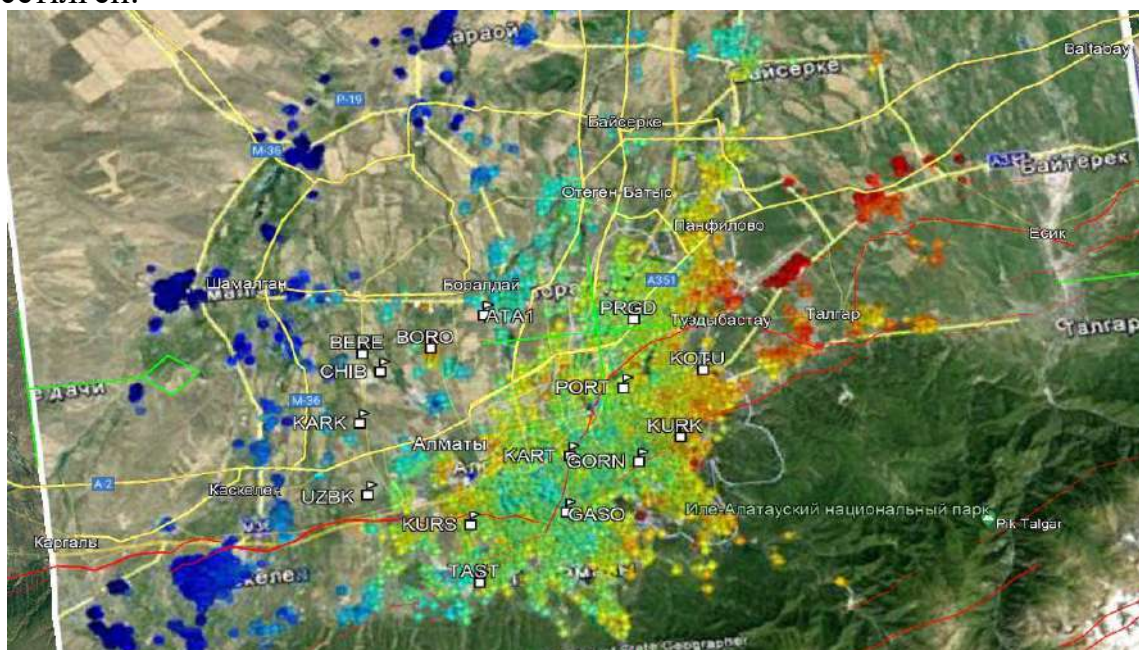
Дәлдікті бағалау спутниктік радиолокациялық интерферометрия нәтижелері бойынша жер бетінің шөгу картасындағы профильдік сызық деректерін сәйкес нивелирлік профиль сызықтарының деректерімен байланыстыру арқылы орындалды. Спутниктік радиолокациялық интерферометрия нәтижелері ретінде 2017 жылғы 26 қарашадан 2021 жылғы 16 шілдеге дейінгі жер бетінің шөгуі пайдаланылды. Бұл шөгулер құрамдастырылған әдіс арқылы SNAP ESA бағдарламалық жасақтамасында анықталды [82, 26 бет].



Радиолокациялық мәліметтерді талдау нәтижелері бойынша полигон аумағының көп бөлігінде 2017-2021 жылдар аралығындағы бақылаулар кезінде жер бетінің шөгуді тән екені анықталды.

2017-2021 жылдар кезеңінде зерттелетін аумақ аумағындағы шөгуді егжей-тегжейлі талдау жер бетінің оңтүстік-шығыс бөлігінде қарқынды шөгудің тән екенін көрсетті.

Алматы қаласы үшін радиолокациялық интерферометрия әдісімен өңдеу нәтижелері Google Earth ортасында біріктірілген – Google Earth сур. 4.24 көрсетілген.



Сурет 4.24 - Google Earth – Google Earth ортасында Алматы қаласы үшін PS әдісімен өңдеу нәтижелері.

Жер бетінің жылжуының орташа жылдық жылдамдығына арналған шкала

Полигон аумағындағы деформацияларды неғұрлым толық және егжей-тегжейлі бағалау үшін айлық жоспарлар мен ғарыштық мәліметтерді талдау қажет.

### **Төртінші тарау бойынша тұжырым**

Жер бетінің көлденең және тік ығысуын бағалау үшін өлшеу жүргізу және деректерді өңдеу параметрлері мен шарттарымен бір-бірінен ерекшеленетін ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді, Жерді қашықтықтан зондтау деректерінің және жерүсті әдістерінің қолданылуына жүргізілген кешенді зерттеу нәтижесінде, төртінші тарауда мынадай тұжырымдар жасалды.

1. Солтүстік Тянь-Шань аумақтары үшін геологиялық-геофизикалық деректер базасы аймақтың сейсмикалық белсенділігінің тау жыныстарының геомеханикалық қасиеттеріне әсері туралы ақпаратпен кеңейтілді.

2. Жер қыртысының тор моделі зерттелетін аймақ үшін геологиялық-геофизикалық, картографиялық мәліметтер базасының құрылған құрылымының негізі болып табылады. Құрылған деректер базасына

геофизикалық параметрлердің орташаланған мәндері енгізілген. Жетісу Алатауы аумақтары үшін жер бетінің заманауи қозғалыстарын одан әрі анықтау үшін GPS-станциясының жаһандық желісінің деректері өңделді.

3. Радарлық интерферометрия әдісі қарастырылды және ғарыштық суреттерді өңдеу әдістерімен таныстырдық.

4. Ғарыштық суреттерді өңдейтін SNAP бағдарламасының жұмыс жасау алгоритмі жазылды және Алматы қаласына 2017-2021жж арасына деформациялық картасы алынды.

5. Алматы ГДП-да 1 класс тордың Порт-Артур пунктінде вертикаль және горизонталь жылжуында өте үлкен өзгеріс болды. Біз вертикаль жылжуды 2015-2016жылдар арасындағы вертикаль қозғалыстың салыстырмалы жылдамдықтың жинақ мәні бойынша қарағанда ол -216мм/жыл құрады (Қосымша Е). Вертикаль жылжу радарлық интерферометрия әдісімен алынған нәтиже бойынша 2017-2021 жж минус +7-6мм/ж мәнге тең. ГНСС бақылаулардың 2017-2019жж нәтижесі бойынша горизонталь жылжу векторы Порт-Артур пунктінде СШ 74,7мм құрады. Пионер пункті ОШ 73,4 мм құрады (2.5-сурет, 2.9-кесте). Пункттер үлкен жарылымдар жанында орналасқан және Порт-Артур пункті Кенсай-2 қорымында орналасқан. Пионер пункті Алматы және Боралдай жарылымдарының қиылысында орналасқан.

Менің ойымша, жер үсті әдістерімен, спутниктік технологиялармен және радар интерферометриясының әдістерімен бірге біріктіру қажет.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеудің негізгі тұжырымдары, ғылыми және практикалық нәтижелері келесідей:

1. Жер сілкінісін алдын-ала болжауды зерттеуге мүмкіндік беретін жер қыртысының деформацияларын тұрақты мониторинг жүргізудің отандық және шетелдік тәжірибеге жан-жақты талдау, сонымен қатар Оңтүстік-Шығыс Қазақстан өңірлерінде орын алған сейсмикалық тәуекелдері мен урбандалуының ұлғаюына байланысты Алматы геодинамикалық полигонында кешенді мониторинг жүргізілді.

2. Сейсмикалық қауіпті аймақтарда геодинамикалық процестерді бағалауға және болжауға мүмкіндік беретін жер қыртысының кернеулі деформациялық жай-күйін мониторингтеудің дағдылы геодезиялық әдістерін GPS – бақылаулары, радиолокациялық интерферометрия және геофизикалық зерттеулермен байланыстыратын және де еңбек өнімділігі мен өлшеулердің дәлдігін жоғарылататын мониторинг жүргізудің кешенді әдістемесі ұсынылды және осы негізде мақсат қойылды, ойлар негізделді және Алматы ГДП-да жүргізілетін мониторингтің құрылымы тұжырымдалды.

3. Жоғары дәлдікті қайта нивелирлеу кеңістікті қана емес, сонымен қатар бірқатар учаскелер үшін жер бетінің қазіргі тік қозғалыстарының таралуының уақытша ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Қайта нивелирлеу нәтижелері бойынша тік қозғалыстар шамалы деп қорытынды жасауға болады, өйткені профильдер бойынша асып кетудің өзгеруі жылына 0.1-ден +14.1 мм-ге дейін өзгеріске ие және өлшеу қателіктерінің ықтимал жинақталуынан аспайды.

4. ГНСС бақылауларының 2017-2021 жылдардағы нәтижелері бойынша Порт-Артур пунктіндегі көлденең жылжу векторы солтүстік шығысқа 74,7 мм, ал Пионерский пункті оңтүстік шығысқа 73,4 мм құрады. Нәтижесінде Алматы геодинамикалық полигоны аумағындағы тектоникалық бұзылулар мен сейсмикалық жағдайлардың көрсеткіштеріне байланысты жер қыртысының деформация процесінің өзгеру заңдылықтары алынды (ҚОСЫМША А).

5. Gamit Globk және Giodis бағдарламалық пакеттерін пайдалана отырып, кешенді мониторингтің кеңістіктік дерекқоры және екі бағдарламаның салыстырмалы талдауы құрылды (2017-2021 жылдар кезеңінде зерттелетін аймақтың 32 жаһандық GNSS станциялары және 10 жергілікті GNSS желілік станциялары), нәтижесінде сейсмикалық қауіпті аймақтардың карталарын жасау және кейінен қолдану үшін ГАЖ базасы жүргізілген кешенді монитоориг нәтижелерінің кеңістіктік деректермен толық қамтамасыз етілді

### **Алға қойылған мәселелердің шешілу толықтығын бағалау.**

Диссертациялық жұмыста сейсмикалық қауіпті аймақтарды түзілетін геодинамикалық үдерістерді мониторингтеудегі отандық және шетелдік тәжірибеге жан-жақты талдау жасау, жер қыртысының кернеулі-деформациялық күйін болжауға мүмкіндік беретін дағдылы геодезиялық әдістерді GPS – бақылаулары, радиолокациялық интерферометрия және геофизикалық зерттеулермен байланыстыратын және де еңбек өнімділігі мен өлшеулердің дәлдігін жоғарылататын мониторинг жүргізудің кешенді әдістемесі ұсынылып, ол Алматы ГДП-да жүзеге асырылды.

### **Зерттеу аясын жамыту туралы болжамдық ұсыныстар.**

Диссертациялық жұмыста көрсетілген шешімдерді Қазақстан Республикасының басқа да сейсмикалық қауіпті аймақтарында, ғылыми-зерттеу мекемелерінде кеңінен қолдануға болады.

Сонымен қатар, алынған нәтижелер геодезист, эколог инженер мамандары, магистранттар мен докторанттарды даярлауда жоғарғы оқу орындарында пайдалануға болады.

### **Диссертация нәтижелерін өндіріске және оқу процесіне енгізудің техникалық-экономикалық нәтижелілігін бағалау.**

Диссертациялық жұмыстың ғылыми қағидалары мен алынған заңдылықтар Халықаралық білім беру корпорациясының магистранттары үшін дәріс материалдарына, практикалық сабақтарға және «Сейсмологиялық тәжірибе-әдістемелік экспедиция» (СОМЭ) ЖШС енгізілді, бұл тиісті енгізу актілерімен расталады (ҚОСЫМШАЛАР Ә және Б, В) .

### **Осы саладағы таңдаулы жетістіктермен салыстырғандағы орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау**

Ғылыми нәтижелер мен қорытындылардың негізделгендігі және сенімділігі өндіріс жағдайында жүргізілген өлшеулердің көлемімен, олардың математикалық өңделуімен, авторлық куәліктің алынуымен, алынған нәтижелердің оқу үдерісі мен өндіріске енгізілуінің оң нәтижелігімен расталғандығы (қолдану актілері), сонымен қатар Қазақстан Республикасы Сейсмология институтының «Қазақстанның геодинамикалық полигондарындағы сейсмологиялық мониторинг жүргізу» жобасы аясында орындалғандығы – диссертациялық жұмыстың қазіргі заманғы ғылыми-техникалық деңгейге сай екендігін көрсетеді.

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Аллисон А., Палмер Д., Геология. Наука о вечно меняющейся Земле: пер. с англ.-М: Мир, 1994.-568с.
2. Белоусов В.В. Геотектоника. М.: МГУ, 1996.-286с.
3. Яковлев Н.В. Высшая геодезия.-М.: Недраб 1984.-356с.
4. Абдулин А.А., Паталаха Е.И. Геодинамика земной коры Казахстана. Алма-Ата, Наука КазССР, 1980. 176 с.
5. Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Михайлова Н.Н. О сейсмических предвестниках сильных землетресений (на примере Северного Тянь-Шаня). - Труды Всесоюзного совещания «Результаты исследований по прогнозу землетрясений». Алма-Ата, Наука,1980, с.39-40.
6. Машимов М.М.Теоретическая геодезия. –М.: Недра, 1995. -185с.
7. Мещеряков Ю.А. Вековые движения земной коры. Некоторые итоги и задачи исследований // Современные движения земной коры. Академия наук СССР, 1963
8. Геодезические методы изучения деформаций земной поверхности на геодинамических полигонах (методическое руководство). –М.: ЦНИИГиК, 1985.-25с.
9. Буланже Ю.Д., Певнев А.К. Геодезия и прогноз землетрясений// Современные движения земной коры на ГДП. -М.: Наука, 1983. –С. 7-11.
10. Земцова А.В. Геодезические исследования геодинамических процессов. - Алматы: КазНТУ, 2014.-205 с.
11. Паталаха Е.И., Чабдаров Н.М. Геодинамика Казахстанского сегмента земной коры на неотектоническом этапе, - Изв. АН КазССР, сер. геол., 1976, №2, с. 1-11.
12. Ержанов Ж.С., Курскеев А.К., Тимуш А.В., Чабдаров Н.М. Земная кора сейсмоактивных районов Казахстана. Алма-Ата, Наука Казахской ССР, 1982. 232 с.
13. Щерба Г.Н. Колонна преобразования земной коры. Алма-Ата, Наука, 1975. 279 с.
14. Нурпеисова М.Б., Омиржанова Ж.Т., Картбаева К.Т., Геодезические наблюдения на Алматинском геодинамическом полигоне//«Горный вестник Узбекистана», Ташкент, ТашГТУ, 2018, С.63-74, ISSN 2181-7383
15. Национальный атлас Республики Казахстан. Том 1. Природные условия и рксурсы. –Алматы: 2010. – 150 с.
16. Атрущкевич П.А., Остропико П.А. Геодинамические исследования на Алма-Атинском полигоне //Современные движения земной коры. М.: Наука. - 1984. - С.23-28.
17. Буланже Ю.Д., Певнев А.К. О состоянии и перспективах исследований современных движений земной коры на геодинаических полигонах СССР // Современные движения земной коры. - Новосибирск: Наука, 1998. – С.4-7.

18. Остропико П.А., Антоненко Э.М., Атрушкевич П.А. Опыт изучения современных движений земной коры в Приалматинском сейсмическом районе. - В кн.: Современные движения земной коры. Новосибирск, Наука, 1978, с. 74-81.
19. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. М., Недра, 1966. 340 с.
20. Инструкция по нивелированию 1, II, III и IV классов. М., Недра, 1974. 160 с.
21. Передеро В.С., Остропико П.А., Атрушкевич П.А. О методике инструментального изучения современных горизонтальных движений в Северном Тянь-Шане на локальных участках полигона// Современные движения земной коры.- Новосибирск: Наука, 1978. – С.67-74.
22. Серябрякова Л. И. Геодинамические исследования. — М. : «ЦНИИГАиК», 2011. — 150 с.
23. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: Монография в 2 томах. –М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005.- 360с.
24. Антонович К.М., Карпик А.П., Клепиков А.Н. Спутниковый мониторинг земной поверхности //Геодезия и картография. 2004. №4. С.4-10.
25. Картбаева К.Т., Нурпеисова М.Б. О геодинамических полигонах и спутниковой системе наблюдений за деформациями геосреды// Труды Сатпаевских чтений – 2018, «Инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии», ҚазҰТЗУ, 2018, С. 941-945, ISBN -601-341-174-3
26. Нурпеисова М.Б., Картбаева К.Т. Геодезиялық полигондарда геодезиялық бақылаулар жүргізудің әдістемесі// Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях индустрии 4.0», 14-15 марта 2019, Университет Сатпаева, С. 79-83, ISBN 978-601-323-168-6
- 27.Noferini L., Pieraccini M., Mecatti D. DEM by groundbased SAR interferometry // IEEE Letters on Geoscience and Remote Sensing. 2007. - Vol. 4. – P. 21-26.
28. Нурпеисова М.Б., Картбаева К.Т., Анализ и интерпретация данных геодинамического мониторинга // Вестник КазГАСА, №4(74), 2019, С.302-308. ISSN 1680-080X
29. Карташов А.П. Изучение пространственно-временного распределения дилатации и сдвиговой деформации на Алма-Атинском геодинамическом полигоне. - ВИНТИ, 1981, №3825-81 Деп., 19 с.
30. Остропико П.А. Новые исследования устойчивости нивелирных знаков на Алма-Атинском геодинамическом полигоне и некоторые аспекты их интерпретации. - В кн.: Теоретич. вопросы исследования современных движений земной коры. М., Сов. радио, 1980, с. 52-60.
31. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31.12.2003 г. № 1383 «Программа развития государственной системы предупреждения и



ликвидации чрезвычайных ситуаций на 2004 - 2010 годы». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://ru.government.kz/docs/p031383\\_20031231.htm](http://ru.government.kz/docs/p031383_20031231.htm)

32. Модернизация технических средств радиополигона «Орбита» по Государственной программе: отчет о НИР «Развитие космической деятельности в Республике Казахстан на 2005-2007 годы». - Алматы, - 2006. - 150с.

33. Картбаева К.Т., Омиржанова Ж.Т., Киргизбаева Д.М. Организация системы наблюдений на Алматинском геодинимическом полигоне// Маркшейдерия и недропользование, №2, март-апрель 2019, С. 22-31, ISSN 2079-3332.

34. Научно-технический отчет по изучению современных движений земной поверхности с геодезическими методами геодинимическом полигоне. – Алматы. (2013-2021г.)

35. Байгурин Ж.Ж., Картбаева К.Т. Алматы геодинимикалык полигонындағы жылжу процесін зерттеу//Труды научно-практической конференции студентов, магистрантов, докторантов «Машановские чтения». - Алматы: казнту, 2015. – с.206-210.

36. Нурпеисова М.Б., Картбаева К.Т. Алматы геодинимикалык полигонындағы геодезиялык бақылаулар нәтижесі// Международный форум маркшейдеров (ISM) «Цифровые технологии в геодезии, маркшейдерия и геомеханика», 19-20 апрель 2019, Караганда, КарГТУ, С. 941-945.

37. Татевян С.К., Кузин С.П., Ораевская С.П. Использование спутниковых позиционных систем для геодинимических исследований // Геодезия и картография. 2004. №3. С.33-40.

38. Кайранбаева А.Б., Бибосынов А.Ж. Наземно-космический мониторинг НДС участков верхних горизонтов земной коры на территории промышленных агломераций, урбанизированных территориях, в том числе в городах с высотной застройкой.-Алматы: Изденістер, 2014. -С.169-172.

39. Нурпеисова М., Дай Хуаян, Омиржанова Ж.Т. Применение GPS мониторинга в оценке современных деформаций земной коры на Алматинском ГДП// «Проблемы освоения недр XXI века глазами молодых», Сборник 14-МНШ МУ и С. - М: ИПКОН РАН, 2019, С.132-135.

40. Vilayev A.V., ZhantayevZh.Sh., Bibosinov A.Zh. Monitoring crustal movements in northern Tianshan Mountain based on GPS technology // Geodesy and Geodynamics. 2017. V.8. Issue 3. P. 155–159.

41. Reigber Ch., Michel G. W., Galas R. et al. New space geodetic constraints on the distribution of deformation in Central Asia // Earth Planet. Sci. Lett. 2001. Vol. 191. P. 157–165.

42. Нурутдинов К. Создание геодезических сетей с использованием GPS // URL&httpwww.geomatica.kiev.ua

43. Нурпеисова М.Б., Картбаева К.Т. «Геодинимикалык полигонындағы кешенді мониторингтеу»// Авторское свидетельство. – Алматы. 28.09.2022г.

44. Нурпеисова М.Б., Картбаева К.Т., Геодинамикалық полигонындағы кешенді мониторингтеу // Вестник КазНУ, № 1(131), 2019, С.12-15.
45. Джунусбекова В.Е., Курманов Б.К., .... Мониторинг смещений земной поверхности с использованием данных радарной съемки. Международная конференция Решетневские чтения 2013г. С. 247-249.
46. Nurpeisova, M., Huayang, D., Omirzhanova Zh, Aimenov, A. Experience of geodesic observations in Almaty geodynamic polygon // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. – Мичиган, США, 2019. – P. (Scopus)
47. Жантаев Ж. Ш., Виляев А. В., Бибосинов А. Ж. Применение GPS мониторинга в оценке современных деформаций земной коры юго-востока Казахстана // Актуальные проблемы современной сейсмологии: сб. докл. Междунар. конф., посвященной 50-летию Института сейсмологии им. Г. А. Мавлянова АН РУЗ, 12-14 октября 2016 г.- Ташкент, 2016.С.226–229.
48. Herring T. A., King R. W., McClusky S. C. GAMITGPS Analysis at MIT // Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology.
49. Caiya Yue, Qiang Yang, Kartbayeva K.T. Present-day movement trends of the major tectonic faults in the Sichuan-Yunnan region based on the constraint of GPS velocity fields // *Advances in Space Research (ASR)*, May, 2021, С.1719-1731.
50. Кайранбаева А. Геодезический мониторинг и компьютерное моделирование геодинамических процессов на территории Северного Тянь-Шаня. Автореферат канд.диссер. – М.: Институт физики Зем.РАН, 1984.-20с.
51. Herring T. A., King R. W., McClusky S. C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program Version 10.4. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2010B. 90 p.
52. Herring, T.A., Hager B.H., Meade B., Zubovich A. V. Contemporary horizontal and vertical deformation in the Tien Shan // Proc. of the Intern, seminar «On the Use of Space Techniques for Asia-Pacific Regional Crustal Movements Studies». Moscow: GEOS, 2002.
53. Руководство по использованию программного обеспечения Giodis Версия 2.1 от 13.10.2015 г. JAVAD GNSS
54. Прилепин М.Т. Концепция использования глобальных спутниковых систем для прогноза землетрясений. – М.: Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, РАН, 2005. – 145с.
55. Нурпеисова М.Б., Картбаева К.Т., Роль космической геодезии при определении вертикальных движений земной поверхности // Вестник КазНУ, № 1(131), 2019, С.12-15.
56. Тургумбаев А. А., Виляев А. В. Технология обработки GPS-измерений на программном комплексе GAMIT/GLOBK // Современные техника и технологии в научных исследованиях: мат-лы VII Междунар. конф. молодых ученых. — Бишкек, 2015. С. 120–127.
57. Omirzhanova, Z.T., Kartbayeva, K.T., Aimenov A.T., Jazbayev, A.T. Geodetic measurements of modern movements of the earth surface on Almaty

geodynamic polygon //International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2017,17(22), стр. 337–346.

58. Омиржанова Ж.Т., Картбаева К.Т. Анализ деформации земной поверхности на Алматинском ГДП// Сборник материалов XXXII международной научной конференции «Тенденции развития науки и образования» от 30 ноября 2017, №32, часть 4, Изд. НИЦ «Л-Журнал», Самара, 2017, С. 56-59.

59. Картбаева К.Т., Нурпеисова М.Б., Омиржанова Ж.Т. Изучение геодинамических процессов на территории Средней Азии и Казахстана (*Монография*)// Германия, Lambert, 2020, 125с.

60. Картбаева К.Т., Нурпеисова М.Б. О геодинамических полигонах и спутниковой системе наблюдений за деформациями геосреды// Труды Сатпаевских чтений – 2018, «Инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии», ҚазҰТЗУ, 2018, С. 941-945.

61. Nurpeissova M.1, Menayakov K.T.1, Kartbayeva K.T. 1, Ashirov V.M. 2, Dai Huayang3. Satellite observations of earth crust at almaty geodynamic polygon / Известия НАН РК, Серия геологии и технических наук, Выпуск 6(450), 2021, С. 93-101.

62. Разработать методы оценки геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием математического моделирования и спутниковых технологий: отчет о НИР (промежуточный, часть 2) / ДТОО Институт Ионосферы, Алматы, 2013. – 36с. – Инв. № 0213РК01024.

63. Разработать методы оценки геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием математического моделирования и спутниковых технологий: отчет о НИР (промежуточный, часть 2) / ДТОО Институт Ионосферы, Алматы, 2012. – 26с. – Инв. № 0213РК00750.

64. Нурпеисова М.Б., Кенесбаева А., Картбаева К.Т. Complex evaluation of geodynamic safety in the development of hydrocarbon reserves deposits// Известия НАН РК, Серия геологии и технических наук, № 1, Том 1, Выпуск 439, 2020, С. 90-98.

65. Кайранбаева А.Б., Бибосынов А.Ж. Георадарное профилирование геотехнических сооружений. -М.: «Маркшейдерии и недропользование», 2019, №2, С. 19-22.

66. Калашников Ю.А., Шварцман Ю.Г. Карта теплового потока и температуры земной коры территории Казахстана в масштабе 1:500000

67. Абдрахманов К.Е., Айтматов И.Т., Бакиров А.К., Макаров В.И. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) // М.: Научный Мир, -2005.-400с.

68. Noferini L., Pieraccini M., Mecatti D. DEM by groundbased SAR interferometry // IEEE Letters on Geoscience and Remote Sensing. 2007. - Vol. 4. – P. 21-26.

69. Ponomarenko M. R., Pimanov I.Yu. Implementation of synthetic aperture radar and geoinformation technologies in the complex monitoring and managing of the mining industry objects // Computer Science On-line Conference, 2017. - P. 291–299.
70. Okiemute E.S., Olujimi O.F. Monitoring and analysis of vertical and horizontal deformations of a large structure using conventional geodetic techniques // Journal of environment and earth science. – 2018. - Vol.8, №.12. - P. 52-61.
71. Goldstein R.M., Carpenter R.L. Rotation of venus period estimated from RADAR measurements // Journal of science. – 1963. - № 139 (355). - P. 118-121.
72. Goldstein R.M., Engelhardt H., Kamb B., Frolich R.M. Satellite RADAR interferometry for monitoring ice-sheet motion // Journal of application to an antarctic ice stream. - 1993. - № 262 (5139). - P. 1525 - 1528.
73. Zandbergen P. Applications of shuttle radar topography mission elevation data // Geography Compass. – 2008. – Vol. 2, Issue5. - P. 1404-1431.
74. Hanssen R. Radar interferometry data interpretation and error analysis // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2001. - № 25. – P. 152-158.
75. Zebker, H. A. Decorrelation in interferometric radar echoes / H. A. Zebker, J. Villasenor // IEEE trans. geosci. remote sensing. – 1992. – Vol. 30. – P. 950–959.
76. Massonnet D. Imaging with synthetic aperture radar / D. Massonnet, J-C. Souyris // EPFL Press. – 2008. – 280 P.
77. Ferretti, A. Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry / A. Ferretti, C. Prati, F. Rocca // IEEE transactions on geoscience and remote sensing. – 2000. – Vol. 38. – No. 5. – P. 2202–2212.
78. Hooper, A. A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers / A. Hooper, H. Zebker, P. Segall, B. Kampes // Geophysical research letters. – 2004. – Vol. 31. – L. 23611. – P. 1–5.
79. Berardino, P. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms / P. Berardino, G. Fornaro, R. Lanari, E. Sansosti // IEEE transact. geoscience and remote sensing. – 2002. – Vol. 40. – No. 11. – P. 2375–2383.
80. Алтаева А.А. Совершенствование методики геодезических наблюдений земной поверхности Орловского рудника с применением ГИС-технологий // дис. доктора философии: 6D071100 / КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. - Алматы, 2022. – С. 65-70.
81. Построение карты вертикальных смещений по паре радарных снимков КА Sentinel-1. <http://dkhramov.dp.ua/postroenie-karty-vertikalnykh-smeshchenii-po-pare-radarnykh-snimkov-ka-sentinel-1#.X1Qgqkzbcbs>. 11.01.2020.
82. Научно-технические отчеты. Институт Ионосферы. -Алматы. 2000-2021гг.

## ҚОСЫМША А

ПРИЛОЖЕНИЕ А

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по развитию

Койшанбаев Н.М.

01.11.

2021 г.

### АКТ

внедрения результатов научно-исследовательских работ (НИР)  
в учебный процесс

Мы нижеподписавшиеся, декан ФСТИМ Естемесова А.С., ответственный по направлению «Геодезия и картография» Кузнецова И.А., ассистент профессора ФСТИМ Картбаева К.Т., составили настоящий акт о том, что результаты НИР Картбаевой К.Т. «Изучение геодинамических процессов на территории Средней Азии и Казахстана (монография)» и «Құрылыстағы геодезия» (учебник) внедрены в учебный процесс.

В результате дополнены лекция по дисциплине магистратуры «Математическое моделирование геодинамических процессов» и по дисциплинам бакалавриата «Геодезия», «Прикладная геодезия I» фактическими данными и материалами.

Использование результатов НИР в учебном процессе позволит повысить качество подготовки специалистов в области геодезии и картографии.

Директор ЦИПО

Декан ФСТИМ

Ответственный по ГИК

Ассистент проф. ФСТИМ

Н.Е. Бектурганова

А.С. Естемесова

И.А. Кузнецова

К.Т. Картбаева



## ҚОСЫМША Ә



### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы К.Т.Картбаевой тему:  
«Мониторинг земной поверхности в условиях Алматинского  
геодинамического полигона»

**Предприятие, использующие результаты:** ТОО «СОМЭ» настоящим актом подтверждает, что результаты полученные в диссертационной работе Картбаевой Куралай Туржановны, выполненной в КазННТУ имени К.И.Сатпаева за период 2019-2022 гг использованы при ведении мониторинга за вертикальным движением земной поверхности на геодинамических полигонах Казахстана.

#### Форма внедрения результатов работы:

-сформированная база пространственных данных геодезического мониторинга посредством программных пакетов GAMIT и GLOBK позволила обновить каталог первичных GPS-измерений за период 2019-2022 гг с глобальных станции GNSS изучаемого региона;

- полученные основе результатов геофизического мониторинга, закономерности изменения процессов деформации земной коры в зависимости от тектонических нарушений и сейсмических условий на территории Алматинского ГДП, позволили создать новую схему тектонических разломов совмещенных триангуляционными пунктами.

- методы совершенствования геодезического мониторинга земной поверхности, предложенные в монографии «Изучение геодинамических процессов на территории Средней Азии и Казахстана», выпущенной в Германии (издательстве LAP LAMBERT, 2020 г.), были применены при наблюдениях за деформационными процессами на геодинамических полигонах Казахстана.

**Место и время внедрения.** геодинамические полигоны Средней Азии и Казахстана, 2021-2022годы.

Начальник  
ОГИ

Молдахметов Е.Е.

Научный консультант,  
докт.техн.наук, профессор

Нурпенсова М.Б.



## ҚОСЫМША Б

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ  
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ

ҚУӨЛІК

2022 жылғы «30» қыркүйектің № 28133

Автордың (автордың иемін, авт. әкесінің аты (егер ол және басқа ауаландыратын тарапта көрсетілсе):  
КАРТБАЕВА ҚУРАЛАН ТУРЖАНОВНА, Нуржановна Маржан Балсановна

Авторлық құқық объектісі: ғылым туынды

Объектінің атауы: ГЕОДИНАМИКАЛЫҚ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ КЕШЕНДІ МОНИТОРИНГТЕУ



Объектін жасаған күні: 28.09.2022

Құқық қорғаушының Мәжіліс депутаты Ақтөбелінен  
"Алғашқы құрылым" Білімділік орталығы болып, Нұра /nura@nura.kz/

Подлинность документа можно проверить на сайте казахстан.kz  
и скачать "Алғашқы құрылым" Нұра /nura@nura.kz/

ЭЦҚ қол қойылды

Е. Оспанов





## ҚОСЫМША В

ҚР БҒМ Ғылым комитеті  
«СЕЙСМОЛОГИЯ ИНСТИТУТЫ»  
ЖАУАПҚЕРШІЛІГІ ШЕКТЕУЛІ  
СЕРІКТЕСТІГІ



Комитет науки МОН РК  
ТОВАРИЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ»

Қазақстан Республикасы, 050060, Алматы қ.,  
Әл-Фараби пр-сі, 75<sup>А</sup>. Академия қалашығы  
тел.: 8 (727) 269 46 14, факс: 8 (727) 269 46 23,  
www.seismology.kz  
e-mail: seismology@seismology.kz

Республика Казахстан, 050060, г.Алматы,  
пр.Аль-Фараби, 75<sup>А</sup>. Академгородок  
тел.: 8 (727) 269 46 14, факс: 8 (727) 269 46 23  
www.seismology.kz  
e-mail: seismology@seismology.kz

### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

АО «Национальный центр сейсмологических наблюдений и исследований»

050060, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Аль-Фараби, 75А  
Тел.: +7(727)2694614. Факс: +7(727)2694623  
@ email: seismology@seismology.kz; Web Site: http://www.seismology.kz

### СПРАВКА

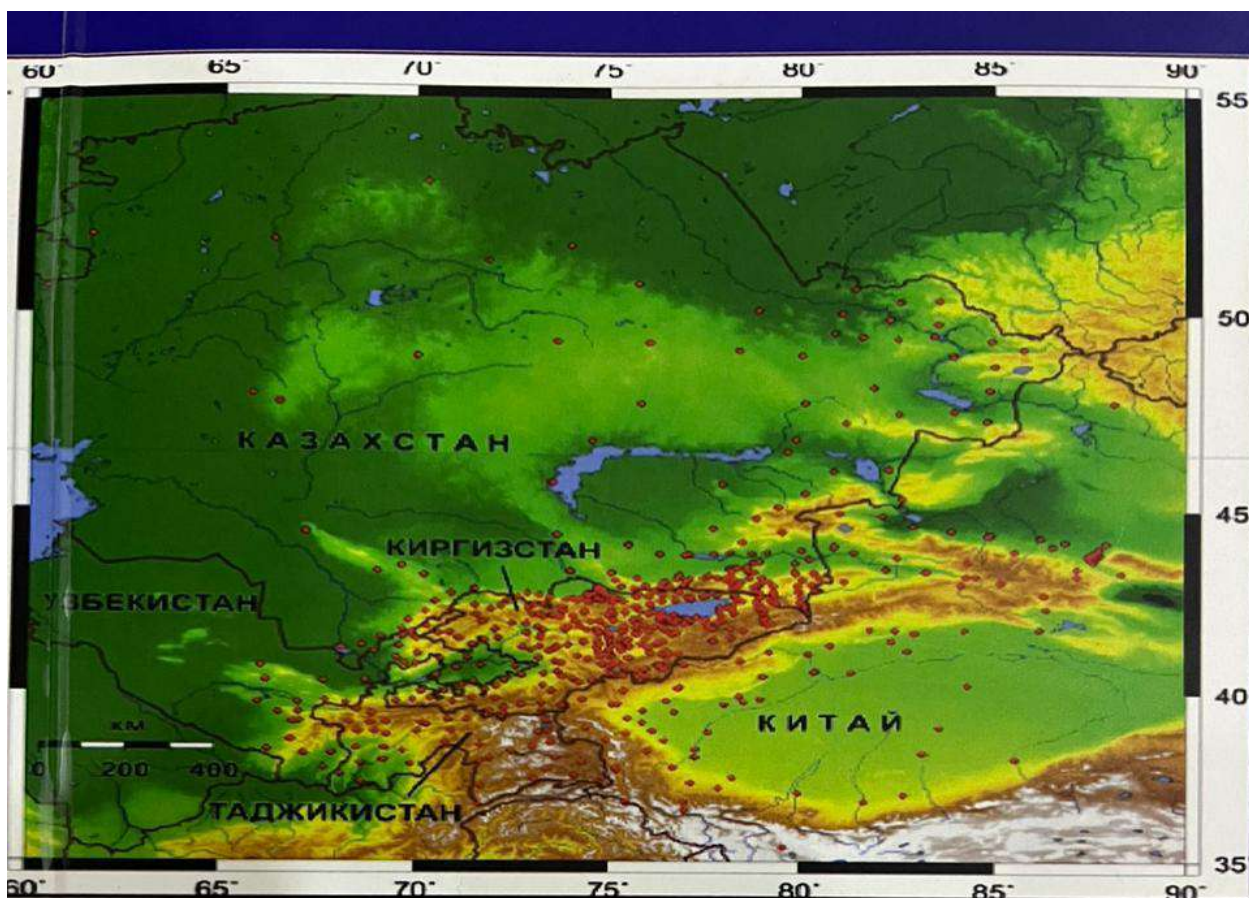
Дана докторанту 3 курса Казахского национального исследовательского технического университета им К.И.Сатпаева Картбаевой Куралай Туржановне в том, что в период 10 марта по 10 апреля 2020 года она проходила стажировку по теме диссертации «Мониторинг сдвижении земной поверхности на примере Алматинского геодинамического полигона» в АО «Национальный центр сейсмологических наблюдений и исследований» на лаборатории информационных технологий.

Заведующей лабораторией



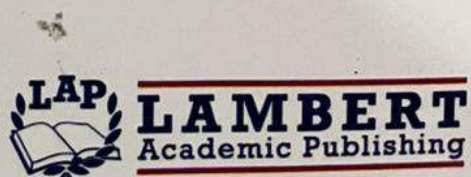
Аширов Б.М.

## ҚОСЫМША Г



Куралай Картбаева  
Маржан Нурпеисова  
Жанат Омиржанова

### ИЗУЧЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ АЗИИ И КАЗАХСТАНА (Монография)



## ҚОСЫМША Д

### Вертикаль қозғалысының өзгеріс ведомосі

№ р/р	Нивелирлеу уақыты	Өлшенген өсімшелер Һ,м	Өсімшелер айырмасы ΔҺ,мм	Жиыны ΔҺ,мм
1	2	3	4	5
Профиль 1: Фун. Рп. 250 – фун. Рп. 134, L = 18,3 км				
1	1971	+779,0151		0,0
			+54,0	
2	1972	0691		+54,0
			-30,1	
3	1973	0390		+23,9
			-27,5	
4	1974	0115		-3,6
			+39,9	
5	1975	0514		+36,3
			+21,8	
6	1977	0732		+58,1
			-31,5	
7	1978	0417		+26,6
			-14,8	
8	1979	0269		+11,8
			+55,6	
9	1980	0825		+67,4
			+3,1	
10	1981	0856		+70,5
			-44,2	
11	1981	0414		+26,3
			-0,4	
12	1982	0410		+25,9
			+4,8	
13	1982	0458		+30,7
			-9,2	
14	1983	0366		+21,5
			+0,2	
15	1983	0368		+21,7
			-0,3	
16	1984	0365		+21,4
			+39,5	
17	1984	0760		+60,9
			-9,5	
18	1985	0665		+51,4
			-12,7	
19	1985	0538		+38,7
			+5,2	
20	1986	0590		+43,9
			-7,9	
21	1986	0511		+36,0
			-2,3	
22	1987	+779,0488		+33,7
			-27,7	
23	1987	0211		+6,0
			+32,5	
24	1988	0536		+38,5
			-14,9	
25	1988	0387		+23,6
			-1,0	
26	1989	0377		+22,6



## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
26	1989	0377		+22,6
			-19,3	
27	1989	0184		+3,3
			+29,5	
28	1990	0479		+32,8
			-15,1	
29	1990	0328		+17,7
			+37,3	
30	1991	0701		+55,0
			-41,2	
31	1992	0289		+13,8
			+5,9	
32	1992	0348		+19,7
			-1,9	
33	1993	0329		+17,8
			-24,2	
34	1993	0087		-6,4
			+43,1	
35	1994	0518		+36,7
			+6,0	
36	1995	0578		+42,7
			-29,0	
37	2004	0288		+13,7
			+13,5	
38	2005	0423		+27,2
			-18,3	
39	2006	0240		+8,9
			+11,4	
40	2007	0354		+20,3
			+30,2	
41	2008	0656		+50,5
			-35,5	
42	2009	0301		+15,0
			+42,1	
43	2010	0722		+57,1
			-11,9	
44	2011	0603		+45,2
			-5,9	
45	2012	0544		+39,3
			-19,0	
46	2013	0354		+20,3
			-3,8	
47	2014	+779,0316		+16,5
			+30,2	
48	2015	0618		+46,7
			-7,5	
49	2016	0543		+39,2
			-17,0	
50	2017	0526		22,2
			-5,2	
51	2018	0474		+17,0
			+10,4	
52	2019	0578		27,4
			-1,3	
53	2020	0565		+26,1

Профиль 2: Гр. рп. 172 – гр. рп. 123, L = 6,5 км				
1	2	3	4	5
1	1968	+161,1106		0,0
			+7,6	
2	1969	1182		+7,6
			-12,8	
3	1970	1054		-5,2
			-12,1	
4	1971	0933		-17,3
			+17,7	
5	1972	1110		+0,4
			-7,1	
6	1973	1039		-6,7
			-6,9	
7	1974	0970		-13,6
			+8,3	
8	1975	1053		-5,3
			+10,1	
9	1977	1154		+4,8
			-6,1	
10	1978	1093		-1,3
			+0,3	
11	1979	1096		-1,0
			+15,9	
12	1980	1135		+2,9
			-4,5	
13	1980	1090		-1,6
			+7,2	
15	1981	1162		+5,6
			-9,3	
16	1982	1129		+2,3
			-4,6	
17	1983	1076		-3,0
			+5,7	
18	1984	1126		+2,0
			+8,5	
19	1985	1103		-0,3
			-2,1	
20	1985	1082		-2,4
			-2,9	
21	1986	1053		-5,3
			+4,3	
22	1987	1135		+2,9
			-2,2	
23	1988	1169		+6,3
			-13,9	
24	1989	1128		+2,2
			+7,4	
25	1990	1166		+6,0
			-5,2	
26	1991	1114		+0,8
			+9,2	
27	1992	1062		-4,4
			+6,0	

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
28	1993	1135		+2,9
			-8,8	
29	1994	1047		-5,9
			+8,3	
30	1995	1106		0,0
			-15,1	
31	2004	0955		-15,1
			+4,0	
32	2005	0995		-11,1
			-9,8	
33	2006	0897		-20,9
			+12,2	
34	2007	1019		-8,7
			+2,3	
35	2008	1042		-6,4
			-9,8	
36	2009	+161,0944		-16,2
			+17,9	
37	2010	1123		+1,7
			-7,2	
38	2011	1051		-5,5
			-9,9	
39	2012	0952		-15,4
			+7,4	
40	2013	1026		-8,0
			-1,1	
41	2014	1015		-9,1
			+2,2	
42	2015	1037		-6,9
			-10,2	
43	2016	0935		-17,1
			+9,0	
44	2017	0944		-8,1
			-1,7	
45	2018	0927		-9,8
			+2,4	
46	2019	0951		-7,4
			-1,2	
47	2020	0939		-8,6
Участок: Гр. рп. 123 – гр. рп. 233, L = 3,5 км				
1	1969	+85,5728		0,0
			-12,6	
2	1970	5602		-12,6
			+3,1	
3	1971	5633		-9,5
			+6,5	
4	1972	5698		-3,0
			-3,7	
5	1973	5661		-6,7
			-6,1	
6	1974	5600		-12,8
			+5,7	
7	1975	5657		-7,1
			+1,8	
8	1977	5675		-5,3
			-4,1	
9	1978	5634		-9,4

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
			-4,2	
10	1979	5592		-13,6
			+10,8	
11	1980	5700		-2,8
			-8,0	
12	1981	5620		-10,8
			-5,3	
13	1984	5567		-16,1
			+10,2	
14	1988	5669		-5,9
			+7,1	
15	1989	5740		+1,2
			-13,7	
16	1990	5603		-12,5
			-2,8	
17	1994	+85,5575		-15,3
			+4,6	
18	1995	5621		-10,7
			-3,3	
19	2004	5588		-14,0
			+1,8	
20	2005	5606		-12,2
			+0,4	
21	2006	5610		-11,8
			+0,1	
22	2007	5611		-11,7
			+4,5	
23	2008	5656		-7,2
			-6,9	
24	2009	5587		-14,1
			+1,0	
25	2010	5597		-13,1
			+4,9	
26	2011	5646		-8,2
			-5,2	
27	2012	5594		-13,4
			+1,3	
28	2013	5607		-12,1
			-0,7	
29	2014	5600		-12,8
			+4,1	
30	2015	5641		-8,7
			-5,4	
31	2016	5587		-14,1
			+1,9	
32	2017	5606		-12,2
			+0,7	
33	2018	5613		-12,9
			+1,3	
34	2019	5626		-11,6
			+0,4	
35	2020	5630		-11,2
Профиль 3: Гр. рп. 106 – гр. рп. 134 – фун.рп. L = 7,0 км				
1	1971	+183,8173		0,0
			+14,7	
2	1972	8320		+14,7

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
			+1,4	
3	1977	8334		+16,1
			-2,2	
4	1978	8312		+13,9
			+2,2	
5	1979	8334		+16,1
			+1,9	
6	1980	8383		+21,0
			-0,8	
10	1981	8308		+13,5
			+7,6	
11	1982	8384		+21,1
			-4,6	
12	1983	8290		+11,7
			-6,8	
13	1984	8326		+15,3
			-9,6	
14	1985	8362		+18,9
			+2,0	
15	1986	8319		+14,6
			+0,6	
16	1987	8344		+17,1
			-8,2	
17	1987	8262		+8,9
			+0,7	
18	1988	8322		+14,9
			+1,2	
19	1989	8334		+16,1
			-10,1	
20	1990	8377		+20,4
			-7,1	
21	1991	8457		+28,4
			-21,1	
22	1992	8246		+7,3
			-5,4	
23	1993	8192		+1,9
			-7,1	
24	1994	8267		+9,4
			+3,9	
25	1995	8375		+20,2
			-5,4	
26	2004	8321		+14,8
			-0,9	
27	2005	8312		+13,9
			+2,9	
28	2006	8283		+11,0
			+3,4	
29	2007	8317		+14,4
			+7,5	
30	2008	8392		+21,9
			-9,1	
31	2009	8301		+12,8
			+7,6	
32	2010	8377		+20,4
			+5,8	
33	2011	8435		+26,2
			-5,2	
34	2012	8383		+21,0



## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
			-5,1	
35	2013	8332		+15,9
			-3,8	
36	2014	8294		+12,1
			+4,2	
37	2015	8336		+16,3
			0,0	
38	2016	8336		+16,3
			+0,7	
39	2017	8343		+17,0
			-5,8	
40	2018	8401		+11,2
			+4,4	
41	2019	8445		+15,6
			-0,5	
42	2020	8440		+15,1
Профиль 4: Гр. рп. 106 – фун. рп. 130 L = 7,6 км				
1	1971	+183,8162		0,0
			+15,7	
2	1972	8319		+15,7
			+7,2	
3	1977	8391		+22,9
			-6,5	
4	1978	8326		+16,4
			+3,0	
5	1979	8356		+19,4
			+9,1	
6	1979	8447		+28,5
			+14,0	
7	1980	8587		+42,5
			-17,2	
8	1981	8415		+25,3
			-0,4	
9	192	8411		+24,9
			-9,4	
10	1983	8317		+15,5
			+2,4	
11	1982	8383		+22,1
			-11,2	
12	1983	8271		+10,9
			+6,8	
13	1984	8339		+17,7
			+1,9	
14	1985	8358		+19,6
			+3,9	
15	1986	8397		+23,5
			-3,6	
17	1987	8351		+19,9
			+6,1	
18	1988	8412		+26,0
			-13,4	
19	1989	8278		+12,6
			+2,3	
20	1990	8301		+14,9
			+2,3	
21	1991	8324		+17,2
			-2,5	

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
22	1992	8299		+14,7
			+4,4	
23	1993	8343		+19,1
			-0,7	
24	1994	8336		+18,4
			-11,1	
25	1995	8225		+7,3
			+1,1	
26	1996	8236		+8,4
			+12,0	
27	1997	8356		+20,4
			-5,2	
28	1998	8304		+15,2
			+8,1	
29	1999	8385		+23,3
			-12,4	
30	2000	8261		+10,9
			+11,5	
31	2001	8376		+22,4
			-5,6	
32	2002	8320		+16,8
			-2,5	
33	2003	8295		+14,3
			+4,0	
34	2004	8335		+18,3
			+4,1	
35	2005	8376		+22,4
			+0,9	
37	2006	8293		+14,1
			+0,4	
38	2007	8297		+14,5
			+2,3	
39	2008	8320		+16,8
			+2,0	
40	2009	8340		+18,8
			-7,1	
41	2010	8269		+11,7
			+8,5	
42	2011	8354		+20,2
			+0,3	
43	2012	8357		+20,5
			-0,2	
44	2013	8355		+20,3
			-3,7	
45	2014	8318		+16,6
			+5,1	
46	2015	8369		+21,7
			-2,0	
47	2016	8349		+19,7
			+1,7	
48	2017	8366		+21,4
			-7,3	
49	2018	8293		+14,1
			+5,7	
50	2019	8350		+19,8
			-5,0	
51	2020	8300		+14,8

1	2	3	4	5
Профиль 5: Фун. рп. 130 – марка б/№ L = 13,9 км				
1	1970	+661,7977		0,0
			-1,2	
2	1971	7965		-1,2
			+36,3	
3	1972	8328		+35,1
			-31,1	
4	1973	8017		+4,0
			-29,7	
5	1974	7720		-25,7
			+32,9	
6	1975	8049		+7,2
			+15,7	
7	1977	8206		+22,9
			-30,6	
8	1978	7900		-7,7
			-7,2	
9	1978	7828		-14,9
			+1,4	
10	1979	7842		-13,5
			+5,0	
11	1979	7892		-8,5
			+78,8	
13	1980	8075		+9,8
			+7,1	
14	1981	8146		+16,9
			-23,9	
15	1981	7907		-7,0
			-2,3	
16	1982	7884		-9,3
			+5,3	
17	1982	7937		-4,0
			-18,9	
18	1983	7748		-22,9
			+15,4	
19	1983	7902		-7,5
			-13,5	
20	1984	7767		-21,0
			+25,3	
21	1984	8020		+4,3
			-27,8	
22	1985	7742		-23,5
			+23,9	
23	1985	7981		+0,4
			15,2	
24	1985	7829		-14,8
			+4,5	
25	1986	7874		-10,3
			+1,1	
26	1987	7885		-9,2
			+1,2	
27	1987	7897		-8,0
			+21,7	
28	1988	8114		+13,7
			-17,0	
29	1988	7944		-3,3
			-11,2	

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
30	1989	7832		-14,5
			-7,3	
31	1989	7759		-21,8
			+20,2	
32	1990	7961		-1,6
			-19,7	
33	1990	7764		-21,3
			+27,9	
34	1991	8043		+6,6
			-32,2	
35	1992	7721		-25,6
			+0,3	
36	1993	7724		-25,3
			+13,7	
37	1993	7861		-11,6
			+2,0	
38	1993	7881		-9,6
			+7,9	
39	1994	7960		-1,7
			+4,4	
40	1995	8004		+2,7
			-12,8	
41	2004	7876		-10,1
			+7,5	
42	2005	7951		-2,6
			-2,0	
43	2006	7931		-4,6
			-1,1	
44	2007	7920		-5,7
			+19,4	
45	2008	8114		+13,7
			-20,5	
46	2009	7909		-6,8
			+8,5	
47	2010	7994		+1,7
			+8,1	
48	2011	8075		+9,9
			-17,9	
49	2012	7896		-8,0
			0,0	
50	2013	7896		-8,0
			-4,9	
51	2014	7847		-12,9
			+3,2	
52	2015	7879		-9,7
			-0,8	
53	2016	7871		-10,5
			+20,9	
54	2017	8080		+10,4
			-20,6	
55	2018	7874		-10,2
			+0,4	
56	2019	7878		-9,8
			-1,4	
57	2020	7864		-11,2

## ҚОСЫМША Е

2016-2015 жылдар вертикаль қозғалыстың салыстырмалы жылдамдықтың жинақ мәні

Нүкте нөмірі	Өлшенген өсімшелер, м		$\Delta h = h_{\text{жаңа}} - h_{\text{көнемм}}$	$\Delta T$ , жыл	$V = \Delta h / \Delta T$ , мм/жыл	$\sum V$ , мм/жыл
	h <sub>жаңа</sub> . 2016	h <sub>көне</sub> . 2015				
1	2	3	4	5	6	7
I класс нивелирлеу нүктелері						
Гр.рп 656						0,0
	+3,0872	+3,0874	-0,2	1	-0,2	
Ф.рп.840						-0,2
	+19,1374	+19,1375	-0,1	1	-0,1	
Гр.рп 859						-0,3
	-6,5674	-6,5677	+0,3	1	+0,3	
Ф.рп 688						0,0
	-0,5068	-0,5056	-1,2	1	-1,2	
Гр.рп 7357						-1,2
	+19,8764	+19,8766	-0,2	1	-0,2	
Шоссейный						-1,4
	+5,5400	+5,5395	+0,5	1	+0,5	
Гр.рп 3133						-0,9
	+26,9162	+26,9167	-0,5	1	-0,5	
Гр.рп 1127						-1,4
	+153,9667	+153,9678	-1,1	1	-1,1	
Гр.рп 0415						-2,5
	+136,8969	+136,8960	+0,9	1	+0,9	
Гр.рп 0188						-1,6
	+52,0463	+52,0469	-0,6	1	-0,6	
Гр.рп 7757						-2,2
	+0,2387	+0,2386	+0,1	1	+0,1	
Гр.рп 3264						-2,1
	+18,2735	+18,2713	+2,2	1	+2,2	
Гр.рп 3110						+0,1
	+254,5026	+254,5051	-2,5	1	-2,5	
Гр.рп 3997						-2,4
	+19,6516	+19,6516	0,0	1	0,0	
Гр.рп 6166						-2,4
<b>Барлығы:</b>	<b>+703,0593</b>	<b>+703,0617</b>	<b>-2,4</b>	<b>1</b>	<b>-2,4</b>	
Гр.рп 656						0,0
	+16,8924	+16,8939	-1,5	1	-1,5	
Гр.рп 765						-1,5
	+51,8811	+51,8807	+0,4	1	+0,4	
Гр.рп 106						-1,1
<b>Барлығы:</b>	<b>+68,7735</b>	<b>+68,7746</b>	<b>-1,1</b>	<b>1</b>	<b>-1,1</b>	
Гр.рп 765						0,0
	+55,8890	+55,8888	+0,2	1	+0,2	
Гр.рп 172						+0,2
<b>Барлығы:</b>	<b>+55,8890</b>	<b>+55,8888</b>	<b>+0,2</b>	<b>1</b>	<b>+0,2</b>	
Гр.рп 172						0,0



## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
	-49,8990	-49,9025	+3,5	1	+3,5	
Гр.рп 747						+3,5
	+1,0146	+1,0146	0,0	1	0,0	
Ф.рп 250						+3,5
<b>Барлығы:</b>	<b>-48,8844</b>	<b>-48,8879</b>	<b>+3,5</b>	<b>1</b>	<b>+3,5</b>	
Ф.рп 250						0,0
	-3,6323	-3,6321	-0,2	1	-0,2	
Гр.рп 537						-0,2
	-5,8957	-5,8966	+0,9	1	+0,9	
Гр.рп 1593						+0,7
	+10,7682	+10,7689	-0,7	1	-0,7	
Гр.рп 0400						0,0
<b>Барлығы:</b>	<b>+1,2402</b>	<b>+1,2402</b>	<b>0,0</b>	<b>1</b>	<b>0,0</b>	
Гр.рп 106						0,0
	+39,5728	+39,5724	+0,4	1	+0,4	
Гр.рп 298						+0,4
	+62,5076	+62,5086	-1,0	1	-1,0	
Гр.рп 134						-0,6
	+31,2896	+31,2900	-0,4	1	-0,4	
Гр.рп 274						-1,0
	+50,4636	+50,4626	+1,0	1	+1,0	
Ф.рп 130						0,0
<b>Барлығы:</b>	<b>+183,8336</b>	<b>+183,8336</b>	<b>0,0</b>	<b>1</b>	<b>0,0</b>	
Ф.рп 130						0,0
	+66,8350	+66,8368	-1,8	1	-1,8	
Гр.рп 233						-1,8
	+168,7475	+168,7472	+0,3	1	+0,3	
Гр.рп 5935						-1,5
	+113,2812	+113,2829	-1,7	1	-1,7	
Гр.рп 0526						-3,2
	+226,7081	+226,7067	+1,4	1	+1,4	
Ф.рп 1458						-1,8
	+86,2153	+86,2143	+1,0	1	+1,0	
Гр.рп 777						-0,8
<b>Барлығы:</b>	<b>+661,7871</b>	<b>+661,7879</b>	<b>-0,8</b>	<b>1</b>	<b>-0,8</b>	
Гр.рп 172						0,0
	+26,0613	+26,0611	+0,2	1	+0,2	
Гр.рп 884						+0,2
	+36,1032	+36,1033	-0,1	1	-0,1	
Гр.рп 0442						+0,1
	+36,6863	+36,6871	-0,8	1	-0,8	
Гр.рп 163						-0,7
	+62,2514	+62,2522	-0,8	1	-0,8	
Гр.рп 123						-1,5
	+85,5617	+85,5611	+0,6	1	+0,6	
Гр.рп 233						-0,9
<b>Барлығы:</b>	<b>+246,6639</b>	<b>+246,6648</b>	<b>-0,9</b>	<b>1</b>	<b>-0,9</b>	

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
Ф.рп 250						0,0
	+43,3830	+43,3837	-0,7	1	-0,7	
Гр.рп 2263						-0,7
	+21,6509	+21,6512	-0,3	1	-0,3	
Гр.рп 1421						-1,0
	+99,4422	+99,4401	+2,1	1	+2,1	
Гр.рп 209						+1,1
	+18,3532	+18,3532	0,0	1	0,0	
Гр.рп 7843						+1,1
	+80,6981	+80,6979	+0,2	1	+0,2	
Гр.рп 2219						+1,3
	+55,0574	+55,0562	+1,2	1	+1,2	
Гр.рп 2448						+2,5
	+128,3596	+128,3600	-0,4	1	-0,4	
Ф.рп 1310						+2,1
	+59,6310	+59,6304	+0,6	1	+0,6	
Гр.рп 250						+2,7
	+198,5642	+198,5667	-2,5	1	-2,5	
Гр.рп 4380						+0,2
	+73,9047	+73,9054	-0,7	1	-0,7	
Ф.рп 134						-0,5
<b>Барлығы:</b>	<b>+779,0443</b>	<b>+779,0448</b>	<b>-0,5</b>	<b>1</b>	<b>-0,5</b>	
II класс нивелирлеу нүктелері						
Гр.рп 0415						0,0
	-3,0505	-3,0538	+3,3	1	+3,3	
Гр.рп 3883						+3,3
	+303,6826	+303,6820	+0,6	1	+0,6	
Гр.рп 0976						+3,9
	+167,7404	+197,7358	+4,6	1	+4,6	
Чаналысай						+8,5
	-261,2128	-261,2090	-3,8	1	-3,8	
Гр.рп 0494						+4,7
	-218,8486	-218,8466	-2,0	1	-2,0	
Гр.рп 0143						+2,7
	-142,2588	-142,2574	-1,4	1	-1,4	
Гр.рп 6290						+1,3
	+51,7174	+51,7160	+1,4	1	+1,4	
Узбек						+2,7
	-83,0676	-83,0656	-2,0	1	-2,0	
Гр.рп 0229						+0,7
	-27,5001	-27,5026	+2,5	1	+2,5	
Гр.рп 1349						+3,2
	+36,6759	+36,6740	+1,9	1	+1,9	
Караульды						+5,1
	-43,6428	-43,6434	+0,6	1	+0,6	
Гр.рп 0152						+5,7
	-14,1020	-14,1031	+1,1	1	+1,1	

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
Гр.рп 0273						+6,8
	-8,3745	-8,3735	-1,0	1	-1,0	
Стаханов						+5,8
	-15,3202	-15,3211	+0,9	1	+0,9	
Гр.рп 0193						+6,7
	-6,0524	-6,0529	+0,5	1	+0,5	
Береговой						+7,2
	+16,9628	+16,9648	-2,0	1	-2,0	
Чибыл						+5,2
	+7,3428	+7,3428	0,0	1	0,0	
Гр.рп 0209						+5,2
	+3,5136	+3,5153	-1,7	1	-1,7	
Ф.рп 688						+3,5
<b>Барлығы:</b>	<b>-205,7948</b>	<b>-205,7983</b>	<b>+3,5</b>	<b>1</b>	<b>+3,5</b>	
Ф.рп 688						0,0
	+9,4852	+9,4854	-0,2	1	-0,2	
Гр.рп 0183						-0,2
	+75,8576	+75,8580	-0,4	1	-0,4	
Боролдай						-0,6
	-101,0064	-101,0046	-1,8	1	-1,8	
Гр.рп 656						-2,4
<b>Барлығы:</b>	<b>-15,6636</b>	<b>-15,6612</b>	<b>-2,4</b>	<b>1</b>	<b>-2,4</b>	
Гр.рп 9495						0,0
	-6,5238	-6,5244	+0,6	1	+0,6	
Гр.рп 1010						+0,6
	+52,3654	+52,3660	-0,6	1	-0,6	
Ата-курған						0,0
	-18,6068	-18,6058	-1,0	1	-1,0	
Гр.рп 786						-1,0
	+14,8922	+14,8920	+0,2	1	+0,2	
Гр.рп 656						+0,8
<b>Барлығы:</b>	<b>+42,1270</b>	<b>+42,1278</b>	<b>-0,8</b>	<b>1</b>	<b>-0,8</b>	
Гр.рп 1593						0,0
	-55,1596	-55,1622	+2,6	1	+2,6	
Пригородны						+2,6
	+0,2367	+0,2365	+0,2	1	+0,2	
Кульд.мыс						+2,8
	+28,0622	+28,0640	-1,8	1	-1,8	
Гр.рп 0224						+1,0
	+37,6235	+37,6268	-3,3	1	-3,3	
Гр.рп 0400						-2,3
<b>Барлығы:</b>	<b>+10,7628</b>	<b>+10,7651</b>	<b>-2,3</b>	<b>1</b>	<b>-2,3</b>	
Ф.рп 688						0,0
	+1,7471	+1,7472	-0,1	1	-0,1	
Гр.рп 4086						-0,1
	+35,5819	+35,5815	+0,4	1	+0,4	
						+0,3

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
Гр.рп 0258						
	+4,1685	+4,1690	-0,5	1	-0,5	
Пионерский						-0,2
	+14,2023	+14,2032	-0,9	1	-0,9	
Гр.рп 0146						-1,1
	+23,4130	+23,4124	+0,6	1	+0,6	
Гр.рп 195						-0,5
	+126,6762	+126,6753	+0,9	1	+0,9	
Гр.рп 0415						+0,4
<b>Барлығы:</b>	<b>+205,7890</b>	<b>+205,7886</b>	<b>+0,4</b>	<b>1</b>	<b>+0,4</b>	
Ф.рп 130						0,0
	-66,3615	-66,3612	-0,3	1	-0,3	
Каменка						-0,3
	+140,7780	+140,7747	+3,3	1	+3,3	
Гр.рп 9797						+3,0
	+184,7174	+184,7161	+1,3	1	+1,3	
Курсай						+4,3
	-316,2613	-316,2552	-6,1	1	-6,1	
Гр.рп 1729						-1,8
	+23,3258	+23,3242	+1,6	1	+1,6	
Гр.рп 1194						-0,2
	+2,6508	+2,6510	-0,2	1	-0,2	
Гр.рп 0415						-0,4
<b>Барлығы:</b>	<b>-31,1508</b>	<b>-31,1504</b>	<b>-0,4</b>	<b>1</b>	<b>-0,4</b>	
Гр.рп 123						0,0
	+420,8091	+420,7950	+14,1	1	+14,1	
ГЭС						+14,1
	-295,9811	-295,9726	-8,5	1	-8,5	
Гр.рп 0295						+5,6
	-39,2519	-39,2494	-2,5	1	-2,5	
Гр.рп 233						+3,1
<b>Барлығы:</b>	<b>+85,5761</b>	<b>+85,5730</b>	<b>+3,1</b>	<b>1</b>	<b>+3,1</b>	
Гр.рп 2448						0,0
	-9,8728	-9,8736	+0,8	1	+0,8	
Каратумсук						+0,8
	-160,9810	-160,9812	+0,2	1	+0,2	
Гр.рп 163						+1,0
<b>Барлығы:</b>	<b>-170,8538</b>	<b>-170,8548</b>	<b>+1,0</b>	<b>1</b>	<b>+1,0</b>	
Гр.рп 1593						0,0
	+32,9214	+32,9215	-0,1	1	-0,1	
Гр.рп 0071						-0,1
	+256,7539	+256,9678	-213,9	1	-213,9	
Порт-Артур						<b>-214,0</b>
	-256,6170	-256,8182	+201,2	1	+201,2	
Ф.рп 640						-12,8
	-11,6157	-11,6162	+0,5	1	+0,5	
Гр.рп 635						-12,3

## Кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
	-24,5374	-24,5373	-0,1	1	-0,1	
Гр.рп 537						-12,4
<b>Барлығы:</b>	<b>+5,9052</b>	<b>+5,9176</b>	<b>-12,4</b>	<b>1</b>	<b>-12,4</b>	
Гр.рп 0400						0,0
	+311,5400	+311,5350	+5,0	1	+5,0	
Гр.рп 0253						+5,0
	+53,2865	+53,2871	-0,6	1	-0,6	
Гр.рп 3157						+4,4
	+273,0428	+273,0354	+7,4	1	+7,4	
Котурбулак						+11,8
	-429,1649	-429,1658	+0,9	1	+0,9	
Гр.рп 1946						+12,7
	-48,5004	-48,5002	-0,2	1	-0,2	
Гр.рп 2356						+12,5
	-1,0854	-1,0854	0,0	1	0,0	
Гр.рп 9427						+12,5
	-70,1897	-70,1914	+1,7	1	+1,7	
Гр.рп 1951						+14,2
	-99,6866	-99,6876	+1,0	1	+1,0	
Гр.рп 1593						+15,2
<b>Барлығы:</b>	<b>-10,7577</b>	<b>-10,7729</b>	<b>+15,2</b>	<b>1</b>	<b>+15,2</b>	
Гр.рп 2219						0,0
	+110,0416	+110,0384	+3,2	1	+3,2	
Гр.рп 0398						+3,2
	+328,8849	+328,8851	-0,2	1	-0,2	
Горный Гиг						+3,0
	-383,8691	-383,8739	+4,8	1	+4,8	
Гр.рп 2448						+7,8
<b>Барлығы:</b>	<b>+55,0574</b>	<b>+55,0496</b>	<b>+7,8</b>	<b>1</b>	<b>+7,8</b>	