

**AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI  
GEOLOGİYA İNSTİTUTU**

---

*Əlyazması hüququnda*

**SƏFƏROV RAFİQ TOFIQ OĞLU**

**AZƏRBAYCAN ƏRAZİSİNDƏ MÜASİR GEODİNAMİK  
ŞƏRAİTİN VƏ ZƏLZƏLƏ TƏHLÜKƏSİNİN  
GPS MƏLUMATLARI ƏSASINDA TƏDQIQI**

2507.01 - Geofizika, faydalı qazıntıların geofiziki axtarış üsulları

Yer elmləri üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

Bakı – 2014

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Geologiya İnstitutunda yerinə yetirilmişdir

**Elmi rəhbər:** AMEA-nın müxbir üzvü, geologiya-mineralogiya elmləri doktoru, professor **F.Ə.Qədirov**

**Rəsmi opponentlər:** Geologiya-mineralogiya elmləri doktoru, professor **T.R.Əhmədov**

Fizika-riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, **Y.A.Şıxəliyev**

**Aparıcı təşkilat:** Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Respublika Seysmoloji Xidmət Mərkəzi

Dissertasiyanın müdafiəsi «29\_» may 2014-cü il saat \_\_ Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Geologiya İnstitutunun nəzdindəki D.01.081 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: Az1143, Bakı şəh. H.Cavid pros., 119

Faks: (99412) 537 22 85

E-mail: [gja@azdata.net](mailto:gja@azdata.net)

Dissertasiya işi ilə AMEA Geologiya institutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «\_\_\_» aprel 2014-cü ildə göndərilmişdir.

**D 01.081 Dissertasiya şurasının  
elmi katibi, texnika üzrə  
fəlsəfə doktoru**

**D.R.Mirzəyeva**

## İŞİN ÜMUMİ SƏCİYYƏSİ

### **Mövzunun aktuallığı:**

Azərbaycan Respublikasının ərazisi Avrasiya və Ərəbistan plitələrinin aktiv toqquşma zonasında yerləşir. Bu toqquşma prosesi başlayan zaman bu günə kimi Ərəbistan plitəsinin şimala tərəf hərəkətinin orta sürəti sabit qalıb və təqribən 20 mm/il olmaqdadır. Bu şərtlər daxilində Ərəbistan plitəsinin Avrasiya qitəsinə tərəf 200-600 km irəlilədiyi hesab edilir. Ərəbistan plitəsinin Avrasiya qitəsinə doğru bu şəkildə davamlı hərəkəti nəticəsində yer qabəpəndə deformasiyalar və yer səthinin xətti üzvlərində qəsalmalar baş verir. Bu regionun geodinamik aktivliyinə səbəb olan deformasiya prosesləri zaman-zaman üzvlük zəlzələlər və palzəq vulkan pəskərmələri ilə bəruzə verir. Burada seysmik hadisələrin sayınən çox olmasəna baxmayaraq gəclə dəpədəcə zəlzələlər nadir hallarda baş verir və əksər hiss edilən zəlzələlər regional qərməlmələr ətrafında cəmlənmişdir.

Regionda baş verən təhlükəli geoloji proseslərin mexanizmlərinin başa dəşləməsi və proqnozu məqsədi ilə yer qabəpəndə baş verən məsəir hərəkətlərin uyənilməsi olduqca vacib problemdir. Yer qabəpəndə baş verən tektonik hərəkətlərin xəsusiyətlərinin tədqiqi zəlzələlərin proqnozu və geoloji proseslərin səbəblərinin uyənilməsində məhəm əhəmiyyət dəuəyər. Qafqaz ərazisi intensiv deformasiyalar zonasında yerləşdiyindən bunun dəqiq uyənilməsi regionun geodinamik şəraitinin tədqiqi üzvlük bütük tıhfə verməkdədir.

Yer qabəpə hərəkətlərini və deformasiyalarəne uyənmək məqsədi ilə geodeziya və geofizikanən məxtəlif ıullarə tətbiq edilir. Məsəir ıullar izərisində son illərdə intensiv olaraq kosmik geodeziyanən Qlobal Mıvqe Sistemi - GPS (Global Positioning System) tətbiq olunmaqdadır. Ütən əsrin 80-ci illərindən başlayaraq GPS təkrar üzvləri plitələrin hərəkətlərini və plitələrdəki deformasiyalarəne, koseysmik və postseysmik deformasiyalarəne, və həmsinin digər tətbiqi geofiziki məsələlərin uyənilməsində istifadə edilməyə bərolanməuodər (K.L.Feigl (2000), J.T.Freymueller (2001), R.Galas (2004), B.H.Hager (2005), T.A.Herring (2011), S.Larsen (2010), K.M.Larson (2004), Ch.Reigber (2004), R.E.Reilinger (2012), Z.K.Shen (2000), McClusky (2012), R.Kinq (2012), A.Barka (2000) və bəuəqalarə).

Beləliklə, Azərbaycan ərazisində kosmik geodeziya ıulu ilə geodinamik məşahidələrin aparılması və kinematik xarakteristikalarəne təyin edilməsi son dərəcə aktual problemdir. Digər tərəfdən ərazidə kinematik parametrlərdən asələ olaraq deformasiya proseslərinin qanunauyrunluqlarə da bu günə qədər arıuodərləmməuodər və bu problemin uyənilməsi də bütük elmi və təcrrbi maraq kəsb edir.

Bu dissertasiya işi Azərbaycan GPS şəbəkəsində aparılan monitoring məlumatları analiz edilərək ərazinin kinematik xarakteristikalarından və Yer qabəpənən ыfьqı hərəкətlərinin səbəb olduğu deformatsiyalardan ыrənilməsi kimi aktual problemə həsr edilmişdir.

1998-ci ildən AMEA Geologiya Ənstitutu Massazsets Texnologiya Ənstitutu ilə birlikdə Azərbaycan GPS şəbəkəsini qurmuş və yer səthinin ыfьqı hərəкətlərinin ыrənilməsi məqsədi ilə monitoring aparər. Azərbaycan GPS şəbəkəsində və ətraf ərazilərdəki (Rusiya, Tьrkiyə, Gьrcьstan, Ermənistan və Əran) GPS məlumatları Qafqaz ərazisinin mьasir geodinamikasənə regional ыrənilməyə və deformatsiyalara qiymətləndirməyə imkan verir. GPS və seysmoloji məlumatlardan birlikdə mьasir metodlarla interpretasiya edilməsi Azərbaycan və qonşu ərazilərin deformatsiya xьsusiyətlərini dəqiqləşdirmək ыzn mььm məlumat bazasədər.

### **Əoin məqsədi:**

Kosmik geodeziyanən GPS ыsulu ilə Azərbaycan ərazisi ыzn yer səthi ыfьqı hərəкətləri sьrətlərinin və deformatsiyalardanən paylanma qanunauyğunluqlarənən ыrənilməsi, seysmik aktivlik arasəndakə korrelyasiyanən analizidir.

Tədqiqatən əsas məsələləri:

- Azərbaycan ərazisində geodinamik poliқonun yaradılması və GPS texnologiyasə ilə fəsiləsiz və periodik ыlmələrin aparılması.
- GPS ызыləri ilə əldə edilən məlumatlardan Azərbaycan ərazisinin mьasir ыfьqı hərəкətlərinin sьrət sahəsinin hesablanması.
- Azərbaycan ərazisi Yer qabəpə deformatsiyalardanən kosmik geodeziya məlumatları əsasəndə tədqiqi.
- Deformatsiya sahəsi ilə zəlzələ episentrlərinin və palzəq vulkanlardanən paylanması əsasəndakə əlaqələrin araıodəılması.

### **Elmi yeniliklər:**

1. Kosmik geodeziyanən GPS ыsulu ilə Azərbaycan ərazisinin mьasir ыfьqı hərəкətlərinin sьrət vektorları və qanunauyğunluqları təyin edilmişdir.
2. GPS sьrət məlumatları əsasəndə yer qabəpəndə meydana gələn deformatsiya sьrətləri hesablanməyə, səхəlmə və gərilmə oxlarıənən istiqamətləri mьəyyən edilmiş və Azərbaycan ərazisində qeyri bircins paylanmanın olduğu mьəyyənəşdirilmişdir.
3. Səхəlmə zonaları Вцуьк Qafqazda, Qobustanda, Kьr зцкəkliyində, Naxəvan MR və Əranla həmsərhəd ərazilərdə mьşahidə olunur. Вцуьк Qafqazda səхəlmə oxu Юм-ЮмЮ istiqamətindədir.

4. Gərilmə zonalarə Kizik Qafqazda Gədəbəy (GEDA), Şuşa (SHOU) məntəqələri yaxənləpənda və Əran ərazisində Axar zonasəndakə DAMO və PIRM GPS məşahidə məntəqələri arasəndadər.
5. Deformasiya sahəsində deformasiyanən zox zəif oldupu yerlər də müvcuddur. Belə zonalara Xəzəryanə-Quba (ANIX, SAMU) və iomalə Qobustanən bir hissəsi aiddir.
6. Гьсьль zəlzələlərin episentrləri Yer səthində deformasiya sahəsinin gradient zonalarə ilə ьst-ьstə dьşьr.
7. Мьасир deformasiya prosesləri və palzəq vulkanlarənən aktivliyi arasəndakə qarıoələqlə əlaqəni nəzərdən kəzirməklə horizontal gərginliklərin nəticəsi ola bilən vertikal deformasiya təzahırlərinin palzəq vulkanlarənən aktivliyinə təsirinin daha zox oldupu məəyyən olunmuşdur. Horizontal deformasiya prosesləri palzəq vulkanlarənən ьskьrməsinə təkən verən amil rolunu oynayər.

#### **Dissertasiyanən praktiki əhəmiyyəti:**

Əldə edilmiş tədqiqat nəticələri, GPS ıdь məlumatlarə: litosfer plitələrinin kinematikasənən təyinində; onlarən sərhədlərinin aokarlanmasə və dəqiqləşdirilməsində (hansə ki, onlarən təsir zonalarəda bir qayda olaraq, гьсьль zəlzələ ocaqlarə yerləşmişdir); əsas qərəlma sistemlərinin və nisbətən daha zox seysmik təhlkəli zonalarən məəyyənləşdirilməsində; məhitin gərginlik-deformasiya şəraitinin dəyişməsinə və bu tip qərəlma zonalarənda elastiki deformasiyanən toplanmasəna nəzarət zamanə istifadə oluna bilər.

Мьəllif tərəfindən alənan nəticələr zəlzələ məjdəzisi kimi, cari normativ seysmotektonik rayonlarədərma xəritələrinin dəqiqləşdirilməsi zamanə seysmotektonik modellərin qurulmasə məqsədi ilə istifadə oluna bilər. Əldə edilmiş sьrət vektorlarə və deformasiya sahəsi xəritələri бцуьк sənayə və hidrotexniki obyektlərin müvcud oldupu rayonlarda texnogen amillərin seysmotektonik şəraitə təsirinin цyrənilməsi ььь əsas ola bilər.

Hazərlənməю GPS sьrətləri, onlarən emal və analizi nəticələrinin məlumat bazasə regional arxivə əlavə edilə və Azərbaycan Respublikasə ərazisində tətbiqi tədqiqatlar və o cьmlədən, məhəndisi seysmologiya məsələlərinin həlli ььь istifadə oluna bilər.

#### **Мьədafіə olunan məddəalar:**

1. Ərazinin geodinamikasənə məəyyənləşdirən yer səthinin məsир ьььqi hərəkətlərinin sьrət vektorlarənən paylanma qanunauyrunluqlarə.
2. Azərbaycan ərazisinin məsир deformasiya sьrətlərinin qeyri-bircins paylanmasə.
3. Yer səthindəki ьььqi deformasiya sьrətləri ilə гьсьль ( $M \geq 4$ ) zəlzələlərin episentrlərinin paylanmasə arasənda əlaqə.

#### **Alınan nəticələrin aprobeiası və nəşri:**

Baxılan iain əsas maddəlarə və nəticələri AMEA-nən Aspirantlarənən Elmi Konfransənda (Bakə, 2009, 2010, 2011), Amerika Geofiziklər Birliyinin materiallarənda (San Fransizko, Kaliforniya, 2009), Azərbaycan ərazisinin seysmikliyi və bıyık şəhərlərin seysmik risqi” problemi ızrə IV Beynəlxalq Konfransda (Bakə, 2009), Gənc alimlərin I regional fənnlərarasə konfransənda (Vladıqafqaz elm mərkəzi, Rusiya, 2010), “Cənubi Xəzər zıkkəliyi tımsalənda aktiv geodinamik iorəaitlərdə geofiziki tədqiqatlarən səmərəliliyinin artərəlməsə yollarə” mıvzusunda VII Azərbaycan Beynəlxalq Geofizika Konfransənda (Bakə, 2010), “Yer elmləri sahəsində yeni yanaşmalar və nailiyyətlər” Gənc alimlərin və tələbələrin IV Beynəlxalq Elmi Konfransda (Bakə, 2011), “Karbohidrogen resurslarənən aıokarlamasəna kompleks yanaroma” mıvzusunda VIII Azərbaycan Beynəlxalq Geofizika Konfransənda (Bakə, 2012), İOamaxə zəlzələsinin 110 illiyinə həsr olunmuş “Seysmiklik, zəlzələlərin proqnozu, tikililərin zəlzələyə davamlələpə” mıvzusunda V Beynəlxalq Konfransda (Bakə, 2012), “Fundamental və tətbiqi geologiya elmi: nəaliyyətlər, perspektivlər, problemlər və onlarən həlli yollarə” mıvzusunda Gənc alim və tələbələrin V Beynəlxalq Elmi Konfransda (Bakə, 2013) mərəuzə edilmişdir. Dissertasiya mıvzusu ızrə 6 məqalə və 12 tezis dərc edilmişdir.

#### **Faktiki materiallar, cihazlar və məallifin şəxsi tıxfəsi:**

Dissertasiya işi Azərbaycan GPS şəbəkəsində 1998-2012-ci illərdə məallifin də iıotirakə ilə AMEA Geologiya Ənstitutunun “Geodinamika və Seysmologiya” şıbəsının və Massşusets Texnologiya Ənstitutunun əməkdarolarə tərəfindən aparəlan ıılələrin nəticələri əsasənda hazərlənmişdir. Azərbaycan ərazisində bu dıvrədə baş verən zəlzələlərin kataloqu Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasə Respublika Seysmoloji Xidmət Mərkəzindən alınmışdır.

GPS məlumatlarə Trimble 5700, Trimble R7 və Trimble NetRS tipli GPS qəbulediciləri vasitəsi ilə əldə edilmişdir. GPS məlumatlarənən emalə GAMIT/GLOBK proqramə ilə məallifin iıotirakə ilə aparəlməşdir. Gərginlik-deformasiya məlumatlarə T.Sagiya tərəfindən işlənilib hazərlənmiş proqram təminatə vasitəsi ilə hesablanmışdır. Dissertasiya işində alınən nəticələr əsasənda tərtib edilən xəritələr GMT (Global Mapping Tool) proqramə vasitəsi ilə hazərlənmişdir.

#### **Dissertasiyanın həcmi və strukturu:**

Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən və nəticədən, 5 cədvəldən, 32 şəkildən və 128 sayda istifadə edilmiş ədəbiyyat sıyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 136 səhifədir.

#### **Təşəkkürlər:**

Müəllif dissertasiyanın yerinə yetirilməsində göstərdiyi köməkliklərə görə AMEA Geologiya İnstitutunun direktoru akademik Ak.A.Əlizadəyə öz dərin təşəkkürünü bildirir.

Müəllif işin nəticələrinin aktiv müzakirəsinə, tövsiyyə və qeydlərə, faydalı diskussiyalara görə Massaçusets Texnologiya İnstitutundan professorlar R.Reilingerə və R.Kinqə, Yaponiyanın Nagoya Universitetinin professoru T.Sagiyaya və bu elmi istiqamətlə tanışlıq zamanı göstərdikləri hərtərəfli köməyə, elmi əməkdaşlığa və dəyərli məsləhətlərinə görə Yaponiya Beynəlxalq Seysmologiya və Zəlzələ Mühəndisliyi İnstitutunun (BRINISEE) və Yaponiya Beynəlxalq Əməkdaşlıq Agentliyinin (JICA\JICE) əməkdaşlarına təşəkkürünü bildirir.

Müəllif Azərbaycan GPS şəbəkəsinin hazırlanmasında, ölçülərin aparılmasında və daimi işləyən GPS stansiyaların işlədilməsində, alınan məlumatların ilkin emalında göstərdikləri köməkiyə görə AMEA Geologiya İnstitutunun “Geodinamika və Seysmologiya” şöbəsinin əməkdaşları dosent, f.-r.e.n A.H.Qədirova, g.-m.e.n. S.Q.Məmmədova, dosent, g.-m.e.n. Q.R.Babayevə və s. öz minnətdarlığını çatdırmağı borc bilir.

Ayrıca olaraq elmi rəhbərim AMEA-nın müxbir üzvü, professor F.Ə.Qədirova bütün mərhələlərdə göstərdiyi elmi və praktiki köməkiyə görə dərin təşəkkürümü bildirməyi özümə borc bilirəm.

Bu dissertasiya işi qismən Azərbaycan prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun, ABŞ-ın SRDF və Milli Elm Fondlarının, o cümlədən, Yaponiya Beynəlxalq Əməkdaşlıq Agentliyi (JICA\JICE), Yaponiya Milli Siyasi Tədqiqatlar İnstitutunun (GRIPS), Yaponiya Beynəlxalq Seysmologiya və Zəlzələ Mühəndisliyi İnstitutunun (BRINISEE) birgə təşkil etdiyi təlim və magistr proqramının köməkiyi ilə yerinə yetirilib.

### **İşin məzmunu.**

Girişdə dissertasiya işinin ümumi xarakteristikası şərh edilmiş, mövzunun aktuallığı, məqsədi, müdafiə olunan müddəalar, elmi yeniliklər və alınmış təcrübi nəticələr verilmişdir.

## **I FƏSİL. KOSMİK GEODEZİYA ÜSULU VƏ MÜASİR GEODİNAMİKADA TƏTBİQİ**

Bu fəsildə GPS sistemi, onun işləmə prinsipləri və bu texnologiyanın geodinamik proseslərin öyrənilməsində tətbiqinin əsasları, müxtəlif regionlarda əldə edilmiş əsas nəticələr, Azərbaycan ərazisinin regional geodinamik şəraiti və seysmikliyi şərh edilmişdir.

Son illər yer qabığının üst hissəsində meydana gələn təbii və texnogen mənşəli olan geodinamik proseslərin tədqiqi daha da aktuallaşmaqdadır. Ənənəvi yerüstü geodeziya üsullarında böyük məhdudiyətlər mövcud-

dur, beləki bu üsullar qonşu müşahidə məntəqələri arasında birbaşa görünüşün olmasını tələb edir, müşahidə şəbəkələri kifayət qədər böyük ola bilmir və lokal sahələrdə hərəkətləri səciyyələndirən nisbətən kiçik bazalarla məhdudlaşmalı olur. Seysmiklik tektonik aktiv sahələri səciyyələndirir, zəlzələlərin statistikasını isə bir qayda olaraq kifayət qədər deyildir və məhdud bir dövrü əhatə edir. Buna görə də ənənəvi geodeziya ilə əldə edilən hərəkət parametrlərinin interpretasiyası çox vaxt mübahisəli olur. Kosmik geodeziya üsullarının inkişafı, xüsusən də qlobal mövqə təyinetmə sistemi GPS yer qabığına müasir hərəkətlərinin və mühitin gərginlik-deformasiya şəraitinin öyrənilmə imkanlarını geniş ölçüdə artırmışdır.

Son 25 ildə həyatımıza çox sürətlə bir neçə texniki yenilik daxil olaraq qlobal şəkildə yayılmış və mürəkkəb elmi problemlərin həllinə müvəffəqiyyətlə tətbiq edilməyə başlamışdır. Bu yeniliklər sırasına mübaliğəsiz Qlobal Peyk Naviqasiya Sistemi (QPNS) aiddir. Buraya Amerikanın GPS və Rusiyanın QLOMSS (ГЛОНАСС) sistemləri daxildir. Yerə istənilən nöqtəsindən görünən və kəsilməz olaraq yüksək tezlikli siqnallar göndərən peyklər QPNS sisteminin qlobal fəaliyyətini təmin edir. Bu üsulla planetimizin ətrafında sanki koordinat-zaman informasiya sistemi yaradılıb və bu sistem xüsusi qəbul edicinin köməyi ilə istifadəçiyə öz mövqeyi və zaman haqda məlumat əldə etməyə imkan yaradır.

İlk növbədə hərbi məqsədlər üçün nəzərdə tutulan GPS sistemindən tez bir zamanda elm-texnika və təsərrüfat sahəsində istifadə edilməyə başlandı. Buna təkan verən əsas faktor isə qısa zamanda istifadəçilər üçün bir millimetr dəqiqliklə koordinat təyininə və nanosaniyə tərtibində zaman müəyyənəlməyə imkan verən iki tezlikli faza qəbul edicilərinin hazırlanması oldu.

GPS sistemi Yerə ölçülərinin və formasının təyininə, yer səthindəki deformasiyaların, qitələrin tektonik hərəkətlərinin öyrənilməsində və zəlzələ təhlükəsinin tədqiqində geniş şəkildə tətbiq edilir.

Tədqiqat ərazisi bir sahədən digərinə keçdikdə kinematikası dəyişən, əsasən sağtərəfli transpressional üfüqi-yerdəyişmə tipli və bəzən də üstəgəlmə və ya xalis üfüqi-yerdəyişmə tipli ŞmQ-CŞq istiqamətli qırılmalarla deformasiya olunmuşdur. Şm-C-dan ŞmŞq-CQ istiqamətində soltərəfli üfüqi-yerdəyişmə tipli qırılmalar da müşahidə olunur.

Yer qabığı müasir hərəkətləri Böyük və Kiçik Qafqazda yüksəlmə baş verdiyini və bu sürətin maksimal qiymətinin 9 mm/il olduğunu göstərir. Talış dağlarında da yüksəlmə baş verir və burada sürətin maksimal qiyməti 6 mm/il-dir.

## II FƏSƏL. GPS QULUB MƏLUMATLARININ



## EMALI VƏ ANALƏZƏ

Bu fəsildə GPS sisteminin tərkib hissələri, GPS vasitəsilə müvqətə-yini, GPS  $\text{u3b}$  məlumatlarənən emalə və analizi, qiymətləndirmə  $\text{b}$ sullarə, hesablama sistemləri, ITRF Beynəlxalq  $\text{b}$ mumyer koordinat sistemi və Qlobal peyk naviqasiya sisteminin (QPNS) SOPAC məlumat bazasə iorh edilmişdir.

GAMIT/GLOBK proqram təminatə Massazusets Texnologiyalar Ənstitutu, Harvard-Smitsoniya Astrofizika Mərkəzi (CfA) və Skripps Okeanoqrafiya Ənstitutu (SƏO) tərəfindən stansiya koordinatlarənən və sərətlərinin, post-seysmik deformasiyanən stoxastik və ya funksional təsvirinin alınmasə, atmosfer gecikmələrinin, peyk orbitlərinin və Yer oriyentasiya parametrlərinin təyin olunmasə  $\text{b}$ zən işlənilib-hazərlanməyə universal GPS məlumatlarənən analizi paketidir. Proqram təminatə hər hansə UNIX əməliyyat sistemində işləməyə imkan verir. Stansiyalarən və atmosfer parametrlərinin icazə verilən maksimum sayə proqramən iioə salənmasə zamanə sezilmio  $\text{u3b}$ lərdən asələdər və hesablama şərtlərinin tələblərinə və imkanlarəna uyğunlaşdərəla bilər.

GPS həssas müvqə təyin etmə və geodeziya sahəsində gьelь bir  $\text{b}$ sul olmapa davam etməkdədir. Dəroəyəcə fəza siqnallarə vasitəsilə statik və kinematik müvqə təyin etmə texnikalarə istifadə olunmaqdadər və bunun sayəsində də mьntəzəm olaraq millimetr diapazonunda müvqə təyinetmə mьmkьndьr.

C/A-Kod və P-Kod  $\text{u3b}$ lərinin əksinə dəroəyəcə fəza  $\text{u3b}$ lərinin (yəni L1 və L2) bərolanpəcəndə  $\text{u3b}$ lən uzunlupa uypun gələn tam dalpa uzunluqlarənən sayəndə qeyri-mьəyyənlik vardır. Bu qeyri-mьəyyənlik  $\text{u3b}$ lərin dəyərləndirilməsi əsnasəndə həll edilir. Tam say qeyri-mьəyyənlikləri, qəsa baza  $\text{u3b}$ lərində ( $\leq 30$  km), tək tezlikli qəbuledicilərdə L1 dəroəyəcə fazasənə  $\text{u3b}$ zərək və ya daha yaxioəsə iki tezlikli qəbuledicilərdə L1 və L2 dəroəyəcə fazalarənə və P-Kod  $\text{u3b}$ lərindən istifadə edərək mьmkьn olmaqdadər.

Praktikada 4 həssas GPS müvqə təyini  $\text{b}$ sulundan geniş istifadə olunur. Bunlar:

- 1.Fasiləsiz müvqə təyini (continuous positioning)
- 2.Statik müvqə təyini (static positioning)
- 3.Sərətli statik müvqə təyini (rapid static positioning)
- 4.Kinematik müvqə təyini (kinematic positioning)

GPS müvqeləri Geosentrik, Karteziyan koordinat sistemlərinə gürə hesablanər. Bu koordinat sistemində  $x$  və  $y$  oxlarə bir-birinə perpendikulyardər və ekvator mьstəvisində,  $z$  oxu isə şimal və cənub qətbləri arasəndə yerləşmişlər. Sonra isə müvqelər istifadəzilər  $\text{b}$ zən daha

rahat olan hesablama sisteminə zəvrilir. Adətən, müvqelər WGS-84 kimi, dəqiq təyin edilmiş ellipsoidin enlik, uzunluq və hündürlük ölçülərinə zəvrilir. Bu ellipsoidlər Yer formasına yaxın olan riyazi modelləri ölçmədə əks etdirir və sabit qravitasiya sahəsi ilə məəyyən olunan geoidi (dəmiz səviyyəsi) Yer səthini əks etdirmir. Nəticədə, ellipsoid hündürlükləri adətən uypun geoid hündürlüklərindən, və ya dəmizsəviyyəsi hündürlüklərindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqli olur. Əgər istifadəsi ızın son nəticədə geoid hündürlükləri (dəmiz səviyyəsinin orta qiyməti) maraqlı dörürsə, bu zaman EGM96 geoid modeli tətbiql olunmalıdır.

Horizontal müvqelər də xəritənin proyeksiyasından asələ olaraq şimal enlik və şərq uzunluqlı ölçülərinə zəvriyə bilər. Koordinat zəvriymələri Trimble Geomatic Office kimi emal program təminatları ilə həyata kəzirilə bilər.

Geodezik müşahidələr əsasən Beynəlxalql İmumyer Hesablama Sistemində (International Terrestrial Reference Frame - ITRF) istinad edir ki, bu da Beynəlxalql İmumyer Koordinat Sistemində (International Terrestrial Reference System - ITRS) aiddir. ITRF 3 ölçü karteziyan koordinatları olan nıqtələr toplusundan ibarət hesablama sistemidir. ITRS fəzadakı yerində gündəlik olaraq Yer ilə birgə hərəkət edən dənya fəza hesablama sistemidir. International Earth Rotation and Reference Systems Service IERS – Beynəlxalql Yer Fərlanması və Hesablama Sistemləri Xidməti astronomik, geodezik və geofiziki icmalara qllobal istinadlar verməklə ITRS-in realizasiyasına kımək edir. ITRS-in realizasiyası IERS ITRS Product Center – IERS ITRS Məlumat Mərkəzində ITRF adı ilə həyata kəzirilir.

SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Centre, <http://sopac.ucsd.edu/>) qllobal peyk naviqasiya sistemi (QPNS) məlumatları bıyık beynəlxalql toplama və emal mərkəzidir. SOPAC bir nəzə elmi-tədqiqat təşkilatının bazasında yaradılmışdır (Cecil H. və Əda M. Green Geofizika və Planetar Fizika Ənstitutu, Scripps Okeanoqrafiya Ənstitutu – SƏO, ABİO Kaliforniya Universiteti, San Dieqo - UCSD) və Kaliforniya Universitetində SƏO-nun iəhərciyində yerləşmişdir. SOPAC QPNS GPS (Global Positioning System – Qlobal Naviqasiya Sistemi) fəaliyyəti barədə geniş məlumat spektrinə malikdir. Bura dənya ızrə peyk şəbəkələri stansiyaları ilə yerinə yetirilən ölçülərin nəticələri və digər elmi məlumatlar daxildir. Bu məlumatlar geodeziya və geofizikada zəlzələlərin, tektonik plitələrin hərəkəti və deformasiyasının uyrənilməsi zamanı, meteoroloji tədqiqatlar zamanı və elm və texnikanın bir zox digər sahələrində istifadə olunur.

### **III FƏSƏL. AZƏRBAYCAN GPS ŞƏBƏKƏSİ VƏ ÖLÇMƏ NƏTİCƏLƏRİ**

Bu fəsildə Azərbaycanın GPS şəbəkəsi, bu şəbəkədə aparılan müşahidələrin metodikasə və cəzə nəticələri, Qafqaz ızın əldə edilmiş yer qabəpə horizontal hərəkətlərinin sızət sahəsi əsasənda məsəir kinematik model iərh edilmişdir.

Qafqaz uzunluğu 1500 km olan qitə daxili dəp silsiləsidir və səxəlma nəticəsində kontinental dəp əmələgəlmə prosesinə aydən bir misaldər. Burada əsas tektonik qəvvə Ərəbistan və Avrasiya plitələrinin kolliziyasə ilə meydana gəlir və bu region hərərdə dənyanın seysmik aktiv regionlarəndəndər. Burada seysmik hadisələrin sayənən zox olmasəna baxmayaraq gızlı dəpədəcə zəlzələlər nadir hallarda baş verir və əksər hiss edilən zəlzələlər regional qərəlmələr ətrafında cəmlənmişdir.

Plitələr tektonikasının tərs probleminin həlli nəticələrinə əsasən Ərəbistan əvvəllər yerləşdiyi yerdən kontinental Avrasiya litosferinin yerləşdiyi yerə doğru 200-600 km hərəkət etmişdir. Ərəbistanın Avrasiyaya doğru davam edən bu hərəkəti Şərq-Qərb istiqamətində uzanan Əsas Qafqaz üstəgəlməsi (ƏQÜ) üzrə litosferin qısalmasına və sağtərəfli (dekstral) üfqi yerdəyişmə tipli qırılma ilə toqquşma zonasında litosferin horizontal yerdəyişməsinə səbəb olur. Bu regional tektonik proseslər yer qabığı deformasiyalarının səbəbi olmaqla tarixən bütün Qafqaz ərazisində qeydə alınan zəlzələlər yaratmışlar. Məlum oldupu kimi Buzük Qafqaz ıztəgəlməsi, Qafqaz ızlı qərəlmələr və digərləri aktiv olublar və burada yer qabəpə səthinin qəsalmələrə bəzə verib. Yer səthi qəsalmələrənən bəzə verdiyi bülğələr də elə seysmik aktivliyi ilə fərqlənirlər. Bu bülğələrdə V, XII, XVII, XIX, XX əsrlərdə reallarıəmzə gızlı zəlzələlər bir daha təkrarlana bilər.

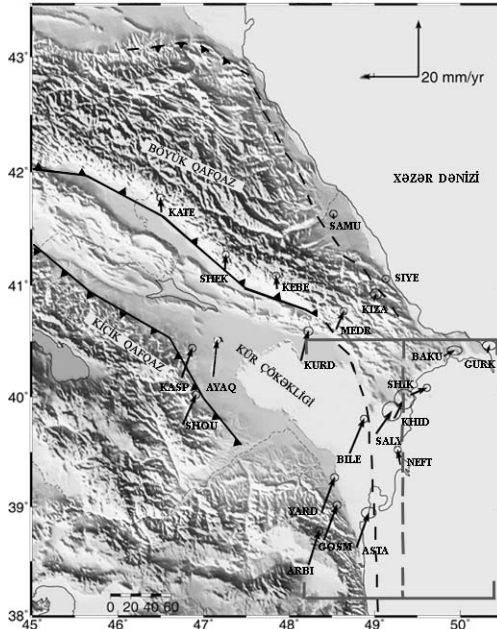
Azərbaycan və qonşu ərazilərdə aparılan GPS müşahidələri yer qabığının səthində müasir hərəkətləri və onlarla əlaqədar olan yer qabığı deformasiyalarını öyrənməyə imkan verir. 1998-2013-cü illər arasında aparılan GPS ölçü məlumatları əsasında əldə edilmiş yer səthindəki üfqi sızət paylanması şəkil 1-də göstərilib. Müşahidə olunan hərəkətlər (müşahidə məntəqələrindəki sızətlər) analiz edilərək gərginliyin sızətlə toplanma zonaları müəyyənləşdirilir. Belə ehtimal edilir ki, bu zonalar gələcəkdə zəlzələlərin baş verə biləcəyi zonalar ola bilər.

Qafqazda tektonik hərəkətlərin xızusiyyətlərinin aradıgəlməsə və deformasiyalarən uyırnılması regiondakə geodinamik proseslərin tədqiqi və geodinamik modelin hərərlənməsə cəhətindən də əhəmiyyətlidir.

Avrasiya koordinat sistemində əldə edilmiş GPS sızət sahəsi aşkar şəkildə Azərbaycanda ərazisində hərəkətin cənub-şimali-şərq (C-ŞmŞq) istiqamətində oldupunu gıztırir. GPS sızət sahəsinin ən aşkar gızırnən xızusiyyətlərindən biri cənubdan Buzük Qafqaz ıztəgəlməsinə yaxənləşdəqda

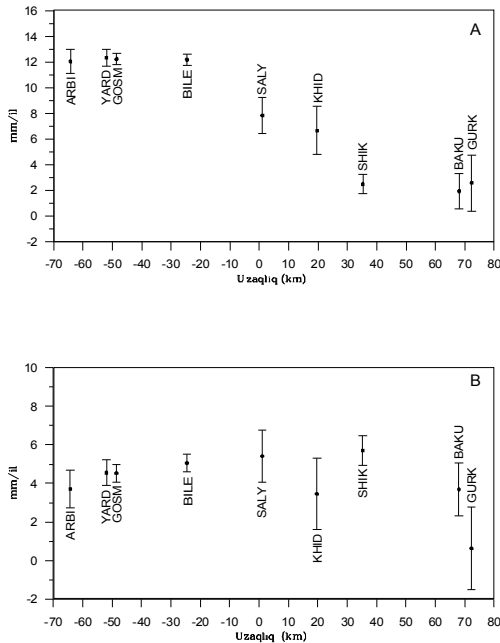
GPS nıqtələrindəki sırat dəyərlərinin azalmasədər (məsələn KURD və MEDR, BİLE və SHİK).

Бұык Qafqaz ыstəgəlməsinə (BQБ) yaxənlırdəqda GPS nıqtələrindəki sırat dəyərlərinin azalmasə burada gərginlik toplanmasənən bir səbəbi kimi interpretasiya edilir. Bundan başqa, Azərbaycan ərazisində BQБ cənubunda Kыr dəpressiyasə və Kızık Qafqaz ərazisində qərbdən şərqə tərəf sırat qıymətində yьksəlmə tendensiyasə olan horizontal hərəkət mьşahidə edilir. Ёьqi istiqamətdə əsas yer qabəpə qəsalmalarə BQБ-də baş verir. BQБ-ya pərpəndikulyar istiqamətdə yer qabəpəndə olan qəsalmalar iki GPS nıqtəsindəki sırat fərqi ilə hesablanə. Maksimum Yer qabəpə qəsalmasə Kыr Dəpressiyasəndə yerləşən KURD ilə Xəzər sahilindəki Abşeron yarəmadəsənən юimaləndakə SƏYA GPS nıqtələri arasəndə mьşahidə edilir. Başqa sızlə 48° E – şərq en dairəsində BQБ –ə pərpəndikulyar istiqamətdə yer qabəpə qəsalma sıratı 10± 1 mm/il olur.



Şəkil 1. Azərbaycan və qonşu ərazilər ыzn GPS sırat vektorları və onların 95% -lik etibarlılıq intervalı. Azərbaycan ərazisindən kənarında olan nıqtələr ыzn sırat məlumatları Reilinger et al. (2006) məqaləsindən gıtırьlyb. Burada eyni zamanda sırat profilinin uzunluğu və mütərizə ilə eni gıstərib.

Kizik Qafqaz, Kbr hıvzəsi və Abjeron yarəmadəsə da daxil olmaqla İOərqi Azərbaycanda aparəlməyü GPS ıvzələri Ərəbistan-Avrasiya kolliziya zonasənən ən şimal hissəsindəki ilkin aktiv konvergensiya ilə əlaqədar olan anomal gərginliyin mıvcudlupunı gıstərir. Baxmayaraq ki, əldə oluna bilən hal-hazərki məlumatlar və onlarən dəqiqliyi mşahidə olunan gərginlik səbəbini birmənalə yəkildə təyin etməyə kifayət deyil, bununla belə deformasiya Вцуьк Qafqaz Ёstəgəlməsinə təxminən paralel istiqamətdə uzanan və şimal istiqamətdə dalan Ёstəgəlmə tip qərəlma Ёzərində sadə gərginlik toplanmasə modelləri və/və ya Abjeron yarəmadəsəndən cənubda Xəzər dənizinin qərb sahili boyu təxminən ŞmŞmQ-CCŞq istiqamətində uzanan qərəlmada təxminən 15 mm/il sərətli saptərəfli horizontal yerdəyişmə və konvergensiya ilə uyğunluq təşkil edir (Şəkil 2).



Şəkil 2. Qərbi Xəzər qərəlməsəna paralel (A) və bu istiqamətə pərpəndikulyar (B) olan Avrasiya koordinat sistemində hesablanmış horizontal sərət komponentləri qiymətlərinin məsafədən asəllələq qrafiki.

Bu asəllələq Qərbi Xəzər qərəlməsənda  $11 \pm 1$  mm/il sərəti ilə saptərəfli hərəkətin oldupunı gıstərir.

Кыг һүвзәси боуу дәринликдә olan қәрәюәқ әмәләгәлмә вә қәрәлмаларән тәбиәтини мьәууәнләшдирмәк ызын дәқиқ геолоји вә сеузмик мьәшәhidә мәлуматларә илә уанайәү даһа зох GPS мәлуматларә тәләб олунур. Гәргинлик пайланмасәнән, Кыг һүвзәси дәхилиндә қәрәюәқ әмәләгәлмәнин тәбиәтинин, ցуьмльмью қәрәлмаларән уеринин вә онларән зәлзәләләрин уаранмасәндәкә ролунун мьәууән едилмәси ызын бу саһәдә апарәлан геодезик мәнәтәқәләрин сәхләюдәрәлмасә вә диғәр геофизики вә геолоји мәқсәдуьунь тәдқиқат ишләрә Бууьк Қәфқаз Ёстәгәлмә Қәрәлмасә боуу континентал ёстәгәлмәдән Мәркәзи Хәзәр Сеузмик Зонасә боуу olan subдуксийауа вә уа сәнуб истиқамәтиндә Таләю дапларәна қәдәр нисби һәрәкәтләрә цьтәрә билән Кизик Қәфқаз вә Elbrus структурларәна кезидин кинематикасәнә там аңламақ ызын ләзәмдәр.

#### **IV FӘSӘL. KOSMӘK GEODEZӘYA MӘLUMATLARI ӘSASINDA AZӘRBAYCAN ӘRAZӘSӘNDӘ YER QABIPI DEFORMASӘYALARI VӘ ӘNTERPRETASӘYA**

Bu fәsildә GPS мәлуматларә әsasәндә деформасиуа сьрәтинин кәмиуәтсә қиуәмәтләндирилмәси ысулу, Азәрбайсан әразисинин деформасиуа сьрәтләринин қиуәмәтләндирилмәси нәтицәләрә, деформасиуа сьрәтләрә саһәсиндә зәлзәлә еписентрләрә вә пәлзәқ вулканларәнән пайланмасәнән тәһлили шәрһ едилр.

Азәрбайсан вә қоңшу әразиләрдә апарәлан GPS мьәюәhidә мәлуматларә мьәсир сәһи һәрәкәтләрә вә онларә бәплә olan уер қабәпә деформасиуаларәнә қиуәмәтләндирмәуә имкан уерр. Мьәшәhidә олунан һәрәкәтләр (мьәшәhidә мәнәтәқәләриндәкә сьрәтләр) сьрәтли гәргинлик топланмасә баю уерән зоналарә идентификасиуа (тәуин) етмәуә имкан уерр кә, бу да уер қабәпәнән бу вә уа диғәр дәринлиуиндә килidlәнмию қәрәлма боуу дәринлик сьрәшмәсинин нәтицәси кими интерпретасиуа олунур. Еһтинал олунур кә, гәләцәкдә бу зоналар зәлзәләләрин бәш уермәсинә сәбәб ола биләр. Бу фәsildә regionun тәбиә тәһлйкәләринин қиуәмәтләндирилмәсиндә олдучә актуал olan бир мәсәләнин, космик геодезиуа васитәsilә Азәрбайсан әразисиндә уер қабәпә деформасиуаларәнән тәдқиқи тәсuir едилмишдир. Бу мәқсәдлә суткәдә 24 саат олмақла бьтән уер кьрәсиндә фәлиууәт гүстәрән GPS қlobal мүүуәтәуинетмә системиндән истифадә едилмиюдир. Әкә тезликли фәза һесауламаларә вә код һесауламаларәндән истифадә antenna координатларәнән қиуәмәтләндирилмәси дәқиқлиуиндә 1-2 мм тәртибни әлдә етмәуә имкан уерр кә, бу да геодинамик тәдқиқатлар ызын уурун тәртибдир.

Азәрбайсан вә қоңшу цлкәләрин – Әран, Гьрҕьстан вә Ермәнистан - GPS сьрәтләринин тәдқиқи regionun деформасиуа саһәсинин қеури-бирцинс характерли олмасәнә мьәууән етмәуә имкан уермишдир. Бу амил regionun блөк моделинин һәқиқәтә уәхән олдупуну тәсдиқ етмәуә имкан уермишдир. GPS мьәшәhidә стан-

siyalarə sayənən artərəlməsə deformatsiya sahəsinin detalizasiyasə və mikroplitə sərhədlərinin aюkarlanmasəna xidmət edəcəк.

GPS mьşahidə məlumatlarə əsasənə Azərbaycan ərazisinin horizontal deformatsiya sьrəti sahəsinin təyin olunmasə ьзын Юен ьsulundan istifadə olunmuяodur. Hesablamalarən aparəlməsə ьзын istifadə olunan program təminatə Saqiya tərəfindən işlənib hazərlənmişdir.

Bu ьsulun mahiyyəti aюarədəkəndən ibarətdir: (x,y) koordinatlarə olan ixtiyari nүqtədə horizontal yerdəyişmə təşkilədiciləri (u,v), deformatsiya sьrəti tenzorunun təşkilədiciləri  $(\dot{\epsilon}_{xx}, \dot{\epsilon}_{xy}, \dot{\epsilon}_{yy})$  və fərlanma sьrəti ш mьşahidə nүqtəsindəki (X,Y) yerdəyişmə sьrəti (U,V) ilə aюarədəkə formula ilə əlaqədardər:

$$\begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & 0 & \Delta y_i \\ 0 & 1 & 0 & \Delta x_i & \Delta y_i & -\Delta x_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ v \\ \dot{\epsilon}_{xx} \\ \dot{\epsilon}_{xy} \\ \dot{\epsilon}_{yy} \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} \epsilon_x^i \\ \epsilon_y^i \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\epsilon_x^i = \sigma_x^i \exp\left(\frac{\Delta x_i^2}{2D^2}\right)$$

$$\epsilon_y^i = \sigma_y^i \exp\left(\frac{\Delta y_i^2}{2D^2}\right). \quad (2)$$

Burada,  $\Delta x_i = X - x_i$ ;  $\Delta y_i = Y - y_i$ ;  $\sigma_x^i$ , - yerdəyişmə sьrətinin x təşkilədici-sinin mьşahidə xətasədər;  $\sigma_y^i$  - yerdəyişmə sьrətinin y təşkilədici-sinin mьşahidə xətasədər;  $D$  - mьşahidələr arasında apərləpə təyin edən parametrdir və Məsafənin Azalma Sabiti (Distance Decaying Constant, DDC) adlanır.

$$\dot{\epsilon}_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

DDC-nin qiyməti mьşahidə nүqtələrinin səxləpəndən, yerdəyişmə sьrətinin və regionun tektonik xьsusiyətlərindən asələdər. Hər bir nүqtədə dilatasiya və ьfьqi gərginlik sьrətləri aюarədəkə kimi hesablanər:

$$\Delta = \dot{\epsilon}_{xx} + \dot{\epsilon}_{yy} \quad (3)$$

$$\Sigma = \sqrt{e_{xy}^2 + \frac{(e_{xx} - e_{yy})^2}{4}} \quad (4)$$

Hər hansə i- nıqtəsində deformasiya s̄rəti təşkilədicilərinin və fərlanma s̄rətinin hesablanmasə zamanə həmin nıqtədən 2DDC radiusunda yerləşən b̄t̄n qonşu nıqtələrin s̄rət vektoru məlumatlarəndan istifadə olunur. Hesablamalar zamanə D kəmiyyətinin qiyməti 35 km gıct̄ȳlm̄şdır. Bu zaman  $\varepsilon_x^i$  və  $\varepsilon_y^i$  kəmiyyətləri (1) tənliyinə uyğun olaraq qurulmuş tənliklər sisteminin həlli zamanə apərləq əmsallarə rolunu ifadə edirlər. GPS məşahidə məntəqəsi hesablama nıqtəsindən nə qədər uzaqda yerləşirsə, bu məntəqənin verilmiş nıqtədə tənliklər sisteminin həlli nəticəsinə təsiri bir o qədər az olacaqdır.

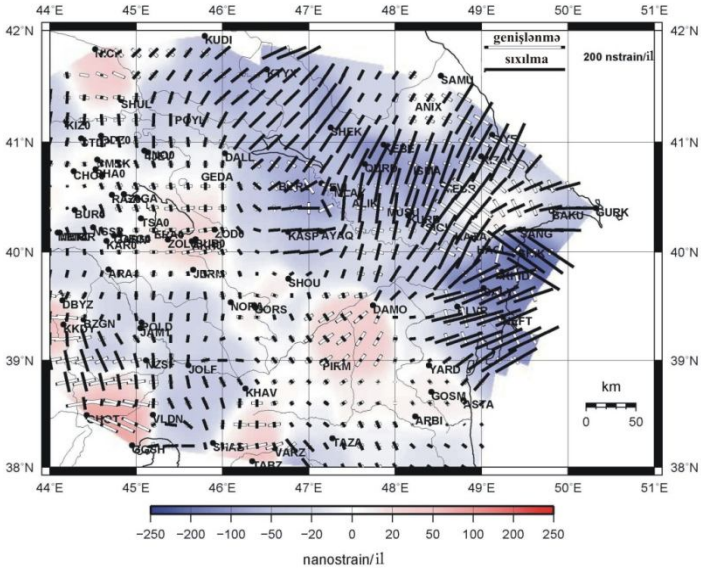
B̄t̄n Bıȳk Qafqaz boyu uzanan cənub-şimal-şərq səxəlma oxuna malik olan səxəlma zonasə arəkar olunmuşdur (Şəkil 3). Bu zona gərilmə və ya deformasiyanən praktiki olaraq məşahidə edilmədiyi sahələrlə əhatə olunmuşdur.

Gərilmə deformasiyasə s̄rətinin maksimal qiyməti (200  $\text{Ç} 10^{-9}/\text{il}$ ) KHİD (Xədərlə) və SHİK (İOəxlar) məntəqələri arasənda məyühidə olunur və burada səxəlma oxu üz istiqamətini kəskin olaraq dəyişir və CQ-ŞmŞq istiqamətində yünəlir (Şəkil 3). Deformasiya sahəsində səxəlma sahələri ilə birgə deformasiya praktiki olaraq məşahidə olunmayan zonalar ayrələr. Bu zonalar Xəzəryanə-Quba rayonu və Qobustanən rəimal hissəsi aiddir.

Gərilmə zonalarə Kizik Qafqazda: Gədəbəy, İOııııa rayonlarənda və Əranla həmsərhəd ərazilərdə məşahidə olunur. Bu zonalarda dilatasiya s̄rətinin qiyməti 100  $\text{Ç} 10^{-9}/\text{il}$ -ə zətər (İOəkil 3).

Maqnitudasə  $M \geq 4$  olan zəlzələ episentrlərinin paylanmasə onlarən əsasən Yer səthində deformasiya sahəsinin gradient zonalarə ilə b̄st-b̄stə dəşd̄ȳl̄n̄ gıct̄ərir.





Şəkil 3. GPS məlumatları əsasında hesablanmış səxəlmə/genişlənmə oxları və dilatasiya sürəti sahəsi. Qalın qara xətlər – səxəlmə, ap xətlər – genişlənmə oxlarıdır (nanostrain – 10<sup>-9</sup>).

## NƏTİCƏLƏR

Azərbaycan ərazisində aparılmış geodinamik və seysmik monitoring işləri əsasında aşağıdakı əsas problemləri əhatə edən elmi nəticələr əldə edilmişdir:

- Azərbaycan ərazisində Yer qabığının müasir horizontal hərəkətləri və seysmogen zonaların aşkar edilməsi (və ya seysmogen zonaların sərhədlərinin dəqiqləşdirilməsi).
- Gərginlik-deformasiya sahəsi ilə zəlzələ episentrlərinin paylanması və pəlcıq vulkanlarının püskürmə intensivliyi arasındakı əlaqənin aşkar edilməsi.

Qeyd olunan problemlər üzrə aşağıdakı əsas nəticələr əldə edilmişdir:

1. Kosmik geodeziyanın GPS üsulu ilə Azərbaycan ərazisinin müasir üfüqi hərəkətlərinin sürət vektorları və qanunauyğunluqları müəyyənləşdirilmişdir;
2. Azərbaycan ərazisi üçün GPS sürət məlumatları əsasında yer qabığında meydana gələn deformasiya sürətləri hesablanmış, sıxılma və gərginmə oxlarının istiqamətləri müəyyən edilmiş və qeyri bircins paylanmanın olduğu müəyyənləşdirilmişdir;

3. Sıxılma zonalarının Böyük Qafqazda, Qobustanda, Kür çökəkliyində, Naxçıvan MR və İranla həmsərhəd ərazilərdə müşahidə olunması və Böyük Qafqazda sıxılma oxunun Şm-ŞmŞ istiqamətində olduğu aşkar edilmişdir;

4. Gərilmə zonalarının Kiçik Qafqazda Gədəbəy (GEDA), Şuşa (SHOU) məntəqələri yaxınlığında və İran ərazisində Axar zonasındakı məntəqələrdə müşahidə edilir;

5. Deformasiya sahəsində deformasiyanın çox zəif olduğu yerlər də mövcuddur. Belə zonalara Xəzəryanı-Quba (ANIX, SAMU) və şimalı Qobustanın bir hissəsi aiddir.

6. Güclü zəlzələlərin episentrləri Yer səthində deformasiya sahəsinin gradient zonaları ilə üst-üstə düşür.

7. Müasir deformasiya prosesləri və palçıq vulkanlarının aktivliyi arasındakı qarşılıqlı əlaqəni nəzərdən keçirməklə horizontal gərginliklərin nəticəsi ola bilən vertikal deformasiya təzahürlərinin palçıq vulkanlarının aktivliyinə təsirinin daha çox olduğu müəyyən olunmuşdur. Horizontal deformasiya prosesləri palçıq vulkanlarının püskürməsinə təkan verən amil rolunu oynayır.

### **Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı elmi əsərlərdə öz əksini tapmışdır:**

1. F.Kadirov, A.Gadirov, R.Safarov, Robert Reilinger and Simon McClusky, "Global positioning system measurements of present-day crucial movements in the Azerbaijan". Science without borders. Transactions of the International Academy of science H&E. Innsbruck, 2007/2008, vol.3, p.448.
2. Səfərov R.T., Azərbaycanın GPS şəbəkəsi və GPS ölçüləri, "Yer elmlərində yeni tədqiqat istiqamətləri" müvzusunda gənc alim və tələbələrin III beynəlxalq konfransə, Bakə, Oktyabr 5-6, 2009, səh.118-120.
3. Ф.А.Кади́ров, А.Г.Кады́ров, Ф.А.Алиев, С.К.Мамедов, Р.Т.Сафаров. "Взаимосвязь между скоростями горизонтальных движений определенных по GPS измерениям в Азербайджане и сейсмичностью Большого Кавказа" 2008-ci ildə Azərbaycan Ərazisində Seysmo-proqnoz müşahidələrinin kataloqu, Bakə-2009, səh. 121-126.
4. R.Reilinger, S.McClusky, P.Vernant, S.Ergintav, F.Kadirov, R.Safarov, R.Stepanyan, M.Kachakhidze, T.Guseva and N.Rosenburg. Present-day kinematics of the Arabia-Eurasia collision zone and some pos-

- sible implications for lithospheric dynamics. Fall 2009 AGU Meeting (T32: Mesozoic-Cenozoic Tectonics and Crustal Evolution of the Eurasian-Arabian Collision Zone, Including the Black Sea Basin, Caucasus, and Anatolian Block).
5. R.Reilinger, S.McClusky, P.Vernant, S.Ergintav, F.Kadirov, R.Safarov, R.Stepanyan, M.Kachakhidze, T.Guseva, and N.Rosenberg. Active deformation within the arabia-eurasia continental collision zone. The VII Azerbaijan International Geophysical Conference on topic: "Enhancement of efficiency of geophysical survey under conditions of active geodynamic processes in case of South Caspian Basin". Baku, May 11-13, 2010. Abstracts.p.34.
  6. F.Kadirov, A.Gadirov, S.Mammadov, R.Safarov, S.McClusky, and R.Reilinger. Geodynamics of the Absheron peninsula and adjacent territory from gps and seismological observations. The VII Azerbaijan International Geophysical Conference on topic: "Enhancement of efficiency of geophysical survey under conditions of active geodynamic processes in case of South Caspian Basin". Baku, May 11-13, 2010. Abstracts.p.33
  7. R.T.Səfərov, Azərbaycan ərazisində yer qabəpənən mьasir horizontal hərəkətləri və onlarən seysmik aktivliklə əlaqəsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasə aspirantlarənən elmi konfransə. Bakə "Elm", May, 2010, səh. 275-279.
  8. P.T. Сафаров Материалы I Региональной междисциплинарной конференции молодых ученых «Наука – Обществу», «GPS измерения на территории Азербайджана», Труды молодых ученых, РАН, Владикавказский Научный центр, март 18-20, Выпуск №3, 2010. Абстракты. стр. 11-17.
  9. R.T.Səfərov, Azərbaycan ərazisində yer qabəpənən mьasir horizontal hərəkətləri və onlarən seysmik aktivliklə əlaqəsi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasə aspirantlarənən elmi konfransə. Bakə "Elm", May, 2011. səh. 150-154.
  10. R.T.Safarov, Present-day kinematics of the Arabia-Eurasia collision zone, The 4th International Scientific Conference of young scientists and students "Earth sciences new approaches and achievements", 5-6 October, Baku, 2011, Abstracts, p.140-141.
  11. F.A.Kadirov, G.R.Babayev, A.H. Gadirov, R.T.Safarov, Site response studies in Baku city, International Conference on "Integrated Approach for Unlocking Hydrocarbon Resources", 3-5 October, Baku, 2012, Abstracts, p.101.

12. F.A.Kadirov, A.H.Gadirov, S.G.Mammadov, R.T.Safarov, M.Floyd, R.King, S.McClusky and R.Reilinger, Crustal deformation monitoring in Azerbaijan with GPS, International Conference on “Integrated Approach for Unlocking Hydrocarbon Resources”, 3-5 October, Baku, 2012, Abstracts, p.169.
13. F.A.Kadirov, G.R.Babayev, A.H.Gadirov, T.T.Ismail-zade, R.T.Safarov, Site effect evaluation based on microtremor measurements for Baku city, The Catalogue of Seismic forecasting researches carried out in the Azerbaijan territory, Baku, 2012, p.530-535.
14. Ф.А.Кадиров, Р.Т.Сафаров. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАНА, Науки о Земле, №1, 2013, с. 47-55.
15. Ф.А. Кадиров, А.Г. Кадыров, Г.Р. Бабаев, С.Т. Агаева, С.К. Мамедов, Н. Р. Гарагезова, Р.Т.Сафаров. Сейсмическое районирование южного склона Большого Кавказа по фрактальным особенностям землетрясений, напряженному состоянию и по данным GPS скоростей. Изв. РАН. Физика Земли. 2013, №4, с. 1-9.
16. F.A.Kadirov, A.G.Gadirov, G.R.Babayev, S.T.Agayeva, R.T.Safarov. Seismic zoning of the southern slope of Greater Caucasus from the fractal parameters of the earthquakes, stress state, and GPS velocities. - Izvestiya, Physics of the Solid Earth, July 2013, Volume 49, Issue 4, pp 554-562.
17. R.T.Safarov, T.Sagiya. Crustal deformation of the Mid Niigata Region derived from GPS measurements associated with the 2004 Chuetsu, the 2007 Chuetsu-oki, and the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquakes //Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. – 2013. – Т. 47. – С. 1-6.
18. R.T.Safarov, Crustal deformation investigation in Azerbaijan, The 5th International Conference Of Young Scientists And Students, «Fundamental and applied geological science: achievements, prospects, problems and ways of their solutions», Abstracts, 14-15 November, Baku, 2013, pp 250-252.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ  
СИТУАЦИИ И ОПАСНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА ПО GPS ДАННЫМ**

**РЕЗЮМЕ**

Диссертационная работа посвящена исследованию горизонтальных движений земной поверхности территории Азербайджана по GPS данным. На основе данных о компонентах скоростей GPS-пунктов Азербайджана и прилегающих территорий получены результаты накопления напряжений, распределение деформации земной поверхности, и их корреляция с сейсмической активностью.

Территория Азербайджана располагается в зоне активного столкновения (коллизии) двух континентов: Африканского и Евразийского. Продолжающееся "вторжение" Аравийской плиты в Евразию обуславливает сокращение литосферы по Главному Кавказскому надвигу (ГКН), простирающемуся в направлении В-З, и горизонтальное смещение литосферы из зоны столкновения правостороннего сдвигового разлома. Эти региональные тектонические процессы, являясь причиной деформации земной коры, вызывают землетрясения, которые исторически зарегистрированы по всей территории Кавказа.

Данные GPS-наблюдений, выполненных в Азербайджане и на сопредельных территориях, позволяют оценить современные поверхностные движения и связанные с ними деформации земной коры. Наблюдаемые движения (скорости в пунктах наблюдений) позволяют нам идентифицировать (определять) зоны быстрого накопления напряжения, которые мы интерпретируем как результат глубинного скольжения по разлому, запортому на той или иной глубине земной коры.

GPS-сеть Азербайджана создана Институтом геологии Национальной Академии наук Азербайджана в сотрудничестве с Массачусетским технологическим институтом. Сеть была установлена в течение периода 1998-2012 г.г., в большинстве пунктов измерения проведены по 3-6 раз. В настоящее время на территории находятся 22 пункта наблюдения, из них 3 – постоянно действующие станции CGPS (Баку, Шеки и Нефтчала).

GPS-данные были обработаны, а ошибки оценены с использованием программного обеспечения GAMIT/GLOBK Массачусетского технологического института. В результате вычислений для каждого

пункта была определена усредненная за общий интервал наблюдений скорость покомпонентного смещения. Таким образом, исходные данные для оценки скорости деформации представляют собой поле векторов скоростей, полученных по данным GPS за интервал времени 1998-2012 г.г. Ошибка определения скорости составляет в основном меньше чем 0,6 мм/год (1 сигма) и позволяет довольно точно оценить конвергенцию поперёк Кавказской горной системы (т.е. ошибка составляет 5% от полной скорости конвергенции).

В широком масштабе поле скорости GPS-наблюдений четко иллюстрирует движение поверхности земной коры в С-СВ направлении на территории Азербайджана и смежных регионов Малого Кавказа относительно Евразии. Явно проявленная особенность скоростного поля – уменьшение скорости в пунктах наблюдений, расположенных перпендикулярно к ГКН (то есть между KURD и MEDR и BILE и SHIK). Пункты GPS-наблюдений вдоль ГКН показывают уменьшение скорости. С-СВ движение земной поверхности мы интерпретируем как одну из причин накопления напряжений на этом надвиге. Кроме того, здесь имеется тенденция горизонтального движения в пределах Куринской депрессии и Малого Кавказа, где увеличивается скорость с запада на восток вдоль простираения горной цепи.

Так как деформацию земной коры можно считать непрерывной и рассматривать как изменение формы и объема тела, то каждой точке земной коры и ее поверхности будет соответствовать относящийся к данному моменту времени тензор деформации. Отметим, что при анализе только горизонтальных компонент современных движений земной поверхности возможно оценить плоскую деформацию – состояние деформации, при котором одна из главных деформаций постоянна. Распределения деформаций для исследуемой территории, вычисленные по методике Шена. Из анализа рисунка следует, что хотя доминирующим режимом является сжатие, деформации земной коры территории Азербайджана распределены неравномерно.

Сжатия наблюдаются на Большом Кавказе, в Гобустане, Куринской впадине, Нахичеванской АР. Оси сжатия показывают, что сокращение земной коры в регионе Большого Кавказа происходит в направлении С-СВ, причем сокращение в районе Шамахи (MEDR) почти субмеридиональное. Максимальное значение скорости деформации (порядка  $200 \text{ Ч } 10^{-9}$  в год) наблюдается в районе между пунктами KHIID (Хыдырлы) и SHIK (Шыхлар) и здесь ось сжатия резко меняет направление и ориентируется в ЮЗ-СВ направлении (на юге Гобустанской и северной части Нижне-Куринской структурных зон). В

районе Сальян, Билясувар и Нефтчала ось сжатия также резко меняет направление.

В деформационном поле наряду с областями сжатия проявились зоны, где деформации практически отсутствуют (величина скорости дилатации меньше  $5 \cdot 10^{-9}$  в год). К таким зонам относятся Прикаспийско-Губинский район (ANIX, SAMU) и северная часть Гобустана (или восточная часть Загатала-Говдагской структурной зоны). В этих зонах растяжение почти компенсируется сжатием.

**MODERN GEODYNAMIC CONDITIONS AND EARTHQUAKE  
HAZARDS INVESTIGATION IN AZERBAIJAN TERRITORY ON  
THE BASES OF GPS DATA**

**SUMMARY**

This thesis is devoted to the study of horizontal movements of the Earth's surface in Azerbaijan using GPS data. Based on velocity components data obtained from Azerbaijan GPS network and surrounding territories we have identified zones of stress accumulation, distribution of surface deformation, and their correlation with seismic activity.

Azerbaijan territory is located at the active collision zone of two continents, African and Eurasian. Continuous "intrusion" of Arabian plate trough Eurasia causes lithosphere shortening along Main Caucasian Thrust (MCT), which spreads in NW direction and horizontal displacement of the lithosphere from the collision zone of right lateral strike-slip fault. These regional tectonic processes, being the reason of crustal deformations cause earthquakes which are historically recorded all over the Caucasus territory.

GPS observation data which conducted in Azerbaijan and surrounding territories let us evaluate modern surface displacements and related crustal deformations. Observed movements (speeds on observation points) let us to identify (determine) zones of fast strain accumulation, interpreted as a result of deep slip along fault which is locked at varying depths of earth's crust.

Azerbaijan GPS network established by the Geology Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences in collaboration with Massachusetts Institute of Technology. The network established during the 1998-2012 time period, at most points measurements were carried out 3-6 times. Currently there are 22 observation points in the territory, 3 from which are continuously operated CGPS stations (Baku, Sheki and Neftchala).

GPS data were processed and the errors were evaluated using GAMIT/GLOBK program by Massachusetts Institute of Technology. As result of processing averaged for all observation interval speed of component-displacement determined for each point. Thus initial data for the evaluation of deformation rates includes the field of velocity vectors which are derived on the basis of GPS data for the 1998-2012 yr. time interval. The error of determining the velocity mainly less than 0.6 mm/year and allows us to determine conver-



gence quite accurately across the Caucasus Mountain System (i.e. error is 5% from full rate of the convergence).

In wide scale the velocity field of GPS-observations clearly illustrates the movement of the Earth's crust surface in N-NE direction in Azerbaijan territory and adjacent regions of Lesser Caucasus relative to Eurasia. Most clearly manifested feature of the velocity field is decrease in speed at the observation points which are located perpendicular to the MCT (i.e. between KURD and MEDR, and BILE and SHIK). GPS observation points along MCT shows decrease in speed. N-NE motion of earth's surface is interpreted as one of the reasons of strain accumulation on this thrust. In addition, there is a tendency of horizontal motion within the Kura depression and the Lesser Caucasus, where speeds are increasing from the west to east along the mountain range.

Since the deformation of the earth's crust can be considered as continuous and can be treated as the change in shape and volume of the body, that the each point of the earth's crust and its surface will correspond in time the strain tensor which is related to this point. Note that, the analyses of only the horizontal components of modern earth's surface motions allows us to evaluate surface deformation – the state of deformation, where one of the main deformation components is constant. Strain distribution for the study area calculated using Shen method. The analysis of dilatation rate distribution implies that although the contraction is dominant regime, the deformation of earth's crust of the Azerbaijan territory unequally distributed.

Contraction observed in the Greater Caucasus, Gobustan, the Kura depression, Nakhchevan AR. Contraction axes show that earth's crust shortening in the Greater Caucasus region occurs in N-NE direction, and in Shamaky area (MEDR) it is nearly submeridional. Maximum strain rates (about  $200 \text{ } \mu\text{ } 10^{-9}/\text{year}$ ) observed in area between KHID (Khidirly) and SHIK (Shikhlar) points, and here the contraction axes sharply changes its direction and oriented in SW-NE direction (at the south of Gobustan and northern part of the Lesser Kura structural zone). At the Salyan, Bilasuvar and Neftchala areas the contraction axes also sharply changes in direction.

Along with the areas of contraction at the strain field there are appearance of zones where the deformation is practically absent (the dilatation rate less than  $5 \text{ } \mu\text{ } 10^{-9}/\text{year}$ ). These zones are the Pre-Caspian-Guba region (ANIX, SAMU) and the northern part of Gobustan (or eastern part of Zagatala-Govdag structural zone). In these zones extensions are almost compensated by contractions.

Extension observed in Lesser Caucasus: Gedabey (GEDA), Shusha (SHOU) regions and in the zone which is located between DAMO and

PIRM observation points. At these zones dilatation rate reaches up to  $100 \text{ } \mu\text{m} \cdot 10^{-9}/\text{year}$ . The revealed heterogeneous feature of strain field in the region allows admitting the block model structure of the region, which is close to reality. A similar conclusion about the block structure revealed for other regions. In order to solve the problem of identifying the boundaries of microplates it is needed to increase the number of continuous GPS observation stations.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ**

---

---

*На правах рукописи*

**САФАРОВ РАФИГ ТОФИГ ОГЛЫ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ  
СИТУАЦИИ И ОПАСНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА ПО GPS ДАННЫМ**

2507.01 – Геофизика, геофизические методы поисков  
полезных ископаемых

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации, представленной на соискание ученой степени  
доктора философии по наукам о Земле

**Баку – 2014**