

QAFQAZ (AZƏRBAYCAN) ƏRAZİSİNİN LİTOSFERİNDƏ GƏRGİNLİK-DEFORMASIYA ŞƏRAİTİNİN ANALİZİ

Əhmədova E.V.

Bakı Dövlət Universiteti

AZ1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç. 23: elnare.isayeva.88@mail.ru

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE IN CAUCASUS LITHOSPHERE (AZERBAIJAN)

Akhmadova E.V.

Baku State University

Z.Khalilov Str., 23, Baku, Azerbaijan, AZ1148: elnare.isayeva.88@mail.ru

Keywords: stress field,
topographic anomaly, crystal-
line basement,
Moho surface, HyperMesh

Summary. The study of topographic anomaly effects on the stress-strain state at different depths of lithosphere with CASMO approach of the "World stress map" project is a critical. The main purpose of the paper is to study the effects of topographic anomalies in Caucasus (Azerbaijan) on the stress-strain state at different lithosphere depths. This study researches the topography, Moho depth and crystalline basement that affect stress-strain of the crust and the Earth's sphere. As an initial step, Moho and crystalline basement maps were digitized and the ETOPO5 was used for topography. At various stages, HyperMesh™ was used for meshing the study area and Abaqus™ was applied for horizontal stress axes calculation. The results of the stress vectors distribution characterizing the stress-strain in Caucasus region demonstrate that the effects of right-lateral compression in the southern part of the Caspian Sea has eventually sub-meridional direction and stress-strain distribution over the study area is irregular.

© 2018 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

GİRİŞ. "World stress map" layihəsi çərçivəsində, CASMO proqramı üzrə, zəlzələ ocaqları mexanizminin tədqiqi məlumatlarına əsasən, topoqrafik anomaliyaların litosferin müxtəlif dərinliklərində gərginlik-deformasiya halının formalaşmasına təsirinin öyrənilməsi aktual problem hesab edilir. Strateji obyektlərin, neft-qaz boru kəmərlərinin (BTC və digərləri), neft-qaz terminalları və yeraltı konstruksiyaların (şaxtalar, tunellər, yeraltı boru xətləri) inşasında da belə tədqiqatların aparılması mühüm əhəmiyyət daşıyır (Heidbach et al., 2004).

Müxtəlif regionlarda litosferin gərginlik halının formalaşmasına topoqrafik xüsusiyyətlərin təsiri bir çox tədqiqatçılar tərəfindən araşdırılmışdır (Zoback, Mooney, 2003; Bada et al., 2005; Ismail-Zadeh et al., 2005; Yamasaki, Seno, 2005; Протосеня, Беляков, 2011; Ребецкий и др., 2013; Kreemer et al., 2014; Randolph et al., 2015).

Belə tədqiqatlar aparılarkən yer qabığının gərginlik-deformasiya halının formalaşmasına təsir edən digər faktların da (Moxoroviç və kristallik bünövrə səthlərinin dərinlik qiymətləri, Yerin sferikliyi) nəzərə alınması zəruri şərtidir.

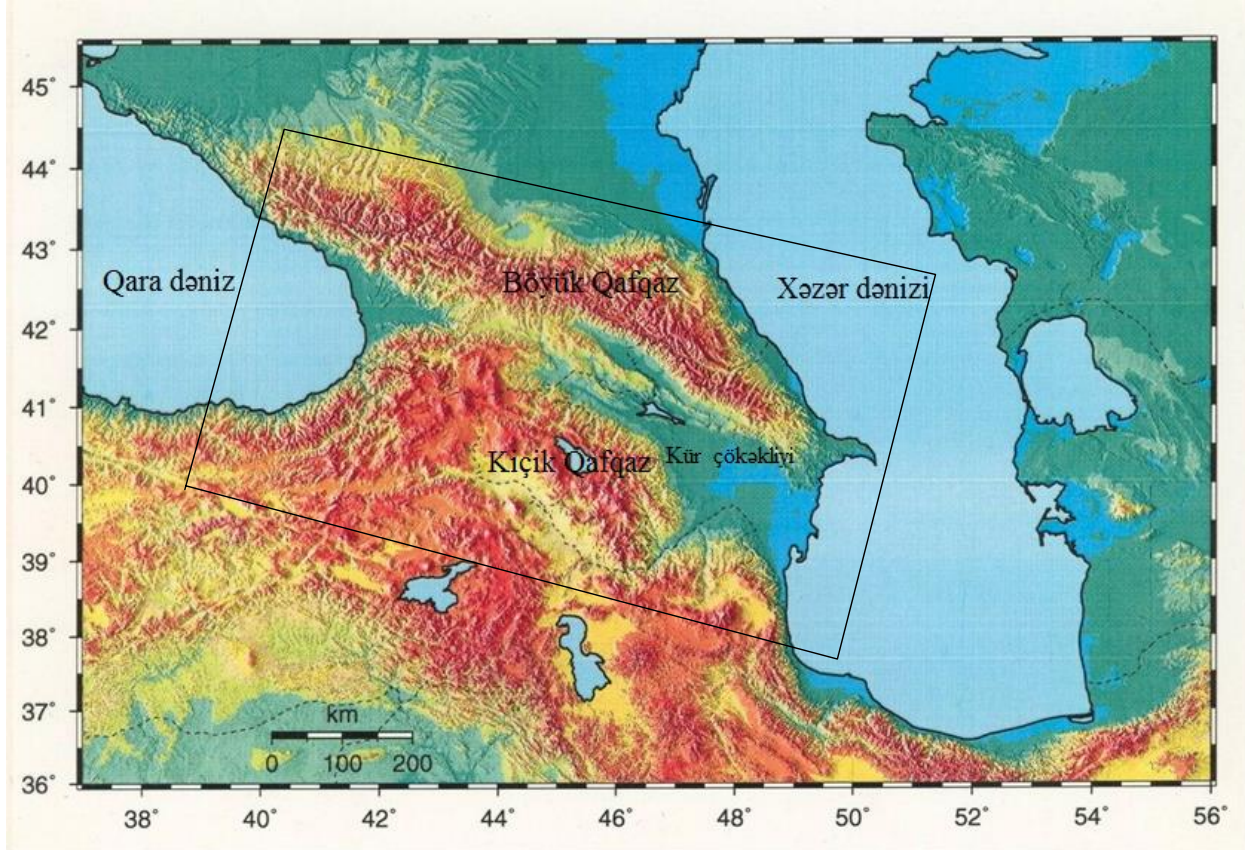
Aparılmış tədqiqatların əsas məqsədi Azərbaycanın timsalında Qafqaz regionunun topoqrafik anomaliyalarının litosferin müxtəlif dərinliklərində gərginlik-deformasiya halının formalaşmasına təsirinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Bununla əlaqədar olaraq, tədqiqat ərazisi kimi seçilmiş Qafqaz (Azərbaycan) regionu topoqrafiyasının, Moxoroviç və kristallik bünövrə səthlərinin xüsusiyyətlərini nəzərdən keçirək.

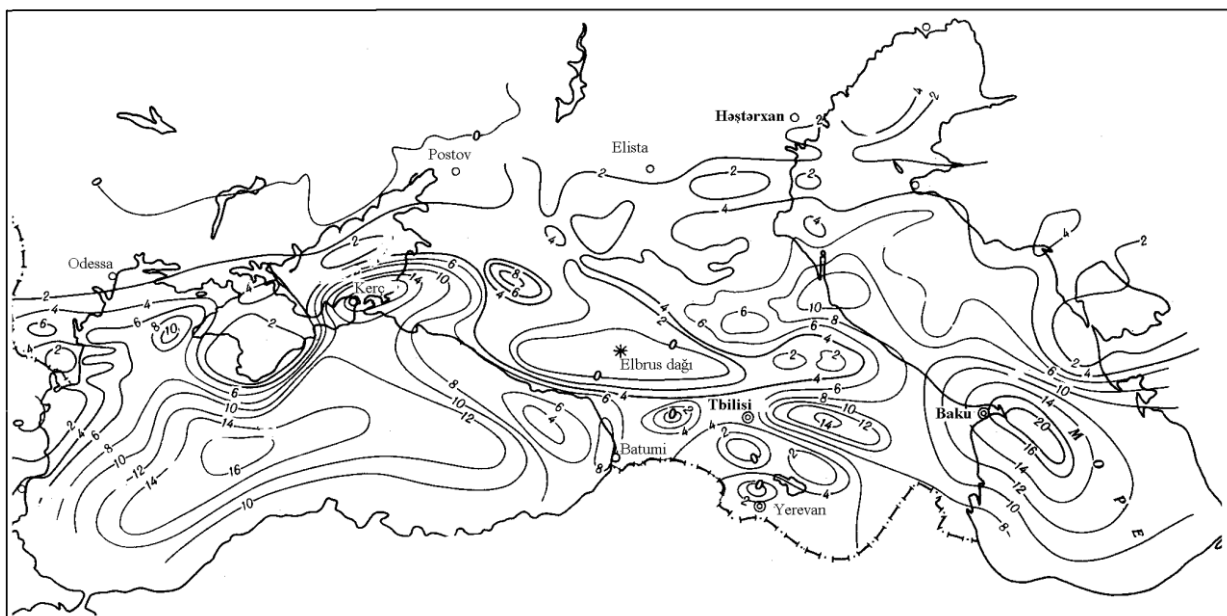
Tədqiqat ərazisinin topoqrafiyası, kristallik bünövrə və Moxoroviç səthlərinin xüsusiyyətləri. Tədqiq olunan Qafqaz (Azərbaycan) regionunun topoqrafiyası mürəkkəb və müxtəlifdir (1-ci şəkil). Azərbaycanın relyefinin orta hündürlüyü 400 m-dir. Böyük Qafqazın cənub-şərq hissəsi hündürlüyü 4466 m-ə qədər olan iki dağ silsiləsi ilə səciyyələnir (Alizadeh et al., 2016). Cənub-qərbə doğru silsilələrin hündürlükləri tədricən 1000-700 m-ə qədər azalır. Kiçik Qafqaz Azərbaycan ərazisinin mürəkkəb struktura malik alçaq yüksəklikli cənub-qərb və qərb hissələrini əhatə edir. Azərbaycanın cənub-şərq hissəsində yerləşən Talış dağlarının maksimal hündürlüyü 2477 m-dir. Kür çökəkliyində düzənliklər və alçaq

dağlığa keçən yüksəkliklər üstünlük təşkil edir. Topoqrafiyadakı belə kəskin dəyişikliklər (hündürlüklərin kəskin fərqi, yüksəklik və çökəklik sahələrindəki relyef dəyişmələri) regionda gərginlik halının formalaşmasına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərə bilər.

2-ci şəkildə Qafqaz ərazisində kristallik təməlin dəniz səviyyəsinə görə yatım dərinliyinin paylanması xəritə-sxemi verilmişdir (Балавадзе, 1975; Шенгелая, 1984).



1-ci şəkil. Qafqaz regionunun (Azərbaycan) topoqrafiyası



2-ci şəkil. Qafqaz ərazisi üçün kristallik təməlin dəniz səviyyəsindən yatım dərinliyinin sxematik xəritəsi

Sxematik xəritədən görünür ki, bu dərinlik 20 km-ə qədər dəyişir. Ən böyük kristallik bünövrə dərinliyi Abşeron yarımadası arxipelaqında müşahidə edilir. Kür depressiya zonasında kristallik bünövrə dərinliyi 15 km-ə qədər dəyişir.

3-cü şəkildə Qafqaz regionunun Moxoroviç səth dərinliyinin paylanması öz əksini tapmışdır (Балавадзе, 1975; Шенгелая, 1984). Moxoroviç səth dərinliyinin sxematik xəritəsi aşağıdakı xüsusiyyətlərlə xarakterizə olunur. Bu səthin ən böyük dərinlikləri Böyük Qafqazın qırıqlıqlıq zonasında müşahidə edilir. Qafqazönü, Böyük və Kiçik Qafqaz dağları arasındakı depressiya zonalarında isə Moxoroviç səth dərinliyi azalır, başqa sözlə, burada Moxoroviç səthi yüksəlir. Böyük Qafqazın qırıqlıqlıq zonasında Moxoroviç səthinin dərinliyi 55 km-dir. Cənubi Xəzər çökəkliyində bu səth 35 km-ə qədər yüksəlir, Kiçik Qafqaz qırıqlıqlıq zonasında 45-50 km aralığında dəyişir. Qara dəniz ərazisində də Moxoroviç səth dərinliyi 25 km-ə qədər yüksəlir. Yer qabığının təsnifatına görə, Qara dəniz və Cənubi Xəzər çökəkliyi subokeanik tipə aid edilir.

Qafqaz regionunun (Azərbaycan) gərginlik-deformasiya şəraitinin analizi. Qafqaz regionunun (Azərbaycan) gərginlik-deformasiya halının “World stress map” layihəsi proqramlarından istifadə edilməsi güclü zəlzələ ocaqlarının mexanizm parametrlərinin də başlanğıc məlumat olaraq hesablama prosesinə daxil edilməsini nəzərdə tutur.

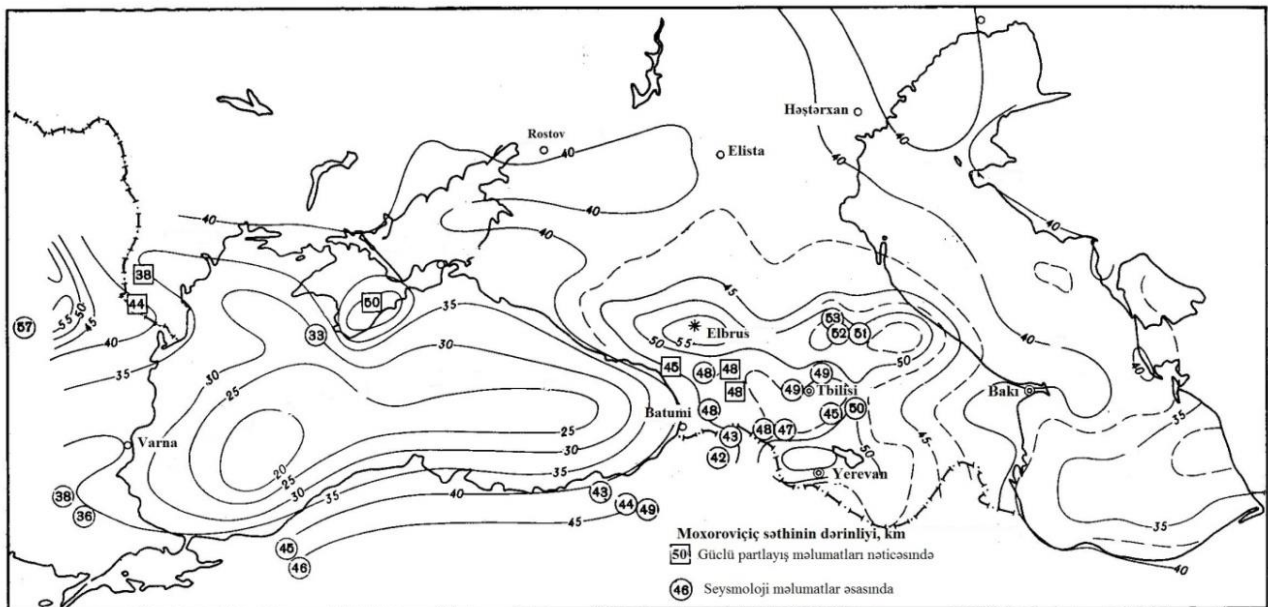
Respublika Seysmoloji Xidmət Mərkəzinin məlumatlarından istifadə edilərək Azərbaycan ərazisində 2003-2016-cı illər ərzində baş vermiş, maqnituda-
sı $M \geq 2$ olan zəlzələlərin episentrələrinin paylanma xəritəsi 4-cü şəkildə verilmişdir.

Zəlzələlərin çoxu Böyük Qafqazın şərq hissəsinin cənub yamacında və Xəzər dənizində baş verir. $M > 2,0$ maqnituda-
lı zəlzələlərin xeyli hissəsi dağ silsilələri boyu episentrələr zənciri əmələ gətirir (Kadirov et al., 2009, 2012, 2015; Babayev, 2009; Кадиров и др., 2013; Telesca et al., 2013; Yetirmişli et al., 2013). Episentrələrin paylanma xəritəsi ayrı-ayrı zəlzələlərin dağarası çökəkliklərdə yer qabığında da baş verdiyini göstərir.

Qafqaz ərazisində baş verən, maqnitudası $M > 5,0$ olan bəzi güclü zəlzələlərin “Harvard Centroid Moment Tensor” üsulundan istifadə edilərək hazırlanmış ocaq mexanizmləri 5-ci şəkildə öz əksini tapmışdır.

Litosferdə gərginlik-deformasiya şəraitinin formalaşmasına topoqrafik anomalionaların təsirinin hesablanması tədqiqatlarda tətbiq olunan metodika ilə (Fleitout, Froidevaux, 1982; Molnar, Lyon-Caen, 1988; Lanbo, Zoback, 1992; Bada et al., 2001; Zoback, Mooney, 2003) yerinə yetirilmişdir. Bu tədqiqatlara görə, qravitasiya gərginliyinin yaranmasına relyefin topoqrafik xüsusiyyətləri, dağ massivlərinin sıxlığının variasiyası və yer qabığının qalınlığı səbəb olur.

Topoqrafik xüsusiyyətlərin təsiri altında gərginlik sahələrinin modelləşdirilməsi sonlu elementlər üsulu ilə elastik-plastik mühitin tarazlığı tənliyinin ədədi həllini nəzərdə tutan Yer litosferinin üçölçülü gərginlik sahəsinin hesablama alqoritmində əsaslanmışdır. Bu yanaşma gərginliklərin paylanmasının qlobal modellərinin qurulmasına müvəffəqiyyətlə tətbiq olunmuşdur (Hashimoto, 1982; Molnar, Lyon-Caen, 1988; Bada et al., 2001, 2005; Zoback, Mooney, 2003; Ismail-Zadeh et al., 2005; Yamasaki, Seno, 2005; Беляков, 2010; Протосеня, Беляков, 2011; Коптев, Ершов, 2011; Ребецкий и др., 2013; Randolph et al., 2015).

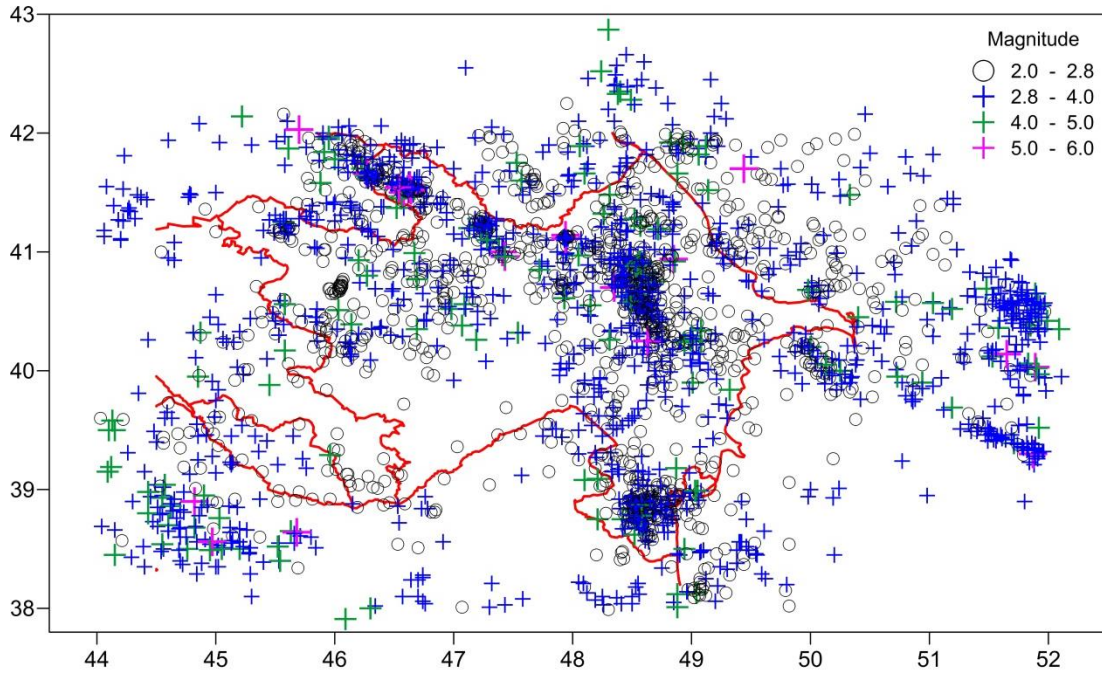


3-cü şəkil. Qafqaz regionunun (Azərbaycan) Moxoroviç səth dərinliyinin sxematik xəritəsi (Балавадзе, 1975; Шенгелая, 1984)

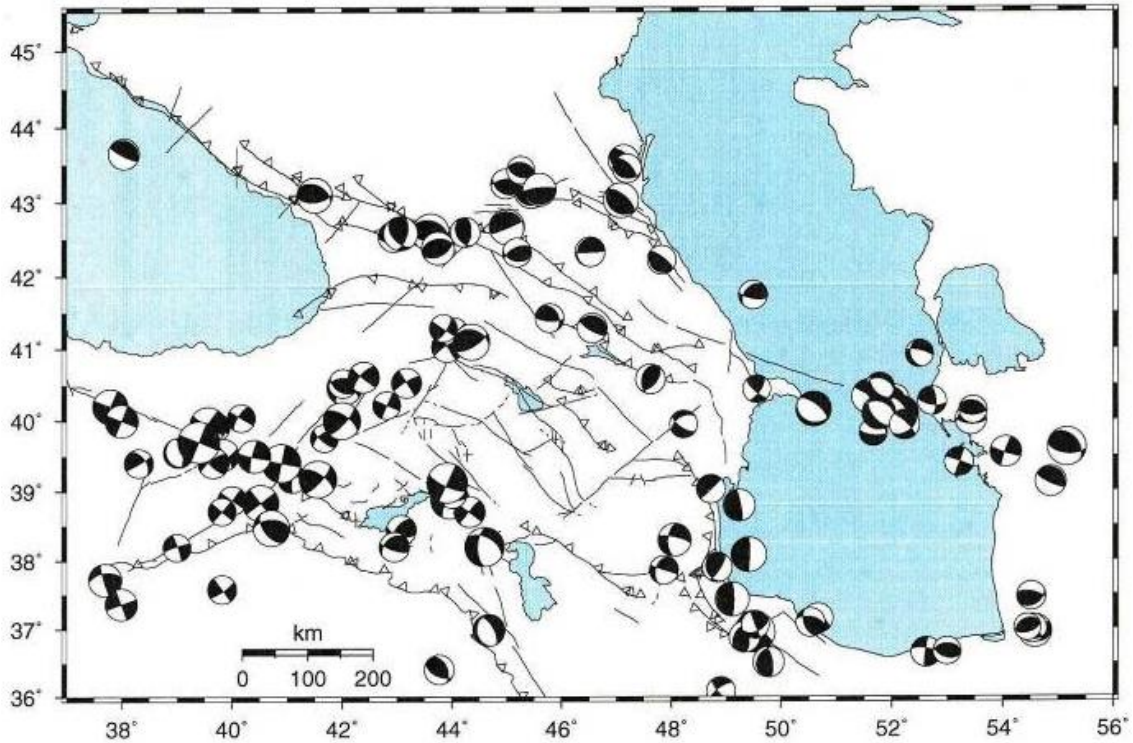
İlkin məlumat bazası olaraq, Moxoroviç sathının və kristallik bünövrə səthləri xəritələrinin 50x50 km kvadratlarda rəqəmləşdirilmiş qiymətlərdən, topoqrafik məlumat olaraq isə relyefin ETOPO5 rəqəmli modelindən (National ..., 1988) istifadə edilmişdir. Tədqiqatın müxtəlif mərhələlərində xəritələri

rəqəmləşdirmək üçün “Didger” proqramından istifadə olunmuşdur.

Müxtəlif dərinliklər üçün gərginlik-deformasiya halının modellərinin işlənilib hazırlanmasında istifadə olunan yer qatlarının parametrləri cədvəldə verilmişdir.



4-cü şəkil. 2003-2016-cı illər ərzində Azərbaycan ərazisində baş vermiş zəlzələlərin episentrlərinin paylanma xəritəsi (Respublika Seysmoloji Xidmət Mərkəzinin kataloqu)



5-ci şəkil. Qafqaz ərazisində baş verən, maqnitudası $M > 5.0$ olan bəzi güclü zəlzələlərin “Harvard Centroid Moment Tensor” üsulundan istifadə edilərək hazırlanmış ocaq mexanizmləri

Yer qatlarının mexaniki parametrləri

Təbəqələr	Sıxlığı, kq/m ³	Yunq modulu, Pa	Puasson əmsalı	Qalınlığı, km
Kristallik bünövrə	2500	$5 \cdot 10^{10}$	0,42	25
Yer qabığının alt hissəsi (Moxoroviç q sərhədinə kimi)	2900	$8 \cdot 10^{10}$	0,42	55
Üst mantiya	3500	$1,5 \cdot 10^{11}$	0,42	300

Litosfer və üst mantiyada gərginlik-deformasiya modelinin öyrənilməsi üçün seçilən ərazinin ölçüləri şərq-qərb istiqamətində 1092 km və cənub-şimal istiqamətində isə 849 km-dir. Yer in əyriliyi (sferikliyi) nəzərə alınaraq düzəlişlərin daxil edilməsi gərginlik-deformasiya şəraitini real təsvir edən modelin əldə edilməsinə imkan vermişdir.

Müşahidə olunan gərginliklərlə modelləşdirmənin nəticələrini müqayisə etmək üçün CASMO fokal mexanizmlər xəritəsinin ("Dünya gərginliklər xəritəsi") (Heidbach et al., 2004) qurulması metodikasından istifadə etməklə seysmoloji məlumatlar üzrə (Agayeva, 2006; Agayeva, Babayev, 2009; Babayev, 2009; Кадиров и др., 2013; Кадиров et al., 2015; Yetirmişli et al., 2013) 1990-2015-ci illər ərzində $M_w \geq 5$ maqnitədalı zəlzələ ocaqlarının mexanizmləri tədqiq olunmuşdur. "World stress map" layihəsi üzrə tədqiq edilən ərazinin gərginlik xəritəsində istifadə edilmiş güclü zəlzələ ocaqlarının P və T əsas gərginlik oxlarının istiqamətləri haqqında informasiya "Dünya gərginliklər xəritəsi" bazasından əldə edilmişdir (Zobak, 1992).

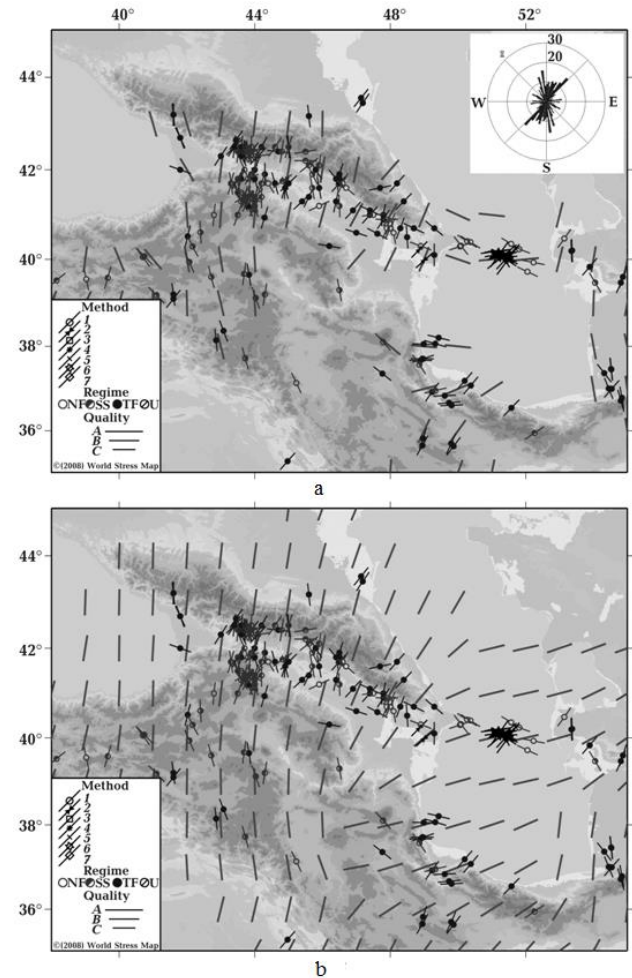
Birinci mərhələdə hər üç sərhədin 50x50 km şəbəkədə göstərilən təsviri HyperMeshTM proqramı tətbiq edilərək səthlərin geoloji 3D sonlu-element modeli əldə edilmişdir. Bu qayda ilə əldə edilən və üç səthi nəzərə alan geoloji model yan sərhədlərlə qapanmış olur.

Qafqaz (Azərbaycan) ərazisinin gərginlik-deformasiya şəraitinin öyrənilməsi yuxarıda göstərilən 3D aproksimasiya edilmiş litosferin geoloji modelindən istifadə edilərək AbaqusTM proqram təminatı ilə yerinə yetirilmişdir. AbaqusTM proqramının tətbiqi nəticəsində model üzrə σ_{\max} maksimal horizontal gərginlik vektorlarının sonlu-element üsulu ilə yerinə yetirilmiş ədədi hesablanmasından əldə edilən maksimal horizontal gərginlik vektorunun (σ_{\max}) litosfer və üst mantiyaya uyğun olan 100 və 200 km dərinliklərdə paylanması 6-cı şəkildə göstərilmişdir.

Qafqaz regionunun gərginlik-deformasiya şəraitini xarakterizə edən gərginlik vektorlarının paylanmasından alınan nəticələrdən görünür ki, Xəzər dənizinin cənub hissəsində sağtərəfli sıxılma təsirləri praktiki olaraq submeridional istiqamətlidir.

Qafqaz regionunun (Azərbaycan) gərginlik-deformasiya halının "World stress map" layihəsi proqramlarından istifadənin təhlili regionda gərginlik-deformasiya halının paylanmasının qeyri-bircins oldu-

ğunu göstərir. Böyük Qafqazın qərb və mərkəzi hissələri ŞmŞ-CQ istiqamətli gərilmə şəraitində olur, şərq hissədə isə bu gərilməni intensiv sıxılma əvəz edir. Xəzər dənizinin cənub hissəsi şimal-şərq oriyentasiyaya malik sıxılma halında olur. Ümumi halda zəlzələ hipomərkəzləri və ocaq dərinlikləri Qafqaz regionunun topoqrafik anomaliyalarının təsiri altında formalaşan gərginlik zonalarına uyğun gəlir. Müxtəlif dərinliklərdə gərginliklərin horizontal komponentlərinin paylanmasının öyrənilməsi gərginlik-deformasiya halının sonrakı proqnozu və regionda yer qabığının geodinamik rejiminin dəyişməsinə təyin etmək üçün daha etibarlı məlumatlar almağa imkan verir.



6-cı şəkil. 100 km (a) və 200 km (b) dərinlikdə CASMO ("Dünyanın gərginliklər xəritəsi") layihəsinin köməyi ilə qurulmuş ocaq mexanizmləri xəritəsi ilə müqayisə olunan σ_{\max} maksimal topoqrafik horizontal gərginliklər vektorlarının paylanması (Babayev və Əhmədova)

Nəticə

– Qafqaz (Azərbaycan) regionu ərazisində Yer litosferində regional gərginlik sahəsinin formalaşmasında topoqrafik anomaliaların dominant təsiri müşahidə olunur.

ЛИТЕРАТУРА

- Балавадзе Б.К. К построению модели земной коры Кавказа и сопредельных акваторий. Известия АН СССР, Физика Земли, № 2, 1975, с. 75-83.
- Беляков Н.А. Геомеханическое обоснование параметров крепления железнодорожных тоннелей в условиях Северного Кавказа. Записки Горного института, Т. 186, 2010, с. 99-103.
- Кадилов Ф.А., Кадыров А.Г., Бабаев Г.Р., Агаева С.Т., Мамедов С.К., Гарагезова Н.Р., Сафаров Р.Т. Сейсмическое районирование южного склона Большого Кавказа по фрактальным особенностям землетрясений, напряженному состоянию и по данным GPS скоростей. Физика Земли, № 4, 2013, с. 111-119, DOI: 10.7868/S0002333713040 046.
- Коптев А., Ершов А. Численное моделирование термального состояния литосферы, распределения внутриплитных напряжений в литосферных складках Черноморско-Кавказско-Каспийского региона. Бюлл. Моск. Об-ва испытателей природы. Отд. Геологии, В. 86, 2011, с. 3-11.
- Протосеня А.Г., Беляков Н.А. Определение пространственного напряженно-деформированного состояния временной крепи железнодорожного тоннеля с учетом влияния рельефа земной поверхности. Известия ТулГУ. Науки о Земле, В. 1, 2011, с. 158-166.
- Ребецкий Ю.Л. Новые данные о природных напряжениях в области подготовки сильного землетрясения. Модель очага землетрясения. Геофиз. журн. Т. 29, № 6, 2007, с. 92-110.
- Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Маринин А.В. Напряженное состояние и деформации земной коры Алтае-Саянской горной области. Геология и геофизика, Т. 54, № 2, 2013, с. 271-291.
- Шенгеля Г. Гравитационная модель земной коры Кавказа. Наука. Москва, 1984, 128 с.
- Agayeva S. Stress state of the Earth's crust in Azerbaijan. Recent geodynamics, georisk and sustainable development in the Black Sea to Caspian Sea region. Conference proceedings of American Institute of Physics, Melville, New-York, USA. V. 825, 2006, pp. 97-102.
- Agayeva S.T., Babayev G.R. Analysis of earthquake focal mechanisms for Greater and Lesser Caucasus applying the method of World Stress Map. . Proceedings of NAS of Azerbaijan. The sciences of Earth, № 2, 2009, pp. 40-44.
- Alizadeh A.A., Guliyev I.S., Kadirov F.A., Eppelbaum L.V. Geosciences of Azerbaijan. Vol. I: Geology. Springer Int. Publ. 2016, 340 p. DOI: 10.1007/ 978-3-319-27395-2.239.
- Babayev G.R. Analysis of earthquake focal mechanisms for Greater and Lesser Caucasus applying the method of World Stress Map, Azerbaijan National Academy of Science. Catalogue of Azerbaijan Republican Seismological Center, 2009, pp. 67-74.
- Bada G., Horvath F., Cloetingh S., Coblentz D.D., Tyth T. Role of topography-induced gravitational stresses in basin inversion: The case study of the Pannonian basin. Tectonics, V. 20, 2001, pp. 343-363.
- Bada G., Horvath F., Tyth L., Fodor L., Timar G., Cloetingh S. Societal aspects of ongoing deformation in the Pannonian region. In: Pinter N., Greneczy Gy., Weber J., Stein S., Medak D. (Eds.), The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards. NATO ARW Series, V. 61. Kluwer Academic Publishers. 2005, pp. 385-402.

– Qafqaz (Azərbaycan) regionu ərazisində gərginlik-deformasiya parametrinin paylanması qeyri-bircinsdir.

– Böyük Qafqazın qərb və mərkəzi hissələri ŞmŞ-CQ istiqamətli gərilmə şəraitindədir, şərq hissədə isə bu gərilmə intensiv sıxılma ilə əvəz olunur.

REFERENCES

- Agayeva S. Stress state of the Earth's crust in Azerbaijan. Recent geodynamics, georisk and sustainable development in the Black Sea to Caspian Sea region. Conference proceedings of American Institute of Physics, Melville, New-York, USA, V. 825, 2006, pp. 97-102.
- Agayeva S.T., Babayev G.R. Analysis of earthquake focal mechanisms for Greater and Lesser Caucasus applying the method of World Stress Map. Azerbaijan National Academy of Sciences. In: Proceedings of NAS of Azerbaijan. The sciences of Earth, № 2, 2009, pp. 40-44.
- Alizadeh A.A., Guliyev I.S., Kadirov F.A., Eppelbaum L.V. Geosciences of Azerbaijan, Vol. I: Geology. Springer Int. Publ., 2016, 340 p. DOI: 10.1007/ 978-3-319-27395-2.239.
- Babayev G.R. Analysis of earthquake focal mechanisms for Greater and Lesser Caucasus applying the method of World Stress Map, Azerbaijan National Academy of Science. Catalogue of Azerbaijan Republican Seismological Center, 2009, pp. 67-74.
- Bada G., Horvath F., Cloetingh S., Coblentz D.D. and Tyth T. Role of topography-induced gravitational stresses in basin inversion: The case study of the Pannonian basin. Tectonics, V. 20, 2001, pp. 343-363.
- Bada G., Horváth F., Tyth L., Fodor L., Timár G., Cloetingh S. Societal aspects of ongoing deformation in the Pannonian region. In: Pinter N., Greneczy Gy., Weber J., Stein S., Medak D. (Eds.), The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards. NATO ARW Series, V. 61. Kluwer Academic Publishers. 2005, pp. 385-402.
- Balavadze B.K. Model building of Earth crust of Caucasus and adjacent areas. Proceedings of AS USSR, Earth Physics, № 2, 1975, pp. 75-83 (in Russian).
- Belyakov N.A. Geomechanical substantiation of framing parameters of railway tunnels under North Caucasus conditions. Proceedings of Mining Institute, V.186, 2010, pp. 99-103 (in Russian).
- Fleitout L., Froidevaux C. Tectonics and topography for a lithosphere containing density heterogeneities. Tectonics, V. 1, 1982, pp. 21-56.
- Hashimoto M. Numerical modelling of the three-dimensional stress field in Southwestern Japan. Tectonophysics, V. 84, 1982, pp. 247-266.
- Heidbach O., Barth A., Connolly P., Fuchs K., Müller B., Reinecker J., Sperner B., Tingay M. and Wenzel F. Stress maps in a minute: The 2004 World Stress Map Release. Eos Trans., V. 85, 2004, pp. 521-529.
- Ismail-Zadeh A., Müller B. and Schubert G. Three-dimensional modeling of present-day tectonic stress beneath the earthquake-prone southeastern Carpathians based on integrated analysis of seismic, heat flow and gravity observations. Phys. Earth. Planet. Int., V. 149 (1), 2005, pp. 81-98.
- Kadirov, A.G., Agayeva S.T., Aliyev F.A., Mammadov S.G., Babayev G.R., Kadirov F.A. Monitoring and seismicity of collision zone of Azerbaijan part of Greater Caucasus. Azerbaijan National Academy of Sciences. Proceedings of NAS of Azerbaijan. The sciences of Earth, № 3, 2009, pp. 25-37.
- Kadirov F.A., Kadirov A.G., Babayev G.R., Agayeva S.T., Mammadov S.G., Garagzova N.R., Safarov R.T. Seismic zonation of Greater Caucasus South Slope on fractal peculiarities of earthquakes, strain state and on GPS ve-

- Fleitout L., Froidevaux C. Tectonics and topography for a lithosphere containing density heterogeneities. *Tectonics*, V. 1, 1982, pp. 21-56.
- Hashimoto M. Numerical modeling of the three-dimensional stress field in Southwestern Japan. *Tectonophysics*, V. 84, 1982, pp. 247-266.
- Heidbach O., Barth A., Connolly P., Fuchs K., Müller B., Reinecker J., Sperner B., Tingay M., Wenzel F. Stress maps in a minute: The 2004 World Stress Map Release. *Eos Trans.*, V. 85, 2004, pp. 521-529.
- Ismail-Zadeh A., Müller B., Schubert G. Three-dimensional numerical modeling of contemporary mantle flow and tectonic stress beneath the earthquake-prone southeastern Carpathians based on integrated analysis of seismic, heat flow and gravity data. *Phys. Earth. Planet. Int.*, V. 149(1), 2005, pp. 81-98. DOI: 10.1016/j.pepi.2004.08.012.
- Kadirov A.G., Agayeva S.T., Aliyev F.A., Mamedov S.K., Babayev G.R., Kadirov F.A. Monitoring and seismicity of collision zone of Azerbaijan part of Greater Caucasus. *Azerbaijan National Academy of Sciences: Proceedings of Geology Institute. Nafta-Press. Baku. Proceedings of NAS of Azerbaijan. The sciences of Earth* № 3, 2009, pp. 25-37.
- Kadirov F.A., Floyd M.A., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R.E., Kuleli S., King R.W., Toksoz M.N. Kinematics of the Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Nat.Hazards*, V. 63, 2012, pp. 997-1006. DOI: 10.1007/s11069-012-0199-0.
- Kadirov F.A., Floyd M., Reilinger R., Alizadeh A.K., Guliyev I.S., Mammadov S.G., Safarov R.T. Active geodynamics of the Caucasus region: implications for earthquake hazards in Azerbaijan. *Proceedings of NAS of Azerbaijan. The sciences of Earth*, № 3, 2015, pp. 3-17.
- Kreemer C., Blewitt G., Klein E. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, V. 15, 2014, pp. 3849-3889. DOI: 10.1002/2014GC005407.
- Lanbo L., Zoback M. The effect of topography on the state of stress in the Crust: Application to the site of the Cajon Pass scientific drilling project. *J. Geophys. Res.*, V. 97(B4), 1992, pp. 5095-5108.
- Molnar P., Lyon-Caen H. Some simple physical aspects of the support, structure, and evolution of mountain belts. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, V. 218, 1988, pp.179-207.
- National geophysical data center. ETOPO5 bathymetry and topography data. *Data Announc.* 88-MGG-02.NOAA. Boulder. Colorado, 1988.
- Randolph M., Krasovec M.L., Romer S., Toksoz M.N., Kuleli S., Gillen L., Vergino E.S. The Caucasus seismic information network study and its extension into Central Asia. *27th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies*, 2015, pp. 71-78.
- Telesca L., Lovallo M., Babayev G., Kadirov F. Spectral and informational analysis of seismicity: an application to the 1996-2012 seismicity of Northern Caucasus-Azerbaijan part of Greater Caucasus – Kopet Dag Region. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, V. 392 (23), 2013, pp. 6064-6078. DOI:10.1016/j.physa.2013.07.031
- Yamasaki T., Seno T. High strain rate zone in central Honshu resulting from the viscosity heterogeneities in the crust and mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, V. 232, 2005, pp. 13-27. DOI: 10.1016/j.epsl.2005.01. 015.
- Yetirmishli G.J., Mammadli T.Y., Kazimova S.E. Features of seismicity of Azerbaijan part of the Greater Caucasus. *Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth*, V. 16 a, 2013, pp. 55-60.
- Zoback M. First and second order patterns of tectonic stress: The World Stress Map Project. *J. Geophys. Res.*, V. 97, 1992, pp. 11703-11728.
- Zoback M., Mooney W. Lithospheric buoyancy and continental intraplate stresses. *Int. Geol. Rev.*, V. 45, 2003, pp. 95-118.
- locities data. *Earth's Physics*. № 4, 2013, pp. 111-119 DOI:10.7868/S000 233713040046 (in Russian).
- Kadirov, F.A., Floyd M.A., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R.E., Kuleli S., King R.W., Toksoz M.N. Kinematics of the Caucasus near Baku, Azerbaijan. *J. Nat. Hazards*, V. 63, 2012, pp. 997-1006, DOI: 10.1007/s11069-012-0199-0.
- Kadirov F.A., Floyd M., Reilinger R., Alizadeh A.K., Guliyev I.S., Mammadov S.G., Safarov R.T. Active geodynamics of the Caucasus region: implications for earthquake hazards in Azerbaijan. *Proceedings of NAS of Azerbaijan. The sciences of Earth*, № 3, 2015, pp. 3-17.
- Koptev A., Yershov A. Numerical modelling of thermal state of lithosphere, distribution of intraplate stresses in lithospheric folds of Black Sea-Caucasian-Caspian region. *Newsletter of Moscow Community of Nature Researchers, Geology Section*, V. 86, 2011, pp. 3-11 (in Russian).
- Kreemer C., Blewitt G., Klein E. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model. *American Geophysical Union Publication*, V.15, 2014, pp. 3849-3889. DOI: 10.1002/2014GC005407
- Lanbo L., Zoback M. The effect of topography on the state of stress in the Crust: Application to the site of the Cajon Pass scientific drilling project. *Journal of Geophysical Research*, V. 97, № B4, 1992, pp. 5095-5108.
- Molnar P. and Lyon-Caen H. Some simple physical aspects of the support, structure, and evolution of mountain belts. *Geological Society of America, Special Paper*, V. 218, 1988, pp. 179-207.
- National Geophysical Data Center. ETOPO5 bathymetry and topography data. *Data Announc.* 88-MGG-02. NOAA. Boulder. Colorado, 1988.
- Protosenya A.G., Belyakov N.A. Definition of space stress-strain state of temporal support of railway tunnel considering Earth surface relief's effect. *Proceedings of TulGU. Earth Sciences*, Issue 1, 2011, pp. 158-166 (in Russian).
- Randolph M., Krasovec M.L., Romer S., Toksöz M.N., Kuleli S., L.Gulen, Vergino E. S. The Caucasus seismic information network study and its extension into Central Asia. *27th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies*, 2015, pp. 71-78.
- Rebetskey Yu.L. New data of nature stresses in strong earthquake preparation area. *Model of earthquake focus. Geophysical journal*, V. 29, № 6, 2007, pp. 92-110 (in Russian).
- Rebetskey Yu.L., Kuchai O.A., Marinin A.V. Stress-strain state of Earth's Crust in Altai-Sayansk mountainous area. *Geology and geophysics*, V. 54, № 2, 2013, pp. 271-291 (in Russian).
- Shengelaya G. Gravitational model of earth crust of Caucasus. *Nauka. Moscow*, 1984, 128 p. (in Russian).
- Telesca L., Lovallo M., Babayev G., Kadirov F. Spectral and informational analysis of seismicity: an application to the 1996-2012 seismicity of Northern Caucasus-Azerbaijan part of Greater Caucasus-Kopet Dag Region. *Physica-A Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol. 392 (23), 2013, pp. 6064-6078. DOI:10.1016/j.physa.2013.07.031.
- Yamasaki T. and Seno T. High strain rate zone in central Honshu resulting from the viscosity heterogeneities in the mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, V. 232, 2005, pp. 13-27. DOI: 10.1016/j.epsl.2005.01. 015.
- Yetirmishli G.J., Mammadli T.Y., Kazimova S.E. Features of seismicity of Azerbaijan part of the Greater Caucasus. *Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth*, V. 16a, 2013, pp. 55-60.
- Zoback M. First and second order patterns of tectonic stress: The World Stress Map Project. *J. of Geophys. Res.*, V. 97, 1992, pp. 11703-11728.
- Zoback M. and Mooney W. Lithospheric buoyancy and continental intraplate stresses. *International Geology Review*, V. 45, 2003, pp. 95-118.

**QAFQAZ (AZƏRBAYCAN) ƏRAZİSİNİN LİTOSFERİNDƏ
GƏRGİNLİK-DEFORMASIYA ŞƏRAİTİNİN ANALİZİ**

Əhmədova E.V.

Bakı Dövlət Universiteti

AZI 148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç. 23: elnare.isayeva.88@mail.ru

Xülasə. “World stress map” layihəsi çərçivəsində, CASMO proqramına əsasən, zəlzələ ocaqları mexanizminin tədqiqi məlumatlarına görə, topoqrafik anomaliyaların litosferin müxtəlif dərinliklərində gərginlik-deformasiya halının formalaşmasına təsirinin öyrənilməsi aktual problem olaraq öz həllini gözləyir.

Məqalənin əsas məqsədini topoqrafik anomaliyaların litosferin müxtəlif dərinliklərində gərginlik-deformasiya halının formalaşmasına təsirinin öyrənilməsi təşkil edir. Müəyyən edilmişdir ki, Qafqaz (Azərbaycan) regionu ərazisində Yerin litosferində regional gərginlik sahəsinin formalaşmasında topoqrafik anomaliyaların dominant təsiri müşahidə olunur və gərginlik-deformasiya parametri-nin paylanması qeyri-bircinsdir.

Açar sözlər: *gərginliklər zonası, topoqrafik anomaliyalar, kristallik fundament, Moxo, HyperMesh*

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТОСФЕРЫ
КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА (АЗЕРБАЙДЖАН)**

Ахмедова Э.В.

Бакинский Государственный Университет

AZI 148, г.Баку, ул. З.Халилова, 23: elnare.isayeva.88@mail.ru

Резюме. В статье представлены результаты изучения влияния топографических аномалий в Кавказском (Азербайджан) регионе на формирование напряженно-деформированного состояния литосферы на разных ее глубинах. При этом учитывается рельеф поверхности грунта, глубины границ Мохоровичича и кристаллического фундамента, которые оказывают определенное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния земной коры и сферичность Земли. В качестве первичной основы были использованы: карты поверхностей Мохоровичича, кристаллического фундамента, которые были оцифрованы и разбиты на сети с квадратами размером 50х50 км, а также топографические данные в виде цифровых ETOPO5 моделей рельефа. На первом этапе по программе HyperMesh™ была получена геологическая трехмерная конечно-элементная модель поверхностей грунта, Мохоровичича и кристаллического фундамента. Также было рассчитано распределение максимальных векторов горизонтального натяжения модели методом конечных элементов на глубинах 100 и 200 км в результате применения программы Abaqus™. По результатам распределения векторов напряжений, характеризующих напряженно-деформированное состояние в Кавказском регионе, эффекты сжатия в южной части Каспийского моря практически ориентированы субмеридиально, а формирование напряженно-деформированного состояния Кавказского региона (Азербайджан) носит неоднородный характер. Установлено доминантное воздействие топографических аномалий на формирование регионального напряженно-деформированного состояния литосферы на Кавказе (Азербайджан).

Ключевые слова: *зона напряжений, топографические аномалии, кристаллический фундамент, Мохо, HyperMesh*