© H.Ə.Allahverdiyeva, 2016

CƏNUB-ŞƏRQİ QAFQAZIN MƏRKƏZİ QOBUSTAN-QƏRBİ ABŞERON VİLAYƏTİNDƏ PALEOGEN ÇÖKÜNTÜLƏRİNİN STRATİQRAFİK BÖLGÜ MƏSƏLƏSİNƏ DAİR

H.Ə.Allahverdiyeva

AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu,
AZ1143, Bakı, H.Cavid pr., 119
E-mail: hallahverdiyeva63@mail.com

Məqalə Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron vilayətində paleogen çöküntülərinin plankton foraminiferlərinin yeni zonal bölgüsünə həsr edilmişdir. Kəsilişlər üzrə mikrofaunanın paylanmasını izləməklə, alınan nəticələr vilayətdə paleogen çöküntülərinin əvvəlkilərdən fərqli olaraq 16 zonadan ibarət zonal sxemini tərtib etməyə imkan vermişdir. Zonal sxem Şimali Qafqaz paleogen çöküntülərinin eyniadlı sxemi ilə müqayisə edilmişdir.

Giriş. Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron Azərbaycanda paleogen çöküntülərinin geniş yayıldığı ərazilərdən biridir. Paleogen çöküntüləri ilə bir sıra faydalı qazıntı yataqları əlaqədar olduğundan onların stratiqrafik bölgü sxeminin dəqiqləşdirilməsi vacib məsələlərdən biridir. Vilayətdə paleogenin Qovundağ çöküntüləri neftlidir, maykop seriyasında isə neft təzahürlərinə rast gəlinir. Bu çöküntülərin litologiyası, stratiqrafiyası, mikrofaunası və digər geoloji məsələlər 100 ildən artıq müddətdə bir çox görkəmli tədqiqatçılar tərəfindən öyrənilmişdir. Bu tədqiqatçılardan İ.M.Qubkin, V.V.Veber, V.V.Menner, D.V.Qolubyatnikov, V.V.Boqaçov, C.M.Xəlilov, D.A.Ağalarova, C.İ.Cəfərov, M.A.Bağmanov (2005), L.C.Məmmədova, Ş.Ə.Babayev, S.A.Şıxlinski və b. göstərmək olar.

Həmin çöküntülərin mikrofaunasını mikropaleontoloqlar D.A.Ağalarova, C.İ.Cəfərov, C.M.Xəlilov və b. tədqiq etmişlər. Azərbaycanın plankton foraminiferləri əsasında ilk faunalı horizontlar C.M.Xəlilov (1962, 1967) tərəfindən ayrılmış, bir qədər sonra isə C.M. Xəlilov və L.D. Məmmədova (1984) tərəfindən zonal bölgü təklif edilmişdir. Sonralar bu bölgü X.Əliyulla və S.Şıxlinski (1989) tərəfindən dəqiqləşdirilmişdir. L.C.Məmmədova (1989) Qobustan – Qərbi Abşeronun zonal bölgüsünü təklif etmişdir.

Lakin bunlara baxmayaraq, yeni materiallar və yeni nəticələr əsasında paleogenin stratiqrafik bölgüsünün dəqiqləşdirilməsi üçün bir sıra tədqiqatların aparılmasına hələ də ehtiyac duyulur.

Bütün paleogen zonal bölgüləri içində üstünlük ortostratiqrafik plankton foraminiferlərinin zonal bölgüsünə verilir və digər zonal bölgülərin sərhədləri plankton foraminiferlərinin sərhədlərinə uyğunlaşdırılır.

Tədqiqat obyekti. Tədqiqat işləri Cənub-Şərqi Qafqazın Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron vilayətində aparılmışdır. Bu vilayətdə paleogen çöküntülərinin Xilmilli, Cəngi, Qışlaq, Yunusdağ, Qoturdag, Pirəköşkül, Göytəpə, Sumqayıtçay, Nagdəli, Qovundağ kəsilişləri öyrənilmişdir (şəkil).

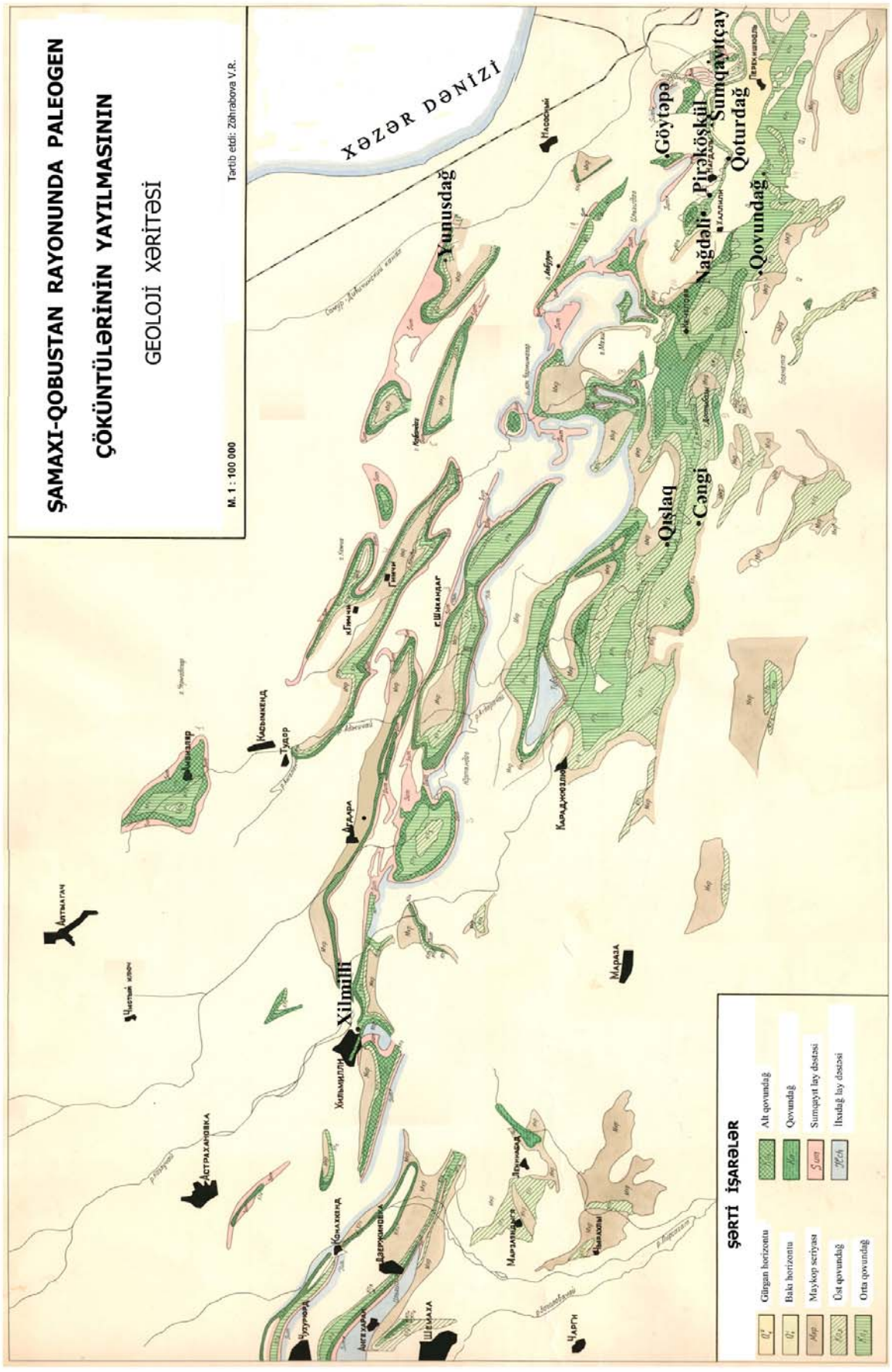
Bu 10 kəsilişlərdən 290 nümunə götürülərək, onların paleontoloji analizi aparılmış və təyin olunan zəngin foraminifer assosiasiyası əsasında Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron vilayətinin paleogen çöküntülərində 16 zona ayrılmış və plankton foraminiferlərinin yeni zonal bölgüsü tərtib edilmişdir.

Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron vilayətində fauna ilə səciyyələnən *Acarinina acarinata, Globigerina tumbeli, Caucasina schischkinskaya olicaenica* zonaları ilk dəfə tədqiqatlarla ayrılmışdır.

Tədqiq etdiyimiz vilayətdə paleogen çöküntüləri aşağıdan yuxarıya paleosen, eosen və oliqosen şöbələrinə və dörd yerli stratiqrafik vahidlərə bölünür. Bunlar aşağıdakılardır: 1. İlxıdağ lay dəstəsi. 2. Sumqayıt lay dəstəsi. 3. Qovundağ qatı. 4. Maykop seriyasi.

Aparılan tədqiqat işləri. Paleosen. Bu çöküntülər alt və üst yarımşöbələrə bölünür. Alt yarımşöbə danimarka, üst yarımşöbə zeland, tanet mərtəbələrinə bölünür. İlxıdağ lay dəstəsi danimarka, Sumqayıt lay dəstəsi isə zeland və tanet mərtəbəsinə aiddir.

Paleogen çöküntüləri ayrı-ayrı regionlarda özünəməxsus fauna ilə səciyyələnir. Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeronun paleogen çöküntülərinin və qonşu ərazinin – Şimali Qafqazın paleogen çöküntülərinin paleogen bölgü sxemi də müəyyən dərəcədə fərqlidir. Tərtib edilmiş zonal sxem Şimali Qafqazın paleogen çöküntülərinin zonal bölgüsü ilə müqayisə edilmişdir.


ŞAMAXI-QOBUSTAN RAYONUNDA PALEOGEN
ÇÖKÜNTÜLƏRİNİN YAYILMASININ
GEOLOJİ XƏRİTƏSİ
M. 1 : 100 000
Tərtib etdi: Zöhrabova V.R.
XƏZƏR DƏNİZİ
Yunusdağ
Göytəpə
Pirəkəşkül
Sumqayıtçay
Ağdəli
Qoturdağ
Qovundağ
Qışlaq
Cəngi
Xilmilli
ŞƏRTİ İŞARƏLƏR
Günəşli horizontu
Alt qovundağ
Baku horizontu
Qovundağ
Maykop seriyası
Sumqayıt lay dəstəsi
Üst qovundağ
İkinci lay dəstəsi
Orta qovundağ

Alt paleosen. Danimarka mərtəbəsi çöküntüləri aşağıdan yuxarıya 2 zonaya – *Globoconusa daubyergensis* və *Acarinina inconstans* zonalarına bölünür.

Globoconusa daubyergensis çöküntüləri Xilmili və Yunusdağ kəsilişlərində yaşıl-boz rəngli gillər və qumdaşıların növbələşməsindən ibarətdir. Bu zonada növ-indeksdən əlavə aşağıdakı növlər aşkar edilmişdir: *Eponides trumpyi, Heterohelix irregularis, H. crinita, H. midwayensis, H. concinna, Globigerina pseudobulloides, G. triloculinoides, G. moskvini, G. fringa, Bolivina subincrassata, Globorotalia compressa, Globoconuusa daubjergensis, Anomalina danica, Cibicides perlucidus.* Qalınlığı – 30 m.

Acarinina inconstans zonası Xilmilli və Yunusdağ kəsilişlərində boz çalarlı mergelli gillər, mergellər və lövhəli qumdaşılar ilə təmsil edilmişdir. Bu zonada aşağıdakı növlər aşkar edilmişdir: növ-indeks, *Acarinina inconstans, A. indolensis, A. trifida, A. spirialis, Globorotalia qlobosa, G. azerbaidjanica, G. compressa, Globigerina moskvini, G. triloculinoides, G. trivialis, G. quadrata, G. pseudobulloides, G. trifola, G. taurica, Heterohelix midwayensis, H. irregularis, H. pumilia, H. crinita, Eponides trumpyi, Cibicides spiropunctatus etc.* Qalınlığı –76 m.

Şimali Qafqazd*a Globoconusa daubyergensis* zonası *Globigerina taurica, G.triloculinoides* zonalarına, *Acarinina schashdaqica* zonası isə *Acarinina inconstans* zonasına uyğundur (Крашенинников, Музылов, 1975).

Üst paleosen. Zeland mərtəbəsində *Globorotalia angulata* zonası ayrılır. *Globorotalia angulata* zonasının çöküntüləri Yunusdağ kəsilişində yayılmışdır. Bu çöküntülər nazik laylı bərk incədənəli qumdaşı araqatları olan boz, tünd-boz, qəhvəyi çalarlı gillərlə təmsil edilmişlər.

Foraminiferlərdən *Globorotalia angulata, G. chapmani, G. pseudomenardi, G. pileata, G. triloculinoides, G. moskvini, Acarinina uncinata, Cibicides praecursorius, Glomospira charoides, Hormosina ovulum* etc. daxil olan Globorotalia angulata zonasının zəngin kompleksi yayılmışdır. Qalınlığı – 40 m.

Qeyd etməliyik ki, zeland mərtəbəsi Alt Sumqayıtın üst hissəsinə uyğun gəlir.

Şimali Qafqazda zeland mərtəbəsinə (*Globorotalia angulata* zonası (s.l.)) *M.angulata, G. conicotruncata* zonaları uyğun gəlir.

Tanet mərtəbəsini Üst Sumqayıt çöküntüləri təşkil edir və bizim tədqiqatlara görə, bu regionda tanet mərtəbəsi aşağıdan yuxarıya *Acarinina subsphaerica* və *Acarinina acarinata* zonalarına ayrılır.

Acarinina subsphaerica zonası Qərbi Abşeronda Qoturdağ kəsilişində ayrılır və litoloji cəhətdən boz, yaşıl-boz gillər və mergellərin növbələşməsindən ibarətdir. Qalınlığı – 45 m.

Bu çöküntülərdə *Acarinina subsphaerica, Globigerina nana, G. triloculinoides, Acarinina acarinata, Trochamminoides irregularis* təyin edilmişdir.

Acarinina acarinata zonası Xilmilli, Yunusdağ, Qoturdağ, Pirəköşkül kəsilişlərində qeyd edilir. Bu zonanın çöküntüləri tünd-qırmızı, qonur, tündyaşıl, yaşılımtıl-boz rəngli gillərin növbələşməsindən ibarətdir. Bu zonada *Globigerina triloculinoides, G. eocaenica, G. quadritriloculinoides, G. nana, G. compressaformis, G. velascoensis, Globorotalia chapmani, G. occlusa, Acarinina intermedia, Ac. primitiva, Ac. acarinata, Glomospira corona etc.* yayılmışdır. Qalınlıq 10–100 m arasında dəyişir.

Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron vilayətində bu zonanın çöküntüləri ilk dəfə bizim tədqiqatlarla ayrılmışdır.

Şimali Qafqazda tanet mərtəbəsində aşağıdan yuxarıya *Acarinina dyanensis, Ac. subsphaerica* və *Ac. acarinata* zonaları ayrılır.

Eosen. Cənub-Şərqi Qafqazda eosenə Qovundağ lay dəstəsi aiddir. Bu lay dəstəsi çöl şəraitində rənginə görə bir-birindən çox aydın fərqlənən alt, orta və üst horizontlara bölünür.

Alt eosen çöküntüləri ipr mərtəbəsi həcmində ayrılaraq aşağıdan yuxarıya 3 mikrofauna zonasına bölünür: *Globorotalia subbotinae, Globorotalia marginodentata* və *Globorotalia aragonensis.*

Globorotalia subbotinae zonasının çöküntüləri Xilmilli, Yunusdağ, Qoturdağ, Pirəköşkül kəsilişlərində nadir qumdaşı araqatları olan naziklövhəli boz gillərin növbələşməsi ilə təmsil edilmişdir. Bu çöküntülərdə *Anomalina ex. gr. affinis*, *Globorotalia subbotinae, Bolivina aduncosutura longa, Acarinina interposita, Globigerina triloculinoides etc. G. aff marginodentata, G. perclara, Acarinina soldadoensis, Anomalina affinis, Glomospira corona etc.* yayılmışdır. Qalınlğı –125 m.

Globorotalia marginodentata zonası Yunusdağ, Qoturdağ və Pirəköşkül kəsilişlərində boz, yaşıl-boz, qəhvəyimtıl-qonur gillərin növbələşməsi ilə təmsil edilmişdir. Bu çöküntülərdə *Globorotalia marginodentata, Globigerina triloculinoides, G. eocaenica, G. pseudoeocaena, Glomospira charoides* və b. yayılmışdır. Qalınlığı –50 m.

Globorotalia aragonensis zonasının çöküntüləri ilk dəfə olaraq Qoturdağ Pirəköşkül, Qışlaq, Göytəpə və Yunusdağ, Cəngi kəsilişlərində müəyyən edilmişdir. Bu çöküntülərdə *Globorotalia*

aragonensis, G. caucasica, Globigerina posttriloculinoides, G. triloculinoides, Hastigerina micra, Nuttalloides trumpyi, Glomospira charoides, Acarinina pentacamerata aşkar edilmişdir. Qalınlığı – 40 m.

Şimali Qafqazda ipr çöküntüləri aşağıdan yuxarıya *Gl. subbotinae, Gl. marginodentata, Globorotalia lensiformis*-li qatlar və *Gl. aragonensis* zonasına ayrılır.

Orta eosen. Lütet və barton mərtəbələri.

Yerli bölgüyə görə, alt qovundağa ipr, lütet mərtəbələri; orta qovundağa barton mərtəbəsı; üst qovundağa priabon mərtəbəsi aid edilir.

Biz bu rayonun lütet mərtəbəsində *Acarinina bullbrooki, Acarinina rotundimarginata, Hantkenina alabamensis* zonalarını ayrırıq. *Acarinina bullbrooki* zonasının çöküntüləri Xilmilli, Cəngi, Qışlaq, Yunusdağ, Pirəköşkül, Göytəpə kəsilişlərində kobuddənəlı boz qumdaşıları ilə boz, yaşıl-boz gillərin növbələşməsindən ibarətdir və alt eosen çöküntüləri üzərində uyğun, Xilmilli kəsilişində isə alt zonanın üzərində transqressiv yatır. Bu çöküntülərdə foraminiferlərdən *Acarinina bullbrooki, Anomalina simplex, Globigerina eocaenica, Asterigerina bartoniana, Globorotalia caucasica, Globigerina triloculinoides, Globorotalia pseudoscitula, Nutalloides trumpyi etc.* rast gəlir. Qalınlığı – 20 m.

Acarinina rotundimarginata zonası Qışlaq, Pirəköşkül, Qovundağ, Göytəpə kəsilişlərində gillərin üstünlük təşkil etdiyi boz gillərlə, qəhvəyiqonur qumdaşıların növbələşməsi ilə təmsil edilmişdir. Bu çöküntülərdə *Acarinina rotundimarginata, Globigerina eocaenica, G. frontosa, Hastigerina micra, Acarinina rotundimarginata, G. triloculinoides* yayılmışdır. Qalınlığı –30 m.

Hantkenina alabamensis zonası Göytəpə və Pirəköşkül kəsilişlərində stratiqrafik vəziyyətinə görə lütet mərtəbəsinin üst hissəsində faunasız boz gillərdə şərti olaraq qeyd olunur. Qalınlığı 10 –60 m arasında dəyişir.

Şimali Qafqazda lütet çöküntüləri aşağıdan yuxarıya *Ac. bllbrooki, Ac. rotundimarginata* və *Hantkenina alabamensis* zonalarına ayrılır.

Barton mərtəbəsi çöküntülərində *Globigerina turkmenica* zonası ayrılır. *Globigerina turkmenica* zonası Xilmilli, Cəngi, Sumqayıtçay, Pirəköşkül, Göytəpə, Yunusdağ, Qovundağ kəsilişlərində inkişaf etmişdir. Xilmilli, Cəngi kəsilişlərində bu zonanın çöküntüləri alt zonanın çöküntüləri üzərində transqressiv yatır. Bu çöküntülərdə *Globigerina turkmenica, G. praebulloides, Bolivina budensis, Hastigerina micra, Globigerina ouachitaensis, Nonion agderensis, Cibicides ungerianus etc.* yayılmışdır. Qalınlığı 10 –30 m arasında dəyişir.

Şimali Qafqazdada barton mərtəbəsində *Globigerina turkmenica* zonası ayrılır. Kum horizontunu əhatə edərək külli miqdarda balıq qalığı olan mergellərdən ibarətdir. Qalınlığı ~ 40 m.

Üst eosen. Priabon mərtəbəsi.

Priabon mərtəbəsi çöküntülərində *Globigerina corpulenta* və *Gl. officinalis* zonalarını ayırırıq. *Globigerina corpulenta* zonasının çöküntüləri Xilmilli, Cəngi, Qışlaq, Pirəköşkül, Nağdəli, Göytəpə,Yunusdağ, Qovundağ, Sumqayıtçay kəsilişlərində qumdaşı araqatları olan tünd-boz gillərlə təmsil edilmişdir. Bu çöküntülərdə *Globigerina corpulenta, Globigerapsis index, G. ouachitaensis, Bolivina caucasensis, Nonion rotulum etc. Globigerina praebulloides, Anomalina hantkeni, A. granosa, Cibicides perlucidus, Globigerina eocaenica, G. inflata etc* aşkar edilmişdir. Qalınlığı – 60 m.

Globigerina officinalis zonası Xilmilli, Qışlaq, Cəngi, Qovundağ, Sumqayıtçay, Nağdəli, Göytəpə, Yunusdağ kəsilişlərində inkişaf etmişdir. Bu çöküntülərdə növ-indeks *Globigerina officinalis, Globigerina praebulloides, G. ouachitaensis, Bolivina tuberna gradata, Nonion curviseptum, Pullenia bulloides, Glomospira charoides etc. Cibicides ex. gr. lobatulus, G. eocaena, Eponides praeumbonatus, Hastigerina micra, Bolivina antegressa etc*. və s. qeyd edilmişdir. Qalınlığı – 48 m.

Şimali Qafqazda priabon mərtəbəsində *Globigerina tropicalis* zonası və iri *Globigerina*-lar ayrılır.

Oliqosen. Oliqosen çöküntüləri maykop çöküntülərinin alt hissəsini təşkil edir, alt və üst oliqosenə bölünür. Alt oliqosenə rupel mərtəbəsi, üst oliqosenə xat mərtəbəsi uyğun gəlir.

Alt oliqosen çöküntüləri alt maykop lay dəstəsinə aid edilir.

Rupel mərtəbəsi *Globigerina tumbeli* və *Caucasina schischkinskaya* zonalarını əhatə edir. *Globigerina tumbeli* zonası ilk dəfə Kiçik Qafqazın şimali-şərq ətəklərində C.M.Xəlilov tərəfindən bölünmüşdür. Bu zonaları ilk dəfə mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeronda Ə.Ə.Əlizadə, L.C.Məmmədova, R.O.Qoşqarlı yalnız stratiqrafik vəziyyətinə görə ayrılmışlar. Bizim tədqiqatlar nəticəsində isə bu zonaları ayırmağa imkan verən fauna kompleksi və zonal növ müəyyən edilmişdir.

Globigerina tumbeli zonası rupel mərtəbəsinin alt hissəsini əhatə edir. Bu zonanın çöküntüləri Xilmilli, Qışlaq, Cəngi, Pirəköşkül, Nağdəli, Göytəpə, Yunusdağ, Qovundağ, Sumqayıtçay kəsilişlərində boz, lövhəvarı gillərdə aşkar edilmişdir. Bu gillərdə *Globigerina postcretacea, G. pseudoedita, Cibicides perlucidus, Globigerina praebulloides,*

Virgulina conspigua, Quinqueloculina brauni etc. Glomospira charoides, Ammodiscus incertus, Ammosphaeroidina caucasica, Nonion pseudomartkobi, Bolivina dentalata, Nodosaria inexculta, N. capitata inkişaf etmişdir. Qalınlığı – 90 m.

Caucasina schischkinskaya oligocaenica zonası rupel mərtəbəsinin üst hissəsini əhatə edir. Nağdəli, Göytəpə kəsilişlərində boz, tünd-boz gillərlə təmsil edilərək, üstdən faunasız boz gillərdən ibarət xat mərtəbəsi ilə örtülmüşdür.

Caucasina schischkinskaya zonasında *Globigerina praebulloides, Heterohelix pseudostriata, H. gracillima, Bolivina elongata, Uvigerinella ex. gr. californica, Caucasina schischkinskaya, Cibicides stavropolensis, Lagena gracillima, Nodosaria aktillea, Plectofrondicularia paucicostata, Siphonodosaria subspinosa, Bulimina macilenta, Lenticulina gerlachi, etc.* yayılmışdır. Bu kəsilişdə rupel mərtəbəsinin üstündə xat mərtəbəsi qeyd olunur. Qalınlıq 0 –180 m arasında dəyişir.

Şimali Qafqazda alt oliqosenə (~1500 m) xadum horizontu aid edilir.

Xat mərtəbəsi alt maykopun üst hissəsinə uyğun gəlir. Bu mərtəbədə foraminiferlər demək olar ki, rast gəlmir. Buna görə də bu rayonda xat mərtəbəsində zonalar ayırmaq mümkün olmamışdır. Göytəpə, Nağdəli kəsilişlərində rupel mərtəbəsinin üstündə yatan faunasız gilləri şərti olaraq xat mərtəbəsinə aid edirik.

Şimali Qafqazda üst oliqosenə *Batalpaşi* lay dəstəsi aid edilir (Белуженко, 2010).

Nəticə. Beləliklə, aparılan tədqiqatlar nəticəsində Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron rayonunun paleogen çöküntülərində 3 yeni zona müəyyən edilmiş və yeni zonal bölgü verilmişdir (cədvəl).

Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron zonal bölgü sxeminin Şimali Qafqaz çöküntülərinin eyniadlı sxemləri ilə korrelyasiyası

Sistem	Lay dəstəsi	Şöbə	Y/şöbə	Mərtəbə	Qərbi Abşeron – Qobustan Allahverdiyeva H.Ə. (Бабаев, Аллахвердиева, 1997)	Şimali Qafqaz (Крашенинников, Музылов, 1975* Белуженко, 2010**)
Paleogen	Maykop	Oliqosen	Üst	Xat		*Batalpaşi* lay dəstəsi
			Alt	Rupel	*Caucasina schisckinskaya*	*Xadum horizontu*
					Globogerina tumbeli	
	Qovundağ	Eosen	Üst	Priabon	*Globigerina officinalis*	*Globigerapsis tropicalis və iri Globogerina*-lar
					Globigerina corpulenta	
			Orta	Barton	*Globigerina turkmenica*	*Globigerina turkmenica*
				Lütet	*Hantkenina alabamensis ?*	*Hantkenina alabamensis Ac.rotundimarginata Ac.bullbrooki*
					Acarinina rotundimarginata	
					Acarinina bullbrooki	
			Alt	İpr	*Globorotolia aragonensis*	*Globorotalia aragonensis Gl.lensiformis*-li qatlar *G.marginodentata G.subbotinae*
					G. marginondetata	
					G. subbotinae	
	Sumqayıt	Paleosen	Üst	Tanet	*Acarinina acarinata*	*Acarinina acarinata Acarinina subshaerica Acarinina djanensis*
					Acarinina subsphaerica	
				Zeland	*Globorotalia angulata*	*G.conicotruncata M.angulata*
	İlxıdağ		Alt	Danimarka	*Acarinina incontans*	*Acarinina schadagica Globorotalia triloculinoides G.taurica*
					Globoconusa daubjergensis	

* Paleosen-Eosen – Kraşeninnikova, Muzılova görə.
** Oliqosen – Belujenkoya görə.

Bütün bunları nəzərə alaraq aşağıdakı nəticəyə gəlmək olar. Mərkəzi Qobustan – Qərbi Abşeron vilayətinin paleogen çöküntülərində 10 kəsiliş öyrənilmiş və 16 zona ayrılmışdır. Onlardan 3 zona yeni müəyyən edilmiş və bu məlumatlar əsasında yeni zonal bölgü verilmişdir. Kəsiliş üzrə zonaların komplekslərinin tərkibi və onlardakı dəyişikliklər dəqiq şərh edilmişdir. Yeni zonal bölgü Şimali Qafqaz paleogen çöküntülərinin zonal sxemi ilə müqayisə edilmişdir.

ƏDƏBİYYAT

BAĞMANOV, M.A. 2005. Cənub-Şərqi Qafqazın Sumqayıt və Koun lay dəstələrinin mərtəbə bölgüsü. *AMEA, Xəbərlər, Yer elmləri.* 3, 21- 23.

АЛИЗАДЕ, А. А., АЛИЗАДЕ, К.А., АЛИЮЛЛА, Х, БАБАЕВ, Ш.А. 1989. Региональная стратиграфическая схема палеогена Азербайджана. Елм. Баку. 312с.

БАБАЕВ, Ш.А., АЛЛАХВЕРДИЕВА, Х.А. 1997. О зональной стратиграфии палеогеновых отложений юго-восточного Гобустана. В материалах научной конференции, посвященной памяти академика А.А.Ализаде: *Генерация, миграция и аккумуляция углеводородов*. Баку. 61-62.

БЕЛУЖЕНКО, Е.В. 2010. Стратиграфия олигоцен-нижнемиоценовых (майкопских) отложений Северо-Западного Кавказа. *МОИП, отд. геол.* 85, 4, 35-46.

КРАШЕНИННИКОВ, В.А., МУЗЫЛОВ, Н.Г. 1975. Соотношение зональных шкал по планктонным фораминиферам, нанопланктону в разрезах палеогена Северного Кавказа. В кн.: *Вопросы микропалеонтологии. Палеобиография и палеоэкология фораминифер*. Наука, Москва, 18, 212-224.

ХАЛИЛОВ, Д.М. 1962. Микрофауна и стратиграфия палеогеновых отложений Азербайджана. Ч. I. Баку. 322 с.

ХАЛИЛОВ, Д.М. 1967. Микрофауна и стратиграфия палеогеновых отложений Азербайджана. Ч. II. Баку. 286 с.

ХАЛИЛОВ, Д.М., МАМЕДОВА, Л.Д. 1984. Зональное подразделение палеогеновых отложений Азербайджана. Элм. Баку. 232 с.

Məqaləyə y.e.f.d. E.Z.Atayeva rəy vermişdir.

© G.J.Yetirmishly, S.E.Kazimova, S.S.Ismailova, E.S.Garaveliyev, 2016

DYNAMIC AND KINEMATIC CHARACTERISTICS OF EARTHQUAKES OF SHEKI-OGUZ REGION

G.J.Yetirmishly, S.E.Kazimova, S.S.Ismailova, E.S.Garaveliyev

Republican Seismic Survey Center,
Azerbaijan National Academy of Sciences
25, Nigar Rafibeyli str., Baku, AZ1000
sabina.k@mail.ru

In the article the strong 7-point earthquake, occurred on September 4, 2015, at 4 h. 49 m. in the border of Sheki-Oghuz regions is analyzed. The historical earthquakes of the studied area, tectonic structure, peculiarities of epicentral field, focus distribution in depth were studied, the macroseismic investigations were held. The most earthquakes intensity was observed in the territories of Gozlubulag, Yagublu, Turan, Sarich, Chaykarakoyunlu and others, recognized on the basis of macroseismic investigations. Seismic focus mechanism was determined on the base of wideband digital record of seismic waves, registered by 35 telemetry stations. It has allowed to establish that the earthquakes, occurred in Oghuz region on September 4, at 4 h. 49 m. and on October 13, at 00h. 13 m., occurred due to similar compression and tention intensities. The type of main shock motion on both planes is left-lateral fault.

Introduction

The strong earthquake with the magnitude of 5.9 points occurred in the border of Sheki-Oghuz region of Azerbaijan in 04: 09 with Greenwich Time, on September 4. The earthquake was felt in all territory of the republic also in neighboring areas. The epicenter of earthquake was 29 km southeast of Sheki. Earthquake was felt 7 points in epicenter and 6.5 points in surrounding territory of the republic.

According to the archive Macro seismic data, earthquakes have been recorded in this area, since 1875. Based on data of N.V.Malinovskiy, (1940) up to 35 (not higher than 7 points) earthquakes with weak seismicity in "Vartashen zone" of local earthquakes epicenter had occurred until 1928. Starting from the 1950's tangible earthquakes have occurred in this area. In 1953, 4 earthquakes, magnitude of 7-6 points in Oghuz (ml=4.6-5.4), the earthquake with 5 points in Sheki in 1963 (ml = 4.7), earthquakes with 6-5 percentage points (ml = 4.0-4.6) have been recorded during the period of 1972-1980 in Sheki. Earthquake magnitude of 4.5, h=14 km occurred in the area of Oghuz on March 9, 2000. Earthquake was felt 5 points in Oghuz, 4-3 points in Sheki, 3 points in Gabala (Гасанов, Абдуллаева, 2009).

The earthquake with magnitude of 5.3, h=22 km had occurred on the territory of Sheki, Oghuz on June 1, 2003. The earthquake was felt at intensity 6-5 points in Oghuz- Sheki and it had caused destruction. Earthquakes were felt in Mingachevir (4 points), in Kurdemir and Axti (3 point) with weak intensity. The main parameters of historical earthquakes in Sheki-Oghuz and the map of epicenter are shown in the table 1 and the figure 1.

Tectonic structure

With the tectonic position the main shock occurred on the border of Lankaran-Govdag and Vandam zones (Figure 2).

Lankaran-Govdag zone originates in the west of the Azerbaijani part of the southern slope, and expanding the band can be traced to the Caspian Sea coast. The zone is a flysch trough formed in the western segment of clastic-carbonate-clay deposits of the Upper Jurassic-Neocomian, crumpled in a small, highly compressed, overturned to the south isoclinal folds. On the east section supplemented the Upper Cretaceous flysch, but in the coastal strip – Paleocene-Miocene sediments. Here dominate comb folds with a lot of faults (Хаин, Ализаде, 2005).

Its southern wing area covers real allochthonous complexes Kakheti, Vandam Gobustan megazone. As the strike east-west Megazone is divided into two structural zones. In the west it is represented by Vandam geoanticlinal uplift, in the roof which are exposed Bajocian volcanogenic formation of carbonates of the Upper Jurassic and Neocomian flyshoids, and the wings are folded volcanic-sedimentary and sedimentary chalk Upper Paleocene-Miocene, complicated comb-shaped folding.

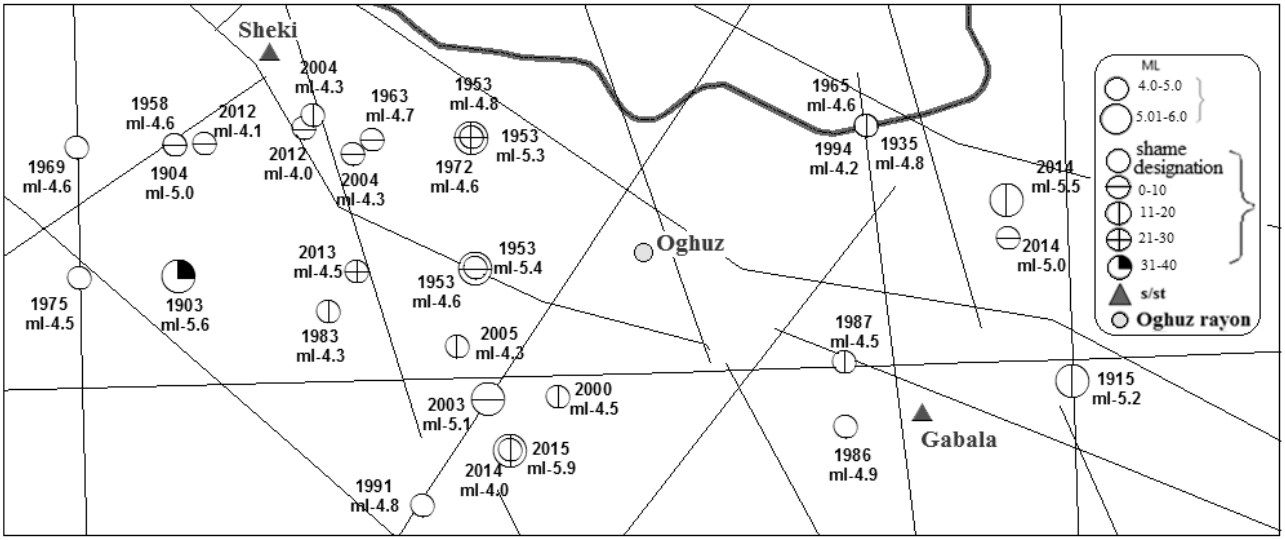


Fig. 1. The epicenters' map of historical earthquakes in the area of Sheki-Oghuz

Table 1

The main parameters of ml ≥ 4.0 earthquake in the Sheki-Oghuz-Gabala region during the 1903-2015 years

№	Date d.m.y	Time h.m.s.	Coordinates		H, km	ML	J_0	Note
			φ°.N	λ °.E				
1	02.11.1903	22-12±10м	41.10	47.10	36	5.6	6	Sheki
2	20.01.1904	02-00±1м	41.20	47.10	10	5.0	5	Sheki
3	06.10.1915	00-59 -27	41.00	48.00	15	5.2		Gabala
4	05.09.1935	22-38-28	41.20	47.80	15	4.8		Gabala
5	02.09.1953	00-36-01	41.10	47.40	5	5.4	7	Oghuz
6	02.09.1953	01-09-19.4	41.20	47.40	12	4.8	6	Oghuz
7	05.09.1953	05-29-32	41.10	47.40	8	4.6	6	Oghuz
8	16.09.1953	11-15-29	41.20	47.40	28	5.3	5	Oghuz
9	23.10.1958	12:05:20	41.20	47.10	7	4.6	6-5	Sheki
10	23.04.1963	06-39-19	41.20	47.30	5	4.7	7-6	Sheki
11	08.02.1965	11-43-51.0	41.20	47.80	9	4.6	6-5	Gabala
12	11.11.1969	15-08-49.0	41.20	47.00	17	4.6	5-4	Sheki
13	05.11.1972	13-06-41.1	41.20	47.40	5	4.6	6-5	Oghuz
14	20.10.1975	02-54-24.5	41.10	47.00		4.5	6-5	Sheki
15	23.07.1983	17-00-46.0	41.07	47.25	20	4.3		Sheki
16	02.06.1986	15-16-13.1	40.97	47.77		4.9		Gabala
17	14.08.1987	02-13-53.3	41.02	47.77	14	4.5		Gabala
18	21.10.1991	11-58-23.3	40.92	47.34		4.8		Sheki
19	19.12.1994	15-00-54.6	41.20	47.80		4.2		Gabala
20	09.03.2000	14-29-40.5	41.00	47.48	14	4.5	5	Oghuz
21	01.06.2003	6:09:44.1	41.00	47.41	9	5.1	6-5	Oghuz
22	08.02.2004	12-54-07.8	41.19	47.28	8	4.3	4	Sheki
23	08.02.2004	21-44-22.0	41.22	47.24	11	4.3	4	Sheki
24	08.11.2005	06-27-07.0	41.04	47.38	15	4.3	4-3	Oghuz
25	14.05.2012	9-58-17.4	41.20	47.13	6	4.1	5	Sheki
26	25.06.2012	20-05-57.5	41.21	47.23	7	4.0	4	Sheki
27	18.04.2013	20:38:51.7	41.10	47.28	25	4.5	3	Sheki
28	29.09.2014	1:38:07.2	41.14	47.94	13	5.5	5	Gabala
29	04.10.2014	4:59:32.7	41.11	47.94	6	5.0	5	Gabala
30	04.09.2015	4:49:37.0	40.96	47.43	16	5.9	7	Oghuz
31	13.10.2015	0:13:31.6	40.96	47.43	16	4.0	3	Oghuz

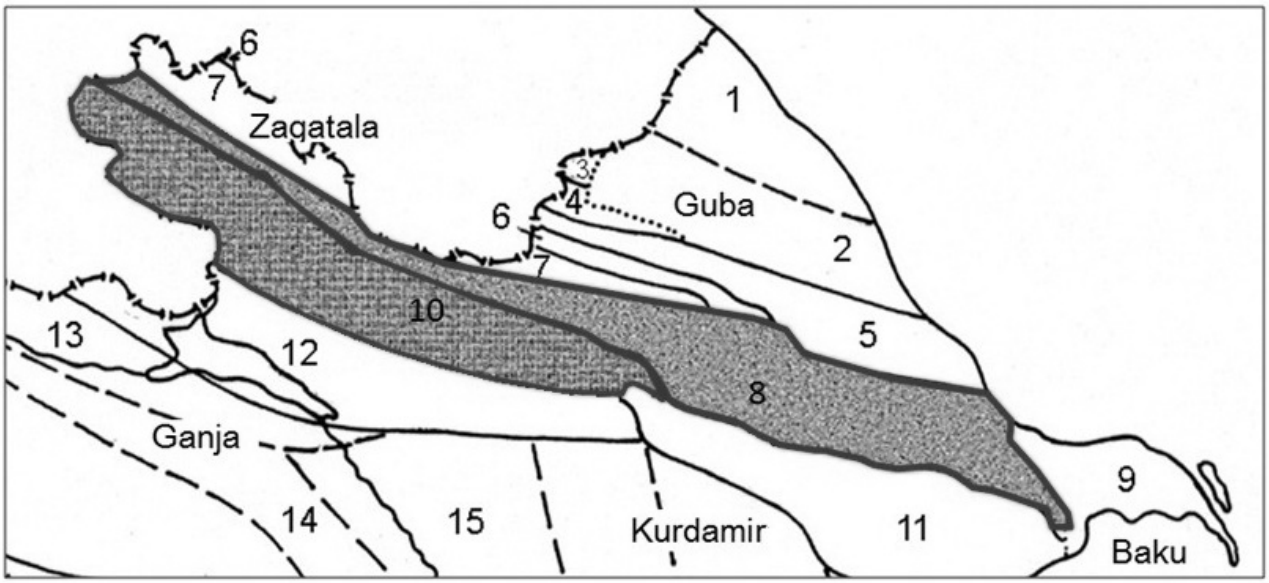


Fig. 2. Scheme of the tectonic zoning of the territory of Azerbaijan Republic. Compiled by T.N.Kengerli
Structural zone (figures in the diagram): 1-2 – Gusar-Davatchi megazone: 1 – Khachmaz; 2 – Guba; 3-6 – Megazone Side of the Great Caucasus Mountain Ridge: 3 – Tairjal; 4 – Sudur; 5 – Shakhdag-Khizy; 6 – Guton-Gonakhkend; 7-9 – Megazone of Southern slope of the Greater Caucasus: 7 – Sperozo-Tfansk; 8 – Zagatala-Govdag; 9 – Absheron; 10-11 – Khakhety-Vandam: 10 – Vandam; 11 – Shamakhy-Gobustan; 12-16 – Middle Kura megazone: 12 –Chatma-Ajinour; 13 – Jeyranchol; 14 – Lesser Caucasus; 15 – Yevlakh-Agjabedy

Most of the roof and the south wing uplift overlapped by continental molasses Pleistocene and modern alluvial proluvial formations (alluvial fan deposits of the southern slope of the rivers) Alazan-Ayrichay superimposed basin.

In the south the Vandam uplift on Ganikh-Ayrichay thrust borders with the northern wing of the Middle Kura depression. In the hanging wall of the thrust is Dashyuz-Amirvan strip uplifts composed of Pliocene-Quaternary sediments and presented by chain en echelon brachyanticline don't cut thrust of the southern wing (Хаин, Ализаде, 2005).

Seismicity

5 earthquakes with magnitude ≥ 3.2 had been recorded in Sheki-Oghuz zone in 2015. 2 tangible earthquakes had occurred in this zone. The strongest earthquake was registered with a magnitude of 5.9. Wave form of earthquake happened in Sheki-Oghuz in 04:09 on September 4 is shown in the figure 3.

After earthquake in Sheki-Oghuz which was occurred on September 4, 2015 the aftershock process have been sufficiently active. 35 aftershocks (fig. 4) had been recorded after the main shock during the first day. 86 aftershocks had occurred after strong earthquake.

Statistics of aftershocks in the source zones show that aftershocks had been continued until October 13. Tangible earthquake with ml=4 had been occurred in Oghuz on October 13.

The number of earthquakes occurred in the area of Sheki-Oghuz in 2015 and the distribution graphic (fig. 5) of seismic energy monthly shows that seismicity had been less than background level in the beginning of the year.

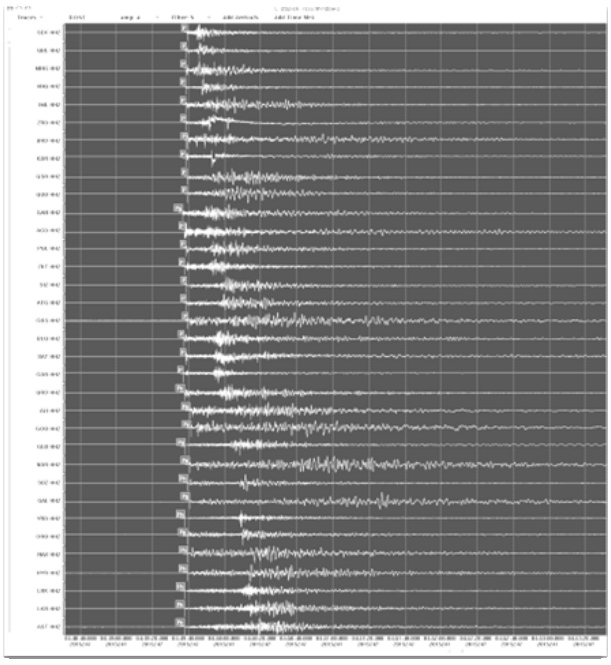


Fig. 3. The wave form of Sheki-Oghuz earthquake with magnitude 5.9 in 04:49 on September 4

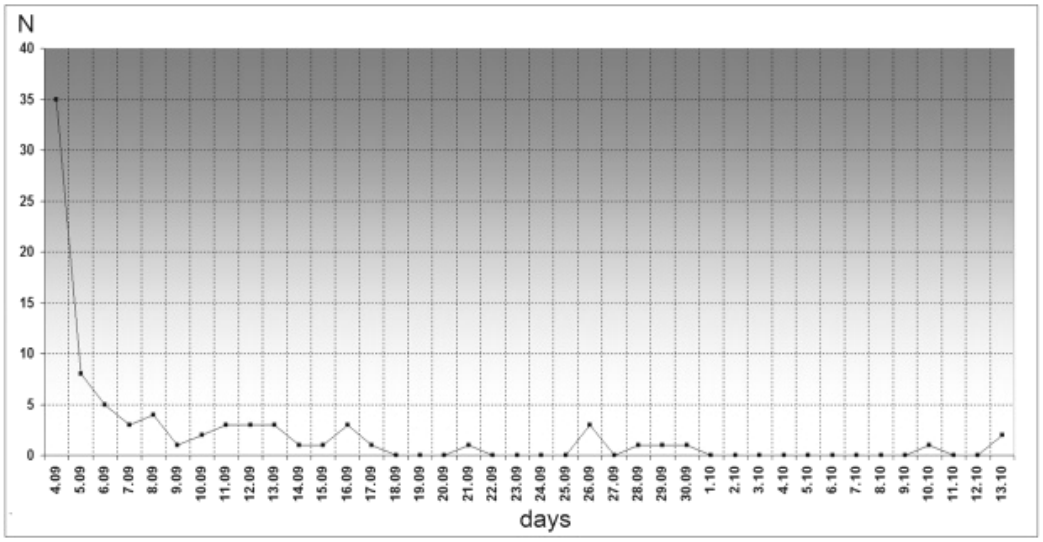


Fig. 4. Distribution histograms by days of earthquake's aftershocks which had occured on September 4, 2015

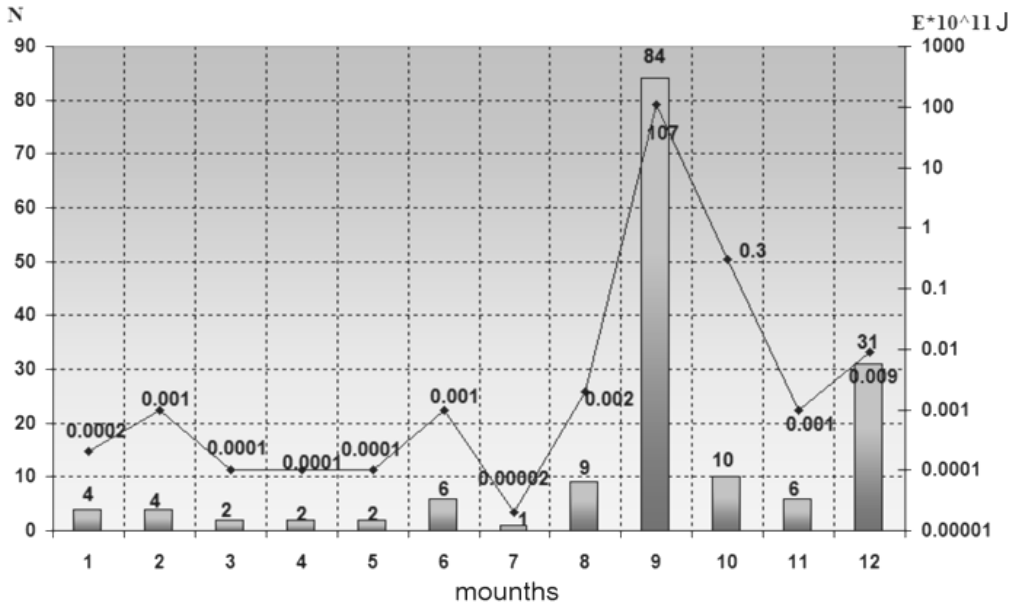


Fig. 5. Monthly distribution histogram of detachable energy and the number of earthquakes occurred in Sheki-Oghuz region in 2015

The sharp rise of number of earthquakes had been recorded from September. This higher quantity was connected with the strong earthquake. The high amount of seismic energy in September was connected with earthquakes and aftershocks. Since October, the number of earthquakes has been decreased, seismic energy with the exception of September was higher than in other months. This is due to the earthquake which occurred with ml = 4.0.

The epicenters map of earthquakes occurred in Sheki, Oghuz, Gabala zone is shown in figure 6. There are three source zones as seen on the map.

The distribution of source zones' earthquakes on the earth's crust was shown in seismic profile. The seismogeological profile direction from source zone earthquakes of Sheki, Oghuz, Gabala to the northwest and southeast (fig. 7). Active parts of Sheki, Oghuz, Gabala regions are clearly visible in seismogeological profil. Seismic activity in Sheki zone in 2015 was less than in 2014. The earthquakes of Sheki located in Vandam vertical and intersection zone of deep faults of Axway orthogonal.

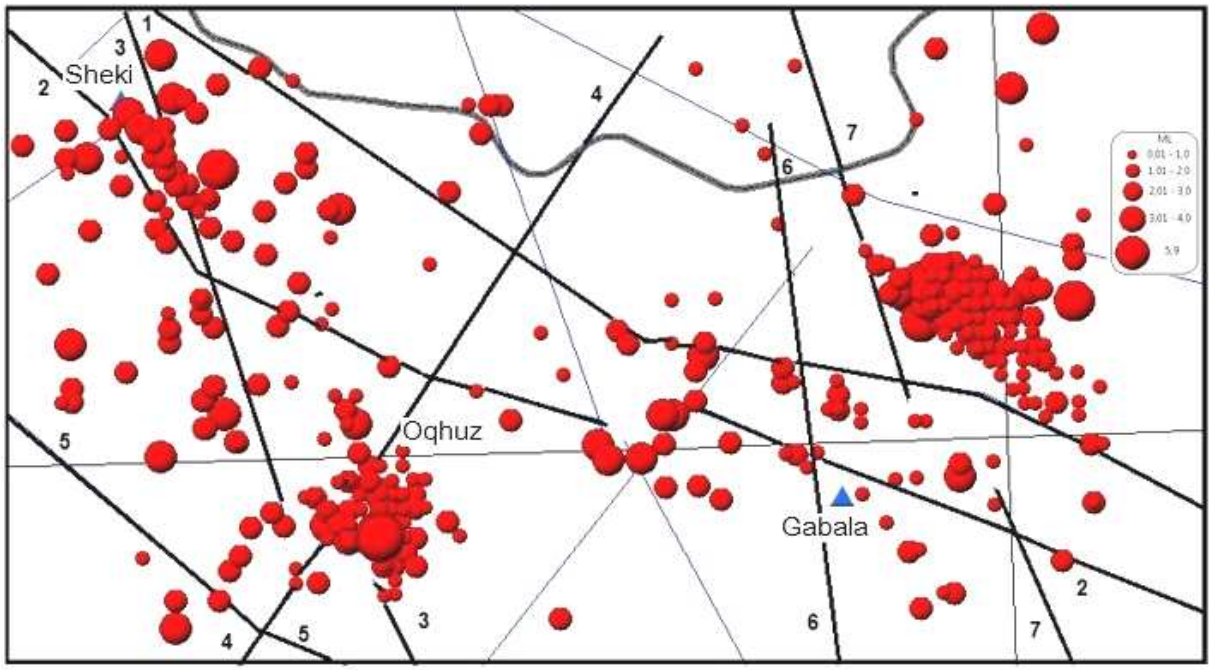


Fig. 6. The epicenter map of earthquakes occurred in Sheki, Oghuz, Gabala
Faults: 1. Dashgil-Mudrasa 2 Vandam (vertical) 3. Axway (orthogonal) 4. Barley-Samur (transverse) 5. Alazan-Ayrichay 6. Chaxirli Gabala (orthogonal) 7. Ismayilli-Sigirli (orthogonal)

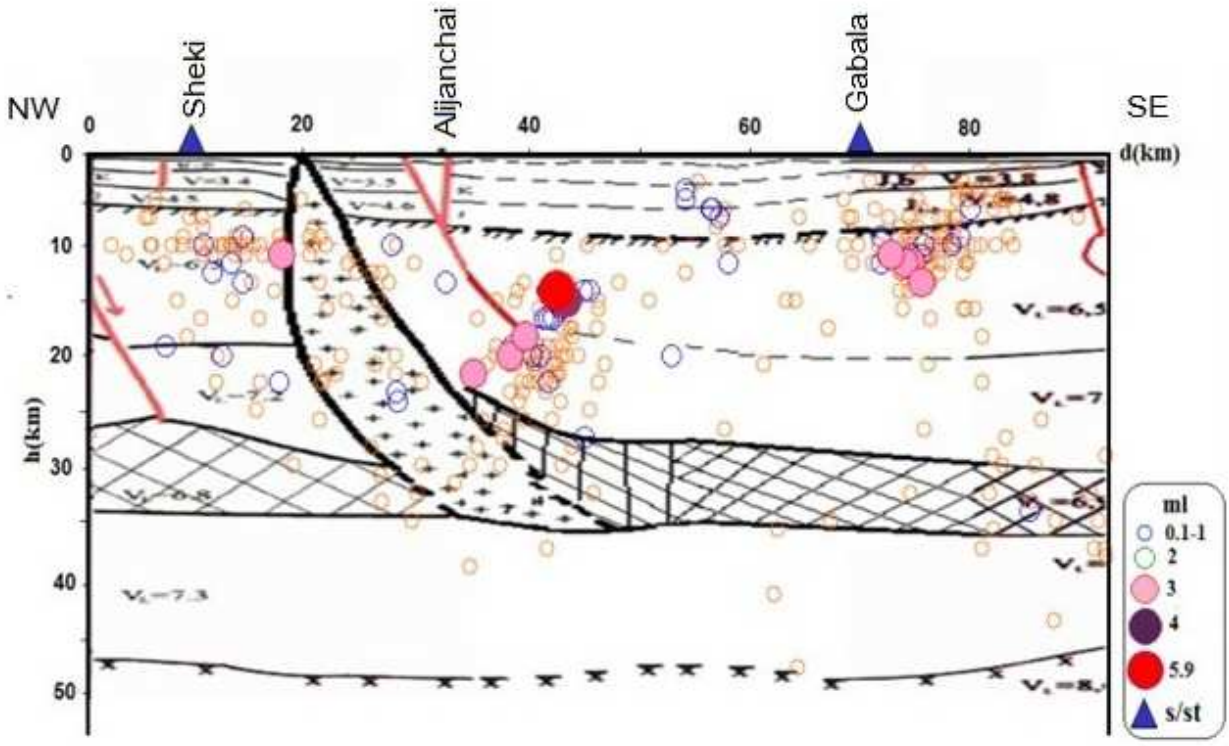


Fig. 7. I-I profile cutting seismogeological of Sheki, Oghuz, Gabala zones

Source earthquakes zones of Sheki distributed 7-25 km depth at earthquake with ml≥3.0, depth h=11 km. Oghuz earthquake epicenters spread in the deeper layers.

Oghuz earthquakes are located transverse deep fault of Arpa-Samur. Oghuz earthquake epicenters' depth is mainly 15-30 km. If ml≥3.0 depth distributed among the 16-22 km, depth of more strong source (ml=5.9) is 15 km. Earthquake epicenters are situated inside the consolidated layer.

The seismic activity in Gabala zone in 2015 was less than in 2014. It should be noted, in 2014, the earthquake occurred 5 times in the same area. The highest recorded earthquake magnitude was ml=5.5. The earthquake occurred 22 kilometers to the north-east of Gabala city at 06:38:07 on September 29. The earthquake was felt in the epicenter 6 points, in Gabala – 5 points, in most districts of the country – up to 3 or 4 points. In 2015, the earthquakes that occurred in Gabala, is located intersection zone of deep faults of Dashgil-Mudrasa and Ismayilli-Sigirli orthogonal. Earthquake epicenters' depth is mainly 2-16 km in Gabala. The sources are located both the inside of sedimentary layer and the upper part of the consolidated crust. Earthquake source zones with ml≥3.0 are spread between depths 11-14 km.

Microseismic field

While the survey, the people noted that there was buzzing sound on the surface, on the playstoseist territory of the earthquake in Gozlubulag, Yagublu, Turan, Sarija, Chaygaragoyunlu, Zarrab, Boyuksoyudlu, Padar settlements. At the same time, big clay soils were broken down from the precipice mountain slope of Chaygaragoyunlu rural, to the foot of the mountain (fig. 8-9) (Медведев, 1968).

It was determined on the basis of macroseismic research that the main shake was felt with the highest intensity in the territory of Gozlubulag, -Yagublu, Turan, Sarıja, Chaygaragoyunlu, Zarrab, Padar, Karimli, Boyuksoyudlu, Gayabashi, Jayirli, Shirinbulag, Aliyar, Boyuksoyudlu, Tapa and Garabaldir. The intensity of the earthquake in these territories, was assessed with 7 by 12 degree MSK-64 seismic table. The majority of the buildings in these regions affected more damage, were constructed with adobe and local riverbed stones. At the same time, there were cracks on the houses contructed with "kubik" stone (for example, there were 3 mm cracks on the house contructed with "kubik" stone, in Zarrab).

The isoseists map scheme of the earthquake was set up on the basis of gathered macroseismic data. The macroseismic area of earthquake has an extention in the direction of Great Caucasus Ridge. The playstoseist zone area was 23 km x 31 km=713 km^2. On the basis of macroseismic researchs have been defined coordinates of epicentre in φ =40.9^{0}N, λ =47.35^{0}E (fig.10).

The received macroseismic results were compared with the data of seismic stations network and the results of Eler v3 programme (ELER v3.0, 2010). The results calculated with each 3 methods, are almost the same till to the area of zones with intensity 4 (fig. 11).



Fig. 8. The slide of the fences in the village Yagublu

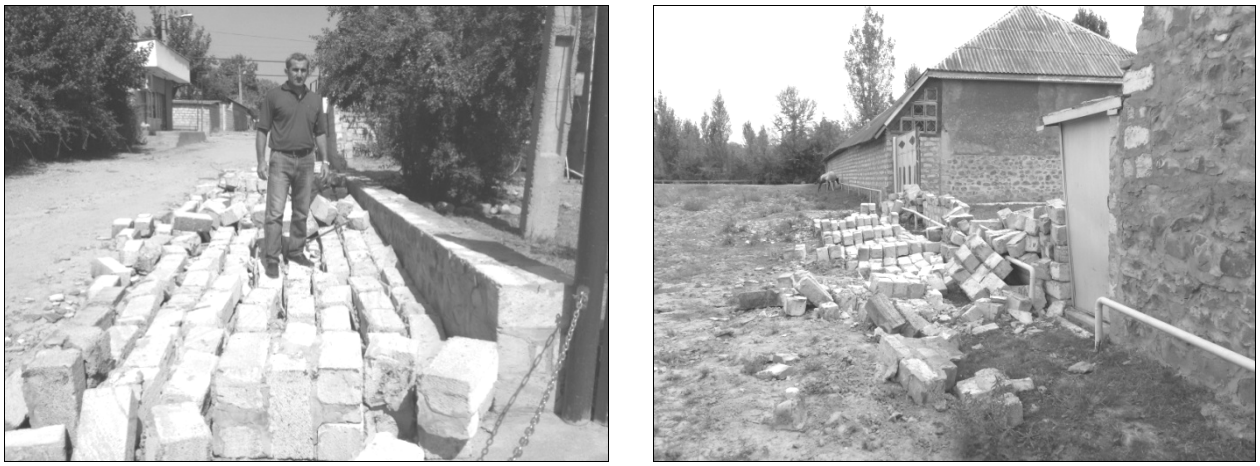


Fig. 9. The slide of the fences in the villages of Karimli and Padar

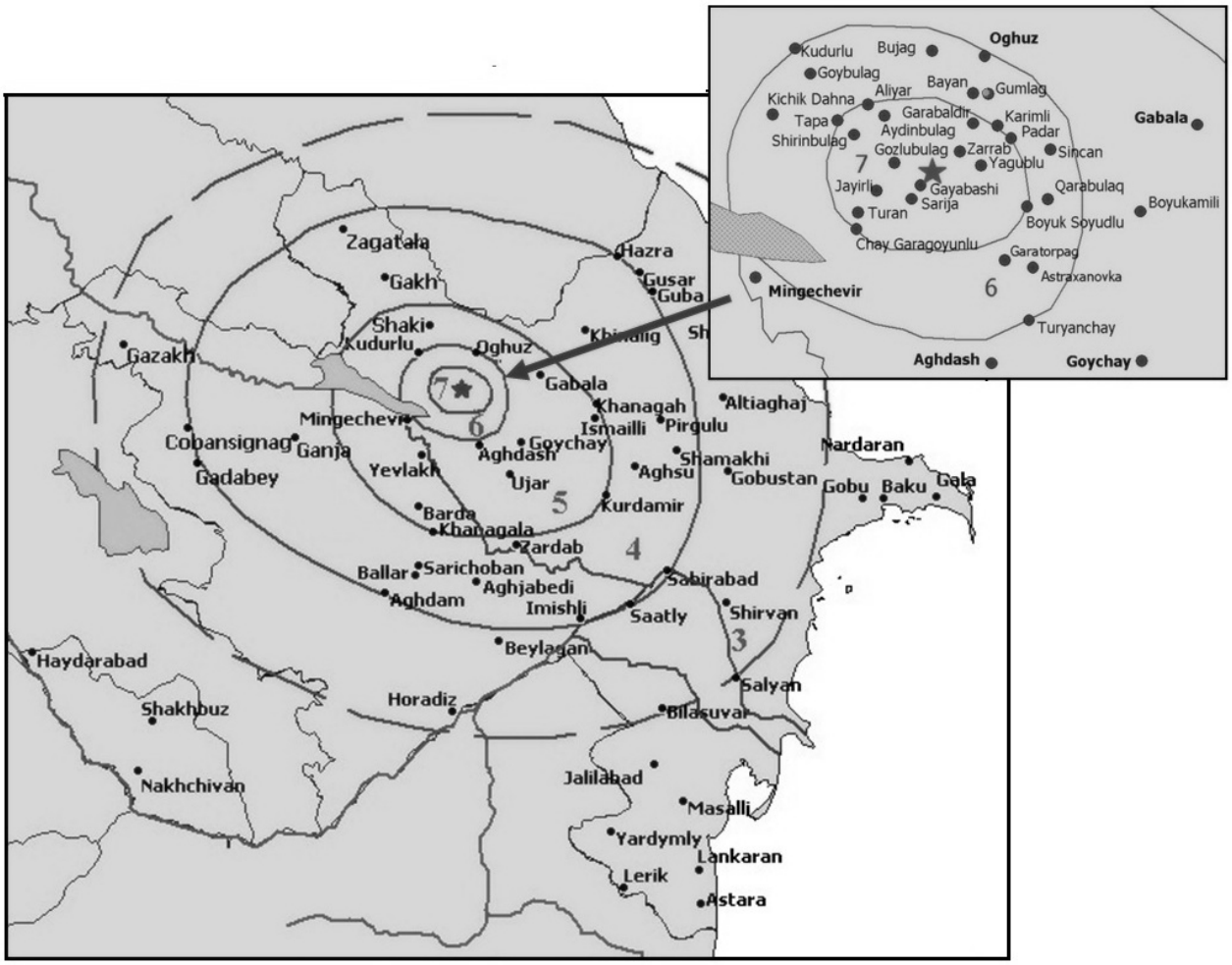


Fig. 10. The map scheme of the macroseismic playstoseist area of the earthquake happened on the border of Sheki-Oghuz on September 04, 2015

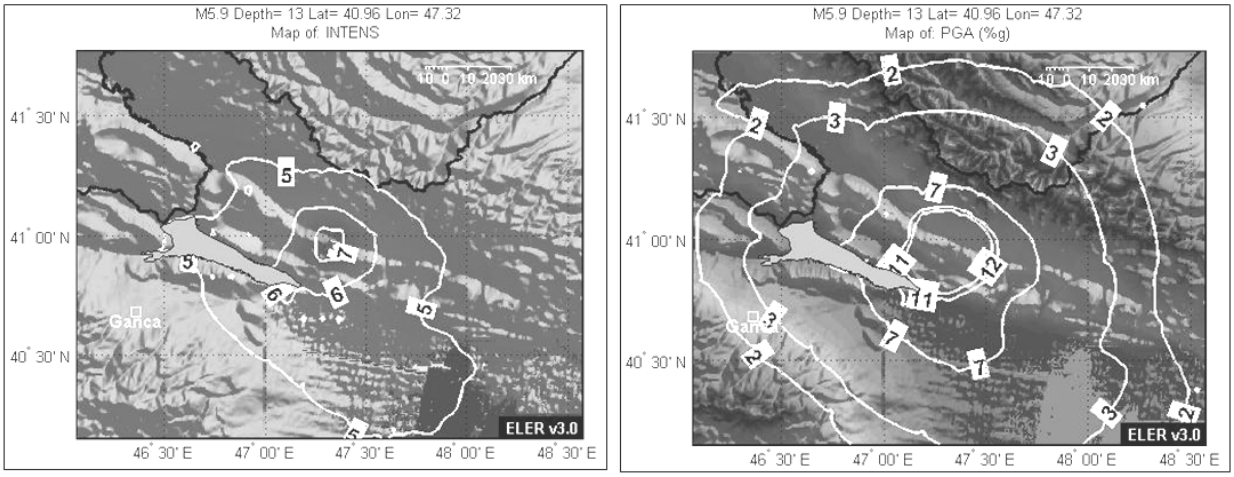


Fig. 11. The calculation of earthquake intensity and acceleration parameter manifestation in the surface with Eler v3.0 programme of the earthquake happened on the border of Sheki-Oghuz, on September 04 , 2015.

Focal mechanism solutions

In constructing the mechanisms were noted a well-established algorithm using the method of waveforms inversion – Time-Domain Moment Tensor INVerseCode (TDMT INVC), developed by Doug Dreger from the University of California, Berkeley (Dreger, 2002). This pack is used to calculate both the seismic moment tensor, as well as Mw.

Thus, were constructed and analyzed mechanisms of six earthquakes occurred within the study area in 2015 y.: 12.06.2015 with ml=3.1, 04.09.2015 with ml=5.9 (mail focus), 04.09.2015 with ml=3.2, 04.09.2015 with ml=3.3, 29.09.2015 with ml=3.3 and 13.10.2015 with ml=4.0 (fig. 12). Earthquakes are plotted on the scheme of the fault structure and features of geodynamic regime of the southern slope and the south-east dipping of the Greater Caucasus (Rzayev et al., 2013).

Analysis of the mechanisms of earthquakes foci data showed the prevalence of the two types of shifts. Earthquake in Sheki region on June 12 at 19:26:57 on September 04 4:55:41 and on September 04 9:38:44 occurred under the influence of near-horizontal compressive and near-vertical tensile stresses. Type reversed fault shifts with elements of right-shift that are associated with the influence of the longitudinal Vandam and transverse Arpa-Samur faults.

Earthquake in Oghuz region on 4 September 4:49:36, 3:06:39 29 September and October 13 at 00:13:31 occurred under the influence of almost equal tensile and compressive stresses. Table 2 shows that the first nodal gap plane extends in the southeast direction (153-318°) with a fall in the south-west at an angle of 86-90°, the second nodal plane has a NE trending (63-222°) with a fall in the south-east at an angle 83-90°. Type shifts of these earthquakes – a shift from the left-side horizontal component.

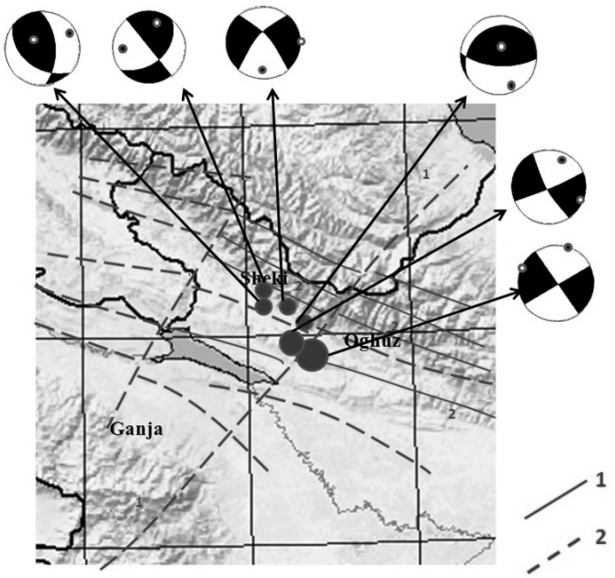


Fig. 12. The focal mechanisms of earthquake of Sheki and Oghuz regions occurred in 2016

The Oghuz epicenters of earthquakes are confined to the Arpa-Samur fault and can be interpreted as a left-lateral strike-slip deformation in the zone of influence of geodynamic left-lateral Arpa-Samur fault. It should be noted that Arpa-Samur ancient deep fault inception at all times from the Paleozoic by now is a zone of active tectonic movements, conductor of magmatic melts, ore-bearing fluids and seismicity.

Table 2

Focal mechanisms parameters of Sheki-Oghuz Earthquake 2015

№	Data *y m d*	t_0. *h min s*	*h*. *km*	Magnitude *ml*	Main axes of stresses						Nodal plane					
					T		*N*		*P*		*NP1*			*NP2*		
					PL	*AZM*	*PL*	*AZM*	*PL*	*AZM*	*STK*	*DP*	*SLIP*	*STK*	*DP*	*SLIP*
1	20150612	19:26:57	11	3.1	28	16	49	143	28	270	143	90	41	53	49	180
2	20150904	04:49:36	16	5.9	0	288	90	171	0	18	153	90	-180	63	90	0
3	20150904	04:55:41	21	3.2	63	40	20	263	17	166	93	65	113	228	33	50
4	20150904	09:38:44	20	3.3	64	316	25	157	8	63	354	58	120	127	43	52
5	20150929	03:06:39	24	3.3	0	90	65	0	24	180	318	73	-162	222	73	-18
6	20151013	00:13:31	16	4.0	2	287	82	180	7	18	153	86	-172	63	83	-4

Table 2 shows the stereogram of earthquakes focal mechanisms of the two earthquakes - the main shock and the strongest aftershocks, the displacement block diagram of NP2 plane corresponding to the specified fault. It must be noted, that analysis of the focal mechanism which occurred on September 29 in t=3:06:39 with ml = 3.3 showed the normal fault shifts, which is due to the influence of the North Adjinour normal fault longitudinal fault.

Results

Thus, the considered focal zone, located within the Lankaran-Govdag and Vandam zones has been characterized by high seismic activity since 1953 and continues to this day, periodically on average once every 9 years with an intensity of 6-7 points in the source.

It was determined on the basis of macroseismic research that the main shake was felt with the highest intensity in the territory of Gozlubulag, Yagublu, Turan, Sarıja, Chaygaragoyunlu, Zarrab, Padar, Karimli, Boyuksoyudlu, Gayabashi, Jayirli, Shirinbulag, Aliyar, Boyuksoyudlu, Tapa and Garabaldir. The intensity of the earthquake in these territories, was assessed with 7 by 12 degree MSK-64 seismic table.

Analysis of the mechanisms of earthquakes foci data showed the prevalence of the two types of shifts. Earthquake in Sheki region on June 12 at t=19:26:57, on September 4, at t=4:55:41 and t=9:38:44 occurred under the influence of near-horizontal compressive and near-vertical tensile stresses. Type reversed fault shifts with elements of right-shift that are associated with the influence of the longitudinal Vandam and transverse Arpa-Samur faults. The Oghuz's epicenters of earthquakes are confined to the Arpa-Samur fault and can be interpreted as a left-lateral strike-slip deformation in the zone of influence of geodynamic left-lateral Arpa-Samur fault.

REFERENCES

ГАСАНОВ, А.Г., АБДУЛЛАЕВА, Р.Р. 2009. Азербайджан. Землетрясения Северной Евразии в 2003 г. Обнинск. 58-67.

ХАИН В.Е., АЛИЗАДЕ, Ак.А.(под ред.). 2005. Том IV – Тектоника. В многотомнике: *Геология Азербайджана*. Nafta-Press. Баку. 214-234.

MEDVEDEV, S.V. 1968. International scale of seismic intensity. In the book: *Seismic zoning of the USSR.* Nauka. Moscow. 151-162.

ELER v3.0 Manual. 2010. Bogazici University. Department of Earthquake Engineering. İstanbul.

DREGER, D.S. 2002. Time-Domain Moment Tensor INVerse-Code (TDMT_INVC). University of California, Berkeley Seismological Laboratory. 18 p.

RZAYEV, A.G., YETIRMISHLI G.J., KAZIMOVA, S.E. 2013. Reflection of geodynamic regime in variations of the geomagnetic field (for example, the southern slope of the Greater Caucasus). *Proceedings of Azerbaijan NAS. Earth Sciences*. 4, Baku, 3-15.

Reviewer: corresponding member of the Ukraine National Academy of Sciences O.V.Kendzera

© Yu.H.Israfilov, R.H.Israfilov, H.H.Guliyev, G.M.Efendiyev, 2016

RISK ASSESSMENT OF THE WATER RESOURCES LOSSES OF THE AZERBAIJAN REPUBLIC DUE TO CLIMATE CHANGES

Yu.H.Israfilov, R.H.Israfilov, H.H.Guliyev, G.M.Efendiyev

Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Javid av., Baku, AZ1143

The main territory of Azerbaijan Republic is situated within arid climate and vast majority of the water resources are involved in the national economic production. Approximately 70% of the water resources are from the transboundary rivers. In states with a current 30% and, as was estimated, more than 40% in the near future deficit of general water resources, the optimal use of fresh surface and groundwater resources great significance and strategic importance for economy of the new independent country in the current situation. As a result, the stress of the potable water resources in various sectors of the national economy, especially in agriculture, which is a major hazard of the countries' food security. This is the reason that currently the interest in the impacts of climate change on water resources in the Republic has developed greatly. The research data demonstrate that the water resources formation in Azerbaijan are very depend on the climate components and highly sensitive to variations in climate. At a time when over the whole territory of the Republic natural conditions are not co-operated to form the potable water resources and other analyses suggest that groundwater resources and water quality could all be significantly affected by climate change over the course of the coming decades. It may be very important factor against sustainable development of Azerbaijan. This paper examines the scientific and technical aspects of evaluating the state of affairs of the water resources management, risk assessment and their degree of vulnerability due to consequences of climate variation in the Republic of Azerbaijan.

Introduction. Currently, importance of potable water resources for the future is one of the vitally important worldwide problem and for Azerbaijan in particular. The provision of safe and sufficient supplies of water is already a problem in many areas of the world and, as populations increase, it is a problem that will continue to escalate. This situation is complicated by the climate change, intensive industry development and anthropogenic impact on the environment. As a result, the need in freshwater, the vital strategic resource in the world, increases every year dramatically. Such problem, in turn, can lead to serious economic damage and social instability. This confirms that the potable water plays the leading role in the development of any society. The water supply deficit is not just increase humanitarian problems it is almost always a reason for the political problems also.

Even energy-rich countries can not survive without sustainable water supply. As a consequence, the management and sustainable development of water resources for states' population and national economy is the key component for state sovereignty and for the Republic of Azerbaijan in particular. The climate change predictions and scenarios, made by scientists from different countries, show how it may lead stress of the fresh water resources. In Azerbaijan – in the state with major deficit of the water resources, this situation definitely will lead the water crisis. Therefore, analysis of the role of the climatic factors and impacts of climate change (based on different scenarios) on groundwater resources within Republic can be of great interest and helpful to identify a range of alternative water management scenarios, likely involving integrated "conjunctive" use of ground and surface water supplies and "recharge management", through which long-term sustainability of urban water resources can be achieved.

Problem definition. The Azerbaijan Republic is located on the western side of the Caspian Sea, in the arid climatic zone and feels deficit of general water balance (in terms of a transboundary water inlet) for almost all fields of the economy development including potable water supply for the population, agricultural and industrial production as well. Most of the territory is located in the regions with light precipitation and high evaporation, where agricultural production is not possible without artificial irrigation (Fig.1). Consequently, the country's sustainable food production (food safety) and sustainable economic growth fully depend from the sustainable water supply. At the same time, the scientists' longtime and short time forecast scenarios show effect of the climate change on a reduction in precipitation. Further aggravation of the water balance deficit will inevitably lead to problems in the economic and social spheres of the country.



Fig. 1. Review map

The modeling studies show a high sensitivity or total dependency of the water resources formation from the climate data variations in the different regions of the World (Arnell and Liu 2001; Kundzewicz et al., 2007; Roos, 1987; Barnett et al., 2005; Zhang et al., 2007; Barnett et al., 2008).

In 1987 Gleick More established that the climate changes impact upon the stability of the water supply system in California and extreme high demand of the water supplies in the dry summer months (Vanrheenen et al., 2004).

A series of studies in 2011-2012 (Papalexiou et al., 2011; Papalexiou, Koutsoyiannis, 2012), which are conducted based on the statistical analysis of 15137 records around the World of the maximum long-term daily precipitation, have allowed to establish different distribution laws. And these laws are used for statistical evaluation and analysis of the average values of different regularities and risks. There is a clear relationship between the density distribution parameters and recording length. Only very large samples can reveal its true distribution and the actual behavior of extreme precipitation.

The researchers have different opinions in the recent studies about the issue of the the potential complexity of the water resources adaptation to climate change. Tanaka et al. (2006) used an economic optimization model of adaptation in the context of the California Water Resources.

The analysis results show that the adaptation cost to climate change will be high for the water sector, but small towards to the country's economy and the budget of California as well. However, these optimistic results have received just partial attention, because the prediction result was obtained in a context of the hydrological uncertainty.

Based on the results of the hydrological systems modeling and interactions between climate and hydrological systems, Vanrheenan et al. (2004) came to reach the conclusion that "... in order to achieve and maintenance of status quo... under the altered circumstances of the hydrological climate scenarios, have an impact on the system productivity in future will be almost impossible."

In view of the above and the results of numerous studies, it is a fair assumption to say, that the water resources is the very important subject of study in the context of the potential climate change impact.

Sources of water resources. The particularities of physic-geographical conditions, complexity of terrain and general atmospheric circulation causes the unique natural climatic conditions of Azerbaijan. In Azerbaijan 9 of the world's 11 climate zones, including semi-desert, arid steppe, and mountain tundra are present in the country (Israfilov R., Israfilov Yu., 2011; Israfilov et al., 2006). At the same time the formation of Azerbaijan climate is

influenced by cold air masses of arctic (Kara and Scandinavian anticyclones) and temperate (Siberian anticyclones) and maritime (Azores maximum), hot air masses of tropical zones (subtropical anticyclone and southern cyclones), Central Asian anticyclones and local weather conditions.

The total water balance (excluding water resources of transboundary rivers) in Azerbaijan is: precipitation – 427 mm (3696 km^3); river discharge – 119 mm (10,31 km^3), including 69 mm (5,96 km^3) is a direct runoff and 50 mm (4,35 km^3) is a groundwater runoff. The average long-term drainage modulus is 3,78 l/sec.km^2 (drainage coefficient – 0,28). The total evaporation here is 308 mm (26,66 km^3) (Israfilov R., Israfilov Yu., 2010; Israfilov et al., 2006). Over the whole territory of the Republic the evaporation is twice more than discharge and it is significant factor in a predictive modeling of climate change impacts' on groundwater resources in Azerbaijan (Israfilov R., Israfilov Yu., 2011).

Analysis of numerous studies on different aspects of river basins in Azerbaijan (Israfilov R., Israfilov Yu., 2011; Исрафилов, 2014: Оценка экологических…,1992; Хенли, Кумамото, 1984; Хисметов и др., 2009; Gleik, 1987; Tanaka et al., 2006; Dessai et al., 2007 etc.) leads to the conclusion that out of 8350 small, mid-size and large rivers in the Republic with a total flow of 32.2 km^3/year, approximately 70% of the water resources (22 km^3/years) are from 5 of the transboundary rivers (Рустамов, Кашкай, 1978).

Kura with its vast river system is the key water source for the Caucasus. The river flows through the territories of Turkey, Georgia and Azerbaijan Republics. The total length of the river is 1364 kilometer (km) of which 185 km are within the territory of Turkey, 390 km in Georgia and 790 km in Azerbaijan. The total area of the watershed that the Kura River drains is 188000 km^2 (of which 58000 km^2 is in Azerbaijan proper, 34700 km^2 is in Georgia, and 29800 km^2 is in Armenia and 65500 km^2 is in Iran and Turkey). The average elevation of the Kura River upper watershed in the Azerbaijan-Georgia border is 1700 meter. The headwaters of Kura River are a group of streams formed in the Gizil-Gadik Mountain at an elevation of 2700 m in Anatolia area of Turkey.

The second largest river is the Araz (Araks). The river flows through Turkey, Armenia and Azerbaijan territories and falls into the Kura near Sabirabad town. The total length of the river is 1072 km with a total watershed area of 102000 km^2 (of which 18740 km^2 is in Azerbaijan, 22090 km^2 is in Armenia, and 61000 km^2 is in Iran and Turkey).

Ganikh (Alazan) is the third largest river, which flows through the territory of Georgia and Azerbaijan and falls into Mingechevir reservoir (Kura River). The total length of the river is 413 km with a total watershed area of 12080 km^2 with the highest elevation in the watershed at 900 m. The Samur river watershed area is 3620 km^2 and Astarachay river watershed area is 242 km^2. The watershed area of the rivers that flow directly into the Caspian Sea from the Northeast slopes of the Greater Caucasus Mountains and Lyankyaran-Astara zone are 22500 km^2 and 52000 km^2, respectively.

As reported in the references (Хенли, Кумамото, 1984; Tanaka et al., 2006; Gleik, 1987 etc.), the total water resources of Eastern Caucasus rivers flowing into the Caspian Sea within the Azerbaijan Republic including those of Samur and Astarachai Rivers make up 31.5 km^3. Total water resources of the Kura River are 26.6 km^3 and of the Araz River are approximately 10 km^3. Water resources of other rivers directly flowing into the Caspian Sea (Rivers of the Greater Caucasus North-East slope and Lyankyaran-Astara zone) make up approximately 4.67 km^3, of which 2.17 km^3 is from the Samur River and 0.22 km^3 is from the Astarachay River. 25% (7.5 km^3) of total water resources of these rivers are from within the Azerbaijan Republic.

The total exploitation reserves and possibilities for use of fresh and weakly mineralized groundwater fields are 5.1 km^3 (Исрафилов, 2014).

Total surface and groundwater resources for average water year are determined about 37.3 km^3. The approximate volume of mandatory environmental and sanitary passage of the main river basins of the Republic is 6.0 km^3 per year (Imanov, 2000). The remaining water resources (about 31.3 km^3) are the strategic reserves and their sustainable use is a guaranty of the sustainable development of the country.

In total the long-time average annual water resources use about 15 km^3/year, including 2.8 km^3 of groundwater. According to long term average data, about 80% and 15% of the water resources are using in the agriculture and the industry activities respectively and the rest for the needs of public water supply (Алиев, Мусаев, 1991). It is important to note that the volume of water currently used is actually equal to the volume of water being formed within the territory of the Republic. This situation is

critical and indicates full dependence on transboundary river flows of Kura and Araz rivers. In this case, almost all water policy of the Republic depends on the quantity and quality stability the of transboundary water resources.

It should be noted that within the Kura-Araz basin the per capita water availability is 6 times in Georgia and is 3 times in Armenia higher than in Azerbaijan.

Water resources contamination. Besides of the general water scarcity the acute pollution of transboundary water significantly increases the tension in the socio-environmental area of the country and generate additional stress on freshwater resources.

Environmental protection and maintenance surface water and groundwater ecology is another urgent problem in the republic. The research results by various investigators (Хенли, Кумамото, 1984; Хисметов и др., 2009; Barnet et al,, 2005; Gleick, 1987; Tanaka et al., 2006; Dessai et al., 2007; etc) show that in the territories of Turkey and Iran environmental conditions of Kura and Araz Rivers are relatively better. The Kura River in the Georgian Varsiya – Akhalkalaki region and Araz beginning from Gumru region of Armenia to Azerbaijan territory are polluted. Wastewaters in Armenia and 36-40% of Georgia are discharged in the Kura River basin. In the Ararat valley sewage from residential areas are transported by pipes to the Sadarak settlement. The annual amount of polluted waters coming from Armenia into Araz River is about 2.6 km^3. Annual wastewater flow into Araz on the average include biogenic elements in the amount of 22-25 thousand ton, pesticide-detergents in the amount of 10-12 thousand ton, organic elements of alloxton type around 60-70 thousands ton and phenols, heavy metals thousands of tons. There is no self-purification process in the river basins. In connection with that physically, chemically and biologically altered and unsafe waters enter into Azerbaijan territory. Pollution of Kura River in the Georgian territory begins from Borjomi valley and continues till Khramchay. The annual amount of polluted waters entering from Georgian territory into Kura River is about 4.2 km^3. Information gathered by specialists (Dessai et al., 2007) wastewater flow into Kura carries on average an annual chlorides load of 60-70 thousand ton, nitrogen compositions 9-11 thousand ton, pesticide-detergents 20-25 thousand ton, organic elements 120-160 thousands ton, phenols 10 thousand ton, metal salts 19-22 thousand tons.

The situation for groundwater is just about the same. In many regions of the republic intensive industrial activity has resulted in different impacts such as water table rise and salinization of soils, contamination and/or decline of the groundwater level, subsidence and landslide processes, etc. Local authorities should need to address these problems urgently. However, in case of contamination of the transboundary aquifers the problem becomes more urgent as it reaches the inter-state level. It is well known that the level of natural protection of the groundwater in the artesian basins is high. But the urgency of the problem may be illustrated by the example of the Alazan-Agrichai transboundary aquifer (its south-east part is located in the territory of Azerbaijan and the north-west part – in the territory of Georgia). More than a million people of both countries live within the region. Their main occupation is agriculture. Moreover, a large Kakhetin-Filizchay (field of polymetallic ores) has been exploited for more than 30 years in the area. Intensive contamination of the environment since the time the territory was part of the USSR has resulted in serious pollution of the water resources. Water sample form the ground and surficial sources in the territory of Georgia and Azerbaijan contain nitrates, heavy metals and some radioactive elements in amounts that exceed acceptable existing standards. At present this is an international problem and it should be solved by collective efforts of Azerbaijan and Georgia. The above-mentioned examples demonstrate the urgency of the protection of the water resources in the regulation and use of the transboundary aquifers.

So, without fresh water resources management and sustainable development (including intergovernmental agreements and regulations in the field of water resources protection from contamination), Azerbaijan may face very serious situation, that can be reason for country's sovereignty restriction.

The rise of the Caspian Sea level. A serious problem for the coastal areas of the country is the rise of the Caspian Sea level that has a cyclical nature. Based on the National Center on Climate Change data, as a result of the sea level rise (2.5 m since 1977), more than 800 km^2 territory were flooded. Currently these areas are the regions of ecological disaster. As a result, the amount flood damage larger than $ 4 billions. Another cause it is silting channel of the Kura and its delta. So in wet years the river does not provide a gravity drainage into the sea. Flooding along the bed of the Kura-

Araz in 2002-2003, led to the flooding of more than 6 thousand yards and the other infrastructure areas (Последствия изменения климата…, 1997).

The socio-economic and environmental problems of the Caspian Sea coastal areas mainly have caused by the global climate change. The long-term sea level fluctuations observations were between the -20 and -34 m (14 m). Most changes in sea level vary between -25 to -27 m (40%) from 1978 to 1995. Sea level has risen by 2.5 meters and reached -26.42 m. It is the most intense and long-term level rise for the whole period of instrumental observations. And it is associated with an increase in humidity in the river basins and their discharge (10-11%) and a decrease in consumptive river water use (Каспийское море, 1992). As a consequence of flooding 485km^2 of offshore caused considerable damage to facilities and infrastructure over the past 18 years. Currently within the under flooding zone are 50 settlements, 250 industrial enterprises, 10 thousand hectares of irrigated land, recreation facilities for 200 thousand people. On 1994 the total damage to the economic sector was estimated approximately $ 82.0 billion USD (Последствия изменения климата…, 1997).

With climate warming in the coming years, the sea level will vary from -26,0 m to -25,0 m . Analysis of current situation let us make the conclusion that for forecast of climate change impact on coastal areas of the Caspian Sea must be counted the cost with the sea level -25,0 m. (A same level was observed in 1882). In case of the sea level rise for another 150 cm flooding will catch approximately additional 87.7 hectares by 2030-2040. The total 136.2 thousand hectares of the flooded areas are expected and it is 1.6% of the total country's territory. The socio-economic damage to Azerbaijan economy will be 4.1 billion US dollars.

For economy prevention and loss minimization it is necessary to stop the development within flooded and possible flooding areas in case of the see levels -26 and -25 m for the next 30-40 years and reduce the risk of capital and ecological disaster (Мансимов и др., 2000).

Forecast of climate change. Forecast of climate change is given by the study results of the National Center on Climate Change. Along with global warming the regional climate changed is observed in the Republic of Azerbaijan (Мансимов и др., 2000). In recent decades, prolonged drought sharply effects to water flow dwindling of the Kura and Araz rivers. To identify possible climate change within Azerbaijan territory the National Center on Climate Change used long term observation data (about 100 years) of the 16 representative meteorological stations in the region. Based on the results general atmosphere circulation simulation the possible scenarios of climate change have been developed. National experts summed up the results and used the softwares developed at the NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS-USA), Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma), the United Kingdom Meteorological Office (UKMO), Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL-W and GFDL-T, USA).

The trend analysis of the results in Azerbaijan shows that temperature of the air has increased about 0.5-0.6°C and warming value about 0.3-0.6°C in the last 100 years.

In all the country's natural zones the warming was indicated. Maximum warming observed in the Greater Caucasus, the Kura-Araz lowland (0.50-0.65°C); minimum in the mountains of the Lesser Caucasus and the coastal areas of the Caspian Sea (0.14-0.20°C). Decreasing in long-term atmospheric precipitation imperceptible (Мансимов и др., 2000). According to modelling results mentioned above, in case of increasing twice the amount of the CO_2 concentration in the atmosphere, the average temperature will increase about 4,11-5,82°C before the end of the next century. The results of the GISS and GFDL-W modelling is almost same (4.2-4.4°C). According to results of the UKMO and GISS modelling, in case of increasing twice the amount of the CO_2 concentration in the atmosphere, the average annual precipitation will increase about 4-12%. However, simulation in the CCCM and GFDL-T models shows precipitation reduction in the same territory about 1-19%, simulation in the GFDL-3 model shows minor changes in the reduction of precipitation (Table 1).

To cover the full range of possible climate changes within the territory of Azerbaijan, it was necessary to consider scenario for the minimum possible warming value. That scenario was simulated and developed by Azeri experts (Мансимов и др., 2000) and took due account of any regional peculiarities and climatic characteristics and the global background as well as. By the result of this scenario, in case of increasing twice the amount of the CO_2 concentration in the atmosphere, the average temperature will increase about 2,0°C and the average annual precipitation will be stable or a little bit lower then background value.

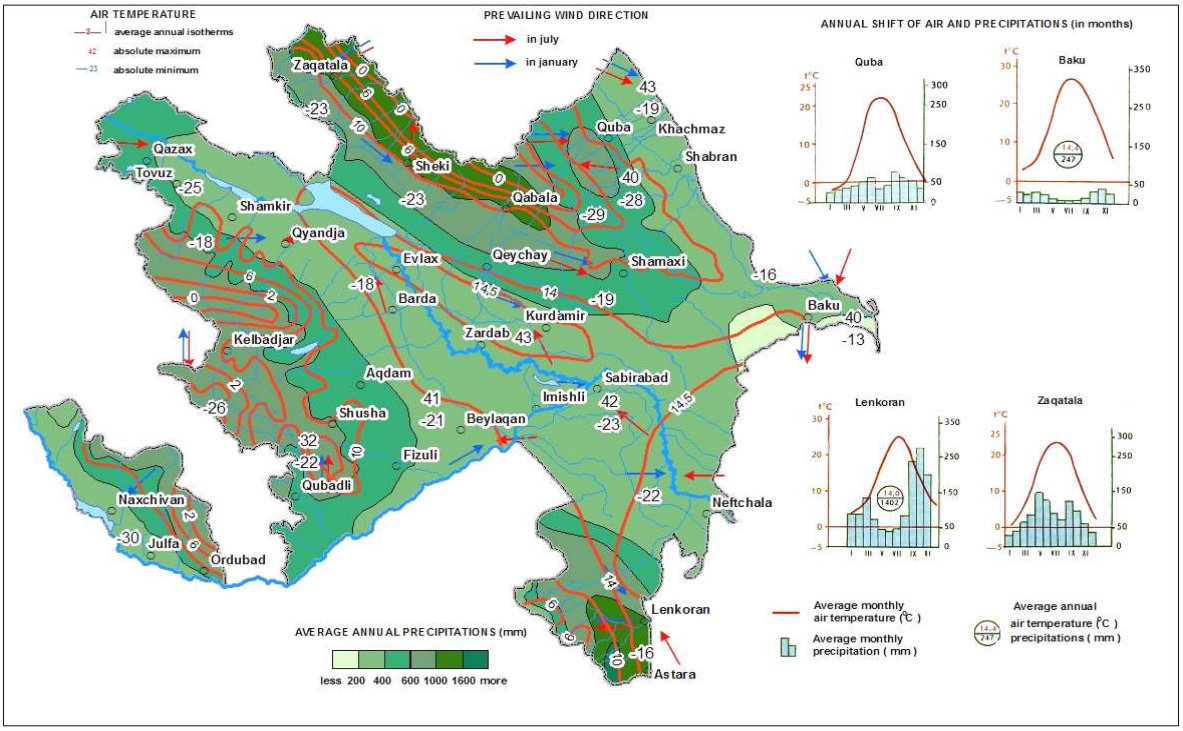


Fig. 2. Climate map of Azerbaijan

Table 1

Expected changes in temperature (dT,°C) and precipitation (R,%) in Azerbaijan in comparison with the background rate (Мансимов и др., 2000)

Scenarios of climate change based on simulation models of:	Time-of-year								Annual	
	Winter		Spring		Summer		Autumn			
	dT°C	R,%	dT°C	R,%	dT°C	R,%	dT°C	R,%	dT°C	R,%
CCCM	4,1	103	5,0	85	7,2	51	4,5	102	5,1	85
UKMO	4,0	99	4,6	107	5,4	90	4,9	118	4,7	106
GISS	4,9	119	3,5	98	4,0	125	5,1	97	4,4	107
GFDL-3	3,2	108	5,4	105	4,4	91	4,3	100	4,3	101
GFDL-T	4,6	115	4,5	100	5,3	66	4,6	101	4,7	98

Assessment of water resources vulnerability carried out based on the statistical models that taking into account peculiarities of runoff formation, depending on the basic parameters of climate. The calculations were performed for the catchment areas of Kura and Araz rivers, and other rivers directly flowing into the Caspian Sea. The long-term assessment of the water resources changes was done by using the results of the scenarios mentioned above and shown in the recent years an imperceptible river flow decline and streamflow redistribution inside a meteorological year. Altitude of the sustainable seasonal snow cover has risen from 1300-1500 m in the 1800-2000 m and snowfall intensity rate decreased significantly.

The water resources forecast by the GISS and GFDL-3 scenarios shows that if the temperature increases about 2.0-4.5°C it will reduce the water flow discharge: up to 15% by the GISS scenario, 20% by the GFDL-3 scenario and 10% – by the artificial scenario. According to the GFDL-3 scenario due to reducing precipitation in summer and autumn seasons that decrease runoff in these seasons and increase the values of the winter and spring runoff (Table 2, 3).

The study results show that in implementing of all three scenarios the water resources will be reduced to 5.7-7.7 km^3. With the current water deficit of about 5 km^3 this value could be rise to 9.5-11.5 km^3, until the middle of the XXI century (Table 3). As a result, the most vulnerable sectors of the economy will be energy, agriculture and potable water supply of the country population.

In this situation, it is necessary to make an additional studies and assessment of the water supply sources and develop a Regular Water Management Information System. At the final stage it is very important to draw up the specific water conservation recommendations for different fields of country's economy for reduce the future impacts of climate change on water resources.

Risk assessment in water resources loss. The above data show that, due to climate change, there is a risk of water resources loss. So, the risk analysis for the large-scale hydrological systems very important when analysing the climate change impact on water supply.

It is becoming increasingly apparent the necessity of application of the probabilistic and statistical methods when analysing source data and risk assessment by climate models. As noted in several studies, for assessing the climate change impacts on the water resources loss it is necessary to pass from the deterministic approach to statistical under uncertainty. N. Stern and C. Taylor (2007) used an integrated assessment model, which explicitly take into account the risk of climate impacts for the global scale of economic evaluation (through conducting active discussion about the importance of risk aversion and the desire to control situation for reduce the risk) (Nordhaus, 2007; Stern, Taylor, 2007; Fishburn, 1977; Anthoff et al., 2009).

Taking into account the strong water stress in Republic, the risk assessment methodology developed before is adapted in this article for current situation in the country. In this case, the risk assume a situation that the value of the water loss leads reduce the water resources in the existing situation of potable water deficit.

Table 2

Water resources vulnerability degree due to the climate change forecast scenarios (Мансимов и др., 2000)

Scenarios of climate change by:	Water resources forecast (km^3/year)			General water resources data (km^3/year)	
	Resources	Deficit	Deficit in %	Long-term parameters	Vulnerability degree
GISS	25,0	11,3	45,2	29,3	Highest
GFDL-3	23,5	11,5	48,9	29,3	Highest
Artificial	26,4	9,48	35,9	29,3	Moderate
Background (long-time average annual)	29,3 ~30	5,02	17,1	29,3	Minor

Table 3

Expected water resources and consumptive use of Azerbaijan rivers due to the climate change forecast scenarios (Mansimov et al., 2000)

Indexes	Background	Expected according to scenarios of climate change		
		Artificial	GISS	GFDL-3
Natural (including water intake by transboundary countries)	29,3	26,4	25,0	23,5
Available (including water intake from Samur river)	24,8	22,0	21,2	20,9
Water use	22,8	26,0	26,0	26,0
Regulating releases	6,99	6,47	6,47	6,47
Water deficit with considering releases	5,02	9,48	11,3	11,5

Method used. One of the basic principles of risk assessment was formulated in 1967 by Farmer (Farmer, 1967). According to this principle the frequency (probability) dependence of undesirable situations is formed from their consequences (in this case are the water resources loss).

The first time the author come up with a relationship in the form of a hyperbolic curve between the average amount of radioactive substances emissions into the atmosphere and the event probability, which is called as a boundary, or a permanent risk curve (it is called by the author name "Farmer curve").

This curve divides the coordinate plane into two parts and that allots the areas with unacceptable – high risk (above and to the right of the constant risk line) and the tolerable risk area, located below and to the left of line mentioned above.

Thus, the curve can be used as a safety criteria that defines the upper limit of acceptable probability. According to studies, risk analysis provides:

– probability determination of undesirable events;
– assessment of possible water loss reasons;
– assessment of possible water loss situations.

The first stage allows to identify the risk on a statistical basis using the comprehensive theoretical and experimental approaches, including water-loss data collection, interrogation method and etc. The water loss values were compared on the basis of different climatic conditions. The probability of water losses occurrence was assessed according to their frequency as well.

This results analysis, selected intervals' value, related accident frequency, material expenditures and the estimated risks' values are outlined in the scientific publications by G.M.Efendiyev, K.A.Jafarov (2008); T.V.Hismetov, G.M.Efendiev, K.A.Djafarov, A.A.Abdirov (Хисметов и др., 2009). In the mentioned publications the accident consequences and their risk in the time of borehole drilling were assessed. Same approach is used to assess risk of water resources loss.

The results obtained by such assessment allow to develop the appropriate measures for risk reduction of the water supply in the different fields of economics and water resources protection under the water stress condition. For water loss risk evaluation and classification with involving linguistic categories built a curve of "water resources loss frequency – water resources loss value (Figure 3).

In this case the different risk graduations may occur. The points which are trapped in the unacceptable risk area will not always belong to the same risk category. According to the risks' classification (Table 5), within each of these bands are allocated different risk categories also (Figure 3). The areas, corresponding to certain risk categories with the constant risk curve, are clearly seen here.

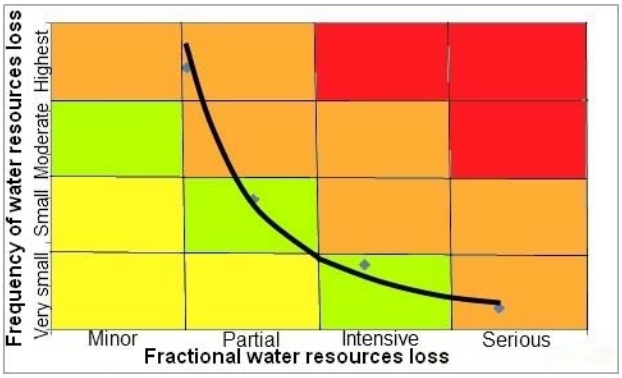


Fig. 3. Correspondence between the categories of relative water resources loss and their probabilities

The information about water resources loss values for different scenarios are divided into the four groups. The different water loss degrees are determined within each group. The appropriate quantitative and qualitative evaluation of the relevant probabilities and consequences are presented.

As the correlation analysis result an analytical approximation of the relationship between the relative water loss and the water losses frequency was determined in the following form:

$$p = 0{,}059q^{-2} \qquad (1)$$

where: p – loss frequency, q – relative vulnerability of water resources loss (consequence). In Table 4 there are estimation results of risk assessment of water resources loss. For that, the parameter $K = q^2$ is multiplying to the losses probability - p. In order to further the water losses risk classification the risk score was calculated for all possible options' combinations and probabilities' consequences. The results are shown in Table 5.

The table rows describe the category of the loss degree and the columns represent the quantitative estimation of these events probability (frequency). The category of loss degree (vulnerability) in the table are presented as follows: Very high – more than 10 km^3; high – 5.0 km^3 / year; medium – 2.5 km^3 / year; very minor – less than 1.0 km^3/year.

For the probability (frequency) loss characterization should be used not only quantitative assessment but qualitative as well (Table 6). For the best visual presentation of the losses degree and their probabilities based on table 6 separate risk value is assigned to the each sequence numerals 1 to 16 and table 7 is created.

For example, as can be seen from the table above, a very high level of risk can be identified for the catastrophic water intake as part of frequent and probable events (the coefficient are 1 and 3, respectively), or for serious consequences of the frequent event (the coefficient is equal to 2).

After the quantitative risk assessment (based on the water intake) mentioned above, the table of the qualitative and quantitative risk assessments correspondence is created (Table 7).

Table 4

Data of possible options and combinations of risk impacts (effects) and probabilities

Vulnerability degree (consequences)	Probability categories (frequency) of event			
	Highest (Frequent) (0,60)	Moderate (Probable) (0,30)	Minor (Rare) (0,15)	Very minor (Incredible) (0,05)
Very High (1)	0,6	0,3	0,15	0,05
High (0,7)	0,294	0,147	0,0735	0,0245
Medium (0,45)	0,1215	0,0608	0,0304	0,0101
Very minor (0,3)	0,054	0,027	0,0135	0,0045

Table 5

Qualitative and quantitative assessment of water resources loss probability (frequency)

Category event probability (frequency)	Qualitative assessment	Quantitative assessment
Highest (Frequent)	Events (loss) occur quite often	0,30-0,60
Moderate (Probable)	Possible loss, but in a small volume	0,15-0,30
Minor (Rare)	Event (loss) likely is not happen, but is not excluded	0,05-0,15
Very minor (Incredible)	Event (loss) is very improbable; in this case the situation is not catastrophic	0-0,05

Table 6

Quality line between vulnerability degree and probability (frequency) characteristics of water resources loss

Vulnerability degree (consequences)	Probability categories (frequency) of event			
	Highest (Frequent)	Moderate (Probable)	Minor (Rare)	Very minor (Incredible)
Very High	1	2	4	10
High	3	5	7	13
Medium	6	8	11	15
Minor	9	12	14	16

Table 7

Relation between quantitative and qualitative risk assessments of water resources loss

Relative risk category	Quantitative risk assessment	Qualitative risk characteristics
1	1-3	Very High
2	4-10	High
3	11-13	Medium
4	14-16	Minor

Conclusion. Problems of guaranteed water supply of all social and economic spheres of the national economy, that is, water security, is a basic component of the country's sovereignty and, in particular of Azerbaijan Republic. To meet the needs of conditioned water for all sectors of the Republic economy, there is currently an acute shortage, even taking into account the transboundary waters, coming to us from neighboring states. In fact, cross-border river flow is about 70% of the total river flow. Currently, freshwater resources are in fact limit the development of almost all sectors of the national economy. At the same time, climate scientists predict that climate change scenarios have preconditions to reduce rainfall, both in the near and distant future. Along with the general shortage of the Republic water balance, the main indicator of the tension growth in this area is the severe pollution of transboundary waters. This factor greatly increases the strength of the water deficit of the Republic and calls for effective measures to tackle the problem at the level of interstate relations. Further aggravation of the water balance deficit will inevitably lead to problems in the economic and social spheres of the country. Without water security and its sustainable development the Republic may face insurmountable difficulties in the future, which limit our sovereignty. Therefore, an important task is to assess the degree of risk of water resources loss, based on different scenarios of climate parameters change, transboundary water pollution and other factors. On the basis of probabilistic and statistical analysis, the technique of assessment of water resources loss risk, including the classification of the consequences, their occurrence probability, analysis and risk classification, has been proposed.

The results of evaluation of water resources loss will help to develop priority adaptation measures to minimize the consequences of the water crisis.

The work was performed as part of the research program of Azerbaijan National Academy of Sciences on "Complex theoretical and experimental studies of interdisciplinary problems of geomechanics", approved by the Decree of the Presidium of Azerbaijan National Academy of Sciences of №5/3 dated,11 February, 2015 (in 2015-2017).

REFERENSES

ANTHOFF, D., TOL, R. S. J., YOHE, G.W. 2009. Risk aversion, time preference, and the social cost of carbon. *Environmental Research Letters.* 2, 024002.

ARNELL, N. LIU, C. 2001. Hydrology and water resources. Chanter 4 in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Contribution of Working Group 11 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). J.J.McCarthy, O.F.Canziani, N.A.Leary, D.J.Dokken and K.S.White. Cambridge, Cambridge University Press, 195-233.

BARNETT, T.P., PIERCE, D.W., HIDALGO. H.G., BONFILS, C., SANTER, B.D., DAS, T., BALA, G., WOOD, A.W., NOZAWA, T., MIRIN, A.A., CAYAN, D.R., DETTINGER, M.D. 2008. Human-induced changes in the hydrology of the western United States. *Science.* 319(5866), 1080-1083.

BARNETT, T.P., ADAM J.C., LETTENMAIER, D.P. 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature.* 438(7066), 303-309.

DESSAI, S., O'BRIEN, K., ILULME, M. 2007. Editorial: On uncertainty and climate change. *Global Environmental Change.* 17(1), 1-3.

FISHBURN, P.C. 1977. Mean-risk analysis with risk associated with below-target returns. *The American Economic Review*. 67(2), 116-126.

GLEICK, P.H. 1987. Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric carbon dioxide and other trace gases. *Climatic Change*. 10(2), 137-161.

ISRAFILOV, R.G., ISRAFILOV, Y.H., ISMAILOVA, M. 2006. The Impact of Groundwater Production and Exploitation on Ecosystem in Azerbaijan. In book*: Groundwater and Ecosystems* /Edited by A.Baba, K.Howard and O.Gunduz/ NATO Science Series IV: Earth and Environmental Sciences, 227, Springer Academic Publishers, London, 167-181.

ISRAFILOV, R.G., ISRAFILOV, Yu.H. 2010. The challenge of transboundary aquifer resources management in the

Azerbaijan Republic -multidisciplinary and multifunctional approaches. In book: *Select papers of the International Conference on Transboundary Aquifers* (ISARM 2010), UNESCO-IHE, Paris, 6-8 December 2010, 276-281.

ISRAFILOV, R.G., ISRAFILOV, Yu.H. 2011. Impact of Climate Change on Groundwater Resources: Review of a Case Study in Azerbaijan. In book: *Climate Change and its Effect on Water Resources* /Edited by A.Baba, G.Tayfur, O.Gunduz, K.W.F. Howard, M.J.Friedel, A.Chamble/ NATO Science for Peace and Security Series C: Envoronmental Security 3, Springer Media B.V., Dordrecht, The Netherlands, 114-124.

KUNDZEWICZ, Z.W., MATA. L.J., ARNELL, N.W., DOLL, P., KABAT, P., JIMENEZ, B., MILLER, K.A., OKI, T., SEN, Z. SHIKLOMANOV, I.A. 2007. Freshwater resources and their management. Climate Change. 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.

NORDHAUS, W. 2007. Critical assumptions in the stem review on climate change. *Science*. 317(5835), 201.

PAPALEXIOU, S.M., KOUTSOYIANNIS, D. 2012. Department of water resourcesand environmental. A global survey on the distribution of annual maxima of daily rainfall: Gumbel or Frechet? European Geosciences Union General Assembly 2012. Vienna, Austria, 22-32 April. Session: HS7.5/NP8.3 Hydroclimatic stochastics.

PAPELEXIOU, S.M., KOUTSOYIANNIS, D., MONTANARI, A. 2011. Can a simple stochastic model generate rich patterns of rainfall events? *Journal of Hydrology*. 411, 279-289.

ROOS, M. 1987. Possible Changes in California Snowmelt Runoff Patterns. Fourth Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop, Pacific Grove, CA.

STERN, N. 2007. The economics of climate change: the stem review. Cambridge University Press.

STERN, N., TAYLOR, C. 2007. Economics: climate change: risk, ethics, and the stem review. *Science*. 317(5835), 203-204.

TANAKA, S.K., ZHU, T.J., LUND, J.R., HOWITT, R.E., JENKINS, M.W., PULIDO, M.A., TAUBER, M., RITZEMA, R.S., FERREIRA, I.C**.** 2006. Climate wanning and water management adaptation for California. *Climatic Change.* 76(3-4), 361-387.

VANRHEENEN, N.T., WOOD, A.W., PALMER, R.N., LETTENMAIER, D.P. 2004. Potential implications of PCM climate change scenarios for Sacramento-San Joaquin River Basin hydrology and water resources. *Climatic Change*. 62(1-3), 257-281.

ZHANG, X., ZWIERS, F.W., ILEGERL, G.C., LAMBERT, F.II., GILLETT. N.P., SOLOMON, S., STOTT, P.A., NOZAWA, T. 2007. Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*. 448(7152), 461-465.

АЛИЕВ, Ф.Ш., МУСАЕВ, Н.А. 1991. Отчет ЦСУ по форме 2ТП-водхоз.

ИМАНОВ, Ф.А. 2000. Минимальный сток рек Кавказа. Нафта-пресс. Баку. 299 с.

ИСРАФИЛОВ, Ю.Г. 2014. Водные ресурсы и суверенитет: проблемы и пути устойчивого управления водными ресурсами Азербайджанской Республики. В: *Труды 2-ой международной конференции по водным технологиям*. Баку, 64-68 с.

КАСПИЙСКОЕ МОРЕ. вып. 1. 1992. Гидрометеорологические условия. Гидрометеоиздат. Ленинград.

МАНСИМОВ, М.Р. и др. 2000. Первое Национальное Сообщение Азербайджана по Рамочной Конвенции ООН по изменению климата. Национальный Центр по Изменению Климата. Баку. 88 с.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА. 1992. МГЭИК. Гидрометеоиздат. С-Пб.

ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В РЕГИОНЕ КАСПИЙСКОГО МОРЯ. 1997. ЮНЕП. Женева.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1978. Водный баланс Азербайджанской ССР. Елм. Баку. 109 с.

ХИСМЕТОВ, Т.В., ЭФЕНДИЕВ, Г.М., ДЖАФАРОВ, К.А., АБДИРОВ, А.А. 2009. Анализ и оценка степени риска аварий при бурении скважин. *Нефтяное Хозяйство*, 10, Москва.

ХЕНЛИ, Э.ДЖ., КУМАМОТО, Х. 1984. Надежность технических систем и оценка риска. Машиностроение. Москва. 528 с.

ЭФЕНДИЕВ, Г.М., ДЖАФАРОВ, К.А. 2008. Анализ аварий при бурении и оценка риска их возникновения. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле.* 3, 52-55.

Reviewer: academician R.M.Mammadov

© Б.А.Сулейманов, Х.Ф.Аббасов, 2016

О РЕГУЛИРОВАНИИ АГРЕГАТИВНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СУСПЕНЗИЙ КВАРЦА ХИМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Б.А.Сулейманов, Х.Ф.Аббасов

НИПИ "Нефтегаз", SOCAR,
Az1012, Баку, просп. Г. Зардаби, 88а

Изучено влияние дзета-потенциала на процесс псевдоожижения суспензий кварца и возможности его химического регулирования путем воздействия на агрегативную устойчивость исследуемой дисперсной системы реагентом, основным компонентом которого является продукт реакции аминов и фосфорных эфиров. Показано, что агрегация кварца при обработке указанной химической системой происходит благодаря уменьшению электрокинетического потенциала вследствие уменьшения толщины диффузной части двойного электрического слоя вокруг частиц кварца. Выявлено, что химическая обработка суспензии кварца способствует значительному увеличению скорости начала псевдоожижения, а также коэффициента фильтрации жидкости. Предложена поправка к уравнению Ричардсона-Заки для учета агрегации частиц кварца. Для объяснения фильтрационных свойств обработанного песка предложена модель, учитывающая влияние агрегации на пористость среды. Результаты работы могут быть использованы при разработке нефтяных месторождений, сложенных слабосцементированными песчаниками.

Введение

Суспензии и гидрозоли твердых частиц находят широкое применение в различных областях, таких как биоанализ, биомедицина (Bagwe et al., 2006), почвоведение (Ковда, 1988), нефтегазодобыча (Сулейманов, 2011) и т.д. При этом определяющую роль играет агрегативная устойчивость этих систем, которая в большей степени обусловлена электрокинетическим (дзета) потенциалом. Одной из наиболее активно изучаемых в последние годы систем является суспензия кварца (Kobayashi et al., 2005), которая наряду с суспензией сажи в бензоле считается наиболее агрегативно-устойчивой без добавок стабилизатора (Лукьянов, 1988), что обычно связывают с хорошей смачиваемостью кварца водой и взаимным отталкиванием частиц за счет высокого электрокинетического потенциала (Кройт, 1955). При разработке нефтяных месторождений, сложенных слабосцементированными песчаниками, это приводит к разрушению породы и сопутствующему выносу песка из пласта, снижению производительности скважин, а в особо сложных ситуациях – к полной их остановке (Арментор и др., 2007). Для решения указанной проблемы применяется ряд способов, существенным недостатком которых является снижение проницаемости породы. В связи с этим в последнее время разработан новый подход, основанный на химическом регулировании дзета-потенциала, при этом происходит существенное ограничение выноса песка при сохранении проницаемости призабойной зоны скважин (Treybig et al., 2016).

В настоящей работе нами подробно изучено влияние дзета-потенциала на процесс псевдоожижения песчаной среды и возможности его химического регулирования.

Эксперимент

Определение дзета-потенциала

В наших исследованиях для определения дзета-потенциала мы использовали метод потенциала течения и уравнение Гельмгольца-Смолуховского.

Схема установки, на которой производилось измерение дзета-потенциала, показана на рис.1а.

Псевдоожижение

Исследование процесса псевдоожижения песчаных систем проводилось на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис.1б. В вертикальной колонке из стекла с внутренним диаметром $4{,}0\times10^{-2}$ м и длиной 0,35 м, снабженной снизу поперечной перфорированной решеткой, помещен слой песка. Ожижающий агент – вода – подается в нижнюю часть аппарата под решетку. Перепад давления в слое измеряется дифференциальным манометром.

Средний размер песчинок кварцевого песка составлял 150 мкм. В трубку засыпалась порция предварительно замоченного кварцевого песка. Высота засыпки составляла $L = 0{,}2$ м.

Был исследован процесс псевдоожижения необработанного и химически обработанного кварцевого песка водой при среднем давлении 0,01 МПа.

Фильтрация

Фильтрация жидкости имеет существенное влияние на процесс выноса песка, т.к. вынос песка начинается при определенном критическом перепаде давления. Очевидно, уменьшение вязкости или улучшение пропускной способности пористой среды значительно уменьшает вероятность выноса песка.

Коэффициенты фильтрации жидкости до и после обработки пористой среды определялись на основе закона Дарси (Вилькер, 1959):

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{k\rho g}{\eta}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{p}{\rho g} + z\right),$$

где, h – координата свободной поверхности жидкости, k – проницаемость пористой среды, p – давление.

При соответствующих граничных условиях ($z = 0,\ p = p_{атм}$ и $z = L,\ p = p_{атм} + \rho g(h - L)$) (рис.1в) решение этого уравнения приводит к следующей зависимости координаты свободной поверхности жидкости от времени:

$$h(t) = h(0)\exp\left(-\frac{C}{L}t\right),$$

где, $C = (k\rho g/\mu)$ – коэффициент фильтрации, L – толщина пористой среды.

Таким образом, определяя в эксперименте координаты свободной поверхности жидкости для нескольких моментов времени и строя график зависимости $\ln\left(\frac{h(0)}{h(t)}\right)$ от t, по углу наклона определялся коэффициент фильтрации: $C = L \cdot tg\alpha$.

Для проведения эксперимента по определению коэффициента фильтрации была собрана установка, показанная на рис.1в. Она представляет собой вертикальную стеклянную трубу, в нижней части которой между двумя мелкоячеистыми сетками находится слой пористого материала. Свободная жидкость, находящаяся в верхней части установки, просачивается через пористый материал и стекает в сосуд, расположенный в нижней части установки.

Используемые материалы

Агрегирующая химическая система

Основным компонентом используемого реагента является продукт реакции аминов и фосфорных эфиров – триэтаноламмоний фосфат. Для обработки кварцевого песка на 30 г песка добавлялось 0,25-4,0 мл агрегирующей смеси и 20 мл электролита, в качестве которого использовался 2% раствор хлорида калия, после чего вся масса перемешивалась.

Кварцевый песок

Использовался кварцевый песок МДФ2 производства компании ОАО «Спецнефтематериалы», г. Волгоград, Россия. Средний размер частиц преимущественно шарообразной формы составлял 0,115-0,1мм. Массовая доля диоксида кремния составляет 97-99%, а содержание глинистых примесей – менее 0,4%.

Результаты и обсуждение

Дзета-потенциал

Наиболее часто нарушение агрегативной устойчивости дисперсных систем происходит при добавлении электролитов. Для симметричного электролита толщина диффузной части двойного электрического слоя δ уменьшается с ростом концентрации введенного электролита (Дерягин, 1986):

$$\delta = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0 kT}{2z^2e^2c_0}}\quad , \qquad (1)$$

где, z – валентность заряда ионов, e – заряд электрона, c_0 – равновесная концентрация ионов вдали от двойного слоя в объеме раствора, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

При уменьшении толщины диффузной части двойного электрического слоя, дзета-потенциал уменьшается из-за сжатия графика в левую сторону (рис. 2а):

$$\xi = \varphi(d) = \varphi_0\exp\left(-\frac{d}{\delta}\right),$$

где, d – расстояние между плоскостью, разделяющей подвижную внешнюю среду от неподвижного граничного слоя в двойном электрическом слое, и поверхностью твердой частицы, φ_0 – потенциал на поверхности твердой частицы.

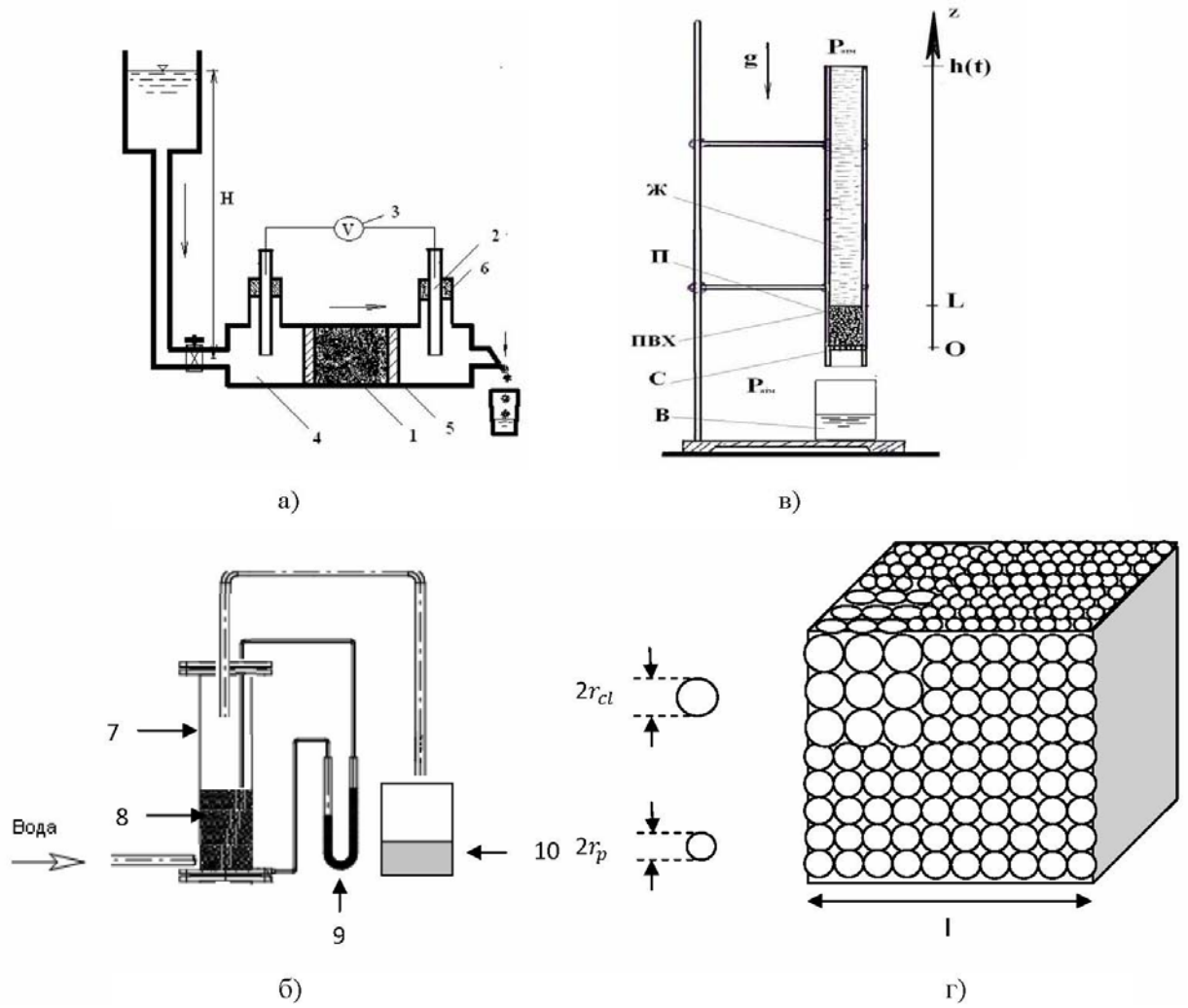


Рис. 1. Схемы установок по измерению дзета-потенциала (а), коэффициента фильтрации (в) и исследованию процесса псевдоожижения (б):
1 – песок, 2 – агар-агаревые электроды, 3 – мультиметр, 4 – жидкость, 5 – сетки, 6 – резиновые прокладки, 7 – колонка, 8 – песок, 9 – дифференциальный манометр, 10 – мерный сосуд; (г) – рисунок для разъяснения текста

С уменьшением дзета-потенциала снижается высота энергетического барьера, что способствует сближению частиц и их дальнейшей коагуляции. Для молекул и частиц, которые достаточно малы, высокий дзета-потенциал будет означать стабильность, т.е. дисперсия будет устойчива по отношению к агрегации (Дерягин, 1986). Когда дзета-потенциал низкий, притяжение превышает отталкивание, устойчивость дисперсии нарушается, и коллоидные частицы коагулируют и агрегируют.

Структуру двойного электрического слоя на частицах песка SiO_2 можно примерно представить следующим образом (рис. 2а) (Lorne, 1999). Поверхность зерен оксида SiO_2 частично гидратируется. Образуется H_2SiO_3, способная ионизироваться:

$$H_2SiO_3 \leftrightarrow H^+ + HSiO_3^- .$$

Ионы $HSiO_3^-$, «родственные» с SiO_2, избирательно адсорбируются на поверхности SiO_2, образуя наружный отрицательный заряд (потенциалопределяющие ионы), а ионы H^+ переходят в раствор (противоионы) (рис.2б). Для уменьшения дзета-потенциала в раствор надо добавить положительные ионы вещества со специфической структурой. При обработке песка агрегирующей системой, образовавшееся вещество – триэтаноламмоний фосфат, положительно заряжаясь, примыкает к плотному слою противоионов, что приводит к уменьшению толщины диффузной части двойного электри-

ческого слоя вокруг песка, а значит к уменьшению дзета-потенциала (рис.3).

Абсолютное значение дзета-потенциала раствора также уменьшается с ростом концентрации электролита *KCl* в растворе, что согласуется с формулой (1) толщины диффузной части двойного электрического слоя (рис.4).

Псевдоожижение

В процессе экспериментов определяли характеристику псевдоожижения (ΔP - Q) (рис.5), зависимость относительного расширения зернистого слоя ($\Delta h = h/L$) от расхода жидкости Q (рис.6) при постоянном среднем давлении (0,01 МПа), а также зависимость пористости, рассчитанной по формуле (4), от расширения зернистого слоя (Δh) (рис. 7) для необработанного и обработанного кварцевого песка.

Реология системы наглядно изображается в виде кривой псевдоожижения (ΔP-Q). Эта кривая выражает зависимость перепада давления в слое ΔP от объемной скорости ожижающего агента Q. При невысоких скоростях жидкости слой зернистого материала на решетке остается неподвижным, происходит фильтрация жидкости через слой. С увеличением скорости жидкости перепад давления в слое возрастает, и в определенный момент масса зернистого материала в слое уравновешивается гидродинамическим давлением потока жидкости – наступает гидродинамическое равновесие. В условиях гидродинамического равновесия начинается взаимное пульсационное перемещение частиц, а перепад давления в слое с ростом скорости жидкости не меняется. В таком состоянии сила давления ($\Delta P \cdot S$), действующая со стороны жидкости на слой песка, если пренебречь силой трения, уравновешивается весом слоя песка в жидкости:

$$\Delta P \cdot S = (\rho_c - \rho_{ж}) V_c g \,, \qquad (2)$$

где, ρ_c и $\rho_{ж}$ – плотности песка и жидкости соответственно, V_c – объем песка, S – площадь поперечного сечения слоя песка. Формула (2) с учетом (ε) пористости песка и постоянства перепада давления при псевдоожижении преобразуется в следующий вид:

$$\Delta P \cdot S = (\rho_c - \rho_{ж})(1-\varepsilon_0) g V_0 = (\rho_c - \rho_{ж})(1-\varepsilon) g V \,, \quad (3)$$

где, ε_0 и V_0 – пористость и объем неподвижного слоя песка соответственно.

Из равенства (3) можно найти связь между пористостью (ε) и расширением слоя (h) ($V = S(L+h), V_0 = SL$):

$$\varepsilon = 1 - \frac{L}{L+h}(1-\varepsilon_0) \,. \qquad (4)$$

Как видно из рис. 5, скорость начала псевдоожижения для обработанного песка в 2,632 раз выше, чем необработанного, а также переход от состояния фильтрации к состоянию псевдоожижения для обработанного песка более плавный (наклон кривой в области фильтрации для обработанного песка в 2,815 раз меньше, чем для необработанного песка): псевдоожижение наступает для обработанного песка при большей скорости жидкости. Это свидетельствует о том, что монодисперсность песка нарушилась обработкой песка и песок стал полидисперсным в результате агрегации песчинок под влиянием реагента. Следует отметить, что указанное приводит к увеличению скорости уноса частиц.

Из рисунка также видно, что до начала псевдоожижения при одном и том же перепаде давления объем профильтрованной жидкости для обработанного песка оказывается намного больше (в 2,632 раз в точке перехода из области фильтрации в область псевдоожижения) по сравнению с необработанным песком. Это показывает, что обработка песка увеличивает сопротивляемость песка к псевдоожижению жидкостью: жидкость и при больших скоростях фильтруется через обработанный песок, оставляя песок неподвижным.

Ричардсон и Заки предложили эмпирическое соотношение между приведенной скоростью витания частиц (u) и пористостью псевдоожиженного слоя (ε), линейное в логарифмических координатах, ставшее классическим (Ричардсон, 1974):

$$\frac{u}{u_0} = \varepsilon^n \,, \qquad (5)$$

где, u_0 – приведенная скорость частиц в начале псевдоожижения, показатель степени n уменьшается с ростом размера частиц.

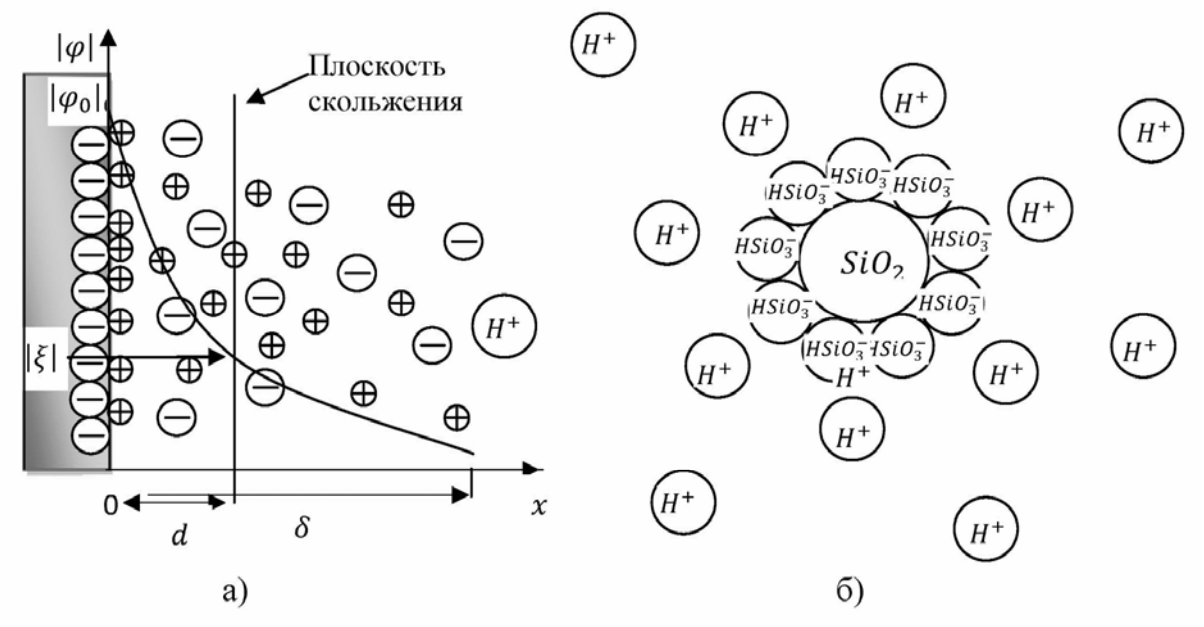


Рис. 2. Схема образования двойного электрического слоя вокруг частицы песка: а) распределение потенциала, б) двойной слой вокруг частицы песка

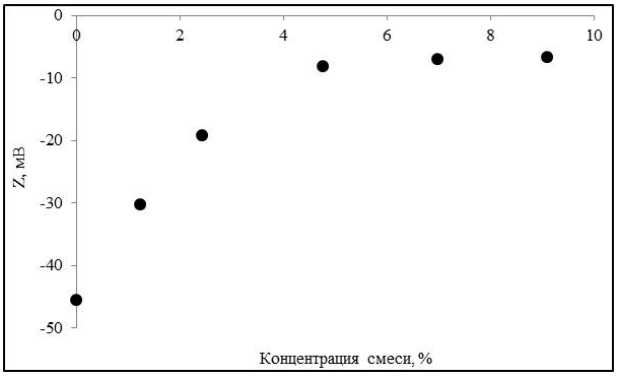


Рис. 3. Зависимость дзета-потенциала песка от концентрации агрегирующей смеси

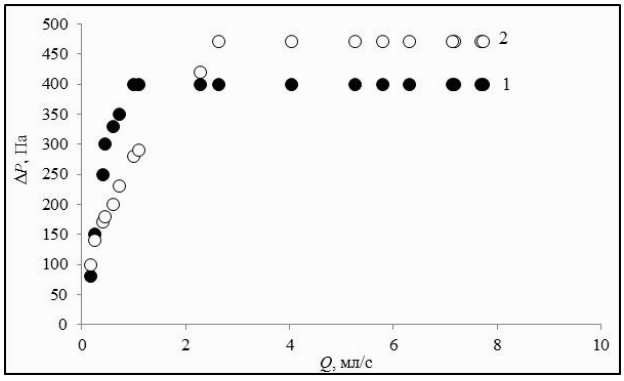


Рис. 5. Кривая псевдоожижения необработанного (1) и обработанного (2) песка

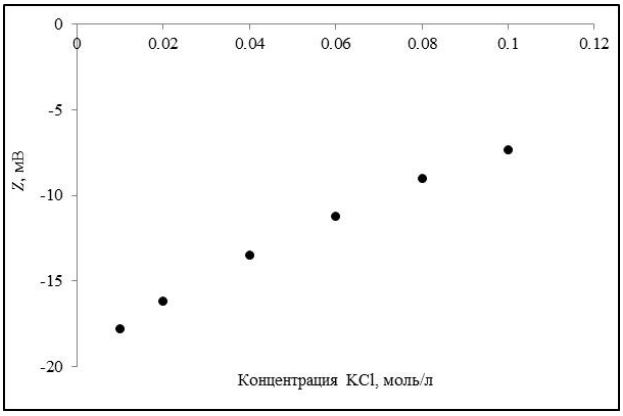


Рис. 4. Зависимость дзета-потенциала песка, обработанного агрегирующей системой, от концентрации электролита *KCl*

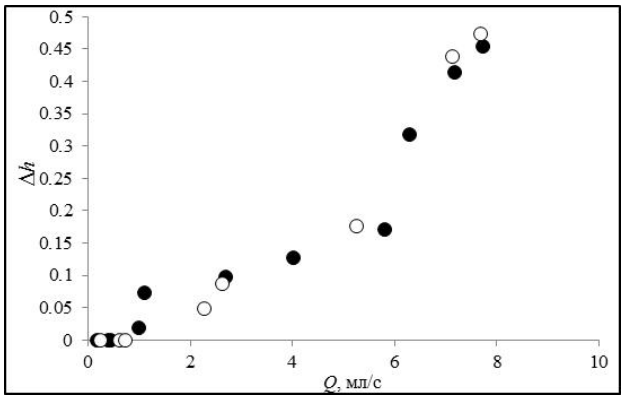


Рис. 6. Зависимости расширения зернистого слоя от расхода жидкости для необработанного (•) и обработанного (о) песка

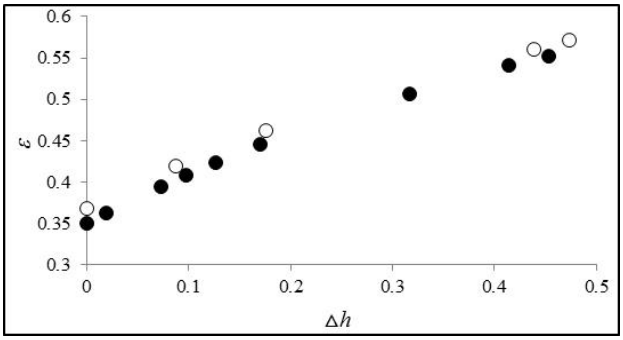


Рис. 7. Зависимости пористости зернистого слоя от расширения слоя для необработанного (•) и обработанного (о) песка

На рис. 8 представлена зависимость между скоростью псевдоожижения (10^{-3} м/с) и пористостью псевдоожиженного слоя (%), перестроенная в логарифмических координатах, при ожижении водой (1 – необработанный, 2 – обработанный песок). Как видно из рисунка, псевдоожижение необработанного песка водой описывается уравнением Ричардсона-Заки, а случае обработки песка на представленной зависимости наблюдаются два линейных участка с меньшими углами наклона. Хорошо известно, что уменьшение угла наклона, т. е. показателя n в уравнении (5), соответствует росту размера частиц песка, что можно аналитически описать уравнением Ричардсона-Заки со следующей поправкой:

$$\frac{u}{u_0} = \varepsilon^{\frac{r_p}{r_a}n}, \qquad (6)$$

где, r_p – радиус отдельной частицы, а r_a – средний радиус агрегата, образованного из таких частиц. Действительно, когда агрегация отсутствует: $\frac{r_p}{r_a} = 1$, псевдоожижение описывается уравнением Ричардсона-Заки (5), а с ростом агрегации показатель степени уменьшается обратно пропорционально радиусу агрегации (формула (6)). Уменьшение наклона на втором участке кривой (2) обусловлено агрегацией частиц песка и подтверждает правильность предложенной поправки.

Коэффициент фильтрации

Известно, что коэффициент фильтрации $C = k\rho g/\mu$ прямо пропорционален проницаемости и пористости среды. Ниже мы предлагаем модель, в которой учитываем вклады в пористость среды агрегатов, образованных из отдельных частиц. Рассмотрим куб со стороной l, в котором размещены N_p частиц с радиусом r_p и N_a агрегатов с радиусом r_a, образованных из таких частиц (рис.1г). Пористость этого куба определится как:

$$\varepsilon = \frac{l^3 - N_a\frac{4}{3}\pi r_a^3 - N_p\frac{4}{3}\pi r_p^3}{l^3}. \qquad (7)$$

С другой стороны, из рис.1г можно приближенно найти связь N_a и N_p, учитывая равноправность всех направлений:

$$\sqrt[3]{N_a}\cdot 2r_a + \sqrt[3]{N_p}\cdot 2r_p = l. \qquad (8)$$

Обозначив отношение числа агрегатов к числу частиц через $a = \frac{N_a}{N_p}$ и отношение объема агрегата к объему частицы через $b = \frac{V_a}{V_p}$, ($r_a = \sqrt[3]{br_p}$), из (8) получим:

$$N_p = \left[\frac{l}{2(\sqrt[3]{ab}+1)r_p}\right]^3. \qquad (9)$$

Окончательно учитывая (9) в (7), получим:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\pi}{6}\cdot\frac{1+ab}{(1+\sqrt[3]{ab})^3}. \qquad (10)$$

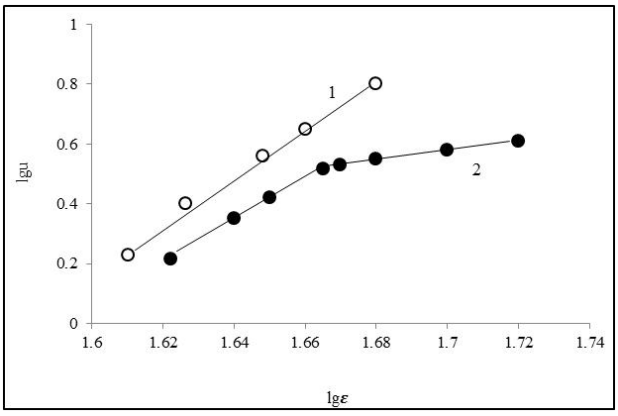


Рис. 8. Зависимость скорости псевдоожижения (10^{-3} м/с) от пористости псевдоожиженного слоя (%), перестроенная в логарифмических координатах, при ожижении водой (1 – необработанный, 2 – обработанный песок)

Графические зависимости пористости от отношения числа агрегатов к числу частиц (a) и от отношения объема агрегата к объему частицы (b) на основе формулы (10) приведены на рис.9, 10. Как видно из рисунков, эти зависимости в случае агрегации носят немонотонный характер. Рост числа агрегатов при низких значениях объема агрегата (рис. 9) приводит к росту пористости рассматриваемой среды (кривая 1). А начиная с определенного значения объема агрегата, пористость уменьшается с ростом как числа агрегатов (кривая 2), так и объема агрегата (рис. 10). Видимо, при высоких значениях объема агрегата они, сваливаясь друг на друга под действием силы тяжести, закупоривают поры между частицами песка. Отметим, что в этой модели мы не учли полидисперсность агрегатов, т.е. в первом грубом приближении мы приняли, что все агрегаты имеют одинаковые размеры.

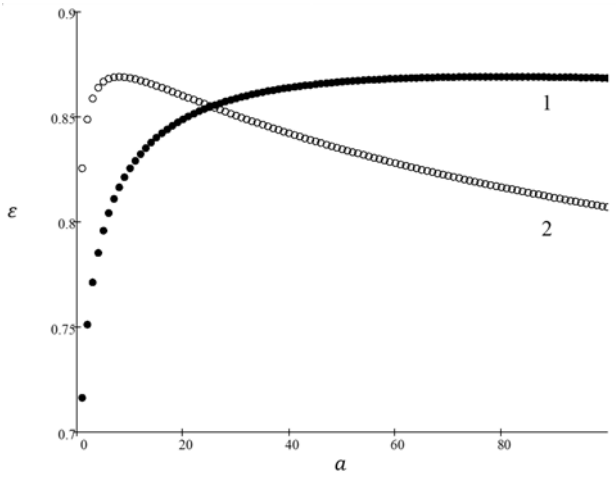


Рис. 9. Зависимость пористости от отношения числа агрегатов к числу частиц (а): 1 – $b = 1$, 2 – $b = 10$

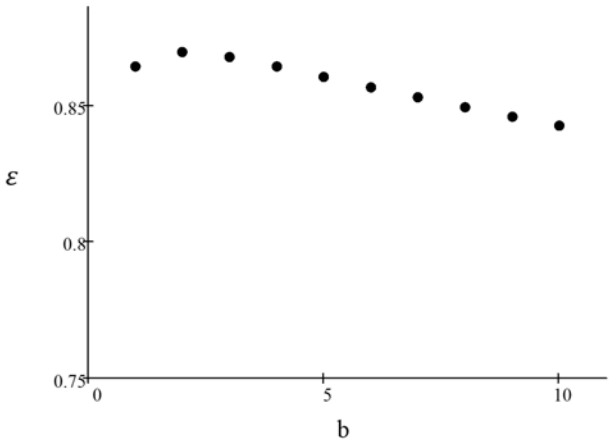


Рис. 10. Зависимость пористости от отношения объема агрегата к объему частицы (b)

Эти результаты подтверждаются полученными нами экспериментальными данными. Ведь объем агрегата в пористой среде в первом приближении можно взять прямо пропорционально концентрации агрегирующей смеси: $b = \frac{V_a}{V_p} \approx \frac{b_1 V_{mix}}{V} = b_1 c$, где V_{mix} является объемом агрегирующей смеси, V – объем пористой среды, b_1 – коэффициент пропорциональности, зависящий от дзета-потенциала среды. На рис.11 представлен график зависимости коэффициента фильтрации 2% водного раствора KCl через песок, обработанный агрегирующей системой, от ее концентрации. Наблюдаемый на рисунке максимум (с=5%) можно объяснить следующим образом. При объеме реагента до 1мл агрегаты некрупные и все еще находятся в броуновском движении (рис.3, 10). Когда объем агрегирующей системы становится больше критического объема (который составляет 1/20 часть объема песка), крупные агрегаты, сваливаясь друг на друга под действием силы тяжести, закупоривают трещины и поры. Поэтому уменьшается пористость и, как следствие, коэффициент фильтрации песка.

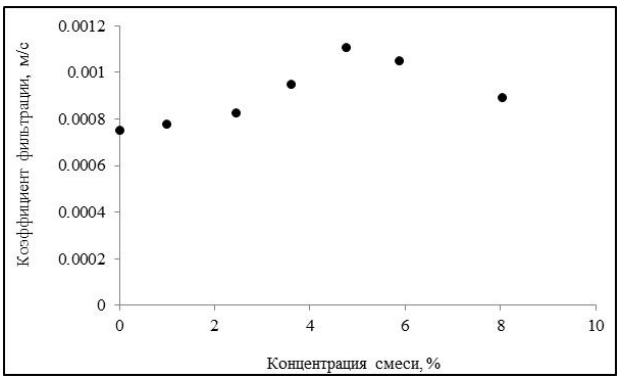


Рис. 11. Зависимость коэффициента фильтрации воды через песок, обработанный агрегирующей смесью, от концентрации смеси

ВЫВОДЫ

1. Показано, что причиной нарушения агрегативной устойчивости суспензии кварца химическим воздействием является уменьшение дзета-потенциала в результате примыкания положительно заряженного триэтаноламмония фосфата к плотному слою противоионов.

2. Выявлено, что химическая обработка суспензии кварца способствует значительному увеличению скорости начала псевдоожижения, а также коэффициента фильтрации жидкости.
3. Предложена поправка к уравнению Ричардсона-Заки для учета агрегации частиц кварца.
4. Для объяснения фильтрационных свойств обработанного песка предложена модель, учитывающая влияние агрегации на пористость среды.

ЛИТЕРАТУРА

АРМЕНТОР, Р.Дж., УАЙЗ, М.Р., БОУМЕН, М. и др. 2007. Предотвращение выноса песка из добывающих скважин. *Нефтегазовое обозрение.* 19, 4-17.

ВИЛЬКЕР, Д.С. 1959. Лабораторный практикум по гидромеханике. Физматлит. Москва.

ДЕРЯГИН, Б.В. 1986. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок. Наука. Москва.

КОВДА, В.А. (под ред.) 1988. Почвоведение. Высшая школа. Москва.

КРОЙТ, Г.Р. 1955. Наука о коллоидах. Иностранная литература. Москва.

ЛУКЬЯНОВ, А.Б. 1988. Физическая и коллоидная химия. Химия. Москва.

РИЧАРДСОН, Дж.Ф. 1974. Начало псевдоожижения и однородные системы. В кн.: *Псевдоожижение*. Химия. Москва.

СУЛЕЙМАНОВ, Б.А. 2011. Промывка песчаной пробки газированными жидкостями. *SOCAR Proceedings*. 1, 30-36.

BAGWE, R.P., HILLIARD, L.R., TAN, W. 2006. Surface modification of silica nanoparticles to reduce aggregation and nonspecific binding. *Langmuir*. 22, 4357-4362.

KOBAYASHI, M., JUILLERAT, F., GALLETTO, P., BOWEN, P., BORKOVEC, M. 2005. Aggregation and charging of colloidal silica particles: effect of particle size. *Langmuir*. 21, 5761-5769.

LORNE, B., PERRIER, F., AVOUAC, J.-P. 1999. Streaming potential measurements, I: properties of the electrical double layer from crushed rock samples. *Journal of Geophysical Research*. 104, 17857-17877.

TREYBIG, D.S., SAINI, R., VIGDERMAN, L., SMITH, K., GRAY, B., STROBEL, J. 2016. Consolidating sand with new generation zeta potential altering systems. *Proceedings of the SPE International Conference and Exhibition on "Formation Damage Control"*. Lafayette, Louisiana, USA.

Рецензент: к.х.н. А.М.Агаев

© Р.М.Кашкай, М.А.Теймуров, 2016

ПРИМЕНЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОДЗЕМНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВОДНОГО БАЛАНСА

Р.М.Кашкай, М.А.Теймуров

Институт географии им. Г.А.Алиева НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 115
e-mail: doktor_rq@mail.ru

В статье впервые дается оценка подземных вод, участвующих в формировании речного стока рациональным методом с использованием ГПС среды на примере рек Курмукчай и Турианчай. Сравнение подземной составляющей речного стока, полученной по предложенной авторами формуле $Q_u = L \times \frac{F}{R}$ и по методу водного баланса, показывает, что разница между ними очень мала или вовсе отсутствует, что позволяет применить рациональный метод для определения величины подземного стока в реки в любых географических условиях, охваченных и не охваченных наблюдениями.

Подземный сток в реки с точки зрения определения его доли в питании рек и участии в водно-балансовых исследованиях остается все еще малоизученной областью гидрологии. В различные годы этот вопрос затрагивался в работах М.И.Львовича (1938), M.Bernard (1938), Ф.А.Макаренко (1948), О.В.Попова (1968), R.E.Horton (1933), R.H.Hawkins (1978), R.E.Smith (1976), V.M.Ponce (1989, 2015), D.B.Thompson (2006), M.A.Yaeger и др. (2009). В Азербайджане сравнительно глубокое изучение проводилось В.Д.Быковым (1964), Р.М.Кашкай (1973) на Большом Кавказе, затем по всей республике в целом (Рустамов, Кашкай, 1978). Таким образом, за последние 25-30 лет исследования по вопросам определения доли подземного стока в реки в республике не проводились.

За весь период водно-балансовых исследований при определении доли подземного стока в реки в основном было предложено 3 метода:

1) метод Ф.А.Макаренко, основанный на прямом определении суммарных расходов подземных вод, питающих реку и гидравлически не связанных с ней;

2) метод вертикального расчленения гидрографа;

3) метод определения подземного стока в реки как разницы между годовым стоком и другими его составляющими.

Основная трудность в определении подземного стока в реки проявляется в период прохождения весенне-летних паводков и половодий. Поэтому наиболее приемлемым мог бы явиться первый метод. Однако, не располагая данными наблюдений за режимом всех подземных источников в бассейнах рек в горных странах, применить этот метод не было возможности.

Поэтому при исследованиях доли подземного стока в водном балансе республики применялся второй метод, который в то время был, а во многих случаях и сейчас является более приемлемым методом, хотя и страдает некоторым субъективизмом.

Однако в последнее время в мировой научной литературе просматривается тенденция увеличения исследований по определению отдельных элементов водного баланса. На фоне глобальных изменений в природе особый интерес и актуальность представляют исследования по оценке речных водных ресурсов, являющихся главным источником питьевого водоснабжения. Большая часть этих исследований по оценке водных и земельных ресурсов, их экологии проводились по заказу таких международных организаций, как ЮНЕСКО и ФАО.

Основной целью этих исследований явились:

1. Разработка методики, оперативно отражающей изменения в величинах водных ресурсов при глобальных климатических и других изменениях в природе.

2. Более точное определение элементов водного баланса.

3. Проведение работ как прогнозного характера, так и по определению устойчивости к природным рискам.

4. Возможность использования новых методик для оценки водных ресурсов в аридных и семиаридных областях, испытывающих острую их недостаточность.

В условиях Азербайджана при неравномерном распределении стока как по территории, так и внутри года большую роль играет естественная зарегулированность рек. И она проявляется в величинах подземного стока, являющегося основным источником питания рек в бездождливый, засушливый период. При определении подземной составляющей речного стока на гидрографе стока принималось, что после интенсивных дождей подземный сток в реки возрастает, плавно повторяя очертания полного речного стока с некоторым запозданием наступления его максимума (от 5 до 10 дней). В зависимости от геологического строения бассейна и литологического состава отложений в некоторых случаях время наступления этих максимумов совпадает. Это подтверждается при сравнении дебита родника (по данным Азгеологоуправления и Ф.Ш.Алиева, 2000) и значений атмосферных осадков (рис.1).

Исследования, проведенные Университетом Альберта Людвига во Фрайбурге (Tilch et al., 2003), также говорят о генетической связи между осадками, речным стоком и дебитом родника, расположенного в горной части бассейна реки Бругга, трансграничной с Германией и Австрией (рис.2).

Регулирующая роль подземного стока проявляется после интенсивных дождей. Именно в этот период начинается подпитывание почвы, а затем и подземных вод. В дальнейшем в бездождливый период наблюдается резкое увеличение стока (табл.1). Как видно из таблицы, по данным метеостанции Загатала выпавшие 21 мая осадки (29,4 мм), хотя и способствовали увеличению стока за счет поверхностных вод, однако в последующие (бездождливые) дни произошло резкое увеличение стока (от 7,21 до 8,07 м), что объясняется увеличением его подземной составляющей. То же самое можно сказать об осадках, выпавших 26.VI, 21.VII, 4.VIII, 25.VIII.

Несмотря на то, что в исследованиях последних десятилетий большое внимание уделяется уточнению средних величин речного стока, однако особый интерес вызывает подземная его составляющая. В настоящее время наиболее точным методом в определении водных ресурсов и элементов водного баланса, в том числе подземного стока, в западных источниках считается рациональный метод. Этот метод, предложенный Е.Кучингом (Kuiching, 1889), первоначально применялся для определения величины атмосферных осадков, переходящих в сток в малых речных бассейнах и городах. В дальнейшем, усовершенствуясь, этот метод стал применяться в более широком спектре, а именно, для определения речного стока и элементов водного баланса не только изученных речных бассейнов, но и любых территорий, не охваченных наблюдениями.

Основные пользователи этого метода: «Служба охраны природных ресурсов» в США (NRCS), Министерство сельского хозяйства (USDA), Служба охраны земельных ресурсов (SCS). Полученные на протяжении многих лет данные измерительных работ и итогов научных исследований позволили им получить рациональные коэффициенты стока, которые в виде отдельных таблиц собраны в сборниках «Управление паводками», «Технический Reliz – 55», «Определение половодий и речного стока» и др.



Рис. 1. Совмещённый график изменения дебита родника Тананам и атмосферных осадков в течение года

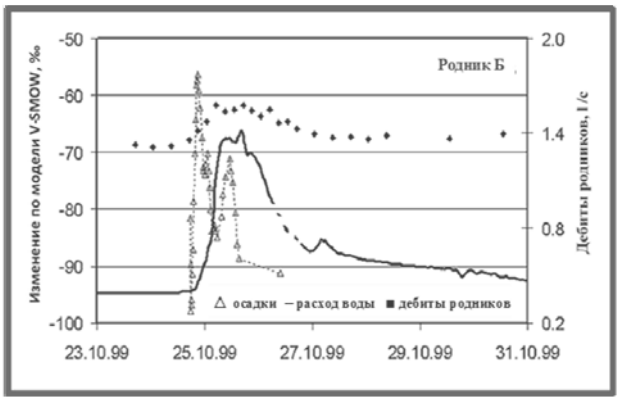


Рис. 2. Совмещённый график изменения дебита родника (*), осадков (Δ) и стока в течение года

Таблица 1

Регулирующая роль подземного стока

месяцы	май		июнь		июль		август	
дни	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
1	2,2	7,50		6,52		**5,61**		4,70
2	13,6	8,44		5,56		**5,07**	0,4	4,25
3		7,94		4,61		4,84		3,81
4	0,4	7,45	1,6	5,53	7,8	4,61	**100,4**	4,17
5	0,4	6,95	23,3	5,56		4,38	1,3	4,53
6	9,0	6,55		5,58	4,9	4,26		4,90
7		6,14		5,60	1,4	4,15		**5,26**
8	3,6	5,74		5,63		4,57	0,3	**5,62**
9	5,4	6,24	31,5	9,49	11,7	4,99		**5,04**
10		6,04	37,9	9,43	0,3	5,41		4,45
11		5,84	1,2	9,37		5,14		4,17
12	0,3	5,64		9,32		4,86		3,90
13	2,0	6,90	16,4	9,26		4,59		3,62
14	35,9	8,15	0,4	9,20		4,27		3,41
15	3,4	7,95	3,6	7,72		3,94		3,20
16		7,76		6,23		3,62	0,5	3,17
17	3,0	7,56		4,75		3,52		3,13
18		7,39	7,3	7,89		3,43		3,10
19	0,4	7,23		6,81		3,33		3,16
20		7,06	4,0	5,74	14,7	4,34		3,23
21	**29,4**	7,21	6,2	4,66	**57,8**	5,35	0,3	3,65
22	0,4	7,35	0,3	4,52	1,0	4,80	41,2	4,07
23		7,50		4,39	1,8	4,24	8,4	4,49
24	1,1	7,64	38,5	4,64	1,8	3,68	45,5	4,91
25	0,9	**7,79**	28,3	4,89		3,13	**51,2**	5,33
26		**7,98**	**60,3**	5,14	5,9	**5,21**		5,75
27		**8,18**	0,3	5,40	2,6	**5,54**	4,7	6,17
28	4,9	**8,37**	2,5	**5,65**	5,8	**5,86**	7,4	**6,59**
29	5,2	**8,07**		**5,90**	6,9	**6,19**	1,8	**7,01**
30	4,6	7,77		**6,15**		**5,66**		**7,43**
31		7,47				5,14		**7,35**

В соответствии с изменениями уклонов, растительного покрова, гранулометрического состава наносов и уровня инфильтрации, использованием земель определяются коэффициенты поверхностного стока (рациональные коэффициенты). Определение других элементов водного баланса производится на основании этих коэффициентов и количества атмосферных осадков. Основными компонентами водного баланса, определяемыми при непосредственном использовании этого метода, являются потери поверхностного стока (L – гидрологический абстракт), максимальное водосодержание почвы (R), первичный абстракт (I_a) и фактическая увлажненность почвы (F).

1. Потери поверхностного стока, или гидрологический абстракт (L) – это увлажнённость

территории, не участвующая в образовании поверхностного стока – $L = P - Q_s$, где P – осадки, Q_s – поверхностный сток. Гидрологический абстракт характеризуется пятью составляющими и выглядит в таком виде:

$L=İ+E+T+D+N$, где $İ$ – инфильтрация, T – транспирация, N – смачивание растительности, D – аккумуляция осадков в пониженных участках водосбора. Так как два последних компонента играют в водно-балансовых исследованиях второстепенную роль и косвенно проявляются в других элементах, то формула гидрологической абстракции принимает следующий вид:

$$L=İ+E_o, \text{ т.е. } E_0 = E + T .$$

Эта формула по своему значению соответствует используемой формуле валового увлажнения территории ($W = P - S = U + E$), примененной М.И.Львовичем (1979) в мировом масштабе, а в дальнейшем Р.М.Кашкай (1973) – для восточной части Большого Кавказа и позднее С.Г.Рустамовым и Р.М.Кашкай (1978) и Р.М.Кашкай (2008) – для Азербайджана в целом. Приведенное здесь валовое увлажнение территории (W) в какой-то мере соответствует понятию гидрологической абстракции, являющейся одним из компонентов рационального метода. Однако если в формуле валового увлажнения территории E – это испарение с поверхности водосбора, то в формуле рациональных коэффициентов E_0 – это общая испаряемость.

2. То же можно сказать и о максимальном водосодержании почвы (R). Между этим элементом и поверхностным стоком проявляется нижеследующая связь:

$$R = 5 \times \left[P + 2Q_s - (4Q_s^2 + 5PQ_s)^{1/2} \right].$$

Здесь разница также заключается в том, что если в формуле валового увлажнения территории используются фактические данные потерь стока, то под максимальным водосодержанием почвы подразумеваются потери влаги в конкретных физико-географических условиях.

3. Первичная абстракция (I_a) – это переходной этап в превращении осадков в поверхностный сток, который характеризуется первоначальным расходованием осадков на увлажнение почвы, первичным испарением, аккумуляцией воды во впадинах, увлажнением растений и др. Образование поверхностного стока происходит при полной увлажненности подстилающей поверхности и определяется по формуле I_a=0,2R.

4. Фактическая увлажненность почвы, т.е. инфильтрация (F), отражает состояние увлажненности почвы после выпадения дождей в определенных условиях и определяется как $F = P - Q_s - I_a$.

Известно, что речной сток является функцией двух его составляющих: поверхностного Q_s и подземного стока (Q_u). Поверхностный сток определяется рациональным коэффициентом и количеством осадков. Для определения подземного стока в реки нами предложена нижеследующая формула:

$$Q_u = L \times \frac{F}{R},$$

где F – фактическая влажность почвы после выпадения дождя, R – максимально возможная увлажненность почвы.

Таким образом, определение водного баланса той или иной территории рациональным методом происходит в следующей последовательности:

1. Коэффициент стока определяется рациональным методом и по CIS программе, а его расход по формуле $Q_s = k \times ciA$. Здесь k – переходный конвертируемый коэффициент, определенный нами как k = 0,0000314, c – рациональный коэффициент, i – количество атмосферных осадков, A – площадь водосбора.

2. На основании данных о поверхностном стоке и осадках определяется максимум водосодержания почвы (R) и первичная абстракция I_a по формуле $I_a = 0,2R$.

3. По формулам $L = P - Q_s$ и $F = P - Q_s - I_a$ определяются гидрологический абстракт (L) и фактическая увлажненность почвы (F).

4. По формуле $Q_u = L \times \frac{F}{R}$ устанавливается доля подземного стока в полном речном стоке.

5. При отсутствии наблюдений полный речной сток определяется как сумма поверхностного и подземного стока.

6. Разница между осадками и полным речным стоком соответствует испарению.

С целью определения доли подземного стока в питании реки нами взяты два речных бассейна – Курмухчай и Турианчай, отличающиеся по условиям питания. Это отражено в таблицах 2-5.

Таблица 2

Определение поверхностного стока рациональным методом по формуле $Q_s = k \times ciA$

Река	Площадь водосбора, км	Осадки, мм	Рациональный коэффициент	Поверхностный сток, м^3/с
Курмухчай	571,6	864,9	0,384	5,95
Турианчай	1840	822,4	0,149	7,08

Таблица 3

Элементы водного баланса, определенные рациональным методом (мм)

Река	Гидрологический абстракт, L	Фактическое водосодержание почвы, F	Максимальное водосодержание почвы, R	Осадки , P	F/R	Подземный сток, Q_u
Курмухчай	532,8	373,9	794,7	158,9	0,470	250,4
Турианчай	699,9	383,3	1583	316,6	0,242	169,4

Таблица 4

Основные элементы водного баланса в мм

Река	Осадки, P	Речной сток, Q_t	Поверхностный сток, Q_s	Подземный сток в реки, Q_u	Испарение E
Курмухчай	864,9	582,5	332,1	250,4	282,4
%	100,0	67,3	38,4	28,9	32,7
Турианчай	822,4	291,9	122,5	169,4	530,5
%	100,0	35,5	14,9	20,6	64,5

Таблица 5

Сравнение величин подземного стока методом водного баланса и рациональным методом

Метод	Рациональный коэффициент	Полный речной сток, м^3/с	Источники питания, %	
			поверхностный	подземный
Курмухчай				
Водно-балансовый	0,370	10,70	57,0	43,0
Рациональный и ГИС среда	0,384	10,43	57,1	42,9
Разница, %	+3,64	-2,52	+0,1	-0,1
Турианчай				
Водно-балансовый	0,160	17,90	39,0	61,0
Рациональный и ГИС среда	0,149	16,89	41,9	58,1
Разница, %	-6,87	-5,03	+2,90	-2,90

Рациональный метод позволяет не только определять поверхностный сток и увлажненность почвы, но на основании предложенной нами формулы, включающей и другие элементы водного баланса, определять подземную составляющую речного стока.

Как видно из таблицы 5, величины подземного стока в реки (вышеуказанные), полученные методом водного баланса и рациональным методом, мало отличаются друг от друга и составляют ±3%. Так, если подземный сток при водно-балансовых исследованиях составлял на реке Курмухчай – 43% (4,48 м^3/с), а на реке Турианчай – 61%, то рациональным методом эти величины составляют соответственно 42,9% и 58,1%.

Это ещё раз подтверждает, что рациональный метод вне зависимости от пространства и времени, охваченности или неохваченности наблюдениями дает возможность без больших усилий и трудоемких работ определить подземный сток в реки только лишь за счет атмосферных осадков.

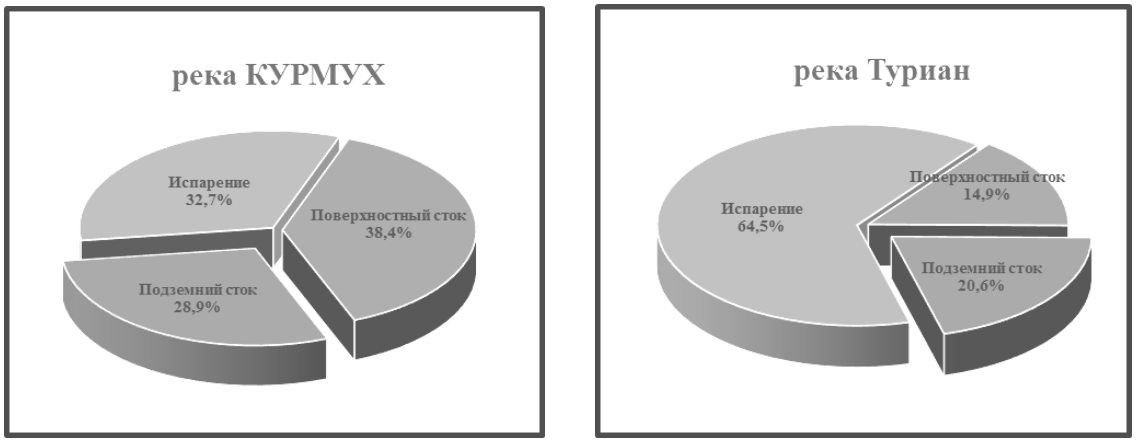


Рис. 3. Составляющие водного баланса, рассчитанные рациональным методом

Заключение

1. Анализ научных источников и гидрометеорологических данных дал возможность определить режим питания рек подземного стока. Выявлено, что после сильных дождей этот процесс активизируется с опозданием в 3-5 дней, постепенно ослабевая в дальнейший бездождливый период.

2. На основе рационального метода и возможностей ГИС технологии впервые для Азербайджана определен подземный сток в реки и предложена формула эмпирической связи.

3. При сравнении результатов оценки подземного стока методами водного баланса и рациональным в ГИС среде выявлено, что во многих случаях они отличаются незначительно, а зачастую и вовсе совпадают. Это дает основание использовать этот метод определения подземного стока в реки в любых физико-географических условиях при недостаточности материалов наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

БЫКОВ, В.Д. 1964. Изучение русловой фильтрации на реках Куба-Хачмазского массива. Количественные методы в географии. Издательство МГУ. 55-69.

КАШКАЙ, Р.М. 2008. Географические аспекты формирования и прохождения стока рек и использования водных ресурсов Азербайджана. Диссертация на соиск. уч. степ. доктора географических наук. Баку. 231-233.

КАШКАЙ, Р.М. 1973. Водный баланс Большого Кавказа в пределах Азербайджанской ССР. Элм. Баку. 83 с.

МАКАРЕНКО, Ф.А. 1948. О подземном питании рек. *Труды лаборатории гидрологических проблем*, том 1. Москва-Ленинград.

ПОПОВ, О.В. 1968. Подземное питание рек. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград. 291 с.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1978. Водный баланс Азербайджанской ССР. Элм. Баку.

ƏLİYEV, F.Ş. 2000. Azərbaycan Respublikasının yeraltı suları, ehtiyatlardan istifadə və geoekoloji problemləri. Bakı. 323s

BERNARD, M. 1938. Modified rational method of estimating flood flows. Natural Resources Commission. Washington D.C.

HAWKINS, R.H. 1980. Infiltration and curve numbers: Some pragmatic and theoretic relationships. Symposium on Watershed Management. ASCE. Boios, Idahs. 925-937.

HORTON, R.E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions American Geophysical Union*. 14, 446-460.

KUICHING, E. 1889. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *American Society of Civil Engineers*, 20, 1-56.

LVOVICH, M.I. 1979. World water resources and their future. Translation of the original Russian edition (1974). American Geophysical Union, Washington.

MONITORING OF SPRING DISCHARGE AND SURFACE WATER RUNOFF IN THE GROUNDWATER CONTRIBUTION ZONE OF JEITA SPRING. 2013. Raifoun.

PONCE, V.M. 1989. New edition 2015. Engineering Hydrology: Principles and Practices. Pearson Education.

SCS NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK. 1993. Section 4: Hydrology, Chapter 4. Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.

SMITH, R.E. 1976. Approximations for vertical infiltration rate. ASAE-19, 505-509.

THOMPSON, D.B. 2006. The Rational Method. Civil Engineering Deptartment Texas Tech University Draft.

TILCH, N. and others. 2003. Subsurface flow processes at the hillslope scale. Recent Results of Hillslope Investigations at the Brugga Basin. The Albert Ludwig University of Freiburg. Jahrgang.

US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1986. Natural resources conservation service, conservation engineering division. Technical Release 55 (TR-55) (Second edition).

YAEGER M.A., etc. 2009. A functional model of watershed-scale annual water balance partitioning: Lvovich, Ponce and Shetty revisited. American Geophysical Union. Fall Meeting.

Рецензент: д.г.н. Ф.А.Иманов

© Ф.А.Иманов, Н.И.Гасанова, А.А.Гулиева, 2016

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МЕСТНЫХ РЕК АЗЕРБАЙДЖАНА

Ф.А.Иманов, Н.И.Гасанова, А.А.Гулиева

Бакинский государственный университет
AZ1148, Баку, ул. З.Халилова, 23
farda_imanov@mail.ru

Произведена оценка современных изменений местных водных ресурсов Азербайджана. В результате анализа линейного тренда рядов годового стока было установлено, что годовой сток рек южного и северо-восточного склона Большого Кавказа увеличивается, в Нахчыванской и Лянкяранской природных областях уменьшается, на некоторых реках Малого Кавказа сток растет, в то время как на других уменьшается.

Изменения местных водных ресурсов оценены методом сравнения многолетних характеристик среднегодовых расходов воды для периодов до 1972 года и 1973-2010/2011 гг. Было выявлено, что в настоящее время в результате влияния антропогенных факторов учтенный суммарный сток на некоторых гидрологических наблюдательных пунктах местных рек Азербайджана по сравнению с предыдущим периодом уменьшился на 1,642км^3 (15,9%). На первый взгляд, данный вывод несколько противоречит вышеприведенным результатам трендового анализа. Однако следует отметить, что трендовый анализ выполнен лишь для 20 длиннорядных рек, а оценка изменений водных ресурсов местных рек – для 40 рек.

Введение

С каждым годом проблема водообеспечения ухудшается на глобальном, региональном и национальном уровнях. Это связано с увеличением безвозвратного водозабора из водных объектов и нерациональным использованием водных ресурсов. Антропогенные изменения приобретают все более острый социально-экономический и политический характер, учитывая все возрастающую роль водных ресурсов для устойчивого развития общества. В таких условиях для оптимального управления водными ресурсами требуются достоверные данные о количественных и качественных показателях водных ресурсов, а также об их использовании.

Одной из приоритетных задач в области гидрологии и водного хозяйства на ближайшие годы является проведение текущей и перспективной оценки ресурсов поверхностных и подземных вод, гидрологического режима водных объектов, использования водных ресурсов и водообеспеченности Азербайджана в условиях изменяющегося климата и хозяйственной деятельности.

Трендовый анализ рядов годового стока

Согласно результатам гидрологических расчетов, основанных на моделях общей циркуляции атмосферы, в условиях глобального потепления наиболее вероятно увеличение стока рек. Увеличение водяного пара в атмосфере приводит к выпадению сильных ливней и поэтому к возрастанию риска наводнений. С другой стороны, увеличение испарения и уменьшение осадков в некоторых регионах может привести к продолжительной и сильной засухе. Таким образом, характер воздействия глобального потепления на речной сток неоднозначный. Одним из возможных способов определения направленности этих воздействий является анализ рядов наблюдений речного стока. Но и в этом случае возникает ряд проблем, связанных с продолжительностью рядов и качеством данных. Тем не менее, в настоящее время трендовый анализ многолетних рядов расходов воды длиной в 40-50 лет и более является одним из широко применяемых методов.

Трендовый анализ рядов речного стока осуществляется двумя различными методами: методом линейной регрессии и методом Манна-Кендалла. При использовании метода линейной регрессии по углу наклона линии связи можно наглядно выявить наличие или отсутствие тренда, что считается одним из главных преимуществ этого метода. Однако на практике более важной является статистическая значимость изменения стока, для оценки которой используется критерий Спирмена или коэффициент парной корреляции линейной регрессии (Kundzewicz, Robson, 2000).

Анализ многолетних рядов годового речного стока показывает, что расходы воды рек изменяются во времени – маловодные и многоводные годы группируются, и эти периоды с различной водностью чередуются. Для выявления закономерностей многолетних колебаний годового стока 20 рек Азербайджана, в бассейнах которых антропогенная деятельность развита слабо, использован метод линейного тренда.

Согласно направлению линии тренда, анализируемые ряды стока были разделены на три группы: сток увеличивается, сток уменьшается и сток не изменяется. Статистическая значимость обнаруженных трендов в рядах годового стока была оценена по значению коэффициента корреляции.

Установлено, что ряды годового стока 11 рек характеризуются положительным линейным трендом и лишь 3 из них являются статистически значимыми при уровне значимости α=5%. В 6 рядах обнаружены отрицательные тренды, из которых всего 1 ряд является значимым. В остальных рядах тренд отсутствует (табл. 1).

Исследования показали, что характер многолетних изменений стока длиннорядных рек различных природных областей Азербайджана имеет значительные различия. В частности, годовой сток рек северо-восточного и южного склонов Большого Кавказа увеличивается, в Лянкяранской и Нахчыванской природных областях уменьшается, а на реках природной области Малого Кавказа тренды являются разнонаправленными.

Следует отметить, что аналогичное исследование было проведено ранее с использованием данных 50 пунктов наблюдения по 2005 г. включительно, и оказалось, что для 30 рядов годовой сток растет, а для 13 рядов, наоборот, уменьшается. При этом количество статистически значимых трендов в этих рядах составляет соответственно 12 и 4. Учитывая разнонаправленность и значимость трендов в индивидуальных стоковых рядах, для каждого региона были суммированы значения модульных коэффициентов средних годовых расходов воды рек за параллельный период наблюдений и выполнен анализ линейного тренда суммарных рядов. Было установлено, что только на южном склоне Большого Кавказа имеет место статистически значимое увеличение суммарного годового стока рек.

Таблица 1

Результаты оценки значимости линейного тренда в рядах годового стока местных рек Азербайджана (при α=5%)

№	Река-пункт	Природная область	Период наблюдений, гг.	R^2	Знак и значимость тренда
1	Талачай-Загатала	Большой Кавказ	1948-2011	0,0475	положительный
2	Курмухчай-Илису	Большой Кавказ	1951-2011	0,0311	положительный
3	Дамарчик-устье	Большой Кавказ	1950-2011	0,3804	**положительный**
4	Гусарчай-Кузун	Большой Кавказ	1931-2011	0,0177	положительный
5	Кудиалчай-Кюпчал	Большой Кавказ	1933-2011	0,0081	положительный
6	Велвеличай-Тенгяалты	Большой Кавказ	1933-2011	0,0609	положительный
7	Зегамчай-Агбашлар	Малый Кавказ	1951-2010	0,0119	положительный
8	Шамкирчай-Галакенд	Малый Кавказ	1959-2010	0,1645	**положительный**
9	Гянджачай-Зурнабад	Малый Кавказ	1928-2011	0,0000	тренд отсутствует
10	Кюрякчай-Чайкенд	Малый Кавказ	1928-2011	0,0586	отрицательный
11	Джагричай-Паиз	Нахчыван	1949-1999	0,0309	положительный
12	Алинджачай-Арафса	Нахчыван	1959-1997	0,0645	отрицательный
13	Нахчыванчай-Биченек	Нахчыван	1963-1999	0,0000	тренд отсутствует
14	Нахчыванчай-Гарабаба	Нахчыван	1949-1998	0,1992	отрицательный
15	Гилянчай-Нюргют	Нахчыван	1961-1997	0,0724	отрицательный
16	Гилянчай-Билав	Нахчыван	1961-1999	0,1183	**положительный**
17	Виляшчай-Шихляр	Лянкяран	1935-2011	0,0200	отрицательный
18	Лянкяранчай-Сифидор	Лянкяран	1931-2011	0,0000	тренд отсутствует
19	Тангерю-Ваго	Лянкяран	1938-2011	0,0347	положительный
20	Истисучай-Алаша	Лянкяран	1943-2011	0,1140	**отрицательный**

Примечание: Статистически значимые тренды отмечены жирным шрифтом.

На северо-восточном склоне Большого Кавказа наблюдалось незначительное, а в Лянкяранской природной области – резкое снижение суммарного стока. На Малом Кавказе и в Нахчыванской Автономной Республике суммарный сток не изменился (Иманов, Гасанова, 2008).

Результаты ранее проведенных и настоящих исследований несколько различаются. Это можно объяснить нестационарностью рядов годового стока в условиях современного изменения климата и увеличением водозаборов из рек.

Оценка и анализ современных изменений водных ресурсов местных рек

Трансграничные и местные ресурсы речных вод Азербайджана в последний раз были оценены в 1989 году с использованием данных наблюдений по 1975 г. и составили 30,9 км^3 (Рустамов, Кашкай, 1989). В рамках изучения водного баланса речных бассейнов в 1978 году была выполнена оценка местных водных ресурсов всех регионов Азербайджана, используя данные наблюдений по 1972 год (10,3 км^3) (Рустамов, Кашкай, 1978).

В данной статье дана оценка изменений местных водных ресурсов Азербайджана в целом и отдельно по регионам за период с 1973 по 2011 годы с использованием данных наблюдений по 40 замыкающим створам. В зависимости от региона к расчетам привлекались данные по 2010, 2011 годы. Лишь в Гарабахском регионе данные наблюдений охватывают период по 1988 г. В расчетах как для предыдущего (по 1972 г.), так и для последующего периодов (1973-2010, 2011 гг.) использованы данные по одним и тем же рекам. Оценка местных водных ресурсов и их изменений осуществлена методом отношений и сравнения. Для каждого региона для предыдущего и последующего периодов определены суммы среднемноголетних годовых расходов воды рек. Установлены отношения суммарных расходов воды второго периода к первому, которые для всех регионов оказались меньше единицы. Это означает, что происходит повсеместное уменьшение годового стока рек. На первый взгляд, данный вывод несколько противоречит вышеприведенным результатам трендового анализа. Однако следует отметить, что трендовый анализ выполнен лишь для 20 длиннорядных рек, а оценка изменений водных ресурсов местных рек – для 40 рек.

Региональные значения отношений суммарных расходов воды умножались на соответствующие величины региональных местных водных ресурсов, и получены их значения для второго периода. Для каждого региона определена разница величин водных ресурсов за периоды по 1972 год и 1973 - 2010 (2011) годы (табл. 2).

Таблица 2

Оценка изменений местных водных ресурсов Азербайджана

N	Регионы	Водные ресурсы				Изменение водных ресурсов		
		до 1972 г.		1973-2011гг.				
		м^3/с	км^3	м^3/с	км^3	м^3/с	км^3	%
1	Северо-восточный склон Большого Кавказа	18,84	1,164	17,74	1,092	1,10	0,072	6,18
2	Абшерон-Гобустан	1,63	0,422	1,24	0,319	0,39	0,103	24,4
3	Бассейн р.Ганых (Алазань)	35,55	2,129	33,45	2,004	2,10	0,125	5,87
4	Ширван	44,34	1,591	36,2	1,298	8,14	0,293	18,4
5	Джейранчель-Аджиноур	4,86	0,153	4,86	0,153	0	0	0
6	Северо-восточный склон Малого Кавказа	29,92	1,173	29,03	1,135	0,89	0,038	3,24
7	Гарабах	39,39	1,808	25,4	1,167	13,99	0,641	35,4
8	Нахчыван	9,78	0,640	7,76	0,507	2,02	0,133	20,8
9	Лянкяран	26,48	1,229	21,36	0,992	5,12	0,237	19,3
	Всего		**10,309**		**8,667**		**1,642**	**15,9**

Примечание: В Джейранчель-Аджиноурском регионе отсутствует постоянно-действующая речная сеть, и поэтому местные водные ресурсы не оценивались.

Выводы

В результате анализа линейного тренда было установлено, что как на южном, так и на северо-восточном склонах Большого Кавказа годовой сток рек увеличивается. В Нахчыванской АР и Лянкяранской природной области сток уменьшается, а на некоторых реках Малого Кавказа сток растет, на других уменьшается.

Были сравнены многолетние значения среднегодовых расходов воды, охватывающие периоды до 1972-го и 1973-2010/2011 годы, и установлено, что в настоящее время в результате хозяйственной деятельности суммарный сток местных рек Азербайджана в их нижнем течении уменьшился на 1.642 км^3 (15,9%). На первый взгляд, данный вывод несколько противоречит вышеприведенным результатам трендового анализа. Однако следует отметить, что трендовый анализ выполнен лишь для 20 длиннорядных рек, а оценка изменений водных ресурсов местных рек – для 40 рек.

ЛИТЕРАТУРА

ИМАНОВ, Ф.А., ГАСАНОВА, Н.И. 2008. Многолетние колебания годового и максимального стока рек Азербайджана. В сб.: *Труды Географического Общества Азербайджана.* XII, 242-248.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1989. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Элм. Баку.184 с.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1978. Водный баланс Азербайджанской ССР. Элм. Баку. 110 с.

KUNDZEWICZ, Z.W., ROBSON, A. 2000. Detecting trend and other changes in hydrological data. WMO/TD-N 1013, Geneva.

Рецензент: д.г-м.н. Ю.Г.Исрафилов