ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2020**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

SOURCE PARAMETERS OF MODERATE AND STRONG EARTHQUAKES FOR TURKEY AND ITS SURROUNDİNG AREA (1938-2017)

Kalafat D.

Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), Boğaziçi University
34684 Çengelköy-Istanbul, Turkey: kalafato@boun.edu.tr

Keywords: *focal mechanism, Turkey, moment tensor, source parameters, moment magnitude*

Summary. The main goal of this study is calculating earthquake source parameters with inversion technique and preparing focal mechanism – moment tensor – faulting types data bank of Turkey and surrounding area and performing regional stress analysis. Source parameters–faulting mechanisms occurred in Turkey and surrounding area, compiling them and collecting in a complete data base in order to present the researchers attention from the date which the instrumental seismology started of 1938 until these days, consist the main work package of this research. This research was aimed to complete the previously made researches and updating of them. Approximately 70% of the fault parameters of all earthquakes were calculated within the scope of this study. Homogeneous and integrated data set preparation by calculating all missing parameters belonging to previous earthquakes was aimed within the scope of research. We used fault parameters such as strike, dip, rake, seismic moment, moment magnitude, P and T axes azimuths and plunges for each earthquake. We prepared regional faulting types maps at regions belonging different tectonic regimes in Turkey by using faulting parameters. In this context, a total of 1950 earthquakes ($M_w \geq 4.0$) source parameters and fault plane solutions have been compiled and a large part of them have been calculated within the scope of the study.

© 2020 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

1. Introduction

Turkey is located in the eastern Mediterranean sector of the Alpine-Himalayan orogenic belt. This area comprises the technically most active in the Mediterranean region, because the country is located at the junction of the main tectonic plates, namely, African, Arabian and Eurasian (McKenzie, 1978; Dewey and Şengör, 1979; Barka and Kandinsky-Cade, 1988; Şengör et al., 1983). Global kinematic models based on the analysis of oceanic spreading, fault system, and earthquake slip vectors indicate that Arabian plate is moving in the north-northwest direction relative to Eurasian at an average rate of about 20-30 mm/yr (Reilinger et al., 2006). Turkey is escaping from Eastern Anatolia due to collision between Arabia and Eurasian, and trust over the African oceanic plate along the Hellenic arc. The motion is taken up by strike-slip deformation along the North Anatolian and East Anatolian faults (Fig. 1).

As a consequence of the above condition the direct impact to this country leads to continuous earthquake events. According to the statistics, over 15.000 earthquakes occur per year in Turkey (Fig. 1). An important part of these earthquakes is felt by people. This requires quick information about the earthquake, especially earthquake source parameters, specific fault type and moment magnitude.

Source parameters – faulting mechanisms occurred in Turkey and surrounding area, compiling them and collecting in a complete data base in order to present the researchers attention from the date which the instrumental seismology started of 1938 until these days, consist the main work package of this research. Many researches have been carried out internationally (Alptekin, 1973; Alptekin et al.,1985; Alsan et al.,1984; Büyükaşıkoğlu, 1979; Canıtez and Büyükaşıkoğlu,1984; Canıtez and Toksöz, 1971; Canıtez and Üçer 1967; Comninakis and Papazachos, 1972; Eyidoğan, 1983,1992; Eyidoğan et al., 1986; Eyidoğan and Jackson,1985; Jackson and McKenzie, 1984; Kalafat,1988, 1989, 1998, 2016; Kalafat et al., 2009; Kocaefe and Ataman,1976; Mercier et al., 1973; McKenzie, 1972, 1978; Nowroozi, 1972; Öcal, 1960; Öcal et al., 1968; Pınar and Kalafat, 1999; Pınar and Honkura,

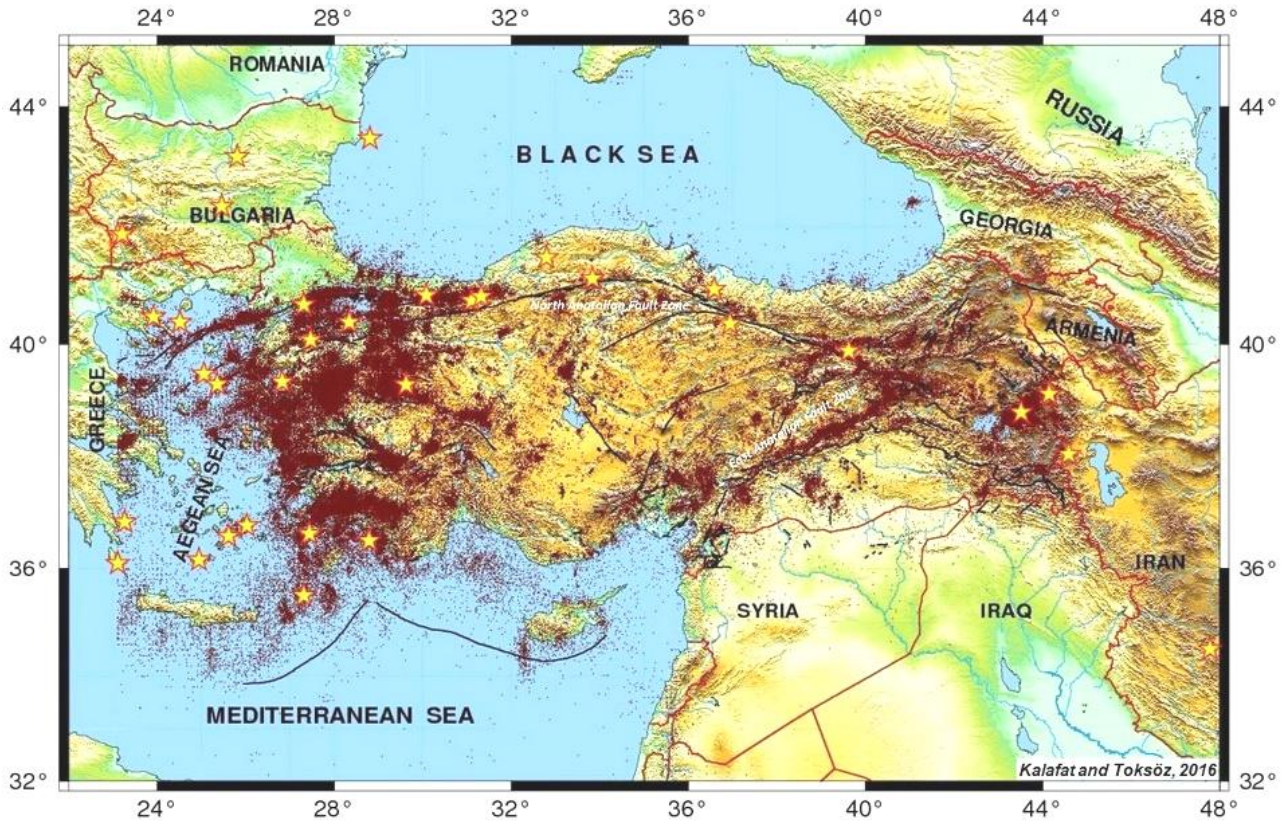


Fig. 1. Seismicity and important earthquakes (Ms>7.0) that occurred in the region during 1900-2017 (yellow stars symbols indicate magnitude Ms>7.0 earthquakes)

1994; Pacheco et al., 1989; Stewart and Kanamori, 1982; Taymaz et al., 1991a,b; Taymaz,1993), because of the subject is one of main problems of seismology. Increasing the station and data quality accordingly, detailed studies have been performed about the subject related to the data process and developing analyze methods. A computational complete data base hasn't been generated about the subject until these days in Turkey. But only fault mechanism solutions of one or more earthquake have been carried out by scientific articles and thesis. For that reason calculating fault-source parameters of earthquakes ($M_w \geq 4.0$) from 1938 until these days and gathering this information in an integrated structure to present the attention of researchers constitute the essential purposes of this research. This research was aimed to complete the previously made researches and updating of them. Homogenous and integrated data set preparation by calculating all missing parameters belonging to previous earthquakes was aimed within the scope of research.

2. Data and Methods

The previously performed mechanism analyses of the earthquakes occuring in the region – generally as M≥4.0 have been compiled and the missing ones were solved. Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) had started to establish countrywide broadband earthquake stations especially as from 2004. In Turkey the first earthquake station with satellite connection had been established in August 2004 (Kalafat et al., 2005). Thus the analyses of earthquakes arising until 2004 had been obtained by assessing analogous records. And after 2004 the records of digital broadband stations had been used. Especially after 2004 the moment tensor analyses of earthquakes have been performed with sufficient number of digital waveform.

In this context, the instrumental period of about 1950 earthquake faulting solutions since 1938 compiled under this study and about 70% earthquakes CMT solutions have been done in the region after 2004 under this study.

Three seperate methods were used in the study.

These were as follows:

1. FOCMEC (Snoke, 2003)
2. TDMT_INV Technique (Dreger, 2002)
3. Isola (Sokos and Zaharadnik, 2013).

In this study we don't provide detailed information about using programs.

We used regionally recorded broad-band velocity waveforms for CMT solutions. We calculated usually moment tensors of the magnitude bigger

$M_w \geq 4.0$ earthquakes. Moment Tensor Inversion Technique (TDMT_INV time-domain inversion code Dreger, 2002; Sokos and Zaharadnik, 2013) was used for the earthquakes recorded by at least 3 digital broadband seismic stations of KOERI and other neighbor seismological networks with 3-component recordings filtered by a band-pass filters described below. The quality (good signal-to-noise ratio) of the available data allowed the computation of earthquake focal mechanisms and source depths. Green's functions were calculated using the frequency-wave number integration code (FKRPROG) developed by Saikia (1994).

Once we have the location and magnitude of an event we can proceed on CMT estimation following the two stages given below:

- Data preparation for inversion
- CMT Inversion process.

In the first stage, the three component digital broadband waveforms are cut according to the origin time, station response is removed, the horizontal components are rotated to get the radial and transversal components, integration or derivation is applied depending on the data type to get the displacements in cm. The modeling process is carried out using the long periods of the seismograms where the frequency range depends on the magnitude of the event. We apply the following frequency ranges for different magnitude ranges:

M<4	0.02 - 0.1 Hz,
4.0≤M<5.0	0.02 - 0.05 Hz,
5.0≤M<7.5	0.01 - 0.05 Hz,
M≥7.5	0.005 - 0.05 Hz.

The sampling rate of the observed and the calculated seismograms are modified to have the same sampling rate. Commonly 1-D velocity model used to locate the earthquakes in Turkey (Kalafat et al., 1987). We calculated moment tensors of the mainshocks and their strong aftershocks (Fig. 2, Fig. 3). A sample page from the catalog prepared within the scope of the study is given in Table.

3. Conclusion

The complete characterization of earthquakes focal mechanisms provide important information for scienstists and especially structural geologist working on active structures. This information is including the origin time, epicenter location, focal depth, seismic moment, the moment magnitude and spatial orientation of the 9 components of the moment tensor. And from the moment tensor we can ultimately resolve the orientation and sense of slip of the fault.

Within the scope of this study we calculated moment tensor solutions of important earthquakes in Turkey and surrounding area. We used MT catalog which scope of this work, and prepared a general type of faulting type map for Turkey and surrounding area. This map puts forth that in general so many different tectonic regimes have been still continuing in Turkey today (Fig. 4).

Current catalogue data were obtained by using general stress analysis (Gephart, 1990) by taking 7 main tectonic units that was previously determined (Fig. 5).

A brief evaluation of the stress analysis findings with respect to regions manifests that:

1st Region (NW Turkey – Marmara Region): Mechanism solutions exhibit that within NW Turkey and Marmara region strike slip and normal component oblique faults are widely effective. In this region P-axis directions are generally NW-SE extended.

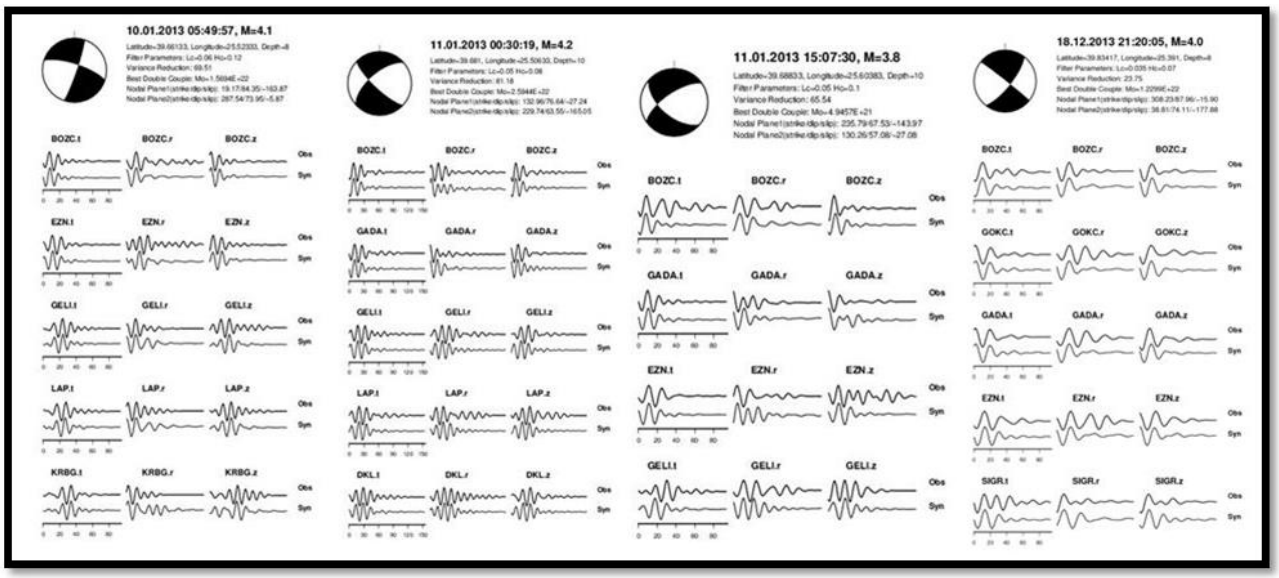


Fig. 2. Examples of inversion (used Dreger, 2002 TDMT_INV code)



Fig. 3. Moment tensor solutions of earthquakes ($M_w \geq 4.0$) that occurred during 1938-2017 in Turkey and surrounding area



Fig. 4. Moment tensor solutions of earthquakes ($M_w \geq 6.0$) that occurred during 1938-2017 in Turkey and surrounding area and main faulting types in the regions

Table

An Example of source parameters catalogue (1938-2017)

Eq. No.	Date D/M/Y	O. Time (UTC)	Lat. N (°)	Lon. E (°)	Depth (km)	Mag. (Mw)	Seismic moment (nm)	FAULT Parameters							Region	Source. No.
								Strike	Dip	Rake	P axis	P axis	T axis	T axis		
								Deg.	Deg.	Deg.	Azm.	Plung	Azm.	Plung		
1	14.09.2015	09:07	43.32	41.11	31.0	4.9	2.66E+16	106.0	88.0	-1.0	61.0	2.0	331.0	0.0	Georgia	This Study
2	15.09.2015	05:04	34.77	24.99	6.0	4.2	2.41E+15	53.0	56.0	-88.0	330.4	78.9	141.6	11.0	Crete-Greece-Mediterranean Sea	NOA
3	16.09.2015	19:12	38.56	44.56	10.0	4.3	3.13E+15	90.0	86.0	-168.0	315.0	11.0	224.0	5.0	Eastern Turkey-Turkey-Iran Border Region	This Study
4	16.09.2015	19:52	35.89	27.83	37.0	4.9	2.63E+16	167.0	63.0	1.0	125.0	18.0	28.0	20.0	Mediterranean Sea	This Study
5	22.09.2015	06:25	39.15	29.13	12.0	4.0	1.12E+15	318.0	59.0	-76.0	262.0	72.0	38.0	13.0	Simav-Kütahya-Western Turkey	This Study
6	22.09.2015	07:11	39.15	29.13	14.0	4.0	1.18E+15	252.0	63.0	-111.0	124.0	66.0	357.0	15.0	Simav-Kütahya-Western Turkey	This Study
7	29.09.2015	09:12	34.69	24.59	34.0	4.4	4.35E+15	273.0	79.0	-80.0	195.3	54.9	-5.4	33.3	Crete-Greece-Mediterranean Sea	NOA
8	03.10.2015	21:08	38.18	38.93	14.0	4.0	1.40E+15	155.0	73.0	-170.0	17.0	19.0	109.0	5.0	Puturge-Malatya-Eastern Turkey	This Study
9	06.10.2015	21:27	36.15	29.89	38.0	5.2	6.73E+16	291.0	31.0	-132.0	100.0	61.0	231.0	20.0	Demre-Antalya-Southern Turkey	This Study
10	09.10.2015	14:39	40.67	36.68	11.0	4.7	1.61E+16	278.0	82.0	172.0	324.0	0.0	234.0	12.0	Tepekışla-Erbaa-Tokat-NAF	This Study
11	12.10.2015	02:16	34.54	26.50	16.0	4.6	9.82E+15	323.0	66.0	-153.0	182.0	36.0	91.0	1.0	Offshore Crete Island-Mediterrranean Sea	This Study
12	13.10.2015	23:18	39.15	29.05	10.0	4.0	1.22E+15	287.0	56.0	-96.0	174.0	78.0	21.0	11.0	Simav-Kütahya-Western Turkey	This Study
13	24.10.2015	02:59	35.32	23.25	38.0	4.1	1.50E+15	115.0	54.0	92.0	203.6	9.0	34.0	80.9	Crete-Greece-Mediterranean Sea	NOA
14	27.10.2015	01:25	38.94	24.36	11.0	4.5	6.29E+15	245.0	78.0	-129.0	118.0	43.0	4.0	23.0	Aegean Sea	This Study
15	28.10.2015	16:20	40.80	27.76	15.0	4.5	6.97E+15	248.0	81.0	165.0	295.0	4.0	203.0	17.0	Marmara Sea	This Study
16	29.10.2015	09:46	39.11	43.73	12.0	4.5	1.17E+16	109.0	53.0	149.0	341.0	8.0	79.0	45.0	Muradiye-Van-Eastern Turkey	This Study
17	18.11.2015	14:55	38.86	29.32	21.0	4.3	3.77E+15	152.0	61.0	-179.0	13.0	21.0	111.0	19.0	Honaz-Denizli-Western Turkey	This Study
18	29.11.2015	00:28	38.82	37.84	10.0	4.9	2.40E+16	160.0	90.0	-157.0	27.0	16.0	292.0	16.0	Hekimhan-Malatya-Eastern Turkey	This Study
19	02.12.2015	23:27	39.28	40.24	10.0	5.2	7.03E+16	217.0	63.0	-17.0	179.0	30.0	85.0	7.0	Kığı-Bingöl-Eastern Turkey	This Study

(NOA :National Observatory of Athens, Greece)

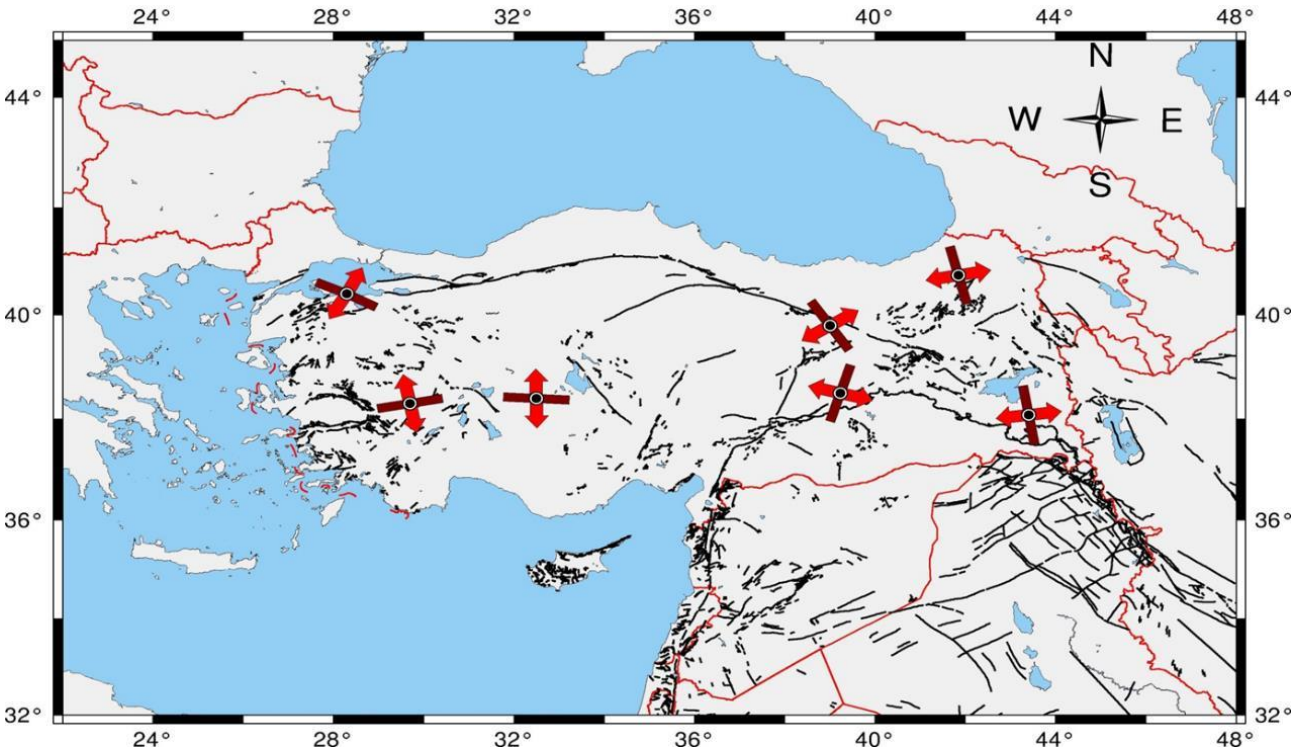


Fig. 5. The Regional stress tensor analysis: Regional main stress (P and T) directions (red arrows indicate maximum tensional, brown bars indicate main directions of maximum pressure)

2nd Region (North Anatolian Fault Zone – NAFZ): Strike slip faults are widely effective and dominant P-axis directions are NW-SE extended in North Anatolia Fault Zone.

3rd Region (Western Turkey): In Western Turkey extension regime is heavily dominant and normal faults are equally dominant. Dominant P-axis directions are W-SW/-E-NE extended on a large scale.

4th Region (Eastern Anatolian Fault Zone – EAFZ): In Eastern Anatolia Fault Zone strike slip faults are dominant and P-axis directions are NE-SW extended generally.

5th Region (Central Anatolia): In Central Anatolia Region normal faults are widely dominant. In addition there are some oblique faults that have strike-slip component. In this region too P-axis directions are generally E-W extended.

6th Region (Northeastern Turkey): Mechanism solutions in Northeast Anatolia Region reveal that strike slip faults are widely dominant. In this region P-axle strikes are usually concentrated on N-NW-S-SE route.

7th Region (Southeast Turkey): In Southeast Turkey Region a compression-shortening regime is dominant. On a general scale trust faults are dominant however strike-slip faults and oblique faults with strike-slip components are also widely present. P-axis directions are mostly concentrated NNW-SSE trending.

4. Acknowledgments

This study is supported by Boğaziçi University Research Projects Commission under SRP/BAP project No. 12280. We thank to Boğaziçi University Research Fund Commission and members. Also this study was partly supported by TUBITAK Scientific Human Resource Development Department's 2014 Year 2219-Post-Doctoral Research Fellowship Scholarship Program and the Massachusetts Institute of Technology (MIT) Earth Resources Laboratory (ERL).

REFERENCES

Alptekin Ö. Focal mechanisms of earthquakes in Western Turkey and their tectonic implications. Ph.D. thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, New Mexico, 1973, 95 p.

Alptekin Ö., Nabalek J.N., Toksöz M.N. Source mechanism of Bartın earthquake on September 3, 1968 and thoughts on active tectonics of Black Sea. Bulletin of Earthquake Research, No. 60, 1985, pp. 5-38 (in Turkish).

LITERATURE

Alptekın Ö. Focal mechanisms of earthquakes in Western Turkey and their tectonic implications. Ph.D. thesis, New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, New Mexico, 1973, 95 p.

Barka A., Kadinski-Cade K. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonophysics, V. 7, 1988, pp. 663-684, DOİ: 10.1029/ TC007i003p00663.

Canıtez N., Büyükaşıkoğlu S. Seismicity of the Sinop Nuclear Power Plant Site, unpublished final report. İTÜ, İstanbul, 1984.

Alsan E., Tezuçan L., Başarır E., Ayhan E., Sancaklı N. July 5, 1983 Biga earthquake and aftershock activity. Earthquake Research Bulletin, V. 46, 1984, pp. 50-75 (in Turkish).

Barka A., Kadinski-Cade K. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonophysics, V. 7, 1988, pp. 663-684, DOİ: 10.1029/ TC007i003p00663.

Buyukaşıkoglu S. According to the seismological data, the characteristics of the Eurasian-African plate border in Anatolia and the eastern Mediterranean. Associate Professor Thesis, ITU MF, Istanbul, 1979 (in Turkish).

Canıtez N., Büyükaşıkoğlu S. Seismicity of the Sinop Nuclear Power Plant Site, unpublished final report. İTÜ, İstanbul, 1984.

Canıtez N., Toksöz M.N. Focal mechanism and source depth of earthquakes from body and surface wave data. Bull. Seismol. Soc. Am., V. 61, 1971, pp.1369-1379.

Canıtez N., Üçer S.B. Computer determinations for the fault plane solutions in and near Anatolia. Tectonophysics, V. 4 (3), 1967, pp. 235-244.

Comninakis P.E., Papazachos B.C. Seismicity of the Eastern Mediterranean and some tectonic features of the Mediterranean Ridge. Geological Society of America Bulletin, V. 83, 1972, pp. 1093-1102.

Dewey J.F., Şengör A.M.C. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. Geological Soc. of Am. Bull., V. 90, 1979, pp. 84-92.

Dreger D. Manual of the time-domain moment tensor inverse Code (TDMT_INVC) Release 1.1. Berkeley Seismological Laboratory, 2002, p. 18.

Eyidoğan H. A discussion on the mainshock and aftershock characteristics of the 13 March 1992 Erzincan earthquake. Geophysics, V. 6, No. 2, 1992, pp.103-112 (in Turkish).

Eyidoğan H. Seismotectonic properties of Bitlis-Zagros thrust Zone. Ph.D. Thesis, ITU Mining Faculty, Istanbul, 1983, 111p. (in Turkish).

Eyidoğan H., Jackson J. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-1970 in the Western Turkey. Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. Geophys. J. R. Astr. Soc., V. 81, 1985, pp. 569-607.

Eyidoğan H., Toksöz M.N., Gülen L., Nabalek J. Aftershock migration following the 1983 Horasan-Narman earthquake. MIT Earth Resources Laboratory unpublished report, 1987.

Gephard J.W. FMSI: A FORTRAN program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the original stress tensor. Comput. Geosci., V. 16, 1990, pp. 953-989.

Jackson J., McKenzie D.P. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. Geophys. J. R. Astron. Soc., V. 77, 1984, pp.185-264.

Kalafat D. Catalogue of source parameters of moderate and strong earthquakes for Turkey and its Surrounding Area (1938-2015). Tubitak Technical Report, 2016, 90 p. (in Turkish).

Kalafat D. Investigation of the tectonic structures of Anatolia in terms of earthquake mechanisms. Earthquake Research Bulletin, No. 77, July 1998, pp. 1-217 (in Turkish).

Kalafat D. Seismicity and active tectonics of Southwestern Anatolia and Its Surroundings. Earthquake Research Bulletin, No. 63, 1988, pp. 5-98 (in Turkish).

Kalafat D. Investigation of some major earthquakes in recent years in terms of focus mechanism. Earthquake Research Bulletin, No. 66, 1989, pp. 6-33 (in Turkish).

Kalafat D. Source parameters of moderate and strong earthquakes for Turkey and its surrounding area (1938-2017). JpGU Meeting 2018 Japan Geoscience Union, Presentation No. S-SS08, 20-24 May 2018, Makuhari Messe Chiba, Japan, pp. 29-30.

Kalafat D., Gürbüz C., Üçer S.B. Investigation of the structure of the crust and upper mantle in the western Turkey. Earthquake Research Bulletin, No. 59, 1987, pp. 43-64 (in Turkish).

Canıtez N., Toksöz M.N. Focal mechanism and source depth of earthquakes from body and surface wave data. Bull. Seismol. Soc. Am., V. 61, 1971, pp. 1369-1379.

Canıtez N., Üçer S.B. Computer determinations for the fault plane solutions in and near Anatolia. Tectonophysics, V. 4 (3), 1967, pp. 235-244.

Comninakis P.E., Papazachos B.C. Seismicity of the Eastern Mediterranean and some tectonic features of the Mediterranean Ridge. Geological Society of America Bulletin, V. 83, 1972, pp. 1093-1102.

Dewey J.F., Şengör A.M.C. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. Geological Soc. of Am. Bull., V. 90, 1979, pp. 84-92.

Dreger D. Manual of the time-domain moment tensor inverse Code (TDMT_INVC) Release 1.1. Berkeley Seismological Laboratory, 2002, p. 18.

Eyidoğan H., Jackson J. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1969-1970 in the Western Turkey. Implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust. Geophys. J. R. Astr. Soc., V. 81, 1985, pp. 569-607.

Eyidoğan H., Toksöz M.N., Gülen L., Nabalek J. Aftershock migration following the 1983 Horasan-Narman earthquake. MIT Earth Resources Laboratory unpublished report, 1987.

Gephard J.W. FMSI: A FORTRAN program for inverting fault/slickenside and earthquake focal mechanism data to obtain the original stress tensor. Comput. Geosci., V. 16, 1990, pp. 953-989.

Jackson J., McKenzie D.P. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. Geophys. J. R. Astron. Soc., V. 77, 1984, pp. 185-264.

Kalafat D. Source parameters of moderate and strong earthquakes for Turkey and its surrounding area (1938-2017). JpGU Meeting 2018 Japan Geoscience Union, Presentation No. S-SS08, 20-24 May 2018, Makuhari Messe Chiba, Japan, pp. 29-30.

Kalafat D., Kekovalı K., Güneş Y., Yılmazer M., Kara M., Denız P., Berberoğlu M. A Cataloque of source parameters of moderate and strong earthquakes for Turkey and its Surrounding Area (1938-2008). Boğaziçi University Publication, No.1026, Bebek-İstanbul, 2009, 43 p.

Kalafat D., Toksöz N.M. Seismicity and tectonics of the Black Sea. SMP13-P04. Japan Geoscience Union Meeting, May 22nd – 26th 2016, Makuhari Messe, Tokyo-Japan, pp. 4-5.

McKenzie D.P. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophys. J. R. Astr. Soc., V.30(2), 1972, pp. 109-185.

McKenzie D.P. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: Aegean Sea and surrounding regions. Geophys. J. R. Astr. Soc., V. 55, 1978, pp. 217-254.

Mercier J., Vergely P., Delibassis N. Comparison between deformation deduced from the analysis of recent faults and from focal mechanisms of earthquakes (An example: The Paphos region, Cyprus). Tectonophysics, V. 19, No. 4, 1973, pp. 315-332.

NOA National Observatory of Athens, Greece (http://www.noa.gr).

Nowroozi A.A. Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, west Pakistan and Afghanistan and plate tectonics of the Middle East. Bull. Seismol. Soc. Am., V. 62, 1972, pp. 823-850.

Öcal N. Determination of the mechanism of some Anatolian Earthquakes. A Symposium on earthquake mechanism: (J. Hodgson, ed.), Publ. Dom. Osb. Ottawa, V. 24, No. 10, 1960, pp. 365-370.

Pacheco J.F., Estabrook C.H., Simpson D.W., Nabelek J.L. Teleseismic body wave analysis of the 1988 Armenian earthquake. Geophy. Res. Letters, V. 16, No. 12, 1989, pp.1425-1428.

Pinar A., Honkura Y. Repture process of the 1992 Erzincan earthquake and its implication for seismotectonics in

Kalafat D., Kekovalı K., Güneş Y., Yılmazer M., Kara M., Denız P., Berberoğlu M. A Cataloque of source parameters of moderate and strong earthquakes for Turkey and its Surrounding Area (1938-2008). Boğaziçi University Publication, No.1026, Bebek-İstanbul, 2009, 43 p.

Kalafat D., Toksöz N.M. Seismicity and tectonics of the Black Sea. SMP13-P04. Japan Geoscience Union Meeting, May 22nd – 26th 2016, Makuhari Messe, Tokyo-Japan, pp. 4-5.

Kalafat D., Yılmazer M., Kekovalı K., Kafadar N., Öğütçü Z., Horasan G., Güneş Y., Suvarıklı M. An example of the development of the seismic network on an institutional scale in Turkey: Development and modernization of the Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute seismic network. Active Tectonic Research Group 9. Meeting ATAG9 Book of Abstracts, University of the Cumhuriyet MF, Sivas, 22 to 24 September 2005, pp.1-2 (in Turkish).

Kocaefe S., Ataman G. Seismo-tectonic events in Anatolia-1: Investigation of the region in the triangle of Antalya-Fethiye-Denizli. Hacettepe University Journal of Earth Sciences, V. 2, No. 1, 1976, pp. 55-70 (in Turkish).

McKenzie D.P. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophys. J. R. Astr. Soc., V. 30 (2), 1972, pp. 109-185.

McKenzie D.P. Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: Aegean Sea and surrounding regions. Geophys. J. R. Astr. Soc., V. 55, 1978, pp. 217-254.

Mercier J., Vergely P., Delibassis N. Comparison between deformation deduced from the analysis of recent faults and from focal mechanisms of earthquakes (An example: The Paphos region, Cyprus). Tectonophysics, V. 19, No. 4, 1973, pp. 315-332.

NOA National Observatory of Athens, Greece (http://www.noa.gr).

Nowroozi A.A. Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, west Pakistan and Afghanistan and plate tectonics of the Middle East. Bull. Seismol. Soc. Am., V. 62, 1972, pp. 823-850.

Öcal N. Determination of the mechanism of some Anatolian Earthquakes. A Symposium on earthquake mechanism: (J. Hodgson, ed.), Publ. Dom. Osb. Ottawa, V. 24, No. 10, 1960, pp. 365-370.

Öcal N., Üçer S.B., Taner D. October 6, 1964 Manyas-Karacabey Earthquake. Ministry of National Education, Istanbul Kandilli Observatory Seismology Publications, No. 11, 1968 (in Turkish).

Pacheco J.F., Estabrook C.H., Simpson D.W., Nabelek J.L. Teleseismic body wave analysis of the 1988 Armenian earthquake. Geophy. Res. Letters, V. 16, No. 12, 1989, pp. 1425-1428.

Pinar A., Honkura Y. Repture process of the 1992 Erzincan earthquake and its implication for seismotectonics in eastern Turkey. Geophys. Res. Lett., V. 21, No. 18, 1994, pp. 1971-1974.

Pinar A., Kalafat D. Source process and seismotectonic implications of the 1995 and 1996 Cyprus, Eastern Mediterranean Region, earthquakes. Tectonophysics, V. 301, 1999, pp. 217-230**.**

Reilınger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Arrajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS Constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and ımplications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, William Byrd Press for John Hopkins Press, United States, No. 111, 2006, pp. 1-26, DOI: 10.1029/2005JB004051.

Saikia C. Modified frequency–wave number algorithm for regional seismo-grams using Filon's quadrature; modelling of Lg waves in eastern North America. Geophys. J. Int., V. 118, 1994, pp. 142-158.

Snoke J.A. FOCMEC: FOcal MEChanism determinations. International handbook of earthquake and engineering seismology (W.H.K.Lee, H.Kanamori, P.C.Jennings and C.Kisslinger, eds.), Academic Press. San Diego, Part B, 2003, pp.1629-1630.

Sokos E., Zahradnik J. Evaluating centroid moment tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. Seismological Research Letters, V. 84, No. 4, 2013, pp. 656-665, DOI: 10.1785.

Stewart S.G., Kanamori H. Complexity of repture in large strike-slip earthquakes in Turkey. Physics of the Earth and Planetary Interiors, V. 28, 1982, pp. 70-84.

Şengör A.M.C., Büyükaşıkoğlu S., Canıtez N. Neotectonics of the Pontides: ımplications for "incompatible" structures along the North Anatolian Fault. J. Struct. Geol., V. 5, 1983, pp. 211-216.

Taymaz T. The source parameters of the Çubukdağ (W. Turkey) earthquake of 1986 October 11. Geophys. J. Int., V. 113, 1993, pp. 260-267.

Taymaz T., Eyıdoğan H., Jackson J. Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). Geophys. J. Int., V. 106, 1991b, pp. 537-550.

Taymaz T., Jackson J.A., McKenzie D. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. Geophys. J. Int., V. 106, 1991a, pp. 433-490.

Alptekın Ö., Nabalek J.N., Toksöz M.N. 1985. 3 Eylül 1968. Bartın Depreminin Kaynak Mekanizması ve Karadeniz'in Aktif Tektoniği Hakkında Düşünceler, DAB, Sayı 60, s. 5-38.

Alsan E., Tezuçan L., Başarır E., Ayhan E., Sancaklı N. 5 Temmuz 1983 Biga depremi ve artçı deprem etkinliği. Deprem Araştırma Bülteni, V. 46, 1984, s. 50-75.

Buyukaşıkoglu S. Sismolojik verilere göre Anadolu ve doğu Akdeniz'de Avrasya-Afrika levha sınırının özellikleri. Doçentlik Tezi, İTÜ MF, İstanbul, 1979.

Eyıdoğan H. 13 Mart 1992 Erzincan depreminin ana şok ve art sarsıntı özellikleri üzerine bir tartışma. Jeofizik, V. 6, No. 2, 1992, s. 103-112.

Eyıdoğan H. Bitlis-Zagros bindirme ve kıvrımlı kuşağının sismotektonik özellikleri. Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 1983, 111 p.

Kalafat D. Anadolu'nun tektonik yapılarının deprem mekanizmaları açısından irdelenmesi. Deprem Araştırma Bülteni, Sayı 77, Temmuz 1998, s.1-217.

Kalafat D. Günaybatı Anadolu ve Yakın Çevresinin depremselliği, aktif tektoniği. DAB, Sayı 63, 1988, s. 5-98.

Kalafat D. Son yıllarda olmuş bazı büyük depremlerin odak mekanizması açısından irdelenmesi. DAB, Sayı 66, 1989, s. 6-33.

mology (W.H.K.Lee, H.Kanamori, P.C.Jennings and C.Kisslinger, eds.), Academic Press. San Diego, Part B, 2003, pp.1629-1630.

Sokos E., Zahradnik J. Evaluating centroid moment tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. Seismological Research Letters, V. 84, No. 4, 2013, pp. 656-665, DOI: 10.1785.

Stewart S.G., Kanamori H. Complexity of repture in large strike-slip earthquakes in Turkey. Physics of the Earth and Planetary Interiors, V. 28, 1982, pp. 70-84.

Şengör A.M.C., Büyükaşıkoğlu S., Canıtez N. Neotectonics of the Pontides: ımplications for "incompatible" structures along the North Anatolian Fault. J. Struct. Geol., V. 5, 1983, pp. 211-216.

Taymaz T. The source parameters of the Çubukdağ (W. Turkey) earthquake of 1986 October 11. Geophys. J. Int., V. 113, 1993, pp. 260-267.

Taymaz T., Eyıdoğan H., Jackson J. Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). Geophys. J. Int., V. 106, 1991b, pp. 537-550.

Taymaz T., Jackson J.A., McKenzie D. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. Geophys. J. Int., V. 106, 1991a, pp. 433-490.

Kalafat D. Türkiye ve Çevresi Faylanma-Kaynak Parametreleri (MT) Kataloğu (1938-2015). A Catalogue of Source Parameters of Moderate and Strong Earthquakes for Turkey and its Surrounding Area (1938-2015). Tubitak Technical Report, 2016, 90 p.

Kalafat D., Gürbüz C., Üçer S.B. Batı Türkiye'de Kabuk ve Üst Manto yapısının araştırılması. Deprem Araştırma Bülteni, Sayı 59, 1987, s. 43-64.

Kalafat D., Yılmazer M., Kekovalı K., Kafadar N., Öğütçü Z., Horasan G., Güneş Y., Suvarıklı M. Türkiye'de kurumsal ölçekte deprem ağının gelişimine bir örnek: Kandilli Rasathanesi ve DAE Deprem Ağının gelişimi ve modernizasyon. Aktif Araştırma Grubu 9. Toplantısı ATAG9 Bildiri Özetleri Kitabı, Cumhuriyet Üniversitesi MF, Sivas, 22-24 Eylül 2005, pp.1-2.

Kocaefe S., Ataman G. Anadolu'da sismo-tektonik olaylar-1: Antalya-Fethiye-Denizli üçgeni içinde yer alan bölgenin incelenmesi. HÜ yer Bilimleri Yayın organı, C.2, No. 1, 1976, s. 55-70.

Öcal N., Üçer S.B., Taner D. 6 Ekim 1964 Manyas-Karacabey Depremi. MEB, İstanbul Kandilli Rasathanesi Sismoloji Yayınları, No. 11, 1968.

ИСХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДНИХ И СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕЙ РАЙОНАХ (1938-2017 гг.)

Калафат Д.

Университет Богазичи, Обсерватория и Институт исследования землетрясений Кандилли
34684, Ченгелькой-Станбул, Турция: e-mail: kalafato@boun.edu.tr

Резюме. Главной целью исследования являются вычисление параметров очагов землетрясений с помощью метода инверсии, подготовка банка типов тектонических нарушений на территории Турции и прилегающих районов согласно фокальному механизму и тензору сейсмического момента, а также расчет региональных напряжений. Основной задачей является сбор исходных параметров – механизмов тектонических нарушений, произошедших в Турции и прилегающих районах, в полную базу данных. Эта работа проводилась с намерением пополнить и обновить ранее проведенные исследования. Надо отметить, что в Турции инструментальная сейсмология применяется с 1938 года. Приблизительно 70% параметров тектонических нарушений были вычислены в рамках данного исследования. Статья также посвящена подготовке базы однородных и комплексных данных путем расчета всех недостающих параметров ранее произошедших землетрясений. Подготовлена карта региональных типов тектонических нарушений с помощью набора тензора сейсмического момента, расчета региональных напряжений и осевых ориентаций в регионах Турции, относящихся к различным тектоническим режимам, используя параметры каждого землетрясения (направление, простирание, угол наклона, сейсмический момент Mo, моментная магнитуда M_w, оси P и T азимута сжатия и растяжения). В итоге в статье обобщены параметры очагов 1950 землетрясений ($M_w \geq 4.0$) и решений плоскости тектонического нарушения, причем большая их часть рассчитана в этом исследовании.

Ключевые слова*: фокальный механизм, Турция, тензор сейсмического момента, параметры очагов, моментная магнитуда*

TÜRKİYƏDƏ VƏ BİTİŞIK RAYONLARDA ORTA VƏ GÜCLÜ ZƏLZƏLƏLƏRİN BAŞLANĞIC PARAMETRLƏRİ (1938-2017-Cİ İLLƏR)

Kalafat D.

Boğaziçi Universiteti, Kandilli Zəlzələlərin Tədqiqi İnstitutu və Rəsədxanası
34684, Çəngəlkoy-İstanbul, Türkiyə: e-mail: kalafato@boun.edu.tr

Xülasə. Tədqiqatın başlıca məqsədi inversiya metodunun köməyi ilə zəlzələ ocaqlarının parametrlərinin hesablanması, seysmik momentin fokus mexanizminə və tenzoruna müvafiq olaraq Türkiyə ərazisində və bitişik rayonlarda tektonik pozulmaların tiplərinin bankının hazırlanmasından, həmçinin regional gərginliklərin hesablanmasından ibarətdir. İşin əsəs vəzifəsi başlangıc parametlərinin – Türkiyədə və bitişik rayonlarda baş vermiş tektonik pozulmaların mexanizmələrinin – məlumatların bütov bazasına toplanmasından ibarətdir və bu da tədqiqatçıların diqqətinə çatdırmaq məqsədi daşıyır ki, instrumental seysmologiya 1938-ci ildən tətbiq edilməyə başlanmışdır və bu gün də istifadə olunur. Bu iş əvvəllər aparılmış tədqiqatların təzələnməsi və təkmilləşdirilməsi məqsədilə aparılmışdır. Tektonik pozulmaların parametrlərinin təxminən 70%-i bu tədqiqatın çərşivəsində hesablanmışdır. Məqalə həmçinin əvvəllər baş vermiş zəlzələlərin bütün çatışmayan parametrlərinin hesablanması yolu ilə həmcinsli və kompleks məlumatların bazasının hazırlanmasına həsr edilmişdir. Hər bir zəlzələnin parametrlərindən (istiqamət, uzanma,əyilmə meyli, seysmik moment Mo, zaman maqnitudası M_w, sıxılma və gərginlik azimutunun P və T oxları) istifadə etməklə Türkiyənin regionlarında regional gərginliklərin və ox istiqamətlərinin hesablanmasının, seysmik momentin tenzor dəstinin köməyi ilə tektonik pozulmaların regional tiplərinin xəritəsi hazırlanmışdır. Nəticədə məqalədə 1950 zəlzələ ocaqlarının ($M_w \geq 4.0$) parametrləri və tektonik pozulma müstəvisinin həlli ümumiləşdirilmişdir.

Açar sözlər: *fokus mexanizmi, Türkiyə, seysmik momentin tenzoru, ocaqların parametrləri, moment maqnitudası*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2020**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

THE MAGNETIC RECORDING OF PHYSICOCHEMICAL CONDITIONS OF VOLCANIC ROCKS FORMATION

Novruzov Z.A.

Geology and Geophysics Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Javid Ave., Baku, Azerbaijan, AZ1143: znovruz@yahoo.com

Keywords: *volcanic rocks, rock magnetism, physicochemical conditions of rock formation*

Summary. Using methods of rock magnetism, the paper considers the possibility of understanding the physicochemical processes of rocks formation. The case study is the volcanic rocks drilled by the superdeep Saatly well. Within the interval of 3540-8126 m the composition of volcanic rocks varied with depth from basalts, andesite-basalts to dacites and rhyodacites. In rocks, magnetic minerals (iron and titanium oxides, iron sulfides, iron hydroxides and others) are sensitive to the conditions of their formation and consequent existence. This sensitivity to the physicochemical conditions of formation (as well as to the conditions of consequent existence) is reflected by the composition and degree of crystallization of magnetic grains. As a result of the study of the magnetic properties of volcanogenic rocks it was revealed that metamorphism (realized at depths of 3540-7000 m and mainly 5500-7000 m) leads to the crystallization of secondary fine magnetite grains carrying chemical remanent magnetization. Despite the intensive development of metamorphism, the system remains thermodynamically "conserved" at depths of 3540-7000 m. The processes of low-temperature metasomatism developing at depths of 7000-8126 m led to a decrease in the concentration of ferrimagnetic minerals in the rocks. Chemical residual magnetization becomes rarer and this occurs when oxidized magnetite is found. In some cases the generations of secondary hematite and pyrite were detected. Such change in the composition, concentration and characteristics of the natural magnetic state can occur in the thermodynamically "disclosed" system.

© 2020 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

1. Introduction

The study of the magnetic properties of volcanogenic rocks allows addressing such issue as the knowledge of the physicochemical conditions of rock formation (Pecherskiy et al., 1975). Physicochemical conditions for the formation and consequent existence of magnetic minerals (iron and titanium oxides, iron sulfides, iron hydroxides and many others) of rocks are recorded in their magnetic memory. First reason for this is the variable valence of iron. All magnetic minerals containing variable amounts of Fe^{2+} and Fe^{3+}, as well as minerals that contain only Fe^{3+}, are included in this subgroup. At the same time both of them can be oxidized or reduced under the corresponding physicochemical conditions (Chukhrov et al., 1975). The second reason is the relative instability of solid solutions (titanomagnetites that were formed and stable in a significantly different thermodynamic regime) under the mode of occurrence of already formed rocks (Lindsley, 1965). The history of the formation and consequent existence of volcanogenic rocks is written in the form of natural remanent magnetization. An analysis of the origin of natural remanent magnetization and the study of the composition of magnetic minerals, their associations, structural features by rock magnetism methods will thus make it possible to decipher the magnetic record of rock history.

2. Geological setting and volcanogenic core samples of ultra deep Saatly well

The super deep well is located near the city of Saatly (λ=39.91°N, ϕ=48.36°E), Azerbaijan (Fig. 1). The region of the well location (design depth of 15 km) is spaced in the Kura basin placed between the Greater and the Lesser Caucasus (the large tectonic constructions). According to deep structure the Kura basin is subdivided into three depressions: upper Kura basin, middle Kura basin and lower Kura basin. The super deep Saatly well is located within the middle Kura basin. According to geophysical data

interpretation the crystalline basement (around the Saatly local gravitational maximum) possesses the block structure (where there are rocks of persilicic and basic composition at a depth of 8 km). Around the Saatly local gravitational maximum the crustal structure controversy was formed in two views. According to the first view the Earth crust consists of granite and basalt layers. According to the second view the Earth crust is singlelayer and it is presented only by mafic rocks. At Saatly area the features of the Earth crust and the reduced thickness of a sedimentary cover formed a basis for drilling of the super deep well.

Object of our researches are the volcanics located in the depths interval of 3540-8126 m. According to research papers (Abdullayev, Salakhov, 1983; Abdullayev et al., 1984) the development of the low-temperature metamorphism (depth of 3540-7000 m) has been noted in the volcanogenic rocks. But from depths of 7000 m and deeper the development of the low-temperature metasomatism is revealed. The quantities of the studied volcanic rocks were 49. Three duplicate with cubic form (1 cm) were sawn from each sample.

The 3540-3560 m depth interval is characterized by andesite-basalts. In the depth interval of 3560-4360 m the thickness of volcanic rocks contains basalts. Basalts contain the potassium-enriched and sodium-enriched alkalinity.

The 4360-4700 m depth interval contains andesite-basalts. At depths of 4700-4800 m there is thickness of dolerites. The 4800-4900 m depth interval contains andesite-basalts. At depths of 4900-5000 m there is thickness of basalts. The 5000-5150 m depth interval contains andesite-basalts. At depths of 5150-5250 m there is thickness of dolerite (gabbro-norite). The 5250-5500 m depth intervals contain basalts. At depths of 5500-5650 m there is thickness of andesite-basalts. The 5650-6150 m depth interval contains andesites. At depths of 6150-6300 m there is thickness of andesite-basalts. The depth interval of 6300-6500 m contains andesites. At depths of 6500-6700 m there is thickness of andesite-basalts. The 6700-6880 m depth interval contains andesites. At depths of 6880-7030 m there is thickness of dolerite. The 7030-7250 m depth interval contains dacites. At depths of 7250-7300 m there is thickness of rhyodacites. The 7300-7400 m depth interval contains dolerites. At depths of 7400-7500 m there is thickness of rhyodacites. The 7500-7800 m depth interval contains dacites. At depths of 7800-7900 m there is thickness of rhyodacites. The 7900-8100 m depth interval contains andesite-dacites. At depths of 8100-8110 m there is thickness of rhyolites. The 8110-8126 m depth interval contains dacites.



Fig.1. The Saatly super deep well location

The studied column of volcanics changes thus with depth: from the mafics (andesite-basalts, basalts) to intermediate rocks (andesites) and then to persilic rocks (rhyodacites, dacites).

3. Experimental procedures

For carrying out magnetometric studies (volcanogenic rocks of ultra deep Saatly well) the following magnetic parameters were measured and calculated:

1) Saturation isothermal remanent (ferro- and ferrimagnetic substances behave paramagnetically) magnetization (SIRM or Mrs): the isothermal remanence acquired by a sample after it has been exposed to a saturating DC field.

2) Saturation magnetization (Ms): this measurement results from a hysteresis loop measurement and is the greatest magnetization acquired by a sample in the presence of the magnetic field causing it.

3) Curie temperature (Tc – Curie point): The temperature above which ferro- and ferrimagnetic substances behave paramagnetically. Curie temperatures of the two most common palaeomagnetic carriers are 580ºC for magnetite and 680ºC for haematite. Above relaxation times the temperature (Tb) is so short that the grain cannot hold a fixed magnetization direction on a laboratory timescale and it displays superparamagnetism. As the grain cools below this temperature (Tb), it exhibits stable behavior. This transition temperature is called the blocking temperature.

4) Hc – the coercivity of a sample that results from a hysteresis loop measurement. It is the field that is required to reduce the magnetization of a sample to 0 while the field is being applied;

Hcr – the coercivity of remanence of a sample that results from a hysteresis loop measurement. It is the field required to reduce the magnetization of a sample to 0 after the field has been turned off, i.e. the sample is measured in 0 fields;

Hs – saturation field of magnetization is the applied external magnetic field H when after further increasing of it the magnetization of the sample cannot increase;

5) Coefficient (factor) Qn=NRM/kH (where NRM – natural remanent magnetization; k – initial magnetic susceptibility, H – the constant magnetic field equal of 50μT, and kH – inductive magnetization in the field of H).

6) TRM (Jrt), thermal remanent magnetization or thermoremanent magnetization: The magnetization acquired by a ferromagnetic mineral grain during cooling of the grain through its Curie temperature or its blocking temperature.

7) ARM, anhysteretic remanent magnetization: A laboratory remanence that results from applying a small DC magnetic field (c. 50 μT) to a sample in the presence of an alternating magnetic field that is decreased from some peak value to 0.

All laboratory measurements were carried out at the laboratory of the "Main Geomagnetic Field and Petromagnetism" of the Institute of Earth Physics of the Russian Academy of Sciences. The natural remanent magnetization (NRM), thermoremanent magnetization (TRM), anhysteretic remanent magnetization (ARM) and isothermal remanent magnetization (IRM) were measured on the magnetometer JR-4 (Brno, Czech Republic). Demagnetization and magnetic cleaning by alternating field (AF-cleaning) of samples were carried out at the semi-automatic device (RUV) in the 0-80 A/m fields range.

4. Petromagnetic analysis

In the depth interval 3500-4300 m (Table) the Curie point (Tc – magnetic transition temperature) varies between 510-585^{0}C, which indicates the presence of magnetite (Tc=585^{0}C) or magnetite with a small titanium impurity (Tc=510÷575°C) in the studied rocks. As a result of thermomagnetic analysis it turned out that the detected ferrimagnets are stable to temperature influences. For the indicated depth range after the first heating of the sample to 600°C the Ms_T/Ms_0 ratio (characterizing this stability to temperature influences) changes within 0.65÷1.00 (on average about 0.8). The presence of soft magnetic ferromagnets is indirectly authenticated by Bc=(63.7÷238.7) mT and Bcr=(10.3÷42.4) mT, confirming the results of thermomagnetic analysis.

In this depth interval MS changes significantly, reflecting the complex conditions of primary crystallization and high-temperature oxidation of the ferromagnetic fraction. A significant variation in the value of M_S=(1158÷3557)×10^{-3} mAm^2/kg reflects a strong change of magnetite and titanomagnetite concentrations in the rock. The minimum value of M_S=1158 mAm^2/kg corresponds to basalt, the maximum value of M_S=3557 mAm^2/kg corresponds also to basalt.

In the rocks of the indicated depth interval the presence of thermo-stable magnetite (titanomagnetite) and a significant change in its concentration thus testify to the high-temperature oxidation of the primary ferrimagnetic fraction (titanomagnetite) and to different conditions of its crystallization. In the ferromagnetic fraction of the horizon's rocks any chemical changes did not occur.

Quite similar results were obtained for 4300-5000 m and 5000-6000 m depth intervals. As can be seen from Table, magnetite and magnetite with a low titanium impurity with Tc=550÷580^{0}C were

found in the indicated depth intervals. Only for individual horizons (for example, 4915 m and 5185 m), the instability of the ferromagnetic fraction to first heating was noted (Ms_T/Ms_0~ 0.5). Ferromagnets are generally stable to temperature effects and reflect the conditions of high-temperature oxidation. The presence of soft magnetic minerals is confirmed by the values Bc=(67.6÷238.7) mT and Bcr=(9.7÷29.7) mT (Table).

For the studied volcanics from 6000-7000 m depths (Table) an exceptional constancy of the ferromagnetic fraction composition is observed (the presence of magnetite with Tc=580^{0}C). Only for andesites from the 6430-6435 m depth interval magnetite with a small content of titanium impurity with Tc=555-570^{0}C is observed. The detected ferrimagnets exhibit, as a rule, high stability to heating (Ms_T/Ms_0=0.80÷1.00).

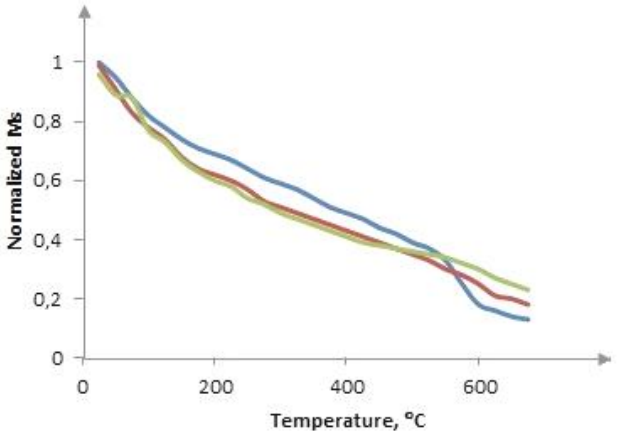


Fig. 2. Thermomagnetic Ms/Ms_0 curves of samples with the finely dispersed hematite (7-8 km depth interval)

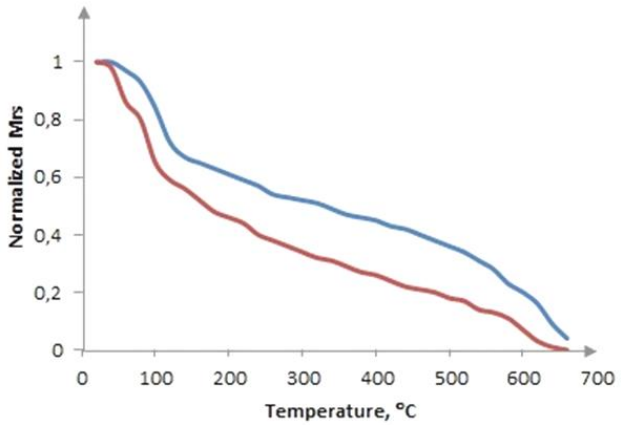


Fig. 3. Thermomagnetic Mrs/Mrs_0 curves of samples with the finely dispersed hematite (7-8 km depth interval)

Table

Magnetic characteristics of ultra deep Saatly well

Type of rock	Depth, m	NRM, mA/m	M_S,mAm^2 kg^{-1}	Brs, mT	Bcr, mT	T_C, ^{0}C	Ms_T/ Ms_0	Mrs_T/ Mrs_0
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Andesite-basalt	3540-3600	220	3557	238.7	14.3	530	0.87	1.28
Basalt	3660-3666	640	1158	159.2	42.4	585	0.66	0.89
Basalt	3761-3767	310	2631	238.7	20.0	575	1.00	0.82
Basalt	3820-3825	730	2462	159.2	20.7	575	0.84	1.64
Basalt	3975-3981	2590	2420	63.7	10.3	515	0.65	0.58
Basalt	4062-4067	1160	3347	119.4	21.0	515	0.71	2.15
Basalt	4165-4171	3380	1711	63.7	18.6	510	0.76	1.19
Basalt	4250-4255	1050	2203	119.4	25.6	540	0.89	1.18
Basalt	4310-4315	400	2822	159.2	9.7	580	0.85	1.63
Andesite-basalt	4423-4428	750	2377	199.0	23.8	580	0.87	1.49
Andesite-basalt	4516-4522	1780	3054	159.2	16.6	580	0.75	1.27
Andesite-basalt	4600-4608	1630	4394	159.2	21.8	580	1.00	1.30
Andesite-basalt	4634-4640	880	3052	199.0	19.6	570	0.85	1.46
Andesite-basalt	4686-4692	1240	3270	159.2	29.7	570	0.90	0.87
Dolerite	4714-4719	500	3493	119.4	21.0	580	0.80	0.68
Dolerite	4770-4777	1420	3932	159.2	17.4	580	1.00	1.38
Andesite-basalt	4800-4807	1010	2032	238.7	22.1	580	0.95	1.29
Andesite-basalt	4881-4885	970	3457	67.6	11.9	580	1.00	1.95
Basalt	4915-4922	1730	4975	119.4	15.0	550	0.50	1.60
Andesite	5036-5040	310	2188	159.2	16.2	550	0.85	0.67
Gabbro-norite	5129-5132	550	804	99.5	16.6	575	0.98	1.54
Basalt	5185-5190	560	2074	238.7	12.0	570	0.50	2.04
Basalt	5270-5273	3040	2437	238.7	18.5	570	0.88	1.30
Basalt	5385-5390	1830	3022	159.2	17.4	570	0.80	1.91
Basalt	5467-5474	590	2864	159.2	20.4	570	0.88	1.68

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Andesite	5544-5550	1910	2638	119.4	19.9	570	0.90	1.32
Basalt	5634-5636	5540	3190	199.0	18.9	580	0.87	0.81
Andesite-basalt	5746-5750	3430	3052	119.4	20.6	580	1.00	1.13
Andesite	5828-5830	5900	3531	99.5	19.0	580	1.00	1.06
Andesite	6000-6003	1490	2575	99.5	16.0	580	0.90	1.02
Andesite	6174-6178	610	1502	79.6	9.9	580	0.90	2.85
Andesite-basalt	6290-6295	670	1424	119.4	12.3	580	0.90	1.38
Andesite	6430-6435	1000	189	159.2	14.4	555	0.80	1.67
Andesite	6581-6583	1820	3283	159.2	19.9	580	0.86	1.30
Andesite-basalt	6740-6745	470	262	119.4	13.2	580	0.90	1.76
Andesite	6877-6882	230	376	79.6	11.2	570	1.00	1.79
Dolerite	6994-7003	270	193	79.5	9.0	580	0.90	1.30
Dacite	7038-7048	10	45	119.4	21.0	600	0.89	2.40
Dacite	7172-7176	50	123	79.6	11.8	580	0.59	1.56
Rhyodacite	7264-7276	20	55	119.4	28.5	600	1.87	1.75
Dolerite	7332-7343	230	765	99.5	15.1	585	0.97	2.29
Rhyodacite	7420-7428	10	27	71.6	21.1	600	18.89	0.98
Dacite	7576-7578	300	374	79.6	14.3	600	0.94	1.17
Dacite	7642-7646	10	26	99.5	27.7	600	1.44	2.52
Dacite	7729-7738	550	436	79.6	11.9	600	0.93	1.01
Rhyodacite	7874-7878	410	2522	119.4	13.6	590	0.96	1.23
Andesite - dacite	7991-7993	330	626	55.7	12.7	600	0.95	1.32
Rhyolite	8103-8108	20	18	238.7	13.1	580	-	2.00
Dacite	8108-8126	4660	4164	99.4	22.1	580	0.94	0.90

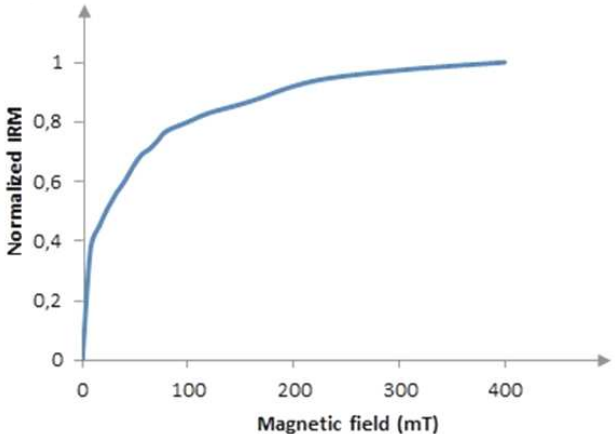


Fig. 4. IRM acquisition of samples with the finely dispersed hematite (7-8 km depth interval)

For the deepest (7000-8126 m) part of the column of volcanic rocks drilled by the Saatly well, along with magnetite and magnetite with a low Ti impurity content, the oxidized magnetite, hematite (secondary formations) and pyrite were noted in the rocks.

In samples where the presence of pyrite is not observed, magnetic minerals are relatively stable to heating up to 600-650^{0}C. The ratios Ms_T/Ms_0=0.59÷1.87, Mrs_T/Mrs_0=0.90÷2.40 indicate probably the partial oxidation of large magnetite (or magnetite with a low Ti impurity content) grains, which are present everywhere in rocks from the indicated depth interval.

At the same time pyrite (paramagnetic at above room temperature (Nagata, 1961) does not become apparent on the thermomagnetic curves and in the IRM acquisition parameters. Being unstable to heating in an oxidizing medium (Nagata, 1961) pyrite is however oxidized to highly magnetic compounds (Brodskaya, 1976) and can cause a significant increase in Ms and Mrs after heating. Such a "spike" of Ms and Mrs was noted for the horizon of 7420-7428 m (rhyodacite, Table 1) after heating the samples to 650°C.

5. Discussion and conclusions

In the Saatly well volcanics the most important changes of the mineral magnetic properties in response to condition of formation and further "life" of rocks are in the magnetic properties of composition due to differences in magnetic mineralogy and in the grain size distribution concentration of the magnetic particles.

In rocks with the presence of finely dispersed hematite the Ms (T) curves (Fig. 4) become concave, which may argue the manifestation of the blocking temperature' spectrum of finely dispersed hematite grains (Avilova et al., 1978). This assumption is confirmed by the fact that T=600-625^{0}C is significantly less than Tc of coarse-grained hematite (675^{o}C) (Nagata, 1961). Similar blocking temperatures (Tb) have also been registered by the SIRM versus temperature curves (typical curves are shown in Fig. 2).

In case of finely dispersed hematite presence in the rocks the parameters of isothermal magnetization significantly change (Fig. 3) (see Table). In fields above 397.77 mT saturation remanence (SIRM) is reached while Hc increases to 137.07 mT.

The magnetic parameters of the IRM's acquisition of magnetite [Bc=(55.77-238.74) mT, Hcr= (11.14-28.48) mT, see Table] (or magnetite with a low Ti impurity content) do not differ significantly from those of oxidized magnetite (Kudryavtseva, 1984). According to thermomagnetic studies Tc (and Tb) for oxidized magnetite are shifted toward however higher temperatures compared to Tc (and Tb) of stoichiometric magnetite (580°C) and equal to about 600°C.

Microprobe analysis (Novruzov, Tselmovich, 2018) of the ore fraction of volcanic rocks drilled by the superdeep Saatly well revealed mineral grains corresponding to primary crystallization. Homogeneous grains with the decomposition structure of titanomagnetite grains with a low Ti content were isolated. In this case decomposition structures are characteristic of high-temperature heterophase oxidation. By means of rock magnetism, in analyzing the composition (Novruzov, 2018) of magnetic minerals titanomagnetites with a low Ti content were found as the main ore fraction. Also when analyzing the origin of NRM it was revealed that the component of the thermoremanent magnetization is present in almost all the studied samples (Novruzov, 2018).

Microprobe analysis (Novruzov, Tselmovich, 2018) of the ore fraction showed also that correctly faceted grains of practically stoichiometric magnetite exist in the rocks. This magnetite could crystallize only due to secondary processes of low-temperature metamorphism under the conditions of a thermodynamically "closed" system. The single-domain (or pseudo-domain) structure of magnetic grains was discovered by means of rock magnetism when analyzing the composition (Novruzov, 2019a) and magnetic domain structure (Novruzov, 2019c). The fine stoichiometric magnetite grains were identified by analyzing the origin of the natural remanent magnetization. In the samples with the small magnetite grains the chemical remanent magnetization (CRM) (Novruzov, 2019b) is fixed. These are correctly faceted grainsare secondary stoichiometric magnetites (as result of low-temperature metamorphism processes under the thermodynamically "closed" conditions).

6. Resume

Based on magnetic studies of the volcanic rocks drilled by the Saatly well, the widespread distribution of magnetite and magnetite with a low Ti impurity was thus found in them. The presence of oxidized magnetite, hematite and pyrite is noted only in the deepest part of the volcanic rocks of well column. There can be argued that: a) processes of low-temperature metamorphism, intensively developing at depths above 5500 m, do not lead to an increase in the partial pressure of oxygen in the system, and the system itself remains “closed” up to depths of 7000 m; b) at depths of more than 7000 m secondary formations of the Fe group minerals indicate the variability of the redox environment in the system. This is evidence of development of low-temperature metasomatism. In 7000-8126 m depth intervals the system becomes a thermodynamically "open".

REFERENCES

Abdullayev R.N., Salakhov A.S. Comparative characteristic of the Jurassic volcanics of the Kurdamir-Saatly buried uplift and the northeastern part of the Lesser Caucasus. Proceedings of Academy of Sciences of Azerbaijan SSR. The Sciences of Earth, No. 4, 1983, pp. 14-23 (in Russian).

Abdullayev R.N., Salayeva F.O., Salakhov A.S. Magmatic complexes of the Middle Kura depression. In: Problems of mineralogy and lithology. Proceedings of AzNEFTECHIM, Baku, 1984, pp. 85-90 (in Russian).

Avilova T.E., Bagin V.I., Gendler T.S. About the difference of the properties of the thermoremanent and isothermal residual magnetizations of finely-dispersed hematites. Proceedings of Academy of Sciences of the USSR. The Physics of the Earth, No. 12, 1978, pp. 95-104 (in Russian).

Brodskaya S.Yu., Kuzmicheva E.V., Kuzmicheva T.P. et al. Magnetic properties of pyrrhotines and formation conditions of the Kholodninskoye deposit. Proceedings of Academy of Sciences of the USSR. The Physics of the Earth, No. 6, 1976, pp. 67-75 (in Russian).

Chukhrov F.V., Yermilova L.P., Gorshkov A.I. et al. Experimental data on the formation conditions of iron oxides. In: Hypergenic iron oxides. Nauka. Moscow, 1975, pp. 11-33 (in Russian).

Kudryavtseva G.P. Composition-structure and magnetic properties of natural ferrite oxides. Abstract of doctoral dissertation, Moscow, 1984, 44 p. (in Russian).

Lindsley D.H. Iron-titanium oxides. Carnegie Inst. Wash. Year Book, V. 64, 1965, pp. 87-97.

ЛИТЕРАТУРА

Lindsley D.H. Iron-titanium oxides. Carnegie Inst. Wash. Year Book, V. 64, 1965, pp. 87-97.

Nagata T. Rock Magnetism. Maruzen. Tokyo, 1961, 350 p.

Novruzov Z.A., Tselmovich V.A. Microroentgen spectral ore mineral analysis of Saatly well column volcanics. Stratigraphy and Sedimentology of Oil-Gas Basins (İnternational scientific journal), Baku, No. 2, 2018, pp. 70-84.

Novruzov Z.A. Research of magnetic properties of magnetic minerals of Saatly Well’s section (depth of 3540-8126 m) for determination of natural remanent magnetization genesis. Azerbayjanda Geofizika Yenilikleri, Baku, No. 2, 2018, pp. 41-46.

Novruzov Z.A. Composition of magnetic minerals of volcanogenic rocks according to petromagnetic data. Azerbayjanda GeofizikaYenilikleri, Baku, No. 1, 2019a, pp.16-21.

Novruzov Z.A. New approach in identification of chemical magnetization in the volcanics by means of rock magnetism. Azerbayjanda Geofizika Yenilikleri, Baku, No. 2, 2019b, pp. 16-21.

Novruzov Z.A. Domain structure of volcanics’ ferromagnetic grains: A case study of the Saatly ultra deep well, Azerbaijan. Geophysical Journal, Kiev, No. 3, 2019c, pp. 203-210.

Абдуллаев Р.Н., Салахов А.С. Сравнительная характеристика юрских вулканитов Кюрдамир-Саатлинского погребенного поднятия и северо-восточной части Малого Кавказа. Изв. АН АзССР. Науки о Земле, 1983, No. 4, с. 14-23.

Nagata T. Rock Magnetism. Maruzen. Tokyo, 1961, 350 p.
Novruzov Z.A., Tselmovich V.A. Microroentgen spectral ore mineral analysis of Saatly well column volcanics. Stratigraphy and Sedimentology of Oil-Gas Basins (İnternational scientific journal), Baku, No. 2, 2018, pp. 70-84.
Novruzov Z.A. Research of magnetic properties of magnetic minerals of Saatly Well's section (depth of 3540-8126 m) for determination of natural remanent magnetization genesis. Azerbayjanda Geofizika Yenilikleri, Baku, No. 2, 2018, pp. 41-46.
Novruzov Z.A. Composition of magnetic minerals of volcanogenic rocks according to petromagnetic data. Azerbayjanda GeofizikaYenilikleri, Baku, No.1, 2019a, pp. 16-21.
Novruzov Z.A. New approach in identification of chemical magnetization in the volcanics by means of rock magnetism. Azerbayjanda Geofizika Yenilikleri, Baku, No. 2, 2019b, pp. 16-21.
Novruzov Z.A. Domain structure of volcanics' ferromagnetic grains: A case study of the Saatly ultra deep well, Azerbaijan. Geophysical Journal, Kiev, No. 3, 2019c, pp. 203-210.
Pecherskiy D.M., Bagin V.I., Brodskaya S.Yu., Sharonova Z.V. Magnetism and formation conditions of igneous rocks. Nauka. Moscow, 1975, 288 p. (in Russian).
Абдуллаев Р.Н., Салаева Ф.О., Салахов А.С. Магматические комплексы Среднекуринской впадины. В сб.: Вопросы минералогии и литологии. Баку, Тр. АзНЕФТЕХИМа им. М.Азизбекова, 1984, с. 85-90.
Авилова Т.Е., Багин В.И., Гендлер Т.С. О различии свойств термоостаточной и нормальной остаточной намагниченностей тонкодисперсных гематитов. Изв. АН СССР, сер. Физика Земли, No. 12, 1978, с. 95-104.
Бродская С.Ю., Кузьмичева Е.В., Кузьмичева Т.П. и др. Магнитные свойства пирротинов и условия формирования Холоднинского месторождения. Изв. АН СССР, сер. Физика Земли, No. 6, 1976, с. 67-75.
Кудрявцева Г.П. Состав-структура и магнитные свойства природных ферритов-окислов. Автореферат докторской диссертации. Москва, 1984, 44 с.
Печерский Д.М., Багин В.И., Бродская С.Ю., Шаронова З.В. Магнетизм и условия образования изверженных горных пород. Наука. Москва, 1975, 288 с.
Чухров Ф.В., Ермилова Л.П., Горшков А.И. и др. Экспериментальные данные об условиях образования окислов железа. В кн.: Гипергенные окислы железа. Наука. Москва, 1975, с. 11- 33.

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД

Новрузов З.А.
Институт геологии и геофизики НАНА
AZ1143, Азербайджан, г.Баку, просп.Г.Джавида, 119: znovruz@yahoo.com

Резюме. В статье рассматривается возможность понимания физико-химических процессов образования горных пород, используя методы магнетизма горных пород. Объектом исследования являются вулканические породы, пробуренные сверхглубокой Саатлинской скважиной. В интервале 3540–8126 м с глубиной состав вулканических пород изменялся от базальтов, андезито-базальтов до дацитов и риодацитов. В породах магнитные минералы (оксиды железа и титана, сульфиды железа, гидроксиды железа и др.) чувствительны к условиям их образования и последующего существования. Эта чувствительность к физико-химическим условиям образования (а также к условиям последующего существования) отражается в составе и степени окристаллизованности магнитных зерен.

В результате изучения магнитных свойств вулканогенных пород было выявлено, что метаморфизм (реализуемый на глубинах 3540-7000 м, в основном 5500-7000 м) приводит к кристаллизации вторичных мелкозернистых зерен магнетита, несущих химическую остаточную намагниченность. Несмотря на интенсивное развитие метаморфизма, система остается термодинамически «закрытой» на глубинах 3540-7000 м.

Процессы низкотемпературного метасоматоза, развивающиеся на глубинах 7000-8126 м, привели к снижению концентрации ферримагнитных минералов в породах. Химическая остаточная намагниченность становится более редкой, и это реализуется при наличии окисленного магнетита. В некоторых случаях были обнаружены генерации вторичных гематита и пирита. Такое изменение состава, концентрации и характеристик естественного магнитного состояния может происходить в термодинамически «открытой» системе.

Ключевые слова: *вулканические породы, магнетизм горных пород, физико-химические условия формирования пород*

VULKANİK SÜXURLARIN FİZİKİ-KİMYƏVİ ƏMƏLƏGƏLMƏ ŞƏRAİTİNİN MAQNİT QEYDLƏRİ

Novruzov Z.A.
AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu
AZ1143, Azərbaycan, Bakı şəh., H.Cavid prosp.,119: znovruz@yahoo.com

Xülasə. Məqalədə süxurların maqnetizmi metodlarından istifadə edərək onlaların fiziki-kimyəvi əmələgəlmə proseslərinin dərkedilmə imkanı nəzərdən keçirilir. Tədqiqat obyekti ifratdərin Saatlı quyusu ilə qazılmış vulkanik süxurlardır. 3540–8126 m dərinlik intervalında vulkanogen süxurlarının tərkibi bazalt, andezibazaltlardan dasit və riodasitlərə qədər dəyişilmişdir. Süxurlarda maqnit mineralları (dəmir və titan oksidləri, dəmir sulfidləri, dəmir hidroksidləri və s.) özünün əmələgəlmə və sonraki mövcudluğu şəraitinə həssasdır. Fiziki-kimyəvi əmələgəlmə şəraitinə (habelə sonrakı mövcudluq şəraitinə) olan bu həssaslıq maqnit zərrəciklərin tərkibində və kristallaşma dərəcəsində əks olunur.

Vulkanogen süxurların maqnit xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi nəticəsində aşkarlanmışdır ki, kimyəvi qalıq maqnitləşməni daşıyan törəmə xırda zərrəciklərin kristallaşmasına metamorfizm (3540-7000 m, əsasən də 5500-7000 m dərinliklərdə) səbəb olmuşdur. Metamorfizmin intensiv inkişafına baxmayaraq, sistem 3540-7000 m dərinliklərdə termodinamik "qapalı" olaraq qalır.

7000-8126 m dərinliklərdə inkişaf edən aşağı temperaturlu metasomatoz prosesləri süxurlarda ferrimaqnit mineralların konsentrasiyasının azalmasına səbəb olmuşdur. Kimyəvi qalıq maqnitləşmə azalmağa doğru gedir və bu da oksidləşmiş maqnetitin iştiraki bağlıdır. Bəzi hallarda törəmə hematit və piritin generasiyaları aşkar edilmişdir. Tərkibin belə dəyişməsi, təbii maqnit halının konsentrasiyası və xüsusiyyətləri termodinamik "açıq" bir sistemdə baş verə bilər.

Açar sözlər: *vulkanik suxurlar, suxurların magnetizmi, suxurların əmələ gəlməsinin fiziki-kimyəvi şəraiti*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2020**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОСТОЧНОМ КРЫЛЕ БИБИЭЙБАТСКОЙ БРАХИАНТИКЛИНАЛИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Саламов А.М., Кадиров А.Г., Мухтаров А.Ш., Заманова А.Г., Гасымов Э.Э.
Институт геологии и геофизики НАНА
AZ1143, г. Баку, просп. ГДжавида, 119: avazsalamov@yandex.ru

DEVELOPMENT OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE EASTERN WING OF THE BIBIHEYBAT BRACHIANTICLINE USING THE ELECTRICAL SURVEY

Salamov A.M., Gadirov A.H., Mukhtarov A.Sh., Zamanova A.H., Gasimov E.E.
Geology and Geophysics Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Cavid ave., Baku, AZ1143: *avazsalamov@mail.ru*

Key words: *geophysics, landslide, electrical prospecting, resistance, brachianticline, fracture*

Summary. The article investigates the development of landslide processes on the eastern wing of the Bibiheibat brachianticline using vertical electric sounding method (VES).

On the surface of the study area, eluvial-deluvial deposits of the Quaternary period of marine (Eopleistocene, Pleistocene) and continental (Holocene) origin are mainly developed. The geological environment of the study area undergoes complex geological and neotectonic processes.

Field geophysical work was carried out on nine profiles and sections of apparent vertical electrical resistance and geoelectric sections were constructed, which were then converted into alleged lithological and geophysical sections.

As a result of geophysical studies, it was found that the apparent and specific electrical resistances of the rocks composing the geological section vary respectively in the intervals of 0.5 ... 80 Ohm·m and 0.3 ... 90 Ohm·m.

In the compiled alleged lithological and geophysical sections mainly five layers with different thicknesses and specific electrical resistances are traced.

As a result of the work, a detailed lithological differentiation of the geological section of the study area to a depth of 50 m was carried out; the thickness of landslide mass and depth of the slip plane were determined; alleged lines of faulting were identified and traced; 3D model of the apparent electrical resistance of the landslide zone was built.

The first layer identified from the earth's surface (the mass of the landslide) is presumably composed of various fragments of deluvial deposits. The remaining layers respectively are composed of clays, clays with thin layers of sand, sand clays, alternation of clays with weakly cemented sandstones.

The presence of rocks in the geological section with reservoir properties and discontinuous disturbances creates favorable conditions for the accumulation of water of various origins in the body of the landslide, moistens the sliding plane, which leads to the activation of the landslide.

Studies have shown that on the eastern slope of the brachianticline there are factors that activate landslide processes.

© 2020 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Оползневые явления, наряду с холмами и горными районами, чаще наблюдаются в прибрежных районах рек, озер, водохранилищ и морей. Нужно также отметить, что развитие оползневых процессов в жилых районах, а также в районах хозяйственной деятельности человека наносит значительный ущерб инженерно-техническим сооружениям и жилищному хозяйству.

Как известно, оползневые явления являются одной из разновидностей экзогенных геологических процессов (ЭГП). Исследования оползней геофизическими методами на территории Азербайджанской Республики имеют небольшую историю.

А.С.Шахсуваровым было проведено инженерно-геологическое картографирование Азербайджанской Республики в масштабе 1:500000, в котором использовались данные до 1990 г. Инженерно-геологическое районирование проводилось по научно-методическим показателям (Azərbaycan Respublikası ərazisində…, 2008). Согласно карте территория республики с точки зрения распространения оползней делится на семь областей (рис. 1):

1 – северо-восточный склон Большого Кавказа;
2 – юго-восточный склон Большого Кавказа;
3 – Куринская депрессия;
4 – Горно-Талышский геоструктурный регион;
5 – Абшеронский полуостров;
6 – Нахчыванская горно-складчатая зона;
7 – северо-восточный склон Малого Кавказа.

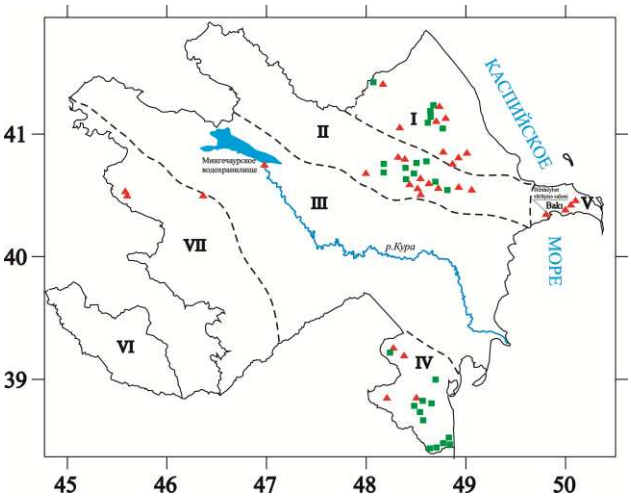


Рис. 1. Оползневые зоны территории Азербайджанской Республики (составитель: Р. Агамирзоев).
▲ – активные оползневые зоны;
■ – относительно стабильные оползневые зоны;
I – северо-восточный склон Большого Кавказа; II – юго-восточный склон Большого Кавказа; III – Куринская депрессия; IV – Горно-Талышский геоструктурный регион; V – Абшеронский полуостров; VI – Нахчыванская горно-складчатая зона; VII – северо-восточный склон Малого Кавказа

На территории г.Баку, расположенном на Абшеронском полуострове, часто происходили оползни. В 1929 и 1938 годах Л.В.Лалиашвили исследовал оползневое скольжение в районе Байыловского моста и предложил мероприятия по защите от оползня.

Оползни, произошедшие в 1946 г. в поселках Зых и Байыл, были исследованы Ш.А.Азизбековым. В 1950-1954 гг. оползень Байыловского склона в горно-парковой зоне исследовали А.П.Попов и И.И.Коновалов. С 1957 г. на территории Большого Кавказа академиком Б.А.Будаговым исследовались оползневые селевые потоки и другие ЭГП процессы. В 1961 году А.Г.Алиев, в 1972-1974 годах А.С.Шахсуваров, А.Х.Шабанов, Ф.С.Сеидалиев, в 1996-2002 годах Ф.Ш.Алиев, А.Б.Алекперов, Е.Б.Шахалиев, Ф.Ш.Мамедов, А.М.Саламов, Г.Теюбов на Байыловском склоне проводили комплексные инженерно-геологические, инженерно-геофизические и топографические исследования и выявили там факторы скольжения, также ими были предложены меры по защите от оползня.

В период с 1970 по 2007 гг. на территории республики было зарегистрировано 900 случаев оползней, 128 лавин, 45 наводнений, 222 формирований оврагов и 112 селевых потоков, и число этих процессов ежегодно увеличивается (Əliyev, 2002).

В 2014 и 2019 годах геофизические исследования проводились в районе Бибиэйбатского оползня, географически расположенного на юге Абшеронского полуострова, к западу от г.Баку и поселка Бадамдар, а в структурно-геологическом отношении – на восточном крыле Бибиэйбатской брахиантиклинали.

С целью изучения оползневых процессов на территории Бибиэйбатской брахиантиклинали перед геофизическими исследованиями были поставлены следующие задачи:

– детальное литологическое расчленение геологического разреза территории исследования до глубины 50 м;

– определение мощности оползневой массы и глубины залегания предполагаемой плоскости скольжения;

– выявление и прослеживание предполагаемых линий разрывных нарушений;

– определение некоторых физических параметров оползневой массы;

– построение 3D модели кажущегося электрического сопротивления зоны оползня.

Для изучения оползневого процесса на восточном склоне Бибиэйбатской брахиантиклинали был выбран метод ВЭЗ (Вертикального Электрического Зондирования) (Алиев и др., 2008; Мамедов и др., 2019; Саламов и др., 2019), и в 2019 году полевые геофизические исследования были проведены по девяти профилям на площади 2.5 га. Координаты района исследования: N=40.3306, 40.3324; E=49.8102, 49.8114; абсолютная высота рельефа территории варьирует от 130 до 145 м (рис. 2).

Территория относится к аридной зоне, где преобладают умеренно-теплые полупустынные и сухие летние климатические условия. Годовое количество атмосферных осадков составляет 220 мм, а испарения в несколько раз превышают эти показатели. Среднегодовая температура составляет 14.6ºC. В летнее время почва прогревается до 46-47ºC, а зима бывает мягкой с небольшим количеством снега.

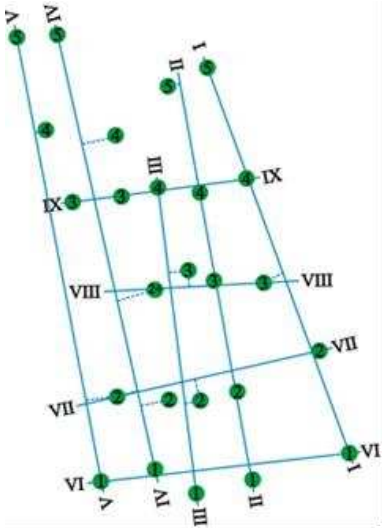


Рис. 2. Схема расположения геофизических профилей. VI–VI – геофизические профили; ● – точки ВЭЗ

Скорость северных ветров на Абшеронском полуострове в основном колеблется от 20 до 25 м/с, но в некоторых случаях доходит до 30-40 м/с. Летом скорость ветра снижается до 6-10 м/с.

Методика и интерпретация полевых работ

Как указывалось выше, полевые исследования проводились в районе оползня на восточном крыле Бибиэйбатской брахиантиклинали западнее г. Баку, недалеко от поселка Бадамдар.

Из-за пересеченности рельефа площади исследования в целях уменьшения погрешности в измерениях измерительные линии раскрывались вдоль склона (Eppelbaum, 2019).

Полевые геофизические наблюдения велись с помощью симметричной электроразведочной установки AMNB с разносами AB/2= 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 10; 12; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 24; 26; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 36; 38; 38; 40; 40; 42; 44; 46; 48; 50 м и с разносами MN/2 = 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 1; 0,3; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 2; 1; 2; 2; 2; 2; 2; 2; 3; 2; 3; 2; 3; 3; 3; 3; 3 м.

Питающие электроды соединены проводами ГПСМПО, а приемные электроды подключены через провода типа ГСП-2. Направления исследовательских профилей и местоположения точек наблюдения были определены с помощью GPS. Всего отработано девять профилей – северо-запад–юго-восток I-I, II-II, III-III, IV-IV, V-V и северо-восток–юго-запад VI-VI, VII-VII, VIII-VIII, IX-IX. Измерения производились электроизмерительным прибором АМС-1 на частоте 4.88 Гц.

Для контроля качества измерений в каждой точке наблюдения первые и последние замеры были повторены.

В результате выполненных полевых работ были рассчитаны значения кажущегося $\rho_к$ и удельного $\rho_у$ электрического сопротивления пород, которые слагают геологический разрез. Интерпретация полученных данных проводилась в следующей последовательности:

– рассчитывались значения кажущегося электрического сопротивления по следующей формуле (Якубовский и Ренард, 1991):

$$\rho_к = K \cdot \Delta U / I \text{ (мВ/мА)},$$

где $K=(\pi \cdot AM \cdot AN)/MN$ – геометрический коэффициент установки, ΔU – разность напряжений (мВ), I – сила тока (мА);

– удельное электрическое сопротивление пород рассчитывалось следующим образом (Галин, 1989; Попов и др., 1990):

если $\rho_{к(i)} > \rho_{к(i-1)}$, где i – порядковый номер разноса,

$$\rho_y = \frac{\left[\rho_{к(i)} \cdot \left(AB/2\right)_i - \rho_{к(i-1)} \cdot \left(AB/2\right)_{i-1}\right]}{\left[\left(AB/2\right)_i - \left(AB/2\right)_{i-1}\right]},$$

если $\rho_{к(i)} < \rho_{к(i-1)}$,

$$\rho_y = \frac{\left[\left(AB/2\right)_i - \left(AB/2\right)_{i-1}\right] \cdot \rho_{к(i)} \cdot \rho_{к(i-1)}}{\rho_{к(i-1)} \cdot \left(AB/2\right)_i - \rho_{к(i)} \cdot \left(AB/2\right)_{i-1}},$$

где $(AB/2)_i$ – половина питающей линии.

Для оценки качества полевых работ проводились повторные измерения ВЭЗ в произвольно выбранных точках наблюдения. Для расчета относительной погрешности в точке наблюдения была использована следующая формула (Попов и др., 1990):

$$\omega = \frac{\rho_{к(i.o)} - \left(\frac{\rho_{к(i.o)} + \rho_{к(i.к)}}{2}\right)}{\left(\rho_{к(i.o)} + \rho_{к(i.к)}\right)/2} \cdot 100\%,$$

$\rho_{к(i.o)}$ – значения, полученные при основных измерениях,

$\rho_{к(i.к)}$ – значения, полученные при контрольных измерениях.

Рассчитанная относительная погрешность находилась в пределах, указанных в инструкции по электроразведке.

В результате полевых работ, проведенных методом ВЭЗ по 9 профилям, на основании полученных значений кажущихся $\rho_к$ и удельных $\rho_у$ электрических сопротивлений были построены вертикальные $\rho_к$ и предполагаемые литолого-геофизические разрезы.

При интерпретации результатов полевых геофизических исследований использовались компьютерные программы Surfer 15, ZOND-2 и CorelDRAW-6X.

Краткая геологическая характеристика исследуемого участка

На территории Абшеронского полуострова, в том числе на площади исследования, четвертичные морские отложения в пределах синклинальных прогибов восточной части полуострова залегают согласно на абшеронских слоях. А на антиклинальных поднятиях они лежат несогласно на размытой поверхности плиоценовых, а местами даже миоценовых пород. Низы четвертичных морских отложений представлены в двух фациях: песчаной – на юго-западе и глинистой – на востоке (Azərbaycan Respublikası ərazisində…, 2008).

На поверхности исследуемой площади широко развиты коллювиальные и элювиально-делювиальные отложения четвертичного периода морского (эоплейстоцен, плейстоцен) и континентального (голоцен) происхождения. Эти отложения подвержены действиям сложных геологических и неотектонических процессов.

Значительную роль в тектонике Абшеронской зоны играют предпонтическое (время образования Говдаг-Сумгайытского шарьяжа), предпродуктивное, предбакинское и предгюргянское несогласия, слабую или незаметную роль – несогласия перед акчагылом, средним и верхним абшероном. Большая часть антиклинальных поднятий существовала уже в позднем миоцене (т.е. обязаны своим происхождением движениям аттической фазы тектогенеза – времени образования Говдаг-Сумгайытского шарьяжа), а остальные возникли в век продуктивной толщи, продолжая затем развитие в акчагыле и абшероне (Векилов, 1956).

Анализ распределения литофаций и мощностей плиоцен-четвертичного комплекса отложений показывает, что в формировании современной структуры рассматриваемой области определяющее значение имели нарушения субмеридионального (СЗ-ЮВ, ССЗ-ЮЮВ) и субширотного (З-В, ЗСЗ-ВЮВ) направлений, с которыми связаны наиболее контрастные вертикальные и горизонтальные смещения. Эти нарушения в значительной степени скрыты под покрышкой из позднеплейстоцен-голоценовых образований, но проявлены в обнажениях более древних пород (Azərbaycan Respublikası ərazisində…, 2008).

Абшеронский полуостров характеризуется весьма сложными гидрогеологическими условиями, которые сочетают в себе отдельные элементы гидрогеологии предгорных равнин, морских побережий, степей, обусловленные своеобразными физико-географическими и геолого-геоморфологическими особенностями.

Необходимо отметить, что основными факторами, осложняющими гидрогеологические условия, являются невыдержанность в разрезе и в плане пород-коллекторов, их весьма изменчивый литологический состав, наличие на полуострове большого количества замкнутых синклиналей и мульд, являющихся мелкими бассейнами подземных вод.

Подземные воды Бакинской мульды, приуроченные ко всем стратиграфическим ярусам, образуют единый радиальный поток, направленный от бортов мульды в сторону Каспийского моря.

В Бакинской мульде наблюдается закономерное уменьшение глубины залегания подошвы зоны активного водообмена от нагорной части к морю. Максимальная мощность зоны в Бакинской мульде отмечается в районе Бадамдарского плато, где она имеет значения 60-80 м (Али-заде и др., 1978).

Исследование интенсивности распределения геофизических полей на Абшеронском полуострове показало, что на этой территории магнитное поле не характеризуется аномальными значениями (Azərbaycanın geologiyası, 2015), а в гравитационном поле наблюдается отрицательная аномалия, достигающая -100 – -130 мГал (Кадиров, 2000). Исследования теплового поля показали, что северо-западная часть полуострова является более нагретой. Тепловой поток на территории полуострова изменяется в интервале 40-50 мВт/м^2, а на грязевых вулканах встречаются аномалии, достигающие 90 мВт/м^2 (Якубов, Атакишиев, 1973; Мухтаров, 2004). В отношении радиоактивности пород территория Абшеронского полуострова довольно хорошо изучена. Средний уровень гамма поля здесь достаточно низкий (5±0,75 мкR/час) по сравнению с другими регионами Азербайджана (Azərbaycanın geologiyası, 2015; Алиев, 2005).

Результаты геофизических исследований

Как уже упоминалось, геофизические исследования методом ВЭЗ проводились по девяти профилям, по которым были составлены вертикальные разрезы кажущегося электрического сопротивления, предполагаемые литолого-геофизические разрезы и 3D модель площади исследования (рис. 3).

В результате геофизических исследований было установлено, что кажущиеся ($\rho_к$) и удельные ($\rho_у$) электрические сопротивления пород, слагающих геологический разрез на площади исследования, меняются соответственно в интервалах 0.5 ... 80 Ом·м и 0.3 ... 90 Ом·м.

В составленных предполагаемых литолого-геофизических разрезах прослеживаются в основном пять слоев с разной мощностью и $\rho_у$.

Мощность первого слоя с поверхности земли меняется в интервале 6…10 м, $\rho_у$ – 3-15 Ом·м, мощность второго слоя – 6…8 м, $\rho_у$ – 5…7 Ом·м,

мощность третьего слоя – 5…14 м, ρ_y – 7…12 Ом·м, мощность четвертого слоя – 6…12 м, ρ_y – 10…15 Ом·м, мощность пятого слоя – 10…18 м, ρ_y колеблется между 20…25 Ом·м.

Предполагается, что эти слои в литологическом отношении сложены из разных обломков делювиальных отложений (масса оползня), глин, глин с маломощными прослойками песков, песчаных глин, чередования глин со слабо сцементированными песчаниками.

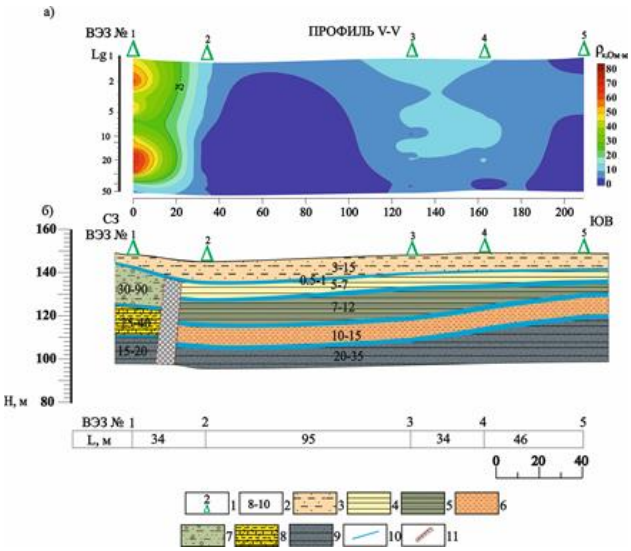


Рис. 3. Вертикальный разрез кажущегося электрического сопротивления (а) и предполагаемый литолого-геофизический разрез (б) по профилю V-V.
1 – точки ВЭЗ и их номера; 2 – удельное электрическое сопротивление пород составляющих геологический разрез; 3 – делювиальные отложения (масса оползня); 4 –глины; 5 – глины с маломощными прослойками песка; 6 – песчаная глина; 7 – слой с различными обломками пород; 8 – чередование глин со слабо сцементированными песчаниками; 9 – глинистые пески; 10 – предполагаемые поверхности скольжения, полученные на основе геофизических данных; 11 – предполагаемая линия разрыва

В северо-западной части исследуемой площади (профиль V-V, ВЭЗ-1) прослеживаются три слоя осадконакопления с ρ_y от 30 до 90 Ом·м. Эти слои состоят из пород делювиальных отложений со слабо сцементированными песчаниками, чередующимися с глинами и глинистыми песками.

В построенных литолого-геофизических разрезах выявлены четыре предполагаемые поверхности скольжения с ρ_y, изменяющимся в диапазоне от 0.5 до 1 Ом·м.

На литолого-геофизических разрезах профилей (VI-VI, VII-VII, VIII-VIII, IX-IX) (рис. 4) в направлениях северо-запад–юго-восток были выявлены ступенчатые маломощные разрывы. Предполагается, что эти линии разрывов являются бровками срыва древних оползней. Углы наклона выявленных предполагаемых плоскостей скольжения этих профилей изменяются примерно в области бровок на 15°, в центре – на 18° и на 12° в языковой части оползня.

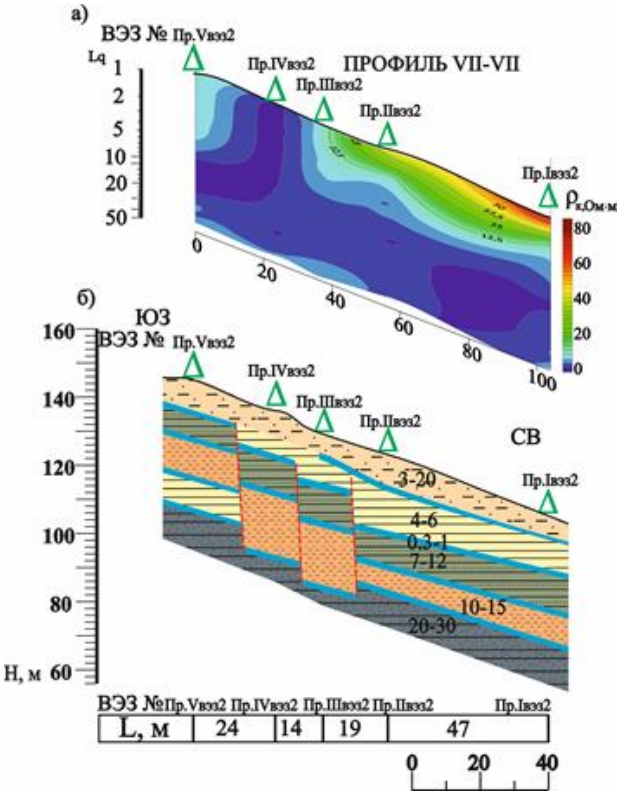


Рис. 4. Вертикальный разрез кажущегося электрического сопротивления (а) и предполагаемый литолого-геофизический разрез (б) по профилю VII-VII (см. условные обозначения на рис. 3)

Геофизические исследования, проведенные в 2019 году, показали, что первая поверхность скольжения от поверхности земли залегает на глубине 8 м в области бровок, в центральной части – на глубине 10 м и 6 м в области языка. Предполагаемые вторая, третья и четвертая поверхности наблюдались на глубинах: 16 м, 18 м, 16 м; 24 м, 26 м, 24 м; 36 м, 42 м, 38 м соответственно.

В результате проведенных геофизических исследований были выявлены предполагаемые значения физических, физико-химических и физико-механических свойств оползневой массы: коэффициент фильтрации K_f = 0.2…0.9 м/сут; пористость n = 25…43% (28-42); плотность породы V_r = 1.54…2.13 т/м^3 (1.8-2.08); скелет породы V = 1.15…1.87 т/м^3 (1.25-1.92); V_{rw} = 0.55…1.54 т/м^3; коэффициент водонасыщенности K_w = 0.3362…0.8431; естественная влажность W_r = 10… 40% (10-37); полная влагоемкость W_o = 12…48%; влажность породы под водой W_{wr} = 15…75%; пластичность t = 7.5…21.5% (6-23) (в скобках инженерно-геологические данные).

На основании полученных данных геофизических исследований геологической среды по значениям $\rho_к$ была построена 3D модель площади исследования (рис. 5).

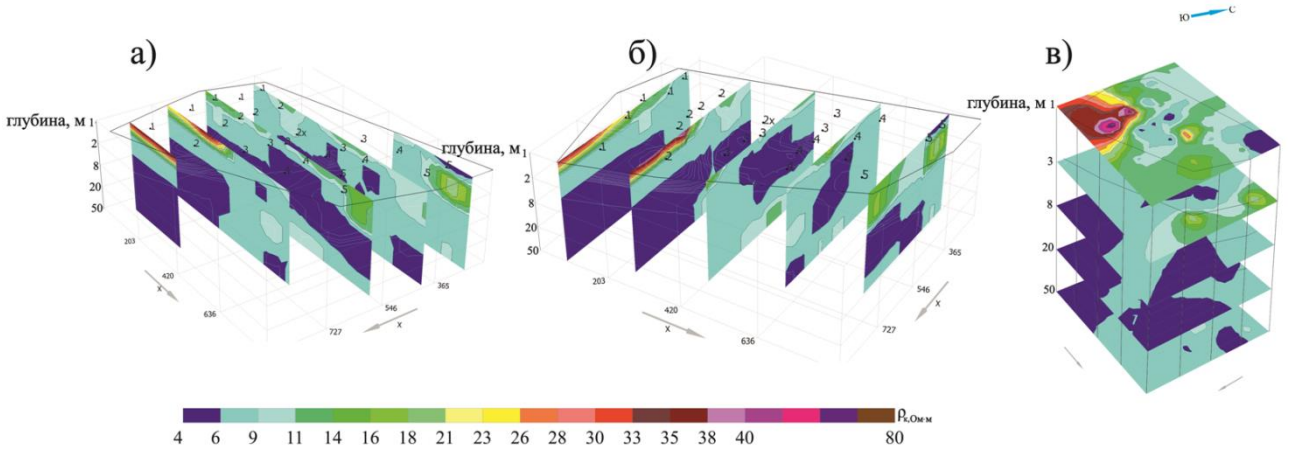


Рис. 5. 3D модель кажущегося электрического сопротивления $\rho_к$ по площади исследования. Срезы по осям: а – X; б – Y; в – Z

Целью построения модели являлось получение представления о литологическом составе пород, слагающих геологическую среду в целом.

Из построенной модели видно, что геологический разрез площади исследования в основном сложен из дисперсных грунтов, у которых диапазон изменения $\rho_к$ довольно большой. Это, по всей вероятности, связано с изменением гидрогеологических условий, а также раздроблением слоев в результате оползневых процессов. Поэтому по площади исследования в распространении $\rho_к$ четкая закономерность не прослеживается. Но надо отметить, что в 3D модели все-таки прослеживается относительная закономерность распространения $\rho_к$ в районе выявленных разрывных нарушений, имеющих направление северо-запад и юго-восток.

Построенная 3D модель позволяет получить дополнительную информацию о вероятном направлении развития экзогенных геологических процессов на участке исследования.

В результате геофизических исследований, проведенных в 2014 году методом электроразведки ВЭЗ по шести профилям, была выявлена предполагаемая поверхность скольжения Бибиэйбатского оползня, которая залегает на глубине 3–9 м от поверхности земли, а также была выделена предположительная граница его развития.

Оползень, произошедший в 2019 году, что называется, подтвердил прогнозируемую в 2014 году границу развития области оползня (рис. 6).

Таким образом, сопоставляя результаты обоих геофизических исследований в районе Бибиэйбатского оползня, можно сказать, что за прошедший период здесь происходили активные геологические процессы, и эти процессы все еще продолжаются.

Из результатов геофизических исследований, проведенных в 2019 году, выявленные поверхности скольжения пересекают слои разного литологического состава. Поэтому этот оползень, вероятно, можно отнести к инсеквентному типу оползня.

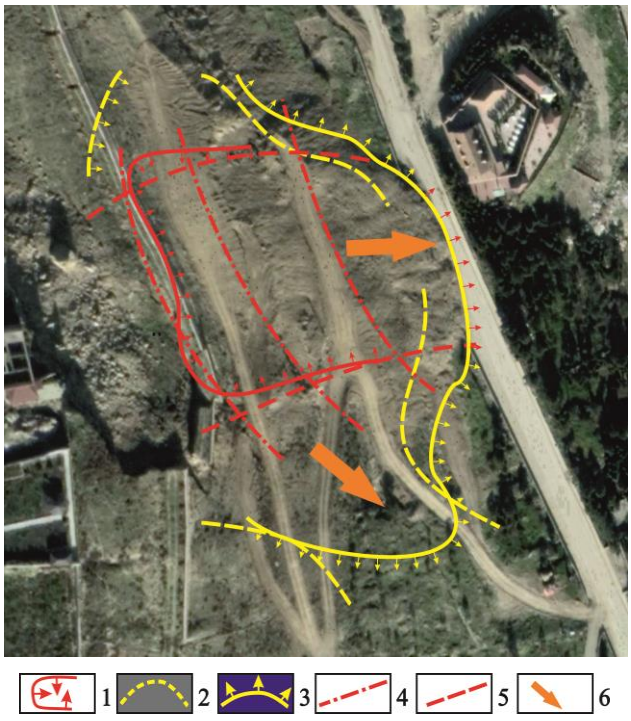


Рис. 6. Вид на оползневую зону

1 – граница скольжения в 2014 году; 2 – прогнозируемая граница зоны скольжения в результате геофизических исследований, проведенных в 2014 году; 3 – граница скольжения в 2019 году; 4 – бровки разрывов предполагаемых древних оползней; 5 – предполагаемые линии разрывов, выявленные в результате геофизических исследований; 6 – вероятное направление скольжения оползневой массы

Из предполагаемых литолого-геофизических разрезов видно, что в центральной части области скольжения наблюдается структурный элемент – малоамплитудный грабен.

Как было отмечено, на площади исследования выявлены разрывные нарушения СЗ-ЮВ направления, которые практически являются областью питания водой разного происхождения. В зависимости от интенсивности питания геологической среды водой может активизироваться любая из вы-

явленных плоскостей скольжения. На склоне наблюдаются значительные несогласия между углом падения склона, падением пластов и углом внутреннего трения пород. Также в результате перегруженности шарнирной части брахиантиклинали строительными объектами, непрерывным питанием склона водой различного происхождения и дизъюнктивными геологическими процессами нарушено естественное равновесие слоев, из которых сложен склон. Следует отметить, что одним из важнейших факторов активизации оползневых процессов является набухание глин при увлажнении, которое приводит к образованию тангенциальных сил, ослабевающих силу сцепления между скользящими поверхностями. Кроме того, неравномерное набухание может привести к нарушению сплошности вышележащего слоя, что в свою очередь приводит к усилению оползневого процесса.

Анализ всех вышеназванных факторов позволяет прогнозировать активизацию экзогенных геологических процессов на данной площади.

Заключение

В результате проведенных геофизических исследований было установлено, что на восточном крыле брахиантиклинали действуют факторы, которые активизируют оползневые процессы:

– происходит постоянное увлажнение плоскостей скольжения водами разного происхождения;

– на площади исследования отмечается значительная разница между углом падения склона и углом внутреннего трения пород и слоев, слагающих геологическую среду;

– выявлены четыре предполагаемые плоскости скольжения, которые залегают на разных глубинах;

– шарнирная часть брахиантиклинали перегружена строительными объектами;

– набухание глин при увлажнении приводит к образованию тангенциальных сил, которые ослабляют силу сцепления между плоскостями скольжения и поверхностями других слоев;

– геологический разрез сложен в основном из чередования маломощных глин с другими литологическими слоями.

Подверженность исследуемой площади разным дизъюнктивным процессам также способствует активизации оползневых явлений.

В результате проведенных исследований было установлено, что влияние вышеупомянутых факторов приводит к активизации оползневых процессов и позволяет прогнозировать его развитие на площади исследования.

Сходимость физических параметров пород оползневого склона, полученных инженерно-геофизическим методом и лабораторными исследованиями, позволяет использовать предложенную методику в качестве предварительного прогнозного мониторинга устойчивости оползневых склонов.

ЛИТЕРАТУРА

Алиев Ч.С. Радиоактивная и геохимическая характеристика мезокайназойских отложений Восточного Азербайджана и их корреляция. Известия НАНА. Науки о Земле, No. 4, 2005, с. 24-27.

Алиев Ф.Ш., Саламов А.М., Али-Заде Х.А., Гюль А.К., Мамедов Ю.Г. Геоморфологические и техногенные предпосылки оползней Баиловского склона (объемно-графическая модель). Известия НАНА. Науки о Земле, No.2, 2008, с. 63-73.

Али-заде С.А., Байрамов А.А., Мамедов А.В., Ширинов Н.Ш. Геология четвертичных отложений Азербайджана. (Объяснительная записка к карте четвертичных отложений Азербайджана масштаба 1:500000). Элм. Баку, 1978, 159 с.

Векилов Б.Г. Четвертичные отложения Прикаспийской зоны Восточного Азербайджана. ДАН АН Азерб. ССР, Т. XIII, No. 2, 1956.

Галин Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики. Недра. Москва, 1989, 114 с.

Кадиров Ф.А. Гравитационное поле и модели глубинного строения Азербайджана. Nafta-Press. Баку, 2000, 112 с.

Мамедов В.А., Саламов А.М., Халилова Х.Х. Исследование влияния антропогенных факторов на изменение геоэкологического состояния оз. Ходжагасан Азербайджана. Записки Горного института, Т. 239, 2019, с. 603-610, DOI 10.31897/PMI.2019.5.603.

Мухтаров А.Ш. Некоторые аспекты формирования теплового поля в Каспийском регионе. Труды Института геологии НАНА, No. 31, 2004, с. 141-147.

REFERENCES

Aliyev F.Sh. Exogenous geological processes in Azerbaijan Republic, method of their study and principles of forecasting. Chashiogu. Baku, 2002, 208 p. (in Azerbaijani).

Aliyev F.Sh., Salamov A.M., Alizadeh Kh.A., Gyul A.K., Mammadov Y.G. Geomorphological and technogenic preconditions of Bailov slope landslides (volume-graphic model). Proceedings of ANAS. The sciences of Earth, 2008, No. 2, pp. 63-73 (in Russian).

Aliyev Ch.S. Radioactive and geochemical characteristics of Meso-Cenozoic deposits of eastern Azerbaijan and their correlation. Proceedings of ANAS. The sciences of Earth, 2005, No. 4, pp. 24-27 (in Russian).

Alizadeh S.A., Bayramov A.A., Mammadov A.V., Shirinov N.Sh. Geology of Quaternary sediments of Azerbaijan. Elm. Baku, 1978, 159 p. (in Russian).

Areas exposed to landslide in the territory of the Azerbaijan Republic. Oguz Eli. Baku, 2008, 200 p. (in Azerbaijani).

Eppelbaum L.V. Geophysical potential fields: geological and environmental applications. Elsevier. Amsterdam – N.Y., 2019, 465 p.

Galin D.L. Interpretation of engineering geophysics data. Nedra. Moscow, 1989, 114 p. (in Russian).

Geology of Azerbaijan. V. II (compiled by Aliyev Ad.A., Aliyev Ch.S., Feyzullayev A.A. et al.). Elm. Baku, 2015, 372 p. (in Azerbaijani).

Kadirov F.A. Gravitational field and models of the deep structure of Azerbaijan. Nafta-Press. Baku, 2000, 112 p. (in Russian).

Mammadov V.A., Salamov A. M., Khalilova H. Kh. Study of the anthropogenic impact on the change of geoecologi-

Попов Е.А., Тен К.М., Фунтиков Г.Н., Селяков В.И., Глушко С.П. Методические рекомендации по использованию ВЭЗ для детального расчленения разреза при решении геологических и инженерно-геологических задач. Ротапринт. Москва, 1990, 52 с.

Саламов А.М., Габибов Ф.Г., Саламов Ф.А. Исследования оползневых процессов на правобережной части Мингечаурского водохранилища методами электроразведки. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета, сер. Строительство и архитектура, В. 3(76), 2019, с. 40-49.

Якубов А.А., Атакишиев И.С. Геотермические исследования нефтегазовых месторождений Апшерона. Азернешр. Баку, 1973, 88 с.

Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. Недра. Москва, 1991, 347 с.

Eppelbaum L.V. Geophysical potential fields: geological and environmental applications. Elsevier. Amsterdam – N.Y., 2019, 465 p.

Azərbaycanın geologiyası (tərtibçilər: Əliyev Ad.A, Əliyev Ç.S., Feyzullayev Ə.Ə. və b.). II cild. Elm. Bakı, 2015, 372 c

Azərbaycan Respublikası ərazisində sürüşmə prosesinə məruz qalmış sahələr. Oğuz Eli Nəşriyyatı. Bakı, 2008, 200 s.

Əliyev F.Ş. Azərbaycan Respublikasında ekzogen geoloji proseslər, onların öyrənilmə metodu və proqnozu prinsipləri. Çaşıoqlu. Bakı, 2002, 208 s.

cal conditions of the Khojahasan lake, Azerbaijan. Journal of mining institute, V. 239, 2019, pp. 603-610, DOI: 10.31897/PMI.2019.5.603.

Mukhtarov A. Sh. Some aspects of formation of thermal field in the Caspian region. Proceedings of the ANAS Geology Institute, No. 31, 2004, pp. 141-147 (in Russian).

Popov E.A., Ten K.M., Funtikov G.N., Selyakov V.I., Glushko S.P. Guidelines for the use of VES for the detailed stratification of the section in solving geological and engineering- geological problems. Rotaprint. Moscow, 1990, 52 p. (in Russian).

Salamov A.M., Gabibov F.G., Salamov F.A. Research of landslide processes on the right-bank part of Mingechaur water reservoir by means of electric prospecting methods. Bulletin of Volgograd State University of architecture and civil engineering. Series: construction and architecture, No. 3(76), 2019, pp. 40-49 (in Russian).

Vekilov B.G. Quaternary deposits of the Pre-Caspian zone of Eastern Azerbaijan. Doklady AS of Azerb.SSR, Vol. XIII, No. 2, 1956 (in Russian).

Yakubov A.A., Atakishiev I.S. Geothermal research of oil and gas fields of Absheron. Azerneshr. Baku, 1973, 88 p. (in Russian).

Yakubowski Yu.V., Renard I.V. Electrical survey. Nedra. Moscow, 1991, 347 p. (in Russian).

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОСТОЧНОМ КРЫЛЕ БИБИЭЙБАТСКОЙ БРАХИАНТИКЛИНАЛИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Саламов А.М., Кадиров А.Г., Мухтаров А.Ш., Заманова А.Г., Гасымов Э.Э.
Институт геологии и геофизики НАНА
AZ1143, г. Баку, просп. Г.Джавида, 119: avazsalamov@yandex.ru

Резюме. В статье даны результаты исследования развития оползневых процессов на восточном крыле Бибиэйбатской брахиантиклинали методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

На поверхности площади исследования в основном развиты элювиально-делювиальные отложения четвертичного периода морского (эоплейстосен, плейстосен) и континентального (голоцен) происхождения. Геологическая среда площади исследования подвержена воздействию сложных геологических и неотектонических процессов.

Полевые геофизические работы проведены по девяти профилям, построены разрезы кажущегося вертикального электрического сопротивления и геоэлектрические разрезы, которые затем были преобразованы в предполагаемые литолого-геофизические.

В результате геофизических исследований было установлено, что кажущиеся и удельные электрические сопротивления пород, слагающих геологический разрез, меняются соответственно в интервалах 0.5 ... 80 Ом·м и 0.3 ... 90 Ом·м.

В составленных предполагаемых литолого-геофизических разрезах прослеживается в основном пять слоев с разными мощностями и удельными электрическими сопротивлениями.

Было проведено детальное литологическое расчленение разреза территории исследования до глубины 50 м; определены мощности оползневой массы и глубины залегания плоскости скольжения; выявлены и прослежены предполагаемые линии разрывных нарушений; построена 3D геофизическая модель зоны оползня.

Выявленный от поверхности земли (масса оползня) первый слой предположительно сложен из различных обломков делювиальных отложений. Остальные слои сложены соответственно из глин, глин с маломощными прослойками песков, песчаных глин, чередования глин со слабо сцементированными песчаниками.

Наличие в геологическом разрезе пород с коллекторными свойствами и разрывными нарушениями создает благоприятные условия для аккумуляции вод различного происхождения в теле оползня, увлажняет плоскость скольжения, что приводит к активизации оползня.

Проведенные исследования показали, что на восточном склоне брахиантиклинали имеются факторы, которые активизируют оползневые процессы.

Ключевые слова*: геофизика, оползень, электроразведка, сопротивление, брахиантиклиналь, разрыв*

BİBİHEYBƏT BRAXİANTİKLİNALININ ŞƏRQ QANADINDA SÜRÜŞMƏ PROSESLƏRİNİN İNKİŞAFININ ELEKTRİK KƏŞFİYYATI ÜSULU İLƏ TƏDQİQİ

Salamov Ə.M., Qədirov A.H., Muxtarov A.Ş., Zamanova A.H., Qasımov E.E.
AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu AZ1143, Bakı, H.Cavid prosp., 119: avazsalamov@mail.ru

Xülasə. Məqalədə Bibiheybət braxiantiklinalının şərq qanadında baş vermiş sürüşmə prosesinin Şaquli Elektrik Zondlama (ŞEZ) üsulu ilə tədqiq edilməsindən bəhs edilir.

Tədqiqat sahəsinin üst hissəsində əsasən dəniz mənşəli dördüncü dövr eopleystosen, pleystosen və kontinental holosen yaşlı delüvial çöküntülər inkişaf etmişdir.Sahənin geoloji mühiti mürəkkəb geoloji və neotektonik proseslərin təsirinə məruz qalmışdır.

Geofiziki tədqiqatlar doqquz profil üzrə aparılmış və alınmış məlumatlar əsasında şaquli fərz olunan elektrik müqaviməti və geoelektrik kəsilişlər qurulmuşdur. Geoelektrik kəsilişlər əsasında yenidən ehtimal olunan litoloji-geofiziki kəsilişlər tərtib edilmişdir. Geofiziki tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, geoloji kəsilişi təşkil edən süxurların fərz olunan elektrik müqavimətləri ρ_f və xüsusi elektrik müqavimətləri ρ_x müvafiq olaraq 0.5...80 Ом·м və 0.3...90 Ом·м arasında dəyişir.

Aparılmış geofiziki tədqiqatlarla ərazinin geoloji kəsilişini təşkil edən litoloji tərkiblər 50 m dərinliyə qədər bölgülərə ayrılmış, ehtimal olunan sürüşmə kütləsinin qalınlığı və sürüşmə müstəvisinin yatma dərinliyi müəyyən edilmiş, ehtimal olunan qırılma pozulmaları aşkar edilərək izlənilmiş, sürüşmə kütləsinin 3D geofiziki modeli tərtib edilmişdir. Geoloji kəsilişdə yer səthinə yaxın birinci qat müxtəlif süxur qırıntılarından (sürüşmə kütləsi), delüvial çöküntülərdən, müvafiq olaraq növbəti qatlar gillərdən, gillərin az qalınlıqlı qumlarla növbələşməsindən, qumlu gillərdən, gillərin zəif sementləşmiş qumdaşı qatları ilə növbələşməsindən təşkil olunmuşdu. Sahənin geoloji kəsilişində kollektor xüsusiyyətli süxurların və qırılma pozulmalarının mövcudluğu sürüşmə kütləsində müxtəlif mənşəli suların toplanması üçün əlverişli şəraitin formalaşmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində sürüşmə proseslərini aktivləşdirir.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində Bibiheybət braxiantiklinalının şərq qanadında sürüşmə proseslərini aktivləşdirən faktorların olması müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: *geofizika, torpaq sürüşməsi, elektrik kəşfiyyatı, müqavimət, braxiantiklinal, qırılma*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2020**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ANALYSIS OF SEDIMENTARY THICKNESS, VOLUMES AND GEOGRAPHIC EXTENT OF THE WORLD SEDIMENTARY BASINS

Abdullayev N.R.

Institute of Oil and Gas, Azerbaijan National Academy of Sciences
9, F.Amirov ave., Baku, AZ1000, Azerbaijan: Nazim_Abdullayev@hotmail.com

Keywords: *sedimentary basins, South Caspian, sediment volumes, sediment thickness, stratisphere*

Summary. Paper gives a brief overview of the sedimentary cover of the Earth and summarizes volumes of sediments and mass contained in the Earth Sedimentary layer (so called stratisphere). Using publically available data author also shows unique nature of the South Caspian Basin and demonstrates number of other rapidly subsiding basins that have an attenuated crust and thick sedimentary cover. The subsidence in basins results from crustal stretching, sedimentary and tectonic loading, and changes in the thickness or density of adjacent lithosphere and allows for sediments to be deposited. Sedimentary, crustal and lithospheric thickness correlation is discussed in this paper. Most of the world's basin volume and thicknesses vary according to the 80/20 (Pareto distribution) rule power law, where about 80% of the sediment volume has accumulated in the largest 20% of basins by volume. Lognormal correlation between basin size and thickness is observed for passive margins and extensional basins. Passive margins are about 4 km thick on average, foreland basins are about 3 km and cratonic sags are 2 km on average. South Caspian, however together with a number of other basins, is anomalous because of combination of flexural effect reducing its area and rapid Pliocene sedimentation rates. For example, more than 1.8 million cubic kilometres of net rock volume (or a solid sediment mass of 4.42*10^9 tons) have accumulated in the South Caspian basin since its inception; of which 595 thousand km^3 was in Pliocene (33%) and 221 thousand km^3 in Quaternary. Volume and sedimentation rates in Pliocene in SCB exceed equivalent sedimentation rates in Bengal fan – largest sedimentary sink in the world.

© 2020 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

Knowledge about temporal and geographic distribution of sedimentary rocks on Earth comes from combinations made by Alexander Borisovich Ronov and Viktor Yefimovich Khain at the Vernadski Institute of Geochemistry of the academy of sciences of the USSR in Moscow. The compilation started in 1947 and included data on areas, volumes and masses of all continents except Antarctica and also from ocean basins. Thickness of the sedimentary basins of the world have been counted many times since that time most famously by Ronov (1993), Southam and Hay (1981), Kunin (1987), Berry and Wilkinson (1994). Most of the development has been summarized by Hay (1984), who gives very extensive review of distribution of mass-age of sediments on the continental blocks and additional data sediment that lies on the ocean floor based on Kunin (1987). Estimates from this study are within the range of estimates from previous studies.

Most of the world's sediment cover is in the sedimentary basins on the continents or continental margins with smaller portion of sediments on the oceanic crust. Sedimentary basins are regions of Earth of long-term subsidence creating accommodation space for infilling by sediments. The subsidence in the basins can result from crustal stretching, sedimentary and tectonic loading, and changes in the thickness or density of adjacent lithosphere. Grouping and analyzing sedimentary basins together one can find correlations amongst key geometric and volumetric parameters. The second objective of the study is to find anomalies or outliers such as South Caspian Basin in the distributions.This basin is unique in that it has much larger average thickness than others (13 km) and stands apart in any distributions.

Data sources and method

The data inputs for this study were derived from a number of open sources, including digitized sediment thickness maps from ICONS atlas project from

Earthbyte website (https://www.earthbyte.org/Resources/ICONS/index.html), supplemented by more global sediment thickness map of the World compilation by Gabi Laske in UCSD: https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sediment.html. Sedimentary basin shapes were taken from CGG Robertson and ICONS basin shapes, where available. For the crustal and lithospheric thickness map I used updated global crustal model called LITHO1.0 https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/litho1.0.html from Institute of Geophysics and Planetary Physics in UCSD. In addition some of sedimentary or crustal thicknesses were taken from more localized maps, such as ones for SCB from Abdullayev et al. (2015). The surface areas were measured directly from maps and no account was taken of the previous changes in basin shape, thus underestimating the original size of older basins. Mean thickness was estimated from the distribution of thickness values within geographical boundaries of the basin. Then the volume of the sediments in cubic meters was appraised by multiplying area by mean thickness. I calculated total volumes of sediments: net rock volumes calculations have been done for South Caspian only.

Fig.1 shows sediment thickness map of the world from which global sedimentary thicknesses and volumes were estimated. Study tabulates these for almost 900 sedimentary basins of the world located on continents on continental margins. Sediments deposited on oceanic crust were excluded from calculations as well as basins of Antarctica for which data is limited. Higher quality estimates come from there where regional sedimentary thickness maps were available in ICON atlas: Africa, Arabian Peninsula, Arctic, Austria, Caspian Region, China, Central Europe, North America, South America, Siberia and South East Asia. The largest sedimentary sinks shown on the Fig.1 are only in few areas of the globe.These sinks include South Caspian, Pre-Caspian, Mediterranean, Bengal Fan in Eurasia and Gulf of Mexico in America.

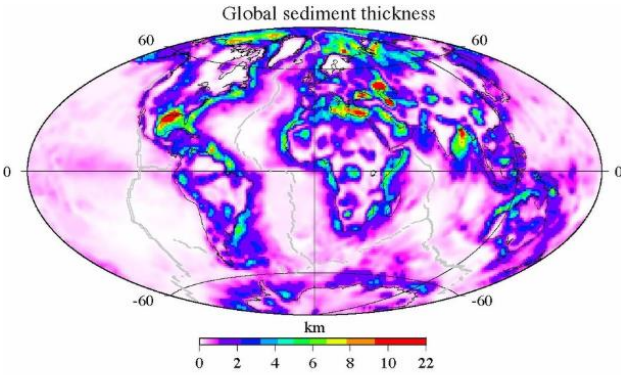


Fig. 1. World's sedimentary thickness map taken from this compilation by Gabi Laske in UCSD: https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sediment.html

Results: global view of crustal, sediment and lithosphere thickness

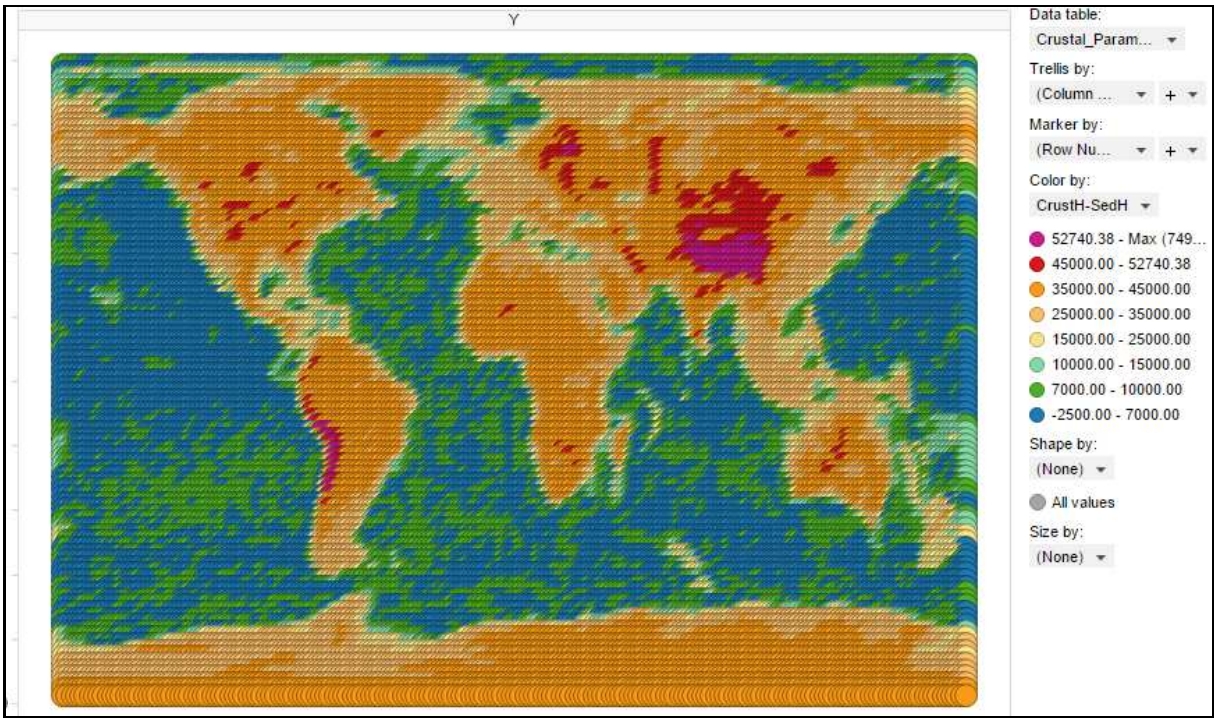


Fig. 2. Crustal thickness of consolidated crust (with sediment thickness excluded) in meters from the global crustal model LITHO1.0 https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/litho1.0.html

Using the data from LITHO1.0 models I made a map of crustal thickness (Fig. 2) and studied the relationships between different crustal parameters globally. Continental crustal thicknesses range between 30 to 70 km (Fig. 2) but with "average" thickness of around 35 km (Khain, 1982), which can be seen in Fig. 3A. The crust is divided into two layers: upper crust "granitic" and lower crust "basaltic" with the so-called upper crust granitic layer having thickness of around 20-25 km and density of 2700 kg/m^3 (Allen and Allen, 2013). The lower crust has mostly basaltic composition. Oceanic crust thickness is more uniform and is around 10 km (Fig. 3A and B). Crustal thickness distribution on Fig. 3A is bimodal where oceanic crust sits at one end with high frequency of occurrence (majority of the world's surface area are oceans) and continental crust has a range between 30 to 50 km. Thickest sedimentary sinks (>10 km) are mostly associated with continental crust, except South Caspian Basin which is located over attenuated oceanic-type crust. Fig. 3B shows relationship between sedimentary thickness and crustal thickness as bounded by bell-shape of a Gaussian fit (Fig. 3B). Large sediment sinks like Pre-Caspian, Gulf of Mexico sit on the upper end of this curve fit. South Caspian Basin sits apart with much reduced crustal thickness and is the only large basin in LITHO1.0 model not fitting the curve.

Earth's lithosphere includes the crust and the uppermost mantle, which constitute the hard and rigid outer layer of the Earth (Allen and Allen, 2013). Oceanic lithosphere is typically about 50-140 km thick (but beneath the mid-ocean ridges is no thicker than the crust), while continental lithosphere has a range in thickness from about 40 to 240 km with an average of 150 km or so. Linear relationship exists between lithospheric thickness and crustal thickness for both oceanic and continental lithosphere as shown in Fig.3C. Sedimentary basins with a thick cover are developed on continental lithosphere that ranges between 100 and 220 km in thickness.

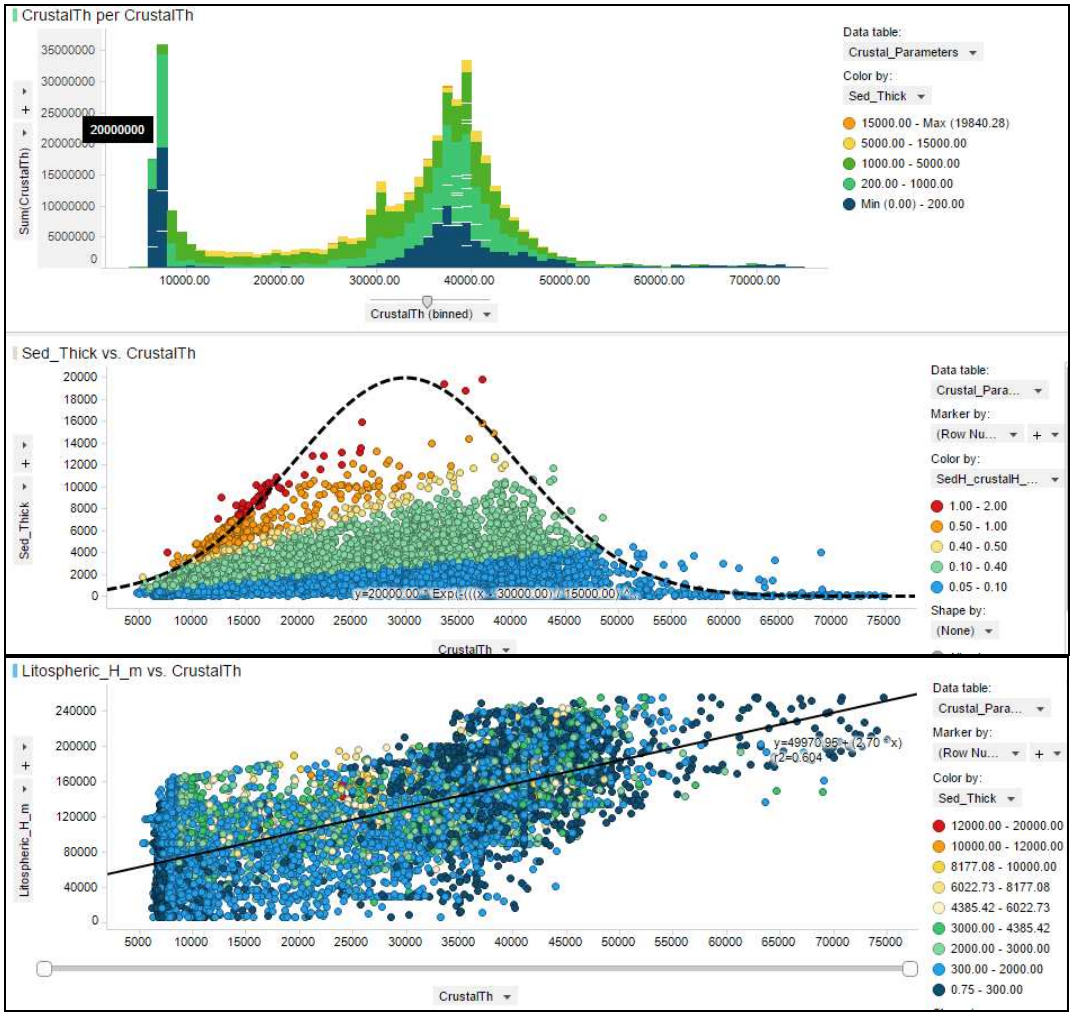


Fig. 3. Sedimentary thickness and crustal thickness distributions: A) crustal thickness distribution B) sediment thickness/crustal thickness ratio and C) lithospheric thickness vs. crustal thickness

The ratio of sedimentary layer to non-sedimentary (consolidated) crustal thickness is mostly below 1.0 and exceeds 1.0 only in few basins, where sediments are very thick (Fig. 4). These basins are South Caspian, Pre-Caspian, Bengal Fan, Guyana-Amazon Fan, West Black Sea, East Mediterranean, Gulf of Mexico, Canadian Beaufort Basins, Laptev Sea, Santos Basin and few others. Fig. 4 shows the concentration of these basins, most of these basins are in the margins of the continents, except of the Pre-Caspian (interior continental sag). South Caspian and Black Sea are unique among them – in being basins with attenuated oceanic crust trapped between colliding continents. Again these basins typically have a relatively thin lithosphere of less than 100 kilometers thick.

Results: volumes, thickness and area trends for sedimentary basins

Most of up to 900 sedimentary basins are located on passive, active or rifted margins of the continents and interior of the continents such as cratonic sags, aulacogens or failed rifts. Most of the sediments are located in Eurasia (almost 50%), followed by sediments in North America, Africa, South America and Australia (Fig. 5). Most of sediment accumulated during Phanerozoic was in mudstones and equally distributed in Paleozoic, Mesozoic and Cretaceous. Passive continental margins contain more than 40% of sediment volumes. Volumes estimates in this study are biased toward Cenozoic basins and less active margins, because older basins get consumed and have more modified surface areas.

Ronov (1993) compared four estimates of the total global mass of sedimentary rocks obtained by different authors. His estimate (113E+21 kg or 11.8+18 m^3 of which 7.6E+17 m^3 are on the continents) coincided within 5% to that of Southam and Hay (1981) who estimated 111.5E+21 kg and of Khain et al. (1982) who estimated 110.4E+21 kg). Estimates (97.0 x 1021 kg) in Kunin (1987), based on extrapolation of geophysical data on Eurasia to other continents differed from other estimates. My estimates using ICONS dataset are within 70% of the Ronov's estimates: 5.32E+17m^3 on the continents, excluding Antarctica. The discrepancies are probably in underestimation of some of the basin volumes outside detailed areas.

Out of this number Cenozoic rocks contain 1.79E+17 m^3 (34% of total), Cenozoic Eurasia is 7.73E+16 m^3, and Cenozoic Northern Eurasia (Central, Eastern Europe, Caspian Region and Far East) is around 3.03E+16 m^3 (8% of total).

There is a power law relationship between volumes and area of basins; their correlations are well defined by a logarithmic function and can be shown on Fig. 6.

(1) Area (X) and Volume (X):
$Log_{10}(y)= 4.11+(0.65*Log_{10}(x))$ R2=0.75

(2) Mean Thickness (Y) and Volume (X):
$Y=0.28+((43.54-0.28)/1.00-10^{0.32*(18.55-Log10(x))}))$

This relationship holds very true for the specific case of passive margin basins which occupy 40% of sediments. This can be true because they have very linear dependency between sediment wedge and area.The basins have relatively gradual transition between edges and the center of the basins and they are not generally bounded by steep faults creating rapid sediment thickness transitions.

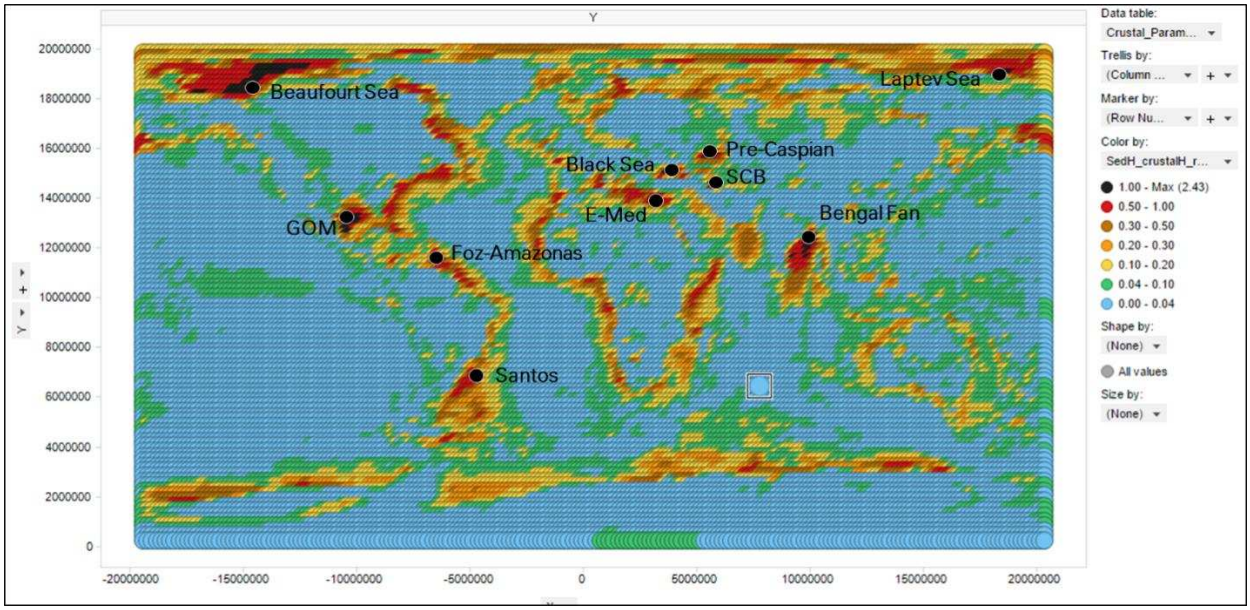


Fig. 4. Ratio of sedimentary thickness to non-sedimentary crustal thickness. Regions of low ratio denote little sedimentation. Red circles show the mega-basins that occupy most of the world where sediments are so thick that the ratio is larger than 1.

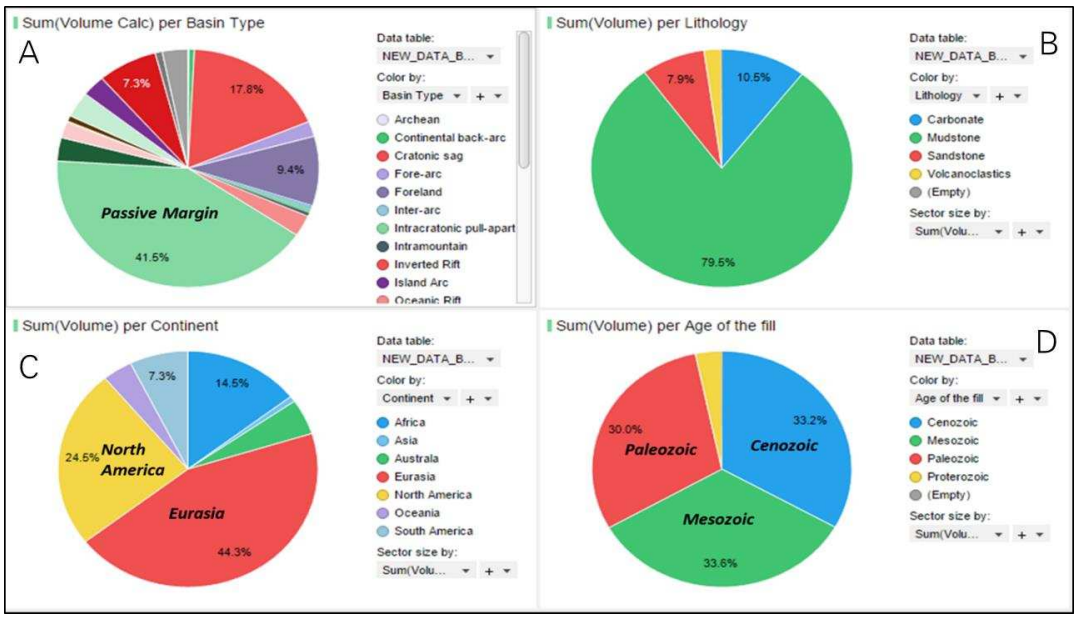


Fig. 5. Pie charts distributing sediment volume by basin type (A), lithology (B), continents (C), and sediment fill age (D)

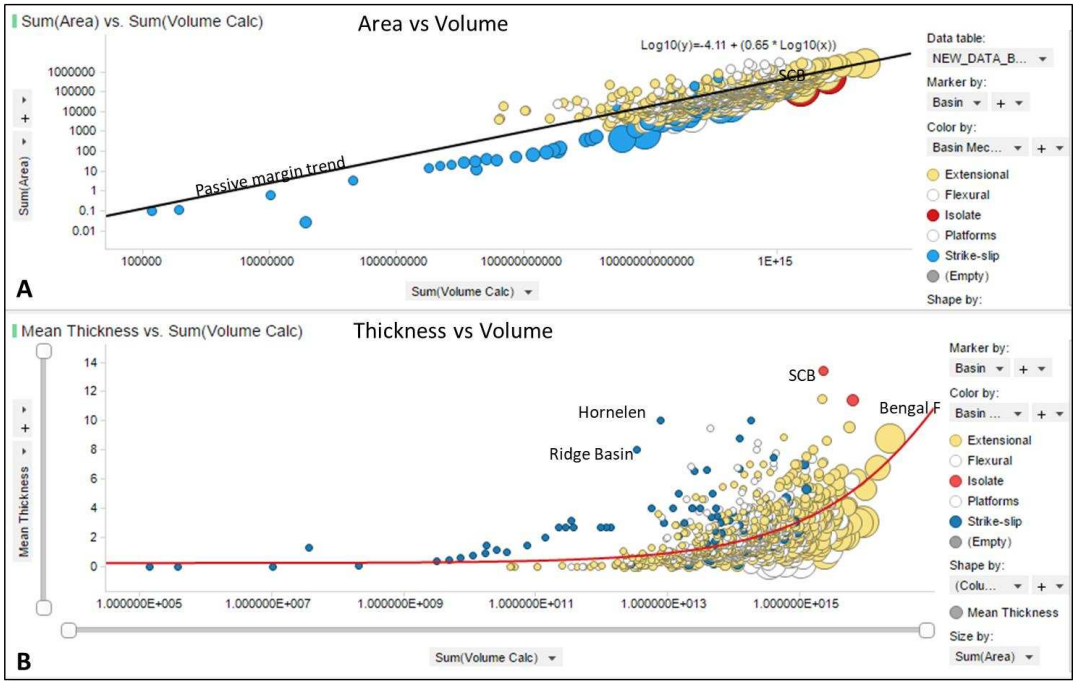


Fig. 6. Worldwide Basin Trends – A) Log/Log trend of the area vs. volume and B) lognormal trend of average thickness vs. volume (km^3). Passive margin trend is highlighted in upper two illustrations. Yellow circles show extensional basins, blue circles show strike-slip basins which deviate from the trend. Red is SCB and Pre-Caspian. Size of circles in Fig. 6A shows mean thickness and on Fig. 6B – present day area

All of the nearly 1000 basins are plotted in Fig. 6 which graphically shows distribution of basins by area, mean thickness and volume. Cumulatively it can be shown that the volume of sediments is spread out unevenly with 200 largest basins containing 80% of all the sediments in the world. It is also important to note that Bengal Fan is the most voluminous basin in the world (shown by the largest circle on Fig. 6B) and contains 5.4% of sediment volume calculated dominating all others. How thicknesses vary by basin type can also be seen in Fig. 7, with thickest average and maximum thicknesses in the group I called "isolates" that includes large Eurasian basins surrounded by active orogenic belts and/or continental margins underlain by attenuated or simply oceanic type such South Caspian, Pre-Caspian both Black Sea basins. World's more than 140 passive margins by contrast are on average 3.2 km thick, intracratonic basins – 1.8 km thick, and deepwater arc-related basins are 1.5 km thick.

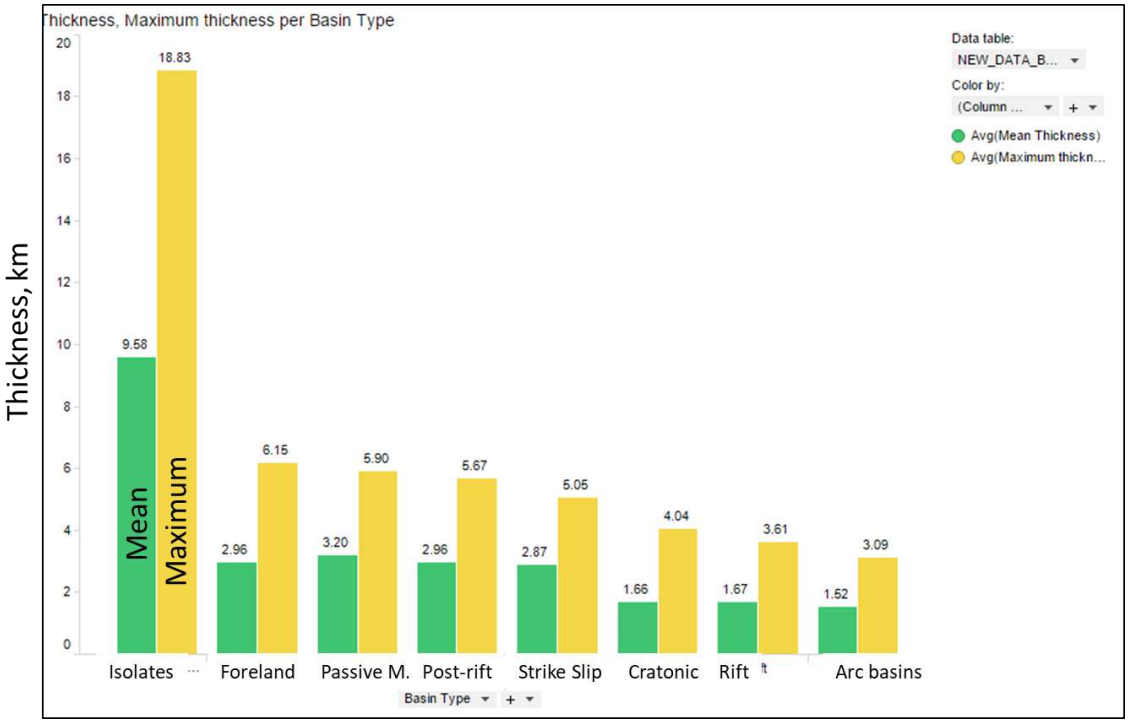


Fig. 7. (A) Distribution of mean and maximum thickness by key basin type

South Caspian Basin anomaly

Fig. 6 shows that two types of basins do not fit the derived trend: 1) some pull-apart basins in active areas and 2) "isolates" with trapped oceanic crust with South Caspian, most anomalous of all in terms of sedimentation rates and resulting thickness. SCB deviates significantly from other basins in a correlation of mean thickness to sediment volume (Fig. 6 and 7). It shows that with an average thickness of 13 km and a maximum of 26 km SCB dominates all other sedimentary basins and does not fit passive margin trend from Equation (2). While there are some other, mostly pull-apart basins such as Ridge Basin in California (Allen and Allen, 2013) which have extremely thick average sediment thickness, they are small and sediment volume in them is insignificant. SCB in contrast is the 50th sedimentary basin in the world. Pre-Caspian basin is also anomalously thick but most of the thickness is in Paleozoic and sedimentation rates are much lower.

More than 2.3E+15 m^3 of sediments or 1.8E+15 m^3 of net rock volume (or a solid sediment mass of 4.42*10^9 tons with porosity excluded) have accumulated in the SCB since its inception; of which 595 thousand km^3 was in Pliocene (33%) and 221 thousand km^3 in Quaternary (Abdullayev et al., 2015). The Pliocene age Productive Series represents significant increase in sedimentary volume after a base level fall in Early Pliocene. This increase occurred during a relatively short period of time between 3.6-4 Myr and 2.71Myr (Abdullayev et al., 2018). It is interesting to observe that volume and sedimentation rates in Pliocene in SCB exceed equivalent sedimentation rates in Bengal Fan.

A way to explain anomalous sedimentary thickness of the South Caspian Basin is shown in Fig. 8. I see three key reasons for the anomaly. Firstly, the sediment volume in SCB is anomalous because oceanic-type crust that underlies would allow for excess subsidence when loaded by sediments.

Secondly, there are extremely high sedimentation rates creating this sediment loading. This happens during Pliocene Productive Series (PS) – a unique time when after a base-level fall and an isolation of the basin, more than 5 kilometers of sediments were deposited during 1 million years as a result of integration of large part of Eurasian river drainage into the SCB (Abdullayev et al., 2018). If the extreme sedimentation rates of PS were to be substituted by much smaller pre-Pliocene ones (at 300 m/Mya) then mean thickness would be reduced from 13.4 to 9 km much smaller but still high compared to the passive-margin trend (Fig. 8).

Thirdly, the present basin area is too small for its thickness. The basin in the past must have been aerially larger and was diminished as a result of significant shortening starting from Oligocene. If one assumes that SCB retained its volume inside the calculated shapes then in order to match the average trend line (pre-shortening) the area would have to be 2.5 times larger and mean thickness would have to be reduced to 3.7 km.

Step	Models	Mean H, km	Area, km2	Volume, m3	Explanation
1	Present day surface area and volume	13.4	172,000	2.3048E+15	
2	SCB without anomalous Pliocene sedimentation rates	9	172,000	1.548E+15	Removing anomalous Pliocene thick and subsituting with average sedimentation rate of Oligocene
3	Increased basin area in the past	3.68	420,000	1.54476E+15	SCB without Pliocene thick and increased in areal size to match Passive Margin trend

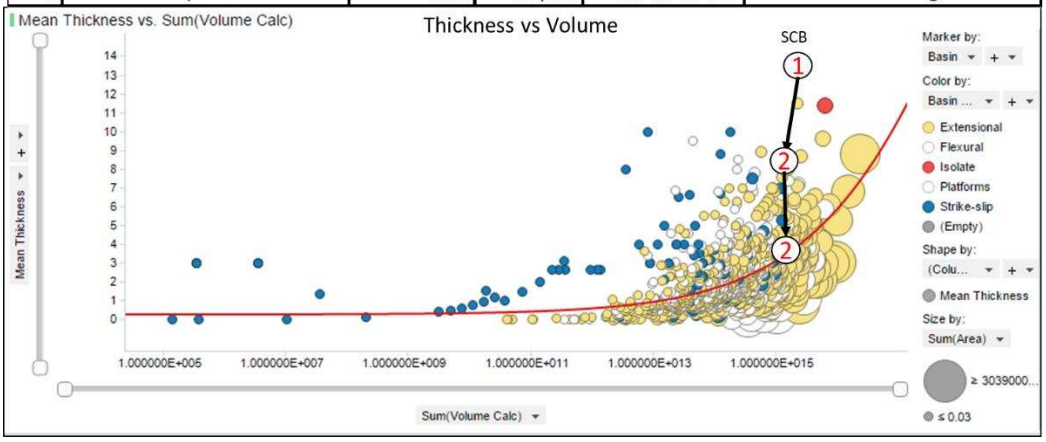


Fig. 8. Mean thickness vs. volume trend and three steps to explain anomalous behavior of the South Caspian Basin

Conclusion

The study estimated the volume within more than 900 sedimentary basins of the world on the continents and continental margins, excluding Antarctica with a total figure of 5.32E+17m^3.The study found that basins follow well behaved trends associated with the power law regression based on passive margins which in total make 40% of all sedimentary volumes. Average thickness of a basin is around 3 km, typical of passive margins and forelands. Outside that trend there are some outliers, mostly pull apart basins or basins with unusually thick sedimentary pile surrounded by active orogens. Chief among anomalous basins is South Caspian Basin with its anomalous sedimentary thickness and Pliocene age extremely high depositional rates.

Increase in sediment volume and sedimentation rates in South Caspian of this period are related to integration of the Eurasian river drainage into this small basin. This was coeval to increase in sedimentation rates recorded last 2 to 4Myr around a globe in a variety of settings, implying increasing erosional rates related to a change from a period of climatic stability to a more variable period of frequent and abrupt changes in climate. Reasons for such increase are hotly debated with two points of view – global uplift or climatic changes, after the onset of Northern Hemisphere glaciation. South Caspian Basin captured about 9% of sediment volume of Northern Eurasia. Understanding the history of basin fill of this volume, the provenance of sediment and key causes behind sediment input into the basin will shed light in global climate patterns in Northern Hemisphere.

LITERATURE

Abdullayev N.R., Kadirov F., Guliyev I.S. Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling and gravity modelling. Geological Society, London, Special Publication, V. 427, 2015, pp. 175-196, https://doi.org/10.1144/SP427.5

Abdullayev N.R., Weber J., Aliyeva E. et al. Detrital zircon and apatite constraints on depositional ages, sedimentation rates and provenance: Pliocene Productive Series, South Caspian Basin, Azerbaijan. Basin Res., V. 30, No. 5, 2018, pp.1-28.

Allen Ph.A., Allen J.R. Basin Analysis. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, XII, 2013, 619 p.

REFERENCES

Abdullayev N.R., Kadirov F., Guliyev I.S. Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling and gravity modelling. Geological Society, London, Special Publication, V. 427, 2015, pp. 175-196, https://doi.org/10.1144/SP427.5

Abdullayev N.R., Weber J., Aliyeva E. et al. Detrital zircon and apatite constraints on depositional ages, sedimentation rates and provenance: Pliocene Productive Series, South Caspian Basin, Azerbaijan. Basin Res., V. 30, No. 5, 2018, pp. 1-28.

Allen Ph.A., Allen J.R. Basin Analysis. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, XII, 2013, 619 p.

Berry J.P., Wilkinson B.H. Paleoclimatic and tectonic control on the accumulation of North American cratonic sediment. Geol. Soc. Am. Bull., V. 106, 1994, pp. 855-865.

Laske G. A global digital map of sediment thickness. University of California San Diega, Institute of Geophysics and Planetary Physics**,** USA, https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/sediment.html

Hay W.W. Pleistocene-Holocene fluxes are not the Earth's norm. In: Hay W., Usselman T. (eds) – Material fluxes on the surface of the Earth: studies in geophysics. National Academy Press. Washington, D.C., 1994, pp. 15-27.

Southam J.R., Hay W.W. Global sedimentary mass balance and sea level changes. In: Emiliani C. (ed.) – The Sea, V. 7. The Oceanic Lithosphere. Wiley-Interscience. New York, 1981, pp. 1617-1684.

Kunin N.Y. Distribution of sedimentary basins of Eurasia and the volume of the Earth's sedimentosphere. Int. Geol. Rev., V. 29, No. 11, 1987, pp. 1257-1264.

Ронов А.Б. Стратисфера или осадочная оболочка Земли. Наука. Москва, 1993, 143 с.

Хаин В.Е., Левин Л.Е., Тулиани Л.И. Некоторые физические параметры глобальной структуры Земли. Геотектоника, Т. 16, 1982, с. 443-453.

Berry J.P., Wilkinson B.H. Paleoclimatic and tectonic control on the accumulation of North American cratonic sediment. Geol. Soc. Am. Bull., V. 106, 1994, pp. 855-865.

Laske G. A global digital map of sediment thickness. University of California San Diega, Institute of Geophysics and Planetary Physics, USA, https://igppweb.ucsd.edu/~gabi/ sediment.html

Hay W.W. Pleistocene-Holocene fluxes are not the Earth's norm. In: Hay W., Usselman T. (eds) – Material fluxes on the surface of the Earth: studies in geophysics. National Academy Press. Washington, D.C., 1994, pp. 15-27.

Khain V.E., Levin L.E., Tuliani L.I. Some physical parameters of global structure of the Earth. Geotectonics, V. 16, 1982, pp. 443-453 (in Russian).

Kunin N.Y. Distribution of sedimentary basins of Eurasia and the volume of the Earth's sedimentosphere. Int. Geol. Rev., V. 29, No. 11, 1987, pp. 1257-1264.

Ronov A.B. Stratisphere or Earth's sedimentary shell. Nauka. Moscow, 1993, 143 p. (in Russian).

Southam J.R., Hay W.W. Global sedimentary mass balance and sea level changes. In: Emiliani C. (ed.) – The Sea, V. 7, The Oceanic Lithosphere. Wiley-Interscience. New York, 1981, pp. 1617-1684.

АНАЛИЗ МОЩНОСТЕЙ, ОБЪЕМОВ И ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА БАССЕЙНОВ МИРА

Абдуллаев Н.Р.
Институт нефти и газа НАН Азербайджана
AZ1000, Баку, ул.Ф.Амирова, 9: Nazim_Abdullayev@hotmail.com

Резюме. В статье дается краткий обзор по осадочному чехлу Земли и обобщаются объемы и массы осадков, находящихся в недрах стратисферы (осадочного слоя нашей планеты). Используя общедоступные данные из различных источников, автор показывает, насколько уникален Южно-Каспийский бассейн (ЮКВ), и приводит примеры нескольких других быстро погружающихся бассейнов с утоненной корой и мощным осадочным слоем. Погружение бассейна вызвано расширением коры, тектонической и осадочной нагрузкой, а также изменением мощности и плотности литосферы, что создает условия для накопления осадков. В статье показано, что объемы осадков в осадочном чехле меняются согласно правилу Парето (так называемое правило 80/20), поскольку 80% процентов всего объема осадков содержатся в самых больших по объему 20% бассейнов мира. Логарифмическая зависимость между размером бассейна и его объемом особенно четко наблюдается в бассейнах пассивных окраин и бассейнах растяжения (рифтах и вертикального погружения). Бассейны пассивных окраин в целом более распространены по миру, обладая до 40% всей мощности осадков мира. Пассивные окраины характеризуются в среднем мощностью 4 км, бассейны форланда – 3 км, а межкратоновые впадины – менее 2 км. Южно-Каспийский бассейн вместе с другими быстропогружающимися и ограниченными по площади бассейнами мира является определенно аномальным из-за сочетания флексурного эффекта, уменьшившего его территорию, и быстрого осадконакопления в плиоцене. Так, более чем 1.8 миллионов кубометров осадков (или масса осадков весом 4.42*10^9 тонн) было накоплено в Южно-Каспийском бассейне со времен его зарождения, из них 595 тысяч кубометров отложились в плиоцене (33%), а 221 тысяча кубометров осадков – в четвертичное время. Объем и скорости осадконакопления в плиоцене даже превышают таковые в Бенгальском заливе – самом объемном осадочном бассейне мира, в котором находится более 5% всех осадков мира.

Ключевые слова: *осадочные бассейны, Южный Каспий, объемы осадков, стратисфера*

DÜNYA HÖVZƏLƏRİNİN ÇÖKÜNTÜ ÖRTÜYÜNÜN QALINLIQLARI, HƏCMLƏRİ VƏ COĞRAFİ YAYILMASININ TƏHLİLİ

Abdullayev N.R.
AMEA Neft Və Gaz Institutu
AZ1000, Bakı şəh., F.Əmirov küç.,9: Nazim_Abdullayev@hotmail.com

Xülasə. Məqalədə Yerin çöküntü örtüyünün qısa icmalını, eləcə də çöküntülərin həcmi və onların Yerin çöküntü layında (Stratisfera) kütləsinin hesablamasını təqdim edilir. Müəllif dərc olunmuş məlumatları toplayaraq Cənubi Xəzər hövzəsinin unikallığını, eləcə də nazikləşmiş qabığa və qalın çöküntü örtüyünə malik olan bir sıra digər hövzələri təhlil edir. Hövzələrdə çökmə prosesi qabığın dartılması, çöküntü və tektonik yüklənmə, litosferin qalınlığı və ya sıxlığının dəyişilməsi əmələ gələn çöküntülərin toplanmasına imkan yaradır. Məqalədə çöküntü, qabıq və litosfer nisbəti müzakirə edilir. Dünyanın əksər hövzələrində həcm və qalınlıq 80/20 qanuna əsasən (Pareto paylaşması) ayrılır; beləliklə, çöküntülərin 80%-i həcmə görə 20% təşkil edən hövzələrdə yerləşir. Hövzənin ölçüsü və qalınlığı arasındakı loqarifmik nisbət daha yaxşı passiv kənarlar və uzadılmış hövzələrdə müşahidə edilir. Passiv kənarlar (passive margins) ən həcmli olaraq (ümumi həcmin 40%-ni təşkil edir) qalınlığı orta hesabla 4 km təşkil edir, forland hövzələri 3 km yaxın və kratonik depressiyalar isə orta hesabla 2 km təşkil edir. Cənubi Xəzər, bir sıra di-

gər hövzələrlə birgə ərazisinin azaldan fleksural effektlərin kombinasiyası və yüksək Pliosen çöküntü sürəti ilə əlaqədar anomallıq nümaiş etdirir. Cənubi Xəzər hövzəsinin yaranmasından başlayaraq, hövzədə 1.8 milyon kub kilometr həcmində xalis (netto) çöküntülər toplanmışdır (və ya 4.42*10^9 ton olan bərk çöküntü kütləsi). Onlardan həcmi 595 000 km^3çöküntülər Pliosenə (33%), 221 000 km^3 isə Pleystosen dövrünə təsadüf edir. Pliosendə Cənubi Xəzər hövzəsində çöküntülərin həcmi və cöküntu toplanma sürətləri hətta Dünyanın ən geniş çöküntülü Benqal fendakı çöküntü sürətlərini aşmışdır.

Açar sözlər: *cöküntü hövzələri, Cənubi Xəzər Hövzəsi, çöküntü həçmi, stratisfera*

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2020

Theory and practice of oil and gas fields development

http://www.journalesgia.com

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕДОБЫЧЕ НА ДЛИТЕЛЬНО РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

Алиев Дж.А.

SOCAR, НИПИ«Нефтегаз»

AZ1012, Баку, Азербайджан, просп. Г.Зардаби, 88A: camal.aliyev1965@mail.ru

ABOUT SOME RESULTS OF NANOTECHNOLOGY APPLICATION TO OIL RECOVERY AT MATURE OIL FIELDS IN AZERBAIJAN

Aliyev J.A.

SOCAR, "OilGasScientificResearchProject" Institute

88A, H.Zardabi pr., Baku, AZ1012: camal.aliyev1965@mail.ru

***Keywords**: oil, nanosubstances, enhanced oil recovery, oil transportation*

Summary. The efficiency of the use of nano-technologies for increasing the productivity of wells and field equipment is shown on the example of mature oil producing fields in Azerbaijan. The studies indicate that high viscosity of oils and disruption of hydrodynamic connectivity between the reservoir and borehole are major reasons for low productivity of wells. A special nano-composition of organic solvent, surfactant and metallic nano particles has been developed to stimulate flow of asphaltene-rich oils from reservoir into well bore. At Palchyg Pilpilesi oilfield injection of the nano-system into the reservoir was implemented in 2-3 steps, allowing a 1-2 hour-long time break between them. Upon completion of the operations the well was kept shut in-waiting for uniform spread of the solution under built up pressure. Thanks to the measures at Palchyg Pilpilesi field, precipitation of asphalt, resin and paraffin materials was prevented, deposits were removed from the bottom-hole zone and from the pipe surfaces, oil viscosity was reduced as well. The use of nano-systems contributed to expansion of the fluid filtration zone in poorly permeable layers around the bottom-hole zone, thereby promoting oil production increase. At the "Bibiheybat" oil-and-gas production department the nano-composition was pumped into an underground in-field flow line connecting the lease tank with the field tank. This led to dissolution of the carbonate deposits and formation of nano-layer on inner surface of the flow line. As a result, the time period between repairs of the flow line increased to 4 times. Apart from this field trials of nano-particle treated liquid injection into the reservoir at Bibiheybat oilfield has shown efficiency of these measures. A total daily production on five wells occurring under the impact of injection well amounted at 1.8 t/day, while watercut reduced by 2.5 t/day. The results obtained indicate that by treating the bottom-hole zone in water flooded and marginal wells with specially developed nanocompound solutions a signifiacant increase in oil production can be achieved.

© 2020 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Для Азербайджана, являющегося одним из старейших нефтегазодобывающих регионов мира, остро стоит проблема повышения нефтеотдачи пластов длительно эксплуатируемых месторождений. Длительность промышленной добычи на некоторых месторождениях суши уже превысила 150-летнюю отметку. В последнее время особое внимание обращено разработке новых технологий на основе применения композиционных реагентов с использованием нано-частиц (Юсифзаде, Шахбазов, 2011; Шахбазов и др., 2016).

Благодаря внедрению программы «Нано-нефть» на нефтегазодобывающих предприятиях Государственной Нефтяной Компании Азербайджанской Республики на обводненных и малодебитных скважинах, удалось добиться увеличения добычи нефти в 2.0-2.5 раза, достигнув при этом снижения энергозатрат (Шахбазов и др., 2011; Шахбазов и др., 2012).

Одной из наиболее перспективных технологий в этой области является обработка призабойной зоны скважин специально разработанными растворами – нанокомпозициями, включающими комплекс ПАВ и наночастиц (Шахбазов, Дышин, 2011) (рис.1).

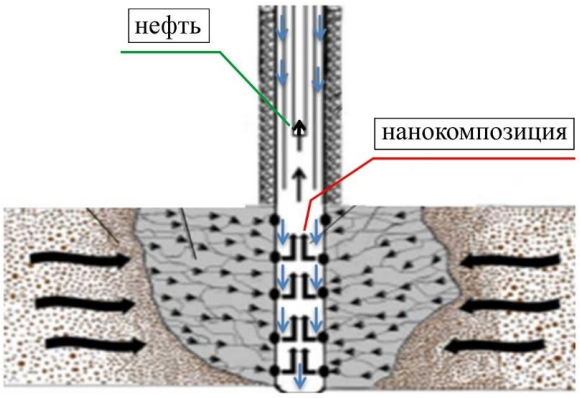


Рис. 1. Схема обработки призабойной зоны скважины раствором

Путем применения небольших добавок наночастиц в раствор ПАВ улучшаются его нефтевымывающие свойства, повышается гидрофобизирующий эффект минеральной матрицы породы и таким образом осуществляется более полный охват пластов закачиваемой жидкостью (Хавкин, 2007). При этом наиболее эффективное вытеснение нефти достигается применением многокомпонентных составов ПАВ различной молекулярной композиции типа НАНО-ПАВ (Shahbazov et al., 2018).

Нефти, добываемые большинством эксплуатационных скважин на месторождении Палчыг Пилпилеси (Грязевая сопка), относятся к категории высоковязких. Согласно осредненным лабораторным данным, кроме легкой фракции, в составе нефтей месторождения присутствуют смолы – 23%, асфальтены – 6% и парафины – 8%. Высокая вязкость и нарушенность гидродинамической связи между пластом и скважиной считаются основными причинами малопродуктивности последних. Наиболее широко используемым методом решения данной проблемы являлась обработка призабойного пространства скважины химическими реагентами. Исследования показали, что традиционные методы недостаточно эффективны для обеспечения интенсификации добычи на данном месторождении, и возникла необходимость в новых мероприятиях, основанных на разработке и применении нано-систем. Таким образом, для стимулирования перетока в системе «пласт-скважина» при высоких содержаниях асфальтено-смоло-парафиновых веществ (АСПВ), увеличения добычи и преодоления технологических осложнений транспортировки была разработана специальная нано-смесь. Совместное действие этой смеси, состоящей из органического растворителя, ПАВ и металлических наночастиц, описывается теорией «эффекта малых концентраций и возмущений» (Шахбазов, Мурсалова, 2016). В этой публикации в виде таблиц и диаграмм представлены положительные результаты влияния концентраций наночастиц алюминия на текучесть и вязкость нефти в пластовых условиях. Кроме того, на основе лабораторных измерений показано снижение поверхностного натяжения при различных концентрациях механических наночастиц (МНЧ) в растворе НАНО-ПАВ (Шахбазов, Дышин, 2011, с. 8).

Разработанная нано-система была применена на скважине №1155 указанного месторождения. Закачка нано-раствора в затрубное пространство скважины была осуществлена на малых оборотах агрегата. По достижении жидкостью фильтра боковая задвижка доступа в затрубное пространство запиралась, затем оставшаяся часть раствора закачивалась перерывами до полного введения в пласт. В качестве нагнетательной жидкости был использован раствор с концентрацией 0.3-0.5% ПАВ. Нагнетание нано-системы в пласт осуществлялось в 2-3 этапа с 1-2 часовыми перерывами между ними. По завершении скважина закрывалась на 10-12 часов с целью равномерного распространения реагента в пласте под действием образовавшегося давления. Закачка раствора умеренными темпами и его поэтапно-прерывистая реализация обеспечили эффективное впитывание раствора в капиллярную сеть порового пространства вокруг забоя скважины (рис. 1).

Применение данной нано-системы привело к увеличению добычи нефти, предотвращению оседания АСПВ, удалению осадков с призабойной зоны и с поверхности труб, понижению вязкости нефти. В результате применения нано-системы были очищены даже малые поровые каналы пласта, и тем самым повысилась эффективность эксплуатации скважин. Следует отметить, что этот нано-состав характеризуется хорошей растворимостью в нефти и ее продуктах.

Согласно «эффекту малых концентраций и возмущений», внедряемые в пласт наночастицы создают термический эффект, а также явление электронно-парамагнитного резонанса на поверхностях раздела фаз (рис. 2). Это хорошо видно на примере нагнетания обработанной нано-раствором жидкости в пласт в пределах V горизонта продуктивной толщи на месторождении Бибиэйбат. В зоне воздействия нагнетательной скважины №2065 находились 5 скважин. В табл. 1

приводятся среднемесячные дебиты этих скважин до и после применения нано-систем.

Таблица 1

Среднемесячные дебиты скважин до и после применения нано-систем на месторождении Бибиэйбат

№ п.п.	№ скв.	Дебиты до воздействия		Дебиты после воздействия	
		Нефть (т/сут.)	Вода ($м^3$/сут.)	Нефть (т/сут.)	Вода ($м^3$/сут.)
1	2380	0.4	2.1	0.7	1.7
2	2387	1.1	12.0	1.4	13.1
3	2799	0.9	5.4	1.8	2.0
4	2818	0.5	1.5	0.6	1.8
5	2933	0.4	1.9	0.6	1.8
Сумма:		**3.3**	**22.9**	**5.1**	**20.4**

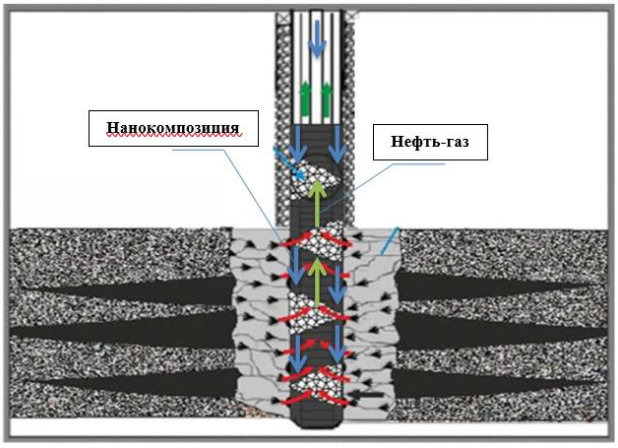


Рис. 2. Схема влияния наночастиц на создание термического эффекта и электронно-магнитного резонанса на поверхности раздела фаз

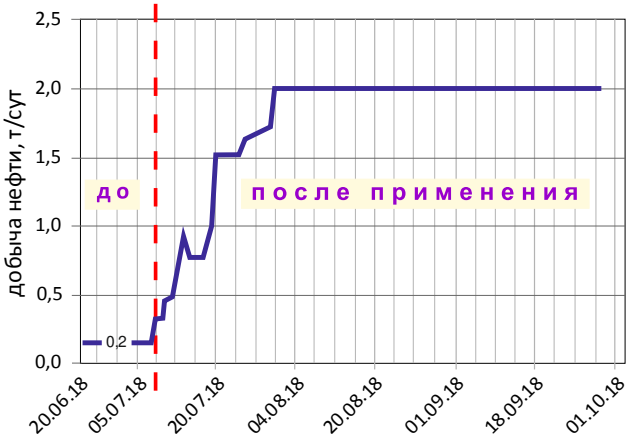


Рис. 3. Динамика изменения производительности скважины №1155 месторождения Палчыг Пилпилеси до и после воздействия нанокомпозициями

Таким образом, в результате обработки пласта раствором, включающим наночастицы, суммарная суточная добыча по указанным пяти скважинам была увеличена с 3.3 до 5.1 т/сут, т.е. был достигнут прирост, равный 1.8 т/сут. Кроме того, дебит пластовой воды упал на 2.5 т/сут, что соответствует 11%-му снижению обводненности. Касаясь экономической выгоды этого мероприятия, заметим, что расходы, связанные с приростом добычи, в данном случае составили 1838 ман. При этом чистая дисконтированная прибыль рассчитана на уровне 4503 ман.

Нано-системы обладают магнитными свойствами, сохраняющимися до температуры 120°C. Воздействуя на механические примеси (АСПВ, соли, пески и п.), нано-система осуществляет переход в новую – так называемую «нано-зародышевую» фазу (Простаков и др., 1982).

До применения нано-раствора на скважине №1155 месторождения Палчыг Пилпилеси суточный дебит жидкости составлял 2.7 т/сут. Только небольшая часть продукции (0.2 т/сут) состояла из нефти. Сильно обводненная продукция содержала также обильную долю механической примеси – песка. Благодаря применению нано-раствора добыча нефти увеличилась, достигнув стабильного дебита 2.0 т/сут, причем уже воды и песка в продукции практически не было. В течение последующих 16 месяцев после нано-применения осложнений не отмечалось. На рис. 3 приводится диаграмма изменения производительности скважины в период до и после воздействия на пласт. Ранее на месторождении Палчыг Пилпилеси были отдельные случаи закачки в пласт растворов с добавлением ПАВ. Однако в результате применения разработанных нами нанокомпозиций были получены более высокие и устойчивые дебиты.

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что применение нано-систем способствовало расширению зоны фильтрации флюидов в слабопроницаемых слоях вокруг призабойной зоны, предотвратило осадконакопление на насосно-компрессорных трубах, тем самым повысив длительность межремонтного периода скважин. Одновременно благодаря воздействию нано-растворов была понижена вязкость тяжелых асфальтено-смолистых нефтей, что увеличило эффективность их добычи и транспортировки.

Способность ПАВ создавать устойчивые адсорбционные пленки на поверхности металла находит широкое применение, при этом состав и структура адсорбционных слоев зависит от обрабатываемой поверхности, химических свойств используемых реагентов и многих других факторов.

Нашими учеными были опубликованы материалы об исследованиях структуры порового пространства, а также о распределении нано-включений в образцах пород и флюидов под ска-

нирующим электронным микроскопом, в которых отмечены положительные результаты в отношении улучшения реологических свойств жидкости (Şahbazov, 2019, стр.68).

Экспериментально показано, что путем введения в среду глина-песок наночастиц железа (или алюминия) в составе бентонитового нанокомпозита и полиакриламида при умеренной температуре (333-363°K) происходят каталитические реакции с выделением пузырьков окиси углерода, водорода, аммиака и ацетилена. Благодаря этому в среде значительно повышается давление, способствующее вытеснению нефти из пористой среды (Мирзаджанзаде и др., 2005).

Имеются также сообщения о результатах экспериментов по снижению поверхностного натяжения нефти в поровом пространстве. Благодаря применению смеси «нано-сульфанол» удалось снизить на более чем 70% поверхностное натяжение и существенно увеличить косинус угла смачивания с 0.76 до 0.95.

Применение нанотехнологий является одним из перспективных направлений повышения эффективности транспортировки сырой нефти в промысловых условиях. С их помощью можно многократно снизить расходные нормы.

В этом плане интересен опыт применения нанотехнологий на НГДУ «Бибиэйбат» для разрешения проблем, возникших при перекачке нефти со сборочного парка №4 в цех подготовки товарной нефти. Нанокомпозиция была закачана в 6-ти дюймовый подземный коллектор, соединяющий промысловый резервуар со сборочным парком товарной нефти, расстояние между которыми составило 3 км. Специально подготовленная нано-смесь имела коллоидную консистенцию. Ее применение привело к растворению карбонатных отложений и формированию нано-слоя на внутренней поверхности коллектора. В результате снизилось гидравлическое сопротивление течению жидкости, улучшилась текучесть нефти и было предотвращено осаждение механических примесей. Межремонтный период коллектора вырос до 4 раз (рис. 4).

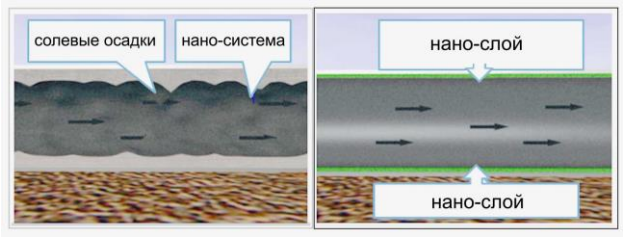


Рис. 4. Схема влияния нанокомпозиции (ПАВ+МНЧ) на снижение сил поверхностного натяжения на межфазной контактной поверхности

Во время транспортировки высоковязких нефтей, наряду с изменением напряжения скольжения, изменяются также свойства эластичности и электропроводности. Изменение электропроводности и реологических особенностей сырья находится в зависимости от количества имеющихся в его составе АСП соединений. Как известно, очищение коллекторов и нефтепроводов от механических осаждений на участках их перегиба с помощью шаровых скребков невозможно.

На рис.5 приводится диаграмма, иллюстрирующая динамику изменения давления в коллекторе и на выходе насоса закачки нефти до и после применения нанокомпозиции. В результате снижения гидравлического сопротивления давление на выходе насоса закачки нефти снизилось с 11.5 до 7.0 атм, а в самом 6-ти дюймовом коллекторе оно упало с 12.0 до 9.0 атм, что положительно отразилось на расходах электроэнергии и привело к ощутимой экономии средств. Ниже приводятся данные замеров давления на коллекторе и выходе насоса, зафиксированные в ходе применения нано-систем (табл. 2). Эти данные основываются на замерах в нефтепромысловых условиях в течение продолжительного времени. Благодаря нано-добавкам была осуществлена очистка коллектора от АСП и других тяжелых осаждений. Наряду с этим, благодаря формирующемуся на внутренней поверхности коллектора нано-покрытию, отмечено снижение силы поверхностного натяжения жидкости на ее контакте со стенками трубы. Необходимо отметить, что добавление наночастиц меди к ПАВ и применение полученной композиции привело к улучшению гидродинамических характеристик течения нефти. Было отмечено более интенсивное течение жидкости по коллекторам и трубопроводам.



Рис. 5. Диаграмма, иллюстрирующая динамику изменения давления в коллекторе и на выходе насоса закачки нефти до и после применения нанокомпозиции

Таблица 2

Динамика изменения давления в 6-ти дюймовом нефтяном коллекторе
до и после применения нано-системы (НГДУ «Бибиэйбат», промысел №4)

Дата	До применения, атм		Дата	После применения, атм	
	Давление на линии	Давление на выходе насоса		Давление на линии	Давление на выходе насоса
15.12.11	11.5	12.0	23.02.12	10.5	12.0
19.12.11	11.5	12.0	25.02.12	10.0	12.0
21.12.11	11.5	12.0	27.02.12	9.5	12.0
23.12.11	11.5	11.5	29.02.12	9.5	12.0
25.12.11	11.5	11.5	02.03.12	8.0	11.0
27.12.11	11.5	12.0	04.03.12	8.25	11.0
			06.03.12	8.0	10.5
			08.03.12	8.0	10.5
			10.03.12	8.0	10.5
			12.03.12	8.0	10.5
			14.03.12	8.0	10.0
			16.03.12	7.75	9.75
			18.03.12	7.0	9.0

В соответствии с уменьшением гидравлического сопротивления наблюдалось снижение давления в трубах. Согласно оценкам, пропускная способность труб увеличилась на 1.2-1.5%. В результате дополнительной теплогенерации, создаваемой нано-воздействием, происходит расплавление отложенных АСПВ, их растворение в потоке жидкости и удаление из трубного пространства.

Металлические наночастицы, применяемые в виде добавок к ПАВ, играют важную роль в процессе снижения влияния сил поверхностного натяжения, образующихся на межфазовой контактной поверхности (Мирзаджанзаде и др., 2010). Увеличение концентрации молекул МНЧ в смеси при постоянном количестве ПАВ, приводит к перераспределению связей. Так, молекулы ПАВ, ранее адсорбированные на поверхности наночастиц, создают ассоциации с новыми МНЧ, поступившими в смесь позднее. Это способствует дополнительной активизации мицелл в жидкости. Во время транспортировки нефти они создают тончайшие, но в то же время устойчивые пленки, препятствующие образованию эмульсий на границе контакта вода-нефть. При этом, образующиеся пленки улучшают течение жидкости благодаря проявлению смазывающего эффекта между флюидами разного состава. Опыт совместного применения ПАВ и МНЧ для деэмульсации нефти показал высокую эффективность такого комплексного раствора. Кроме того, отмечен так называемый «эффект медузы» – физико-химическое явление, оказывающее антифрикционное влияние в зоне контакта компонентов жидкости.

Наряду с указанными положительными эффектами от нано-применений, необходимо отметить также экономические выгоды, связанные с энергосбережением и продлением срока эксплуатации труб и оборудования на промыслах, благодаря антикоррозионному влиянию нановеществ. Образующиеся нано-покрытия ослабляют коррозионные процессы, тем самым увеличивая эксплуатационный период трубопроводов и нефтегазопромыслового оборудования.

Расчеты показали, что применение нано-систем может обеспечить мультипликативный эффект и значительную экономическую выгоду при эксплуатации месторождений нефти.

ВЫВОДЫ

Добавление нановеществ к жидкостям придает им уникальные характеристики. Специально разработанные нано-композиции значительно повышают нефтевымывающие, смазывающие и растворяющие свойства рабочих жидкостей, применяемых в промысловых условиях.

Нано-системы способствуют снижению поверхностного натяжения на контакте жидкость-металл, ослаблению гидравлического сопротивления и увеличению пропускной способности транспортных линий путем создания нано-покрытия на внутренних стенках коллекторов и труб.

Результаты обработки призабойной зоны скважины на месторождении Палчыг Пилпилеси специально разработанными растворами – нанокомпозициями (комплекс органических растворителей, ПАВ и металлических наночастиц) показали эффективность нано-воздействия с целью повышения нефтеотдачи пластов с высоким содержанием асфальтено-смолопарафиновых веществ.

На примере опыта закачки обработанной нано-раствором жидкости в пласт на месторождении Бибиэйбат показана эффективность мероприятия, приведшего к увеличению добычи нефти. По пяти скважинам, находящимся в зоне воздействия нагнетательной скважины, суммарный суточный прирост дебита составил 1.8 т/сут, при этом параллельно на 2.5 т/сут снизилась обводненность.

Путем применения нано-растворов достигнуто улучшение показателей трубопроводной транспортировки сырой нефти в условиях НГДУ «Бибиэйбат» и отмечено 4-х кратное увеличение межремонтного периода линий.

ЛИТЕРАТУРА

Мирзаджанзаде А.Х., Магеррамов А.М., Юсифзаде Х.Б. и др. Изучение влияния наночастиц железа и алюминия на процесс повышения интенсивности газовыделения и давления с целью применения в нефтедобыче. Bakı Universitetinin Xəbərləri, Təbiət elmləri seriyası, No. 1, 2005, с. 5-13.

Мирзаджанзаде А.Х.**,** Юсифзаде Х.Б., Шахбазов Э.К., Кязимов Э.А. и др. Научные основы разработки и внедрения нанотехнологий в нефтяной промышленности. Нанонаука и нанотехнологии. Энциклопедия систем жизнеобеспечения. UNESCO-EOLSS, Москва, раздел 2.12, 2010, с. 554-570.

Простаков С.М., Дрикер Б.Н., Ремпель С.И. Определение параметров зародышеобразования сульфата кальция различными методами. Журнал прикладной химии, Т. 5, No. 11, 1982, с. 2576-2579.

Хавкин А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти. Нефтяное хозяйство, No. 6, 2007, с. 58-60.

Шахбазов Э.К. Нанотехнологии в нефтяной промышленности. Баку, 2012, 230 с.

Шахбазов Э.К., Дышин О.А. Научные основы системы НАНО-ПАВ для бурения и добычи нефти и газа. SOCAR. Баку, 2011, 59 с.

Шахбазов Э.К., Исмаилов Ф.С., Мурсалова М.А. Повышение эффективности процессов нефтегазодобычи с использованием композиционных реагентов НАНО-ПАВ. В: Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi, I beynəlxalq konfransın materialları. Bakı, 2011, с. 189-192.

Шахбазов Э.К., Кязимов Э.А., Джаббарова К.Ш., Алиев Дж.А. Наносистемы для повышения эффективности нефтедобычи в Азербайджане. В материалах V Международной конференции «NANOTECHOILGAS-2016». Москва, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М.Губкина, 22-23 ноября 2016 г., с. 89-90.

Шахбазов Э.К., Мурсалова М.А. «Эффект малых концентраций и возмущений»: НАНО-ПАВ для процессов нефтедобычи. Изд. SOCAR НИПИ «Нефтегаз». Баку, 2016, 38 с.

Юсифзаде Х.Б., Шахбазов Э.К. Разработка и внедрение нанотехнологий в нефтегазодобыче. SOCAR. Баку, 2011, 108 с.

Shahbazov E.G., Bagirov A.C., Aliyev C.A. Application of nanosystems for improving residual oil recovery in aging fields. Journal “Scientific Israel – Technological Advantages", V. 20, No. 5, 6, 2018, pp.81-84.

Şahbazov E.Q. Neft sənayesində elmi məqalələr toplusu. Elm. Bakı, 2019, 120 s.

REFERENCES

Khavkin A.Ya. Nanotechnologies in oil industry. Neftyanoye Khozyaystvo, No. 6, 2007, pp. 58-60 (in Russian).

Mirzadjanzadeh A.Kh., Maharramov A.M., Yusifzadeh Kh.B. et al. Study of the iron and aluminium nanoparticles influence on the increase of outgassing and pressure intencity process for use in oil production. Bakı Universitetinin Xəbərləri. Təbiət elmləri seriyası, No. 1, 2005, pp. 5-13 (in Russian).

Mirzadjanzadeh A.Kh., Yusifzadeh Kh.B., Shahbazov E.G. et al. The scientific basis for the development and implementation of nanotechnologies in oil industry. Nanoscience and nanotechnologies. UNESCO-EOLSS Encyclopedia of Life Support Systems. Moscow, Chapter 2.12, 2010, pp. 554-570 (in Russian).

Prostakov S.M., Driker B.N., Rempel S.I. Determination of the parameters for calcium sulphate nucleation using various techniques. Applied chemistry journal, V. 5, No. 11, 1982, pp. 2576-2579 (in Russian).

Shahbazov E.G. Nanotechnologies in oil industry. Baku, 2012, 230 p. (in Russian).

Shahbazov E.G. Collection of scientific articles on oil industry. Elm. Baku, 2019, 120 p. (in Azerbaijani, Russian and English).

Shahbazov E.G., Bagirov A.C., Aliyev C.A. Application of nanosystems for improving residual oil recovery in aging fields. Journal “Scientific Israel – Technological Advantages", V. 20, № 5, 6, 2018, pp. 81-84.

Shahbazov E.G., Dyshin O.A. The scientific basis of the NANO-SAS system for oil and gas drilling and production. SOCAR. Baku, 2011, 59 p. (in Russian).

Shahbazov E.G., Ismailov F.S., Mursalova M.A. Increasing of efficiency of the oil and gas production processes using NANO-SAS compositional reagents. In: Materials of 1st International conference “Nanotechnologies and their applications”, Baku, 2011, pp.189-192 (in Russian).

Shahbazov E.G., Kazimov E.A., Jabbarova K.Sh., Aliyev C.A. Nanosystems for hydrocarbon production efficiency upgrading in Azerbaijan. In*:* Materials of V International conference “NANOTECHOILGAS-2016”, Moscow, National University of Oil and Gas "Gubkin University", November 22-23, 2016, pp. 89-90 (in Russian).

Shahbazov E.G., Mursalova M.A. The effect of low concentrations and perturbations. NANO-SAS for oil extraction processes. SOCAR OGSRPI publishing, Baku, 2016, 38 p. (in Russian).

Yusifzadeh Kh.B., Shahbazov E.G. Development and implementation of nanotechnologies in oil and gas production. SOCAR. Baku, 2011, 108 p. (in Russian).

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕДОБЫЧЕ НА ДЛИТЕЛЬНО РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

Алиев Дж.А.
SOCAR, НИПИ«Нефтегаз»
AZ1012, Баку, Азербайджан, просп. Г.Зардаби, 88A: camal.aliyev1965@mail.ru

Резюме. На примере длительно разрабатываемых нефтяных месторождений Азербайджана показана эффективность применения нанотехнологий для повышения производительности скважин и промыслового оборудования. Исследования показали, что высокая вязкость нефти и нарушенность гидродинамической связи между пластом и скважиной являются основными причинами малопродуктивности скважин. Была разработана специальная нано-смесь, состоящая из органического растворителя, ПАВ и металлических наночастиц с целью стимулирования перетока в системе «пласт-скважина» при высоких содержаниях асфальтено-смоло-парафиновых веществ. На месторождении Палчыг Пилпилеси нагнетание нано-системы в пласт осуществлялось в 2-3 этапа с 1-2 часовыми перерывами между ними. По завершении скважина закрывалась на 10-12 часов с целью равномерного распространения нано-раствора в пласт под действием образовавшегося давления. Благодаря данному мероприятию на месторождении Палчыг Пилпилеси было предотвращено оседание асфальтено-смолистых и парафинистых веществ, удалены осадки с призабойной зоны и с поверхности труб, понижена вязкость нефти. Применение нано-систем способствовало расширению зоны фильтрации флюидов в слабопроницаемых слоях вокруг призабойной зоны, тем самым содействуя увеличению добычи нефти. На НГДУ «Бибиэйбат» нанокомпозиция была закачана в подземный коллектор, соединяющий промысловый резервуар со сборочным парком товарной нефти. Это привело к растворению карбонатных отложений и формированию нано-слоя на внутренней поверхности коллектора. В результате межремонтный период коллектора вырос до 4 раз. Кроме того, на примере опыта закачки обработанной наночастицами жидкости в пласт на месторождении Бибиэйбат показана эффективность мероприятия. По пяти скважинам, находящимся в зоне воздействия нагнетательной скважины, суммарный суточный прирост дебита составил 1.8 т/сут, при этом параллельно на 2.5 т/сут снизилась обводненность. Результаты наших опытов свидетельствуют о том, что путем обработки призабойной зоны на обводненных и малодебитных скважинах специально разработанными растворами – нанокомпозициями можно существенно повысить добычу нефти.

Ключевые слова: *нефть, нано-вещества, повышение нефтеотдачи, транспортировка нефти*

AZƏRBAYCANIN UZUN MÜDDƏT İŞLƏNİLMƏDƏ OLAN NEFT YATAQLARINDA NANOTEXNOLOGİYALARIN TƏTBİQİNİN BƏZİ NƏTİCƏLƏRİ

Əliyev C.A.
SOCAR, "Neftqazelmitədqiqatlayihə" İnstitutu
AZ1012, Bakı şəh., H.Zərdabi pr., 88A: camal.aliyev1965@mail.ru

Xülasə. Azərbaycanda uzun müddət işlənilmədə olan neft yataqları timsalında quyu və mədən avadanlığı məhsuldarlığının artırılması üçün nano-texnologiyalardan istifadənin səmərəliliyi göstərilmişdir. Araşdırmalar göstərir ki, neftin yüksək özlülüyü və layla quyu arasında hidrodinamik əlaqənin pozulması quyuların aşağı məhsuldarlığının əsas səbəblərindəndir. Asfalten-qatran-parafinlə zəngin neftlərin laylardan quyu fəzasına axınını stimullaşdırmaq məqsədilə üzvi həlledici, səthi aktiv maddə və metal nano-hissəciklərdən ibarət xüsusi nano-məhlul işlənmişdir. Palçıq Pilpiləsi yatağında nano-sistemin laya vurulması aralarında 1-2 saat fasilə verməklə 2-3 mərhələli tədbir kimi həyata keçirilmişdir. Bu üsul ilə yaradılmış təzyiqin təsiri altında məhlulun laya bərabər tərzdə yayılmasını təmin etmək üçün quyu 10-12 saat müddətinə bağlı saxlanılırdı. Palçıq Pilpiləsi yatağında görülən tədbirlər sayəsində asfalt-qatran və parafinli maddələrin çökməsinin qarşısı alınmış, quyudibi ətrafi zonadan və boru səthlərindən çöküntülər təmizlənmiş, neftin özlülüyü azaldılmışdır. Nano-sistemlərin tətbiqi quyudibi ətrafında zəif keçirici təbəqələrdə flüidlərin süzülmə zonasının genişlənməsinə və bununla da neft hasilatının artmasına kömək etmişdir. Bibiheybət NQÇİ-də nano-tərkibli məhlul mədən rezervuarını əmtəə neftinin yığım parkı ilə birləşdirən yeraltı kollektora vurulmuşdur. Bu, karbonatlı çöküntülərin həll olması və kollektor borusunun daxili səthində nano-qatın yaranmasına gətirib çıxarmışdır. Nəticədə kollektorun təmirlərarası müddəti 4 dəfə artmışdır. Bundan əlavə, Bibiheybət yatağında yerinə yetirilmiş təcrübi işlər nano-hissəciklərlə emal edilmiş mayenin laya vurulmasının səmərəli olduğunu göstərmişdir. Layına nano-qatqılı maye vurulan quyunun təsir dairəsində olan beş hasilat quyusunun cəmi gündəlik debit artımı 1.8 t/sut təşkil etmiş, eyni zamanda su çıxarma əvvəlki ilə müqayisədə 2.5 t/sut azalmışdır. Əldə edilmiş nəticələr göstərir ki, sulaşmış və azdebitli quyularda quyudibi ətrafı zonanın xüsusi hazırlanmış nano-qatqılı məhlullar ilə emal edilməsi vazitəsilə neft hasilatını əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq mümkündür.

Açar sözlər*: neft, nano maddələr, neftvermənin artırılması, neftin nəqli*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2020**

Renewable energy

http://www.journalesgia.com

DETERMINING WIND ENERGY POTENTIAL AREAS IN AZERBAIJAN BY USING GIS MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS METHOD

Imamverdiyev N.S.

Institute of Geography, Azerbaijan National Academy of Sciences
115, H. Javid Ave., Baku, AZ1070, Azerbaijan: imamverdiyev.nicat@gmail.com

Keywords: *renewable energy sources, wind energy, environment, potential areas, cost of electricity*

Summary. The paper aims to identify potential wind energy fields of Azerbaijan using a GIS-based spatial multi-criteria analysis method. Also it is possible to prevent material and time loss by calculating the amount of electricity generation through this method. Accurate determination of the areas where wind turbines will be installed is an important criterion affecting the energy production amount of electrical stations. Based on the principles of location selection of wind turbines important conditions such as infrastructure, the impact of turbines on the surrounding areas, proximity to residential areas, the wind regime of the potential regions were assessed. Besides factors such as investment cost, operating cost, power factor and operating life which determine the cost of energy production in wind turbines were also analyzed. The Republic's technical wind energy potential has been estimated around the amount of 3.000 MW. In terms of location selection principles for wind power plants meteorological indicators of wind potential areas were analyzed by the GIS multi-criteria decision analysis method and as a result the acreage of the most technically suitable areas was determined as 1143 km^2. Depending on the wind speed and power density of these designated areas the possible electricity generation amount was calculated as 4.2 billion kWh by modeling through the open-source System Advisor Model (SAM) application. This volume is equivalent to 17% of the country's current electricity demand. Moreover, the electricity generation value of wind farms will be installed in these areas equals an average of $ 0.037 per kWh, which promotes the widespread use of wind turbines to prevent environmental pollution.

© 2020 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

1. Introduction

Wind energy sources which are a clean and inexhaustible source will be the main source in the electricity generation sector of the future for a long time. Global warming due to the increase in the number of harmful gases (CO_2, CO, and NO_x) in the atmosphere and the greenhouse effect are considered as the biggest environmental problem in the world. The most appropriate method to reduce this problem is to give priority to renewable energy sources such as wind energy because the total amount of carbon emissions released into the atmosphere has increased to high rates. However, the World Meteorological Organization (WMO) has reported that globally averaged concentrations of carbon dioxide (CO_2) reached 407.8 parts per million in 2018, up from 405.5 parts per million (ppm) in 2017 (The state of greenhouse…, 2019).

Greenhouse gas emissions in Azerbaijan amounted to 29.8 million tons of CO_2 equivalent (Environment in Azerbaijan…, 2019). As a result of this, the volume of carbon dioxide in the gas composition of the atmosphere has increased above normal and caused some differences in the reflection of the sun's rays. In particular this leads to global climate change by creating a greenhouse effect (Makhmudov, 2006). Although these indicators are the main factors, on the contrary, the effects of natural factors on climate change have also been suggested. The increase in gases that create heat effect does not affect heating in the atmosphere (Kapitsa, 2003). The researcher has claimed that the increase in the temperature ratio led to a further increase in the volume of such gases. Based on the analysis of both scientific claims about the rise of global temperatures it is possible to argue that both anthropogenic and natural factors influence climate change. Besides, these effects occurred simultaneously and mutually with each other causing the annual average temperature to rise to about 0.8°C (Porter et al., 2019).

A.S.Ayyubov and G.A.Hajiyev (1984) have studied climate resources and factors affecting the

climate of Azerbaijan in detail. The meteorological data of Azerbaijan and the wind speed data calculated by the researchers have been compared. As a result, it was concluded that climate change has an impact on Azerbaijan's wind regime. Based on the analysis of the data between 1970 and 2015 in contrast to the current temperature increase in the country the windy day intensity has shortened and the annual average wind speed has estimated to decrease among 0.5-0.8 m/s (Observational materials…, 1990-2015). These analyses also include A.A.Madatzadeh's (1973) research on the weather types of the Absheron peninsula, the direction of the prevailing winds and the wind regime.

As a solution to the climate change problems mentioned above, clean energy technologies need to be developed rapidly. For this the potential of renewable energy sources should be determined and their methods of use should be researched. Of these N.A.Yusifbayli et al. (2018) have developed a model that determines the dependence of vertical axis turbines from the power density of wind in electricity production. Also SH.C.Shahbazov, I.M.Yusubov (2018) determined that the main factor determining efficiency in electricity generation depends on rotor diameter. Y.R.Abdullayev et al. (2018) investigated ways to improve the design and efficiency of vertical axis wind turbines.

There are the following examples of the application of a multi-criteria decision-making method (MCDM) in the study of the most suitable sites for the construction of wind farms. Thus, J.P.Huang et al. (1995) tried to determine the best method by using various MCDM such as ELECTRE, AHP, and TOPSIS to estimate the optimum locations of renewable energy stations. E.Georgopoulou et al. (1997) advantages and disadvantages of using renewable energy in Greek islands have investigated using the Electre III method. Also, M.Beccali et al. (1998) have used a multi-criteria decision analysis system to evaluate various energy alternatives in Italy. In addition H.R.Quijano et al. (2012) presented a tool called MODERGIS to simulate current renewable energy planning in the future according to various sustainability criteria. With this method the research area is first classified according to the wind energy potential and then the possible locations for the construction of the wind power plants are determined. For example, considering the environmental constraints to identify potential locations for wind farms, the suitability indexing and economic feasibility studies of wind fields were carried out using multi-criteria analysis in the ArcGIS environment (Al-Yahyai et al., 2012). GIS-based multi-criteria decision analysis method has been used to determine the most suitable installation location by taking into consideration the research theories of wind turbines. However there are many criteria that determine the choice of location for wind farms. The most important of these criteria is to make a detailed analysis of spatial data collected in Geographic Information Systems to determine suitable installation locations for wind turbines. Also the open-source System Advisor Model (SAM) application was used in addition to the appropriate formulas to identify wind potential areas.

2. Materials and methods

The main purpose of the article is to identify the most suitable locations for the installation of wind farms in the wind potential regions of the country. For this purpose wind meteorological data (1990-2015) literature sources were examined, appropriate programs and formulas were used. In order the wind turbines to work efficiently wind speed, the intensity of windy days, and high wind power, as well as conditions of relief and infrastructure must be at a certain level. Based on these requirements the wind regime of Azerbaijan was systematically analysed and grouped according to wind speed indicators. In terms of the environmental impacts of wind farms it is impossible to install wind turbines in all potential areas. For this purpose these exceptional areas require to be determined to calculate the wind power generation capacity of the country. A multi-criteria decision analysis method was created in a GIS environment using land use, environmental protection and metrology maps of the country to determine the technical potential of wind energy areas and the volume of electricity generation.

In this study the GIS-based multi-decision analysis method has been used in the selection of locations for wind power plants. At the same time mathematical-statistical, systematic analysis and modelling methods were used. Three different data types were used in the study to identify potential energy regions. These data types are the following:

Land use of the regions, relief of the areas, etc;
Meteorological condition of the regions;
Environmental impacts of the power plant.

By analyzing these 3 different databases, the GIS environment maps showing the areas suitable for the construction of wind power plants were created. During the study satellite images and online maps (Basemap) in the Digital Terrain Model database were used to obtain the necessary information. Firstly the data obtained from the Digital Terrain Analysis database were transferred to the WGS84 39N coordinate system, and the slope and direction of the area examined with the vector of the maps were determined. Grid Analysis was used to determine the meteorological conditions of potential are-

as, and the identified intermediate values were processed in raster format where distance analysis was performed. However in determining wind potential areas criteria such as access roads, residential areas, power lines and protected areas were analyzed in the GIS environment by the cartographic method. For each category of data the reclassification analysis was done using the ranges shown in Tables 1 and 2, and the maps were compiled graded as best appropriate and least suitable. The basic data of the regions are reviewed in the GIS environment and systematized according to the purpose and then the analysis of the location of the wind turbines is continued with the proposed MCDM methodology. Finally the figures obtained by using the model weighted overlay method are re-evaluated.

3. Analysis and discussion

The Caspian Sea and orographic structure of the Great Caucasus Mountains perform a pivotal role in the formation of the wind regime in the Republic of Azerbaijan. So that, the Greater Caucasus mountains not only obstruct the northern winds (Khazri), also cause the winds to the east direction. At the same time the south-eastern part of the country is mainly under the influence of the southern winds (Gilavar) in the summer months (Madatzadeh, 1973; Ayyubov, 1997). However there are offshore Breeze winds that cause to form air masses on various sides of the peninsula under the influence of the Caspian Sea. As a result of this circulation medium and high-speed winds occur on the Absheron peninsula. In the Caspian Sea and in the coastal areas of the Absheron peninsula winds of more than 25 meters per second are formed with an average of 25-30 days a year. Therefore it is necessary to use high-quality wind turbines at the stations planned to be installed in these regions. These areas include Pirallahi, Chilov, Puta, Sumgait, Shubani, and Bina stations with average annual wind speeds exceeding 5.5 m/s (National Atlas: Azerbaijan Republic, 2014).

Another high potential region of Azerbaijan is the southeastern part of the Nakhchivan Autonomous Republic. The geographical location of Nakhchivan has led to the formation of strong winds in the region as a result of the combination of two distinct air currents. These winds are mostly cold arctic winds and warm southern winds of tropical origin (Ayyubov, Hajiyev, 1984).

The analysis of the average annual wind flow trends of both regions shows that 85% of the north winds dominate the Absheron peninsula and 90% of the southeast winds dominate the Nakhchivan Autonomous Republic (Fig.1).

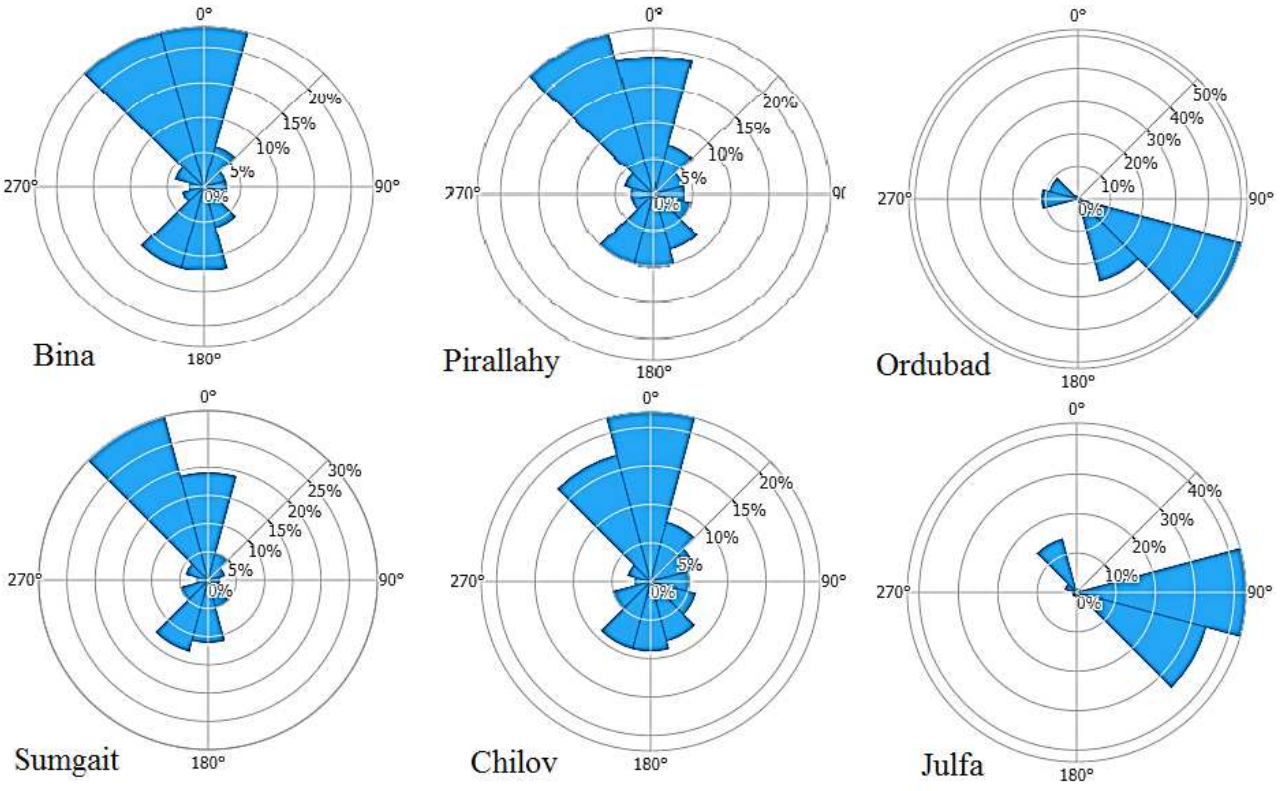


Fig. 1. Wind rose of Absheron peninsula and Nakhchivan AR (Shikhlinsky, 1978)

The annual average wind speed is around 3.5 m/s in Sahukh and Goranboy regions which are in the third place according to the wind speed distribution of Azerbaijan (Fig. 2) (National Atlas: Azerbaijan Republic, 2014). Due to the low wind speeds in these areas the power generation capacity of wind farms will be around 100-250 Wh/m^2. The total wind energy potential area of this region is estimated to be 1380 km^2. The average wind energy density is 417 W/m^2 at a relative height of 100 meters (Global wind atlas, 2019). As it seems the wind energy density is below average in these regions for the installation of wind power plants. This leads to a decrease in the capacity factor of wind turbines during operation. In addition as the wind intensity covers 110-125 days of the year, the operation of power plants becomes economically inefficient in these regions (Ayyubov, Hajiyev, 1984). Note that for the most efficient operation of wind stations the wind density should be an average of 8 m/s. This rate is equal to the energy production of 80 Wh per m^2 area.

The share of wind energy in Azerbaijan's total electric production was 0.32% (82.7 million kWh) in 2018. Besides, the electricity generation rate from renewable energy sources reached 8.1% (The energy of Azerbaijan…, 2019). The Azerbaijani government has invested 164.3 million manats for the construction of five wind farms in 2005-2015. Wind power plants started to operate from 2009 and produced 130 million kWh of electricity until 2019 in total (2014, 2015, 2016 energy efficiency report, 2017; 2015-2018 strategical plan, 2015). According to the country's wind energy tariff revenue from wind power sales has been only 7.15 million AZN.

Azerbaijan's total wind power potential has estimated to be around 3000 MW (Reports on the works in the field of energy, 2017-2019). Currently only 2.08% (62.4 MW) of this potential is using as a power source. Whereas it is possible to generate 6.3 billion kWh of electricity by fully utilizing the existing potential (Average capacity factor 24%). The data of the country's wind regime demonstrators, the Environment Atlas and the Global Wind Atlas were analyzed to identify possible installation areas of wind stations across the country. For the wind turbines to start operating the polygons have drawn in the GIS system of the areas with a minimum wind speed of over 3.5 m/s, and the areas of the general potential were collected. Including exceptional areas the total area of these regions has been calculated as 5.621 km^2 (Fig. 3). These areas include approximately 3900 km^2 of the Absheron Peninsula, 1200 km^2 of the Caspian Sea, 521 km^2 of coastal areas of Aras in the areas of Julfa and Ordubad.

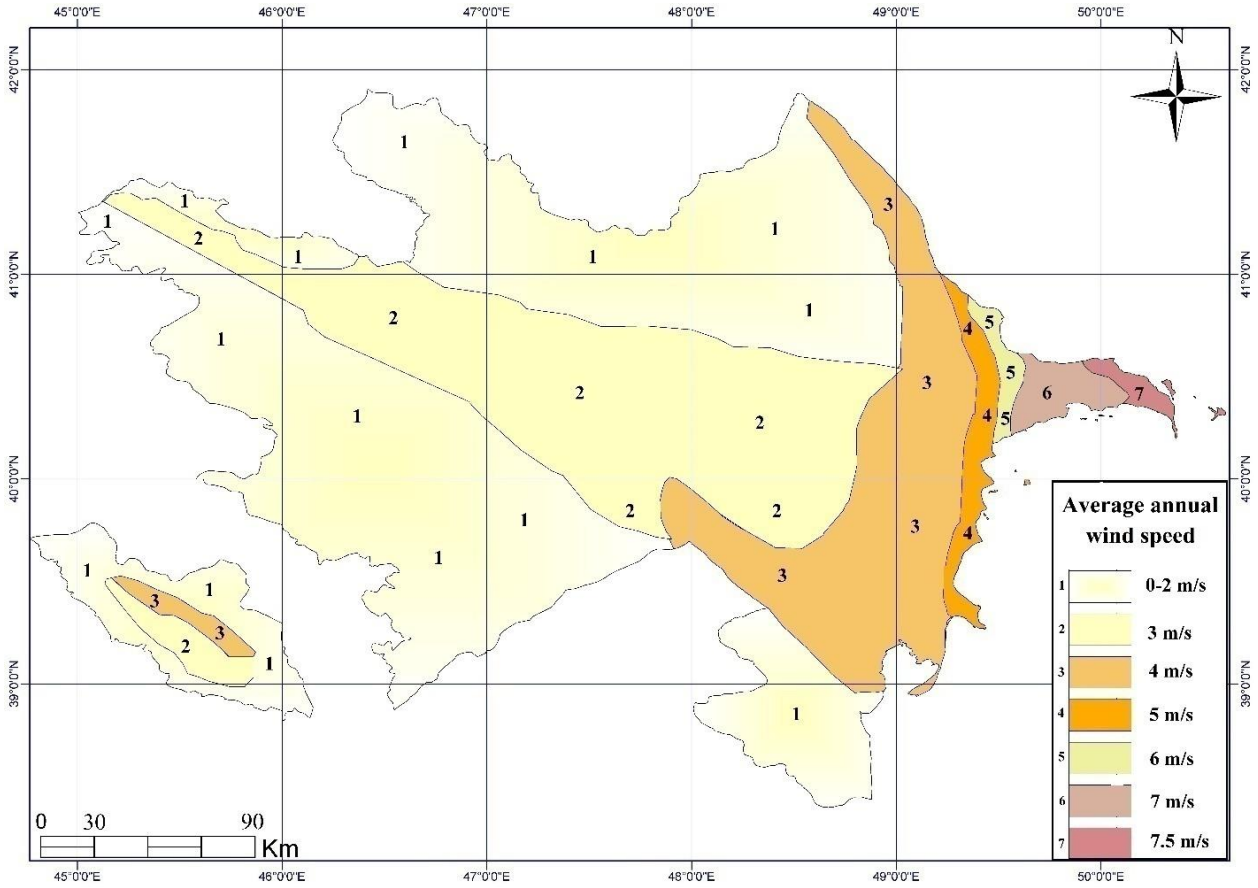


Fig. 2. Wind map of the Republic of Azerbaijan (10 metr altitude) (Observational materials…, 1990-2015)

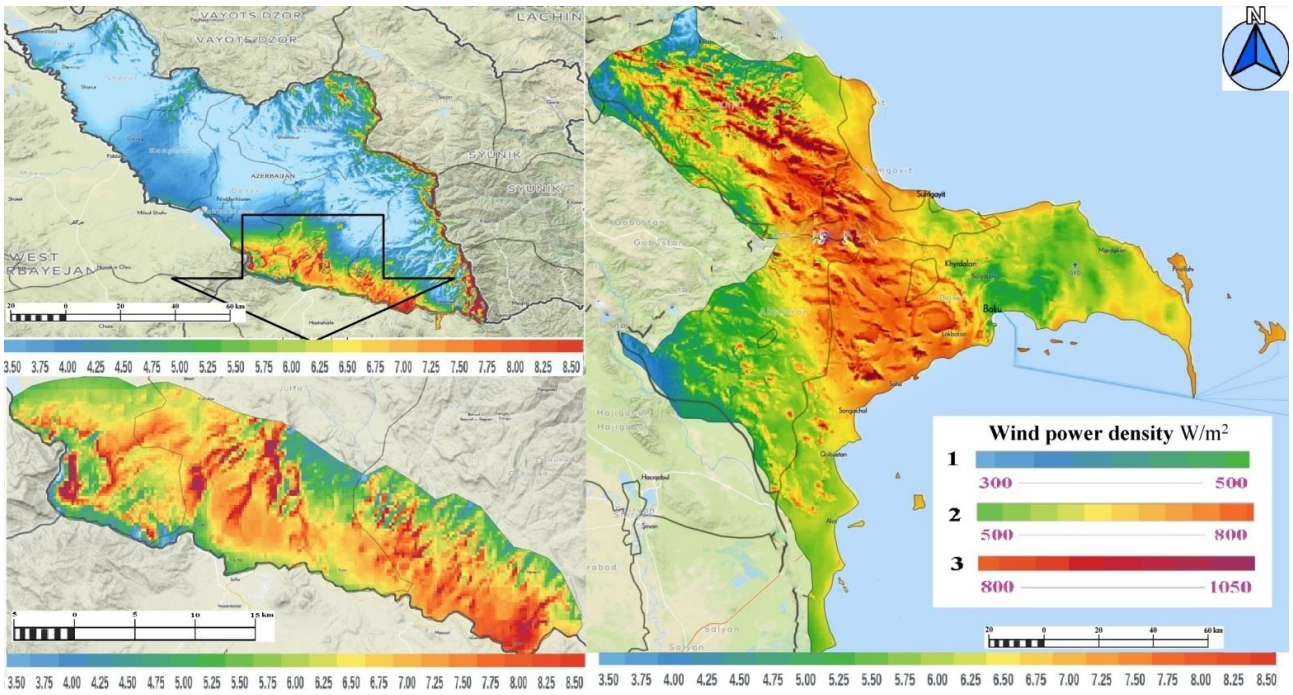


Fig. 3. Distribution of regions with wind energy potential in Azerbaijan by the density of wind power (50 m altitude), (Global wind atlas, 2019)

The potential wind areas in the Caspian Sea include the offshore coastal areas of the Absheron Peninsula and the Khizi district. The average wind energy density of the selected 5100 km^2 potential areas has determined as 570 Watt per m^2 based on the data provided by Global wind atlas. However it is impossible to build wind power plants in all areas with wind potential in terms of the environmental impact of turbines. Contrary to the overall potential of wind there are some indicators based on the selection of the most appropriate places for the establishment of wind stations. Economically it is more convenient to install wind turbines in open areas with an average annual wind speed of a minimum of 3.5 m/s and more than 200 windy days. During the selection of areas for the establishment of wind power plants in terms of efficiency it is more suitable to install wind turbines on the shores of the sea, on open terrains and the mountain slopes. The identified areas should locate outside the settlement areas, close to the highways and electricity grid. Although wind power plants should be installed outside protected areas and settlements. Besides, the effects of wind stations on the landscape of the area, birds' migration routes and biologically sensitive areas should be considered.

A foundation for wind turbines has been established in the open-source System Advisor Model (SAM) for the establishment of power plants in high availability areas. Within the scope of the “SAM 18.11” program using the meteorological data potential areas were investigated in accordance with the installation principles of wind turbines in the plinth created for power plants. The main purpose here is to identify geographical obstacles, legal restrictions, national parks and other private areas to identify technical potential areas (Chaouachi, 2017). For this aspect a geographic information database has been created in the GIS environment to identify excluded areas. The zones of wind potential were analysed in detail from the point of view of the principle of localization of wind turbines throughout the country. As a result the number of areas with high wind potential has been determined: 58 onshore and 5 in the offshore (Fig. 4). The total areas defined are 1143 km^2 including 883 km^2 on land and 260 km^2 offshore. In addition the wind energy potential of the Absheron geographical region includes 72% of the country's total potential. As an example of these areas we can show the nearby fields of the settlements of Yeni Yashma, Gilezi, Turkoba, Turkan, Pirallahi, Qobu and Pirekeshkul (Fig. 4). Based on meteorological measurement data of these regions it was determined that the average annual wind speed is 8.7 m/s and the wind energy density is 1046 W/m^2 (Observational materials …, 1990-2015). These indicators are evaluated at medium and high-efficiency rates while choosing a place for the installation of wind turbines.

Since the technical characteristics of wind turbines are individual the best performance wind speed in modern wind turbines can be equal to or

less than 8-10 m/s. Thus wind power plants can achieve electrical power generation at maximum power. Based on this, the areas in this ratio wind potential across the country are only available in the Absheron Peninsula, Julfa and Ordubad regions. In addition the days when wind speeds are between 8-11 m/s establish 25% of the annual windy days in these regions (Madatzadeh, 1973).

The southern slopes of the Julfa and Ordubad regions of the Nakhchivan AR and the areas around the Aras River have high wind energy potential. As a result of our researches to select suitable places for the location of wind power plants 23 optimal polygons were identified in the region. As an example of these fields we can show fields near the settlements of Yaycı, Deste, Velever, Sabirkend, Dize, Gulustan and Nehram (Fig. 4). The possible total area for the installation of wind power plants is limited to 152 km^2 in this region. The wind power density of the region varies between 720 and 1160 W/m^2 (Global Wind Atlas, 2019). The wind density of these areas was determined. It was analyzed that turbines up to 600 kW capacity have optimum indicators for installation.

The wind energy potential of the Caspian Sea constitutes 28% of the country's total wind energy capacity. The northeastern part of the Absheron peninsula and the seashore of Khizi district are the most suitable areas for the installation of wind turbines. Five regions have identified for the generation of electricity from wind energy in the Caspian Sea. The total area of these regions constitutes 260 km^2 (Fig. 4). Wind turbines with a rotor diameter of approximately 100 meters should be installed for the efficient operation of wind farms in these areas because at this altitude the average annual wind speed is high and equals 8.9 meters per second (Observational materials …, 1990-2015).

Using the open-source SAM program several simulation models have been created as an example to determine the possible annual production volume through wind farms in potentially windy regions. The main purpose here is to find the relative height of the wind turbines to determine the optimal energy production volume. Besides the energy production volume depends on the size of the areas required for the installation of wind turbines. Thus the area required for a 50-meter wind turbine is 1963 m^2. However due to the turbulence effect of the winds, the space required for a turbine is theoretically about 3 times larger than the rotor blade diameter, so the turbines do not affect each other and the wind density regains maximum energy power until it reaches the turbine. In this case it is possible to calculate that the coverage area of a 2 MW wind turbine is equal to 6070 m^2 (Ragheb and Ragheb, 2011). However it is possible to install wind turbines with a capacity of 4.0 MW per km^2 in general. Even if the wind speed exceeds the rated speed, the maximum amount of energy produced by the wind turbines cannot exceed the predicted theoretical power.

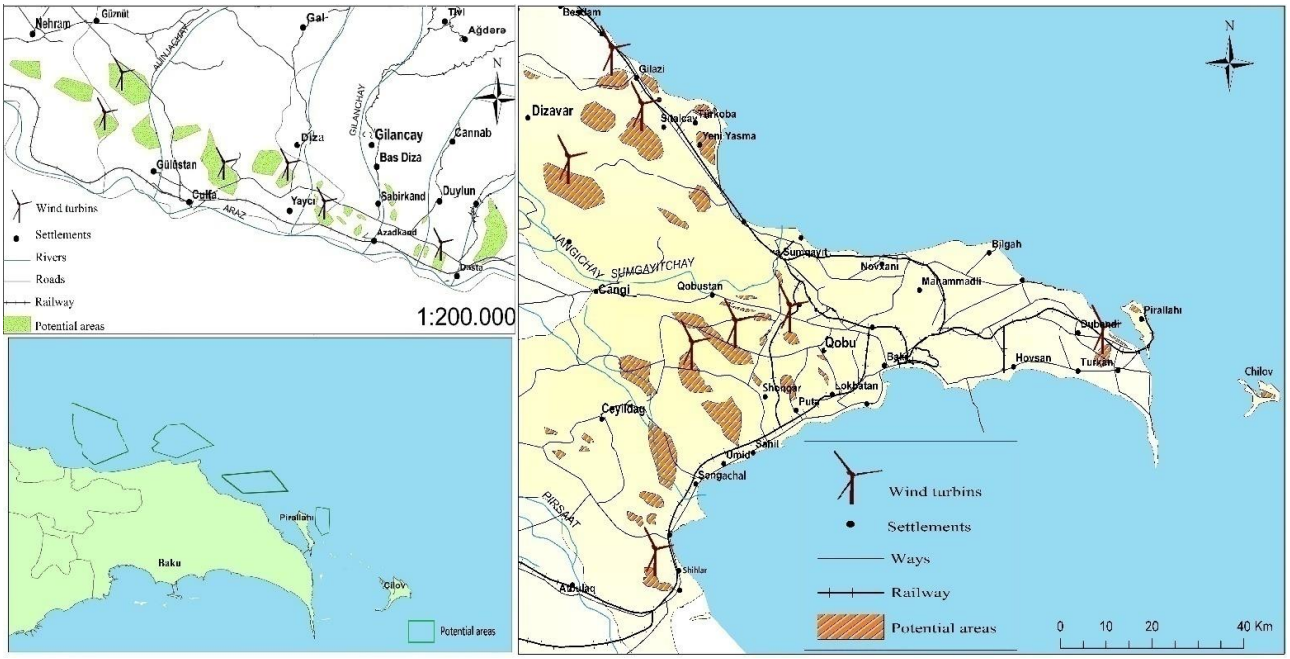


Fig. 4. Technically wind energy potential areas in Absheron region, Caspian Sea, Julfa and Ordubad

Wind turbines start working when the wind speed is 3.5 m/s and the operation stops automatically when the speed exceeds 25 m/s. However when the wind speed reaches 8 m/s wind turbines generate electricity at maximum power and this power remains unchanged even if the wind speed rises to 25 m/s (Fagiano, 2009). Also wind turbines generate 20% more electricity at 100 meters altitude compared to 80 meters in the same area (Wind turbine models, 2019). In addition to this information more comprehensive research is needed to determine the technical wind potential areas. For this purpose it was tried to determine the wind speed and wind density of potential areas for the installation of wind turbines. Thus using the geographical information system and appropriate formulas the number of turbines and electricity generation that can be installed in potential areas has been calculated according to the diameter of the rotor (Table 1). Here wind speed, wind energy density and the duration of windy days are the main factors that determine the possible energy production capacity of wind potential areas. However there are also mechanical power losses in the gearbox, generator and converter during the operation of wind turbines. These are the main features that affect the capacity factor during power generation in the power station. As a result they cause the capacity factor of wind power plants to decrease up to 29% in energy production. Regardless of this even this rate is around 18-20% in wind power plants operating in Azerbaijan (The energy of Azerbaijan …, 2019).

Table 1

Wind power generation depending on rotor diameter (Wind turbine models, 2019)

Rotor diameter (meter)	Turbine coverage area (m^2)	Wind speed (m/s)	The density of air (kg/m^3)	Energy production million KWh (C.F. 29%)
30	706	4.5	1.10	10.5
50	1963	5.5	1.16	56
80	5026	7	1.21	309

As a result of all these analyzes the most suitable total area for the installation of wind power plants was determined as 1143 km^2 in Azerbaijan. The annual average wind speed of these defined areas varies between 3.5 m/s and 7.5 m/s. In addition to the definition of potential areas it is necessary to select turbines with characteristics suitable for the wind regime of the selected regions to determine the wind energy production volume. For this purpose the technical characteristics of the most obvious wind turbines were analyzed compared to the wind regime of potential areas (Wind turbine models, 2019). As a result it was concluded that the installation of wind turbines with a rotor blade diameter of 20-30 meters in Nakhchivan, 30-50 meters in Absheron and 50-100 meters in the Caspian Sea will be effective in terms of energy production efficiency (Table 2). For example, AWT-27 (diameter 27 m, 275 KW), Vestas V47-700 (diameter 47 m, 700 KW) and Siemens SWT Offshore (diameter 93 m, 2.3 MW) wind turbines are the most proper turbines for installation (Wind turbine models, 2019). Based on the technical characteristics of the noted turbines the possible amount of electricity generation was calculated through the relevant formulas and software.

By dividing the measure of wind potential areas into the area covered by 1 wind turbine it is concluded that the number of turbines that can be installed was 5927. This is equivalent to 4.2 billion kWh annual electricity generation volume of wind turbines with a capacity factor of 29%. This calculated production volume corresponds to 17% of the country's current electricity demand. This ratio will occur as a result of the full use of the specified turbines based on the technical specifications of the wind turbines with three different sizes and power factors listed in Table 2. Additionally it is possible to determine the value of electricity produced compared to the amount of investment in wind turbines. Thus the cost of 1 kW wind turbines is $ 1500 which will be equal to $ 75 per year during 20 years of use (Murdock et al., 2019). The annual power generation capacity of the 1 kW turbine is around 2540 kWh (C.F. 29%). In this case the cost of electricity will be approximately $ 0.030 (75$/2540 kW). However only 69% of the investment for the installation of wind power plants belong to the turbines (Ragheb and Ragheb, 2011). In addition to the installation of wind turbines there are infrastructure, transformer, insurance, operation, annual maintenance and other costs. All this increases the production cost of 1 kW of wind energy by 21% to $ 0.037, regardless of another unmeasurable spending. Despite this the wholesale price of 1.0 kWh wind power for energy producers has set at 0.032 USD in Azerbaijan (Tariffs…, 2017). To this end measures to improve the use of wind energy must be stimulated. In addition Azerbaijan must fulfill the commitments set out in the Paris Climate Agreement in order to reduce carbon emissions and keep up with developed countries in the field of sustainable energy use (Paris agreement, 2015). However the intensive use of renewable energy resources in the country will lead to the development of different aspects of the green economy respectively.

Table 2

Wind energy potential areas by regions in Azerbaijan

Wind turbines (e.g.)	Wind potential regions	General wind potential areas (km^2)	Technically potential areas (km^2)	Required area for a turbine (m^2)	Projected number of turbines	Energy prod. KWh (C.F. 29%)
AWT-27 (m)	Nakhchivan	521	152	2 381	1 165	430
Vestas V47 (m)	Absheron	3900	883	1 476	4 181	2 200
Siemens SWT 2.3-93 (m)	Caspian Sea	1200	260	6 793	526	1 470
Total		**1 295**	**567 763**	**10 830**	**5 927**	**4 200**

4. Conclusions

As can be seen many criteria play a role in determining the position of a wind farm. Using the multi-scale decision making a feature of the Geographic Information System, the data collected on each criterion were evaluated together. In line with this goal areas suitable for the construction of wind power plants have been identified in potential regions to be examined through GIS multi-scale decision-making studies. In addition to ArcGIS and SAM programs by analyzing wind meteorological indicators, related literature sources, and various maps it has been determined that high wind potential areas of Azerbaijan are 5621 km^2.

As a result of the research it has been determined that after excluding unusable areas in terms of the installation principle of wind turbines 5621 km^2 total areas are technically suitable for the construction of only 21% or 1143 km^2 wind power plants. These areas include the Absheron economic-geographical region, the Nakhchivan Autonomous Republic and the Caspian Sea coastal areas of the Khizi district.

It is possible to generate 4.2 billion kWh of electrical energy by making full use of the wind potential in the designated areas. This is equivalent to 17% of the country's energy demand. The cost of wind power generation was calculated as $ 0.037 per kWh. However an area of 30 hectares including almost all the infrastructure is needed to build a 100 MW wind farm. With this in mind it is possible to build a large number of power plants in the country with different wind turbines with a capacity of 100 MW. To this end a number of programs should be implemented to promote the widespread use of renewable energy sources to increase the number of wind turbines installed throughout the country and prevent environmental pollution.

REFERENCES

Abdullayev Y.R., Karimzadeh O.O., Huseynov G.A., Mammadova G.V., Karimzadeh G.S. Improvement of vertical-magnetic levitation wind generator. Elm. Baku, Problems of Energy, No. 3, 2018, pp. 78-86 (in Azerbaijani).

Al-Yahyai S., Charabi Y., Gastli A., Al-Badi A. Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. Renewable Energy, V. 44, 2012, pp. 80-87, DOI.org/10.1016/j.renene.2012.01.004.

Ayyubov A.C., Hajiyev G.A. Climate resources of the Azerbaijan SSR. Baku, 1984, 89 p. (in Azerbaijani).

Ayyubov A.C. Climate and human health of Baku and Absheron peninsula. Azerneshr. Baku, 1997, 124 p. (in Azerbaijani).

Beccali M., Cellura M., Ardente D. Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology. Energy Conversion and Management, V. 39. No. 16-18. 1998, pp. 1869-1881, DOI.org/10.1016/S0196-8904 (98)00053-3.

Chaouachi A., Covrig C.F., Ardelean M. Multi-criteria selection of offshore wind farms: Case study for the Baltic States. Energy Policy, V. 103, 2017, pp. 179-192, DOI.org/10.1016/j.enpol.2017.01.018.

2014, 2015, 2016 Energy efficiency report. The State Agency for Alternative and Renewable Energy Sources of the Azerbaijan Republic (AREA). Baku, 2017, http://area.gov.az/page/34 (in Azerbaijani).

LITERATURE

Abdullayev Y.R., Kərimzadə O.O., Hüseynov Q.Ə., Məmmədova G.V. Kərimzadə G.S. Şaquli oxlu maqnit levitasiyalı külək generatorunun təkmilləşdirilməsi. Elm. Bakı, Energetikanın problemləri, No. 3, 2018, s. 78-86.

Azərbaycan Respublikasında alternativ və bərpa olunan enerji və ondan səmərəli istifadə olunması sahəsində görülmüş işlər barədə Dövlət Agentliyinin 2014, 2015, 2016-ci illər Hesabatı. Azərbaycan Respublikası Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi (AREA). Bakı, 2017, http://area.gov.az/page/34.

Azərbaycanın Energetikası. Statistik məcmuə. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. Bakı, 2019,160 s.

Azərbaycan Respublikası: Milli Atlas. Azərbaycan Respublikası Dövlət Torpaq və Xəritəçəkmə Komitəsi. Bakı kartoqrafiya fabriki. Bakı, 2014, 444 s.

Azərbaycanda ətraf mühit. Statistik məcmuə. Azərbaycan Respublikasının Dövlət Statistika Komitəsi. Bakı, 2019, 140 s.

Elektrik enerjisinin tarifləri. Elektrik enerjisinin ölkədaxili tarifləri. Azərbaycan Respublikasının Tarif (qiymət) Şurası. Bakı, 2017, http://www.tariffcouncil.gov.az/?/az/content/70/.

Energetika sahəsində 2017, 2018, 2019-cu illərdə görülmüş işlər barədə hesabatlar. Azərbaycan Respublikasının Energetika Nazirliyi, http://minenergy.gov.az/az/hesabatlar/illik-hesabatlar.

Əyyubov Ə.C., Haciyev Q.Ə. Azərbaycan SSR-nin iqlim ehtiyatları. Bakı, 1984, 89 s.

Environment in Azerbaijan. Statistical bulletin. The State Statistical Committee of the Azerbaijan Republic. Baku, 2019, 140 p. (in Azerbaijani).

Fagiano L. Control of tethered airfoils for high–altitude wind energy generation. PhD thesis. 2009, http://kitegen.com/pdf/PhD_thesis_Fagiano_Final.pdf.

Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L. A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. European journal of operational research, V. 103, No. 1, 1997, pp. 38-54, DOI.org/10.1016/S0377-2217 (96)00263-9.

Global Wind Atlas (GWA). Wind energy layers: Azerbaijan. 2019, https://globalwindatlas.info.

Huang J.P., Poh KL., Ang B.W. Decision analysis in energy and environmental modeling. Energy, V. 20, No. 9, 1995, pp. 843-855, DOI.org/10.1016/0360-5442 (95)00036-G.

Kapitsa A.P. Regional enviromental management. Publishing House of Moscow University. Moscow, 2003, 207 p.

Madatzadeh A.A. Natural-synoptic climate seasons in the Eastern Caucasus. Baku, 1973, 132 p. (in Russian).

Makhmudov R.N. Global climate change; causes and natural disasters. Hydrometeorology and environmental monitoring, Baku, No. 3, 2006, pp. 22-32 (in Azerbaijani).

Murdock H.E., Gibb D., André T., Appavou F., Brown A., Epp B., Sawin J.L. Renewables energy resources, Global Status Report, 2019, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28496/REN2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

National atlas: Azerbaijan Republic. State Land and Cartography Committee of the Republic of Azerbaijan, Baku Cartography Factory. Baku, 2014, 444 p. (in Azerbaijani).

Observational materials of the Hydrometeorology Department of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Azerbaijan, 1990-2015. Hydrometeorology Bulletin. Baku, 67 p. (in Azerbaijani).

Paris agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change. 2015, https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17853paris_agreement.pdf.

Porter H.O., Roberts D.C., Masson-Delmotte M.V., Zhai P.M. et al. IPCC, Special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC: Summary for policymakers. 2019, 117 p., https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf.

Quijano R., Botero S., Domínguez J. MODERGIS application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, V. 16, 2012, pp. 5176-5187, DOI.org/10.1016/j.rser.2012.05.006.

Ragheb M., Ragheb A.M. Wind turbines theory – the Betz equation and optimal rotor tip speed ratio. Fundamental and advanced topics in wind power, V. 1, No.1, 2011, pp. 19-38.

Reports on the works in the field of energy in 2017, 2018, 2019. Ministry of Energy of the Azerbaijan Republic, http://minenergy.gov.az/az/hesabatlar/illik-hesabatlar (in Azerbaijani)

Shahbazov Sh.C., Yusubov I.M. Generating electrical energy by using wind energy at height from the ground. Elm. Baku, 2018, pp. 42-53 (in Azerbaijani).

Shikhlinsky A.M. Heat balance atlas of the Azerbaijan SSR. General Department of Geodesy and Cartography under the USSR Council of Ministers, Moscow, 1978, 92 p. (in Azerbaijani).

2015-2018 strategical plan. The State Agency for Alternative and Renewable Energy Sources of the Azerbaijan Republic (AREA). Baku, 2015, 32 p. (in Azerbaijani).

Electric energy tariffs. Tariffs. Domestic. Tariff (Price) Council of the Republic of Azerbaijan. Baku, 2017, http://www.tariffcouncil.gov.az/?/az/content/70/ (in Azerbaijani).

Əyyubov Ə.C. Bakı və Abşeron yarımadasının iqlimi və insan səhhəti. Azərnəşr. Bakı, 1997, 124 s.

Hidrometeoroloji bülleten. Azərbaycan Respublikası Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyinin Hidrometeorologiya Departamentinin 1990-2015-ci illər müşahidə materialları. Bakı, 67 s.

Mahmudov R.N. Qlobal iqlim dəyişmələri; səbəblər və təbii fəlakətlər. Hidrometrologiya və ətraf mühitin monitorinqi, No. 3, 2006, s. 22-32.

Strateji Plan (2015-2018). Azərbaycan Respublikası Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi (AREA). Bakı, 2015, 32 s.

Şahbazov Ş.C., Yusubov İ.M. Yer səthindən yüksəklikdə külək enerjisindən istifadə etməklə elektrik enerjisinin alınması. Elm. Bakı, 2018, s. 42-53.

Şıxlinski Ə.M. Azərbaycan SSR-nin istilik balansı atlası. SSRİ Nazirlər Soveti Yanında Baş Geodeziya və Xəritəçilik İdarəsi. Moskva, 1978, 92 s.

Yusifbəyli N.A., Nəsibov V.X., Əlizadə R.R. Elektrik enerjisinə olan ölkə daxili ehtiyacın proqnozlaşdırılması metodlarının qarşılıqlı müqayisəsi. Elm. Bakı, Energetikanın problemləri, No. 2, 2018, s. 56-64.

Al-Yahyai S., Charabi Y., Gastli A., Al-Badi A. Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. Renewable Energy, V. 44, 2012, pp. 80-87, DOI.org/10.1016/j.renene.2012.01.004.

Beccali M., Cellura M., Ardente D. Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a fuzzy-sets methodology. Energy Conversion and Management, V. 39. No. 16-18. 1998, pp. 1869-1881, DOI.org/10.1016/S0196-8904 (98)00053-3.

Chaouachi A., Covrig C. F., Ardelean M. Multi-criteria selection of offshore wind farms: Case study for the Baltic States. Energy Policy, V. 103, 2017, pp. 179-192, DOI.org/10.1016/j.enpol.2017.01.018.

Fagiano L. Control of tethered airfoils for high–altitude wind energy generation. PhD thesis. 2009, http://kitegen.com/pdf/PhD_thesis_Fagiano_Final.pdf.

Georgopoulou E., Lalas D., Papagiannakis L. A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. European journal of operational research, V. 103, No. 1, 1997, pp. 38-54, DOI.org/10.1016/S0377-2217 (96)00263-9.

Global wind atlas (GWA). Wind energy layers: Azerbaijan. 2019, https://globalwindatlas.inf.

Huang J.P., Poh KL., Ang B.W. Decision analysis in energy and environmental modeling. Energy, V. 20, No. 9, 1995, pp. 843-855, DOI.org/10.1016/0360-5442 (95)00036-G.

Kapitsa A.P. Regional enviromental management. Publishing house of Mosow University. Moscow, 2003, 207 p.

Murdock H. E., Gibb D., André T., Appavou F., Brown A., Epp B., Sawin J.L. Renewables energy resources, Global Status Report , 2019, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28496/REN2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Paris agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015, https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/17853paris_agreement.pdf.

Porter H.O., Roberts D.C., Masson-Delmotte M.V., Zhai P.M. et al. IPCC, Special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC: Summary for policymakers. 2019, 117 p., https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf.

Quijano R., Botero S., Domínguez J. MODERGIS application: Integrated simulation platform to promote and develop renewable sustainable energy plans, Colombian case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, V. 16, 2012, pp. 5176-5187, DOI.org/10.1016/j.rser.2012.05.

The energy of Azerbaijan. Statistical Bulletin. The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Baku, 2019, 160 p. (in Azerbaijani).

The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2018. WMO greenhouse gas bulletin, No. 15, 2019, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100.

Wind turbine models (WTM), Wind turbines database. All manufactured. 2019, https://en.wind-turbine-models.com/turbines.

Yusifbayli N.A., Nasibov V.Kh, Alizadeh R.R. Comparative analysis of methods for forecasting domestic electricity needs. Elm. Baku, Problems of Energy, No. 2, 2018, pp. 56-64 (in Azerbaijani).

Ragheb M., Ragheb A.M. Wind turbines theory – the Betz equation and optimal rotor tip speed ratio. Fundamental and advanced topics in wind power, V. 1, No. 1, 2011, pp. 19-38.

The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2018. WMO greenhouse gas bulletin, No. 15, 2019, https://library.wmo.int/doc_num.php? explnum_id=10100 .

Wind turbine models (WTM), Wind turbines database. All manufactured. 2019. https://en.wind-turbine-models.com/ turbines.

Мадатзаде А.А. Естественно-синоптические климатические сезоны Восточного Кавказа. Баку, 1973, 132 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕШЕНИЙ ГИС

Имамвердиев Н.С.
Институт Географии им. акад. Г.Алиева НАН Азербайджана
AZ1070, г.Баку, просп. Г.Джавида, 115: imamverdiyev.nicat@gmail.com

Резюме. Целью статьи является выявление потенциальных ветроэнергетических полей Азербайджана с использованием метода пространственного многокритериального анализа на основе ГИС. Кроме того, с помощью этого метода можно предотвратить потери материала и времени путем расчета количества вырабатываемой электроэнергии. Точное определение областей, где будут установлены ветряные турбины, является важным критерием, влияющим на количество вырабатываемой энергии на электрических станциях. Так, исходя из принципов выбора местоположения ветряных турбин, были оценены такие важные условия, как инфраструктура, влияние турбин на прилегающие территории, близость к жилым районам, ветровой режим потенциальных регионов. Кроме того, были проанализированы такие факторы, как инвестиционные затраты, эксплуатационные расходы, коэффициент мощности и срок службы, которые определяют стоимость производства энергии в ветряных турбинах.

Технический ветроэнергетический потенциал республики оценивается примерно в 3000 МВт. Поскольку ветряные турбины невозможно установить во всех потенциальных зонах из-за воздействия на окружающую среду, на основе метода анализа многокритериальных решений ГИС был сделан вывод о том, что технически совместимые площади составляют 1143 км^2. В зависимости от скорости ветра и плотности мощности в этих обозначенных зонах возможное количество электроэнергии было рассчитано как 4.2 млрд.КВт-ч путем моделирования с использованием приложения System Advisor Model (SAM) с открытым исходным кодом. Этот объем эквивалентен 17% текущего спроса на электроэнергию в стране. Кроме того, стоимость выработки электроэнергии ветряными электростанциями будет установлена в этих районах в среднем на уровне 0.037 долл. США за кВт-ч, что способствует широкому использованию ветряных турбин для предотвращения загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, энергия ветра, окружающая среда, потенциальные территории, стоимость электроэнергии*

AZƏRBAYCANDA GİS NƏTİCƏLƏRİNİN ÇOXMEYARLI TƏHLİLİ METODU İLƏ KÜLƏK-ENERGETİK POTENSİALLI ƏRAZİLƏRİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ

İmamverdiyev N.S.
AMEA H.Ə. Əliyev adına Coğrafiya İnstitutu,
AZ1070, Bakı ş., H. Cavid prosp., 115: imamverdiyev.nicat@gmail.com

Xülasə. Məqalə GIS əsaslı məkansal çoxmeyarlı analiz metodundan istifadə edərək Azərbaycanın potensial külək-energetik sahələrini müəyyənləşdirmək məqsədi daşıyır. Bundan əlavə, bu üsulla elektrik enerjisinin istehsal həcmini hesablamaqla maddi və vaxt itkisinin qarşısını almaq mümkündür. Külək turbinlərinin quraşdırılacağı yerlərin dəqiq müəyyənləşdirilməsi elektrik stansiyalarının enerji istehsalına təsir edən vacib bir meyardır. Beləliklə, külək turbinlərinin yer seçiminin prinsiplərinə əsaslanaraq, infrastruktur, turbinlərin ətraf ərazilərə təsiri, yaşayış sahələrinə yaxınlığı və potensial bölgələrin külək rejimi kimi vacib şərtləri qiymətləndirilmişdir. Bundan əlavə, külək turbinlərində enerji istehsalının maya dəyərini təyin edən investisiya xərcləri, əməliyyat xərcləri, güc amili və xidmət müddəti kimi amillər də təhlil edilmişdir.

Respublikanın texniki külək-energetik potensialı 3000 MVt civarında qiymətləndirilmişdir. Külək turbinlərinin ətraf mühitə təsiri səbəbindən bütün potensial ərazilərdə quraşdırılması mümkün olmadığından, texniki cəhətdən uyğun sahələrin GIS nəticələrinin çoxmeyarlı təhlili metodu əsasında 1143 km^2 olduğu aşkar edilmişdir. Müəyyən olunan ərazilərin külək sürətindən və güc sıxlığından asılı olaraq, açıq mənbəli System Advisor Model (SAM) tətbiqi ilə modelləşdirmə yolu ilə mümkün elektrik enerjisinin istehsal miqdarı 4.2 milyard kVt/saat olaraq hesablanmışdır. Bu həcm ölkənin elektrik enerjisinə olan tələbatının 17%-nə bərabərdir. Bundan əlavə, bu ərazilərdə külək elektrik stansiyalarında elektrik enerjisinin istehsal dəyəri orta hesabla bir kVt/saat üçün 0.037 dollar təşkil edəcəkdir ki, bu da ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısını almaq üçün külək turbinlərinin geniş istifadəsini təmin edir.

Açar sözlər: *bərpa olunan enerji mənbələri, külək enerjisi, ətraf mühit, potensial sahələr, elektrik enerjisinin dəyəri*