

ISSN 2663-0419 (Online)
ISSN 2218-8754 (Print)

AZERBAIJAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
ANAS TRANSACTIONS
EARTH SCIENCES



www.journalsgia.com

2023
№1



ELSEVIER
Scopus



REDAKSİYA HEYƏTI

Əlizadə Ak.A. – baş redaktor (Azərbaycan), Qədirov F.Ə. – baş redaktorun müavini (Azərbaycan), Süleymanov B.Ə. – baş redaktorun müavini (Azərbaycan), Quliyev İ.S. – baş redaktorun müavini (Azərbaycan), Babayev Q.R. – baş redaktorun müavini (Azərbaycan), Babazadə V.M. (Azərbaycan), Calalov Q.İ. (Azərbaycan), Əliyeva E.H. (Azərbaycan), Əfəndiyev Q.M. (Azərbaycan), Feyzulayev Ə.Ə. (Azərbaycan), Kəngərli T.N. (Azərbaycan), Məmmədov P.Z. (Azərbaycan), Muxtarov A.Ş. (Azərbaycan), Salmanov A.M. (Azərbaycan), Yetirmişli Q.C. (Azərbaycan).

Allen Mark (Böyük Britaniya), Aydın Ali (Türkiyə), Çelidze T. L. (Gürcüstan), Eppelbaum L.V. (İsrail), İsmail-zadə Ə.T. (Almaniya), Kalafat Doğan (Türkiyə), Kərimov V.Y. (Rusiya), Qliko A.O. (Rusiya), Lavruşin V.Y. (Rusiya), Reilinger R. (ABŞ), Takeşi Sagiya (Yaponiya), Talebian M. (İran), Tibaldi Alessandro (İtaliya), Zavyalov A.D. (Rusiya).

EDITORIAL BOARD

Alizadeh Ak.A. – Editor-in-Chief (Azerbaijan), Kadirov F.A. – Deputy Editor-in-Chief (Azerbaijan), Suleimanov B.A. – Deputy Editor-in-Chief (Azerbaijan), Guliyev I.S. – Deputy Editor-in-Chief (Azerbaijan), Babayev G.R. – Deputy Editor-in-Chief (Azerbaijan), Afandiyev G.M. (Azerbaijan), Aliyeva E.H. (Azerbaijan), Babazade V.M. (Azerbaijan), Feyzullayev A.A. (Azerbaijan), Jalalov G.I. (Azerbaijan), Kangarli T.N. (Azerbaijan), Mammadov P.Z. (Azerbaijan), Mukhtarov A.Sh. (Azerbaijan), Salmanov A.M. (Azerbaijan), Yetirmishli G.J. (Azerbaijan).

Allen Mark (United Kingdom), Aydın Ali (Türkiye), Chelidze T.L. (Georgia), Eppelbaum Lev V. (Israel), Gliko A.O. (Russia), Ismail-zadeh A.T. (Germany), Kalafat Doğan (Türkiye), Kerimov V.Y. (Russia), Lavrushin V.Y. (Russia), Reilinger R. (USA), Takeshi Sagiya (Japan), Talebian M. (Iran), Tibaldi Alessandro (Italy), Zavyalov A.D. (Russia).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ализаде Ак.А. – главный редактор (Азербайджан), Кадиров Ф.А. – зам.главного редактора (Азербайджан), Сулейманов Б.А. – зам.главного редактора (Азербайджан), Гулиев И.С. – зам.главного редактора (Азербайджан), Бабаев Г.Р. – зам.главного редактора (Азербайджан), Алиева Э.Г. (Азербайджан), Бабазаде В.М. (Азербайджан), Джалалов Г.И. (Азербайджан), Етирмишли Г.Дж. (Азербайджан), Кенгерли Т.Н. (Азербайджан), Мамедов П.З. (Азербайджан), Мухтаров А.Ш. (Азербайджан), Салманов А.М. (Азербайджан), Фейзуллаев А.А. (Азербайджан), Эфендиев Г.М. (Азербайджан).

Айдын Али (Турция), Аллен Марк (Великобритания), Глико А.О. (Россия), Завьялов А.Д. (Россия), Исмаил-заде А.Т. (Германия), Калафат Доган (Турция), Керимов В.Ю. (Россия), Лаврушин В.Ю. (Россия), Рейлингер Р. (США), Такеши Сагия (Япония), Талебиан М. (Иран), Тибальди Алессандро (Италия), Челидзе Т.Л. (Грузия), Эппельбаум Л.В. (Израиль).

Buraxılışına məsul: **Hafiz Abiyev**

Dizayn/Qrafika: **Kərim Nəbiyev**
Xəlil Nəbiyev

Veb-redaktor: **Tofiq Rəşidov**

Jurnal Azərbaycan MEA Geologiya və Geofizika
Institutunda yığılmış və səhifələnməmişdir

Responsible for the issue: **Hafiz Abiyev**

Design/Graphycs: **Karim Nəbiyev**
Khalil Nəbiyev

Web-editor: **Tofiq Rashidov**

This journal has been prepared at the
Geology and Geophysics Institute of
Azerbaijan National Academy of Sciences

Ответственный за выпуск: **Хафиз Абиев**

Дизайн/графика: **Керим Набиев**
Халил Набиев

Веб-редактор: **Тофиг Рашидов**

Журнал набран и сверстан в Институте геологии
и геофизики НАН Азербайджана

Ünvan: AZ1001, Bakı şəhəri, İstiqlaliyyət küçəsi 30,
"ANAS Transactions, Earth Sciences"

Address: "ANAS Transactions, Earth Sciences"
30, Istiglalıyyat str., Baku, Azerbaijan, AZ1001

Адрес: AZ1001, г. Баку, Истиггалият, 30.
Редакция "ANAS Transactions, Earth Sciences"

İcraçı redaktorlar: **A.A.İsrafilova, C.S.Qurbanova**
Executive Editors: **A.A.Israfilova, J.S.Gurbanova**
Исполнительные редакторы: **А.А.Исрафилова**
Дж.С.Курбанова



Formatı: 60x84^{1/8}. Həcmi: 14,25 ç.v.
Tirajı: 300 nüsxə

IDENTIFYING AND CLASSIFYING ANDESITE ROCKS BASED ON RESISTIVITY IN TANAH BUMBU COUNTY, SOUTH KALIMANTAN

Wahyono S.C., Siregar S.S., Putri R.A., Sari N., Wianto T., Nasrulloh A.V.

Physics Study Program, University of Lambung Mangkurat, Indonesia

Banjarbaru 70714, Indonesia: scwahyono@ulm.ac.id

Keywords: Tanah Bumbu county, andesite rock, Bukit Baru Village, Wenner configuration, resistivity method

Summary. Tanah Bumbu County has the potential for natural resources in the form of andesite rocks. Andesite rock utilization is widely used in the construction sector, so an exploration method is needed to determine the presence of fresh andesite rock below the surface. The aim of this research is finding andesite rock potential in Tanah Bumbu County, South Kalimantan, Indonesia. To this purpose, measurement is conducted based on the Wenner configuration geoelectric resistivity method and obtaining the 2D cross-section model, analyzing the type of lithology and also the depth and thickness of andesite rocks in Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County. Measurements are conducted on four tracks with a length of 270 m each and an electrode spacing of 10 m. Data processing is carried out using AGI EarthImager 2D and Surfer software. The results of identification of the 2D cross-section: three types of lithology layers, namely clay with a resistivity value of 10-45 Ω m, sandstone with 45-333 Ω m and andesite with 333-550 Ω m are found. The results of the 2D interpretation show that andesite which is at a depth of 1-67 m is characterized by a thickness of 4-42 m has a resistivity value of 333-550 Ω m.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The rock cycle can describe the main material that composes the Earth as the formation process starts from hot molten rock called magma or lava. Igneous rock comes from lava erupted onto the Earth's surface which cools and freezes through a process of crystallization (Johnson et al., 2017) and may contain glass, gas bubbles, or exhibit a flow structure (Price, Walsh, 2005). Andesite is an igneous rock that lies between light-colored rhyolite and dark basalt. These rocks are classified as the most common intermediate volcanic rocks (Carlson et al., 2008). Johnson et al. (2017) also stated that andesite is an intermediate extrusive rock with fine gray crystals and is porphyritic.

Andesites are usually found in stratovolcano lava flows above subduction zones. Lava is made up of tiny crystals that cool quickly on the surface. Some of the specimens that cooled quickly were mostly glassy in texture, while others formed from gas-laden lava had a vesicular texture (King, 2018). Andesite rocks which are included in igneous rocks have a hardness level that is classified from medium to very strong. The compressive strength values range from 40-320 MPa or 408-3.265 kg/cm² (Lenggono et al., 2018). Tanah Bumbu County has various potential natural resources, one of which is andesite. In its utilization, andesite rock is widely used in the construction sector, especially in the construction of roads, bridges, airports, ports to house foundations.

Electrical resistivity can identify andesite rocks in the subsurface without drilling the area since each rock

resistivity value is unique. Previously, the lab scale research found out the characteristics of BANDIT (andesite rock) in Laksanamekar Village, Bandung, showed that its resistivity is 351.7 \pm 5.3 Ω m (Saputro, Winingsih, 2018). Meanwhile, Jayadi et al. (2019) determined the resource of andesite rocks using the Wenner-Schlumberger geoelectric resistivity method in Loli Village, Donggala Regency, Central Sulawesi, and obtained andesite rock resource content with high resistivity value ranging from 300-600 Ω m and low cover ranging from 14-45 Ω m. Kusmita, Iwalzi (2021) show that the range of andesite resistivity was 170- >1095 Ω m. Furthermore, using 2D and 3D ERT modeling, in (Antosia et al., 2021) the estimated resistivity value of sandy tuff is 65-212 Ω m, of tuff is 212-655 Ω m and of andesite is more than 655 Ω m. Another findings by (Prastowo et al., 2021) show that the andesite resistivity is more than 668 Ω m, while the value of weathered andesite resistivity ranges from 256 to 536 Ω m. These previous studies are summarized in Table 1.

The objective of this research is finding andesite rocks potential in Tanah Bumbu County South Kalimantan, Indonesia. To this purpose, a measurement based on Wenner configuration geoelectric method and obtaining the 2D cross-section model, analyzing the type of lithology and also the depth and thickness of andesite rocks in Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County is conducted. The outcome of the study is providing the andesite rocks characteristics in Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County and its potential for further development.

Table 1

List of resistivity value of andesite rocks from various studies

| No. | Resistivity Value (Ω m) | Publication |
|-----|---|----------------------------|
| 1 | 351.7 | (Saputro, Winingsih, 2018) |
| 2 | - 300-600 (high resistivity value) - 14-45 (low cover) | (Jayadi et al., 2020) |
| 3 | 170 - >1095 | (Kusmita, Iwalzi, 2021) |
| 4 | > 655 | (Antosia et al., 2021) |
| 5 | > 668 | (Prastowo et al., 2021) |
| 6 | 320-1000 | (Simamora et al., 2021) |
| 7 | ≥ 324 | (Wahyono et al., 2020) |

Methods

This research was conducted in June – December 2021 in Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County, South Kalimantan, Indonesia (as seen in Fig. 1). The geoelectric and andesite rock outcrop data in this study are secondary data obtained from the Regional Technical Implementation Unit (UPTD) of the ESDM Laboratory of South Kalimantan. The geoelectric data acquisition was carried out on four measuring tracks each with a length of 270 m. The used electrode spacing is 10 m and the electrode arrangement follows the Wenner configuration. In this research, andesite rocks resistivity value ranges from 333 to 550 Ω m based on previous studies (Saputro, Winingsih, 2018; Wahyono et al., 2020).

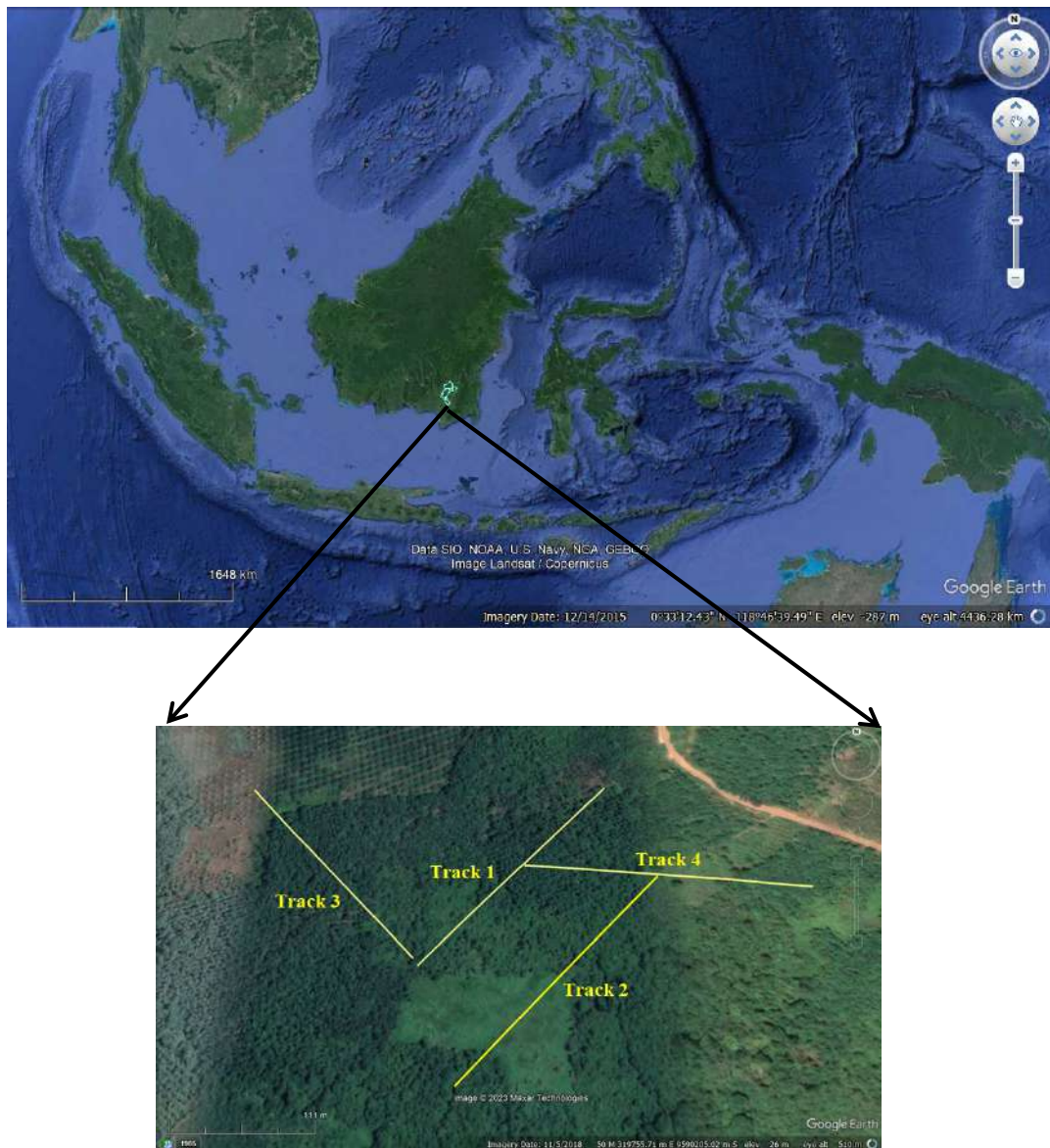


Fig. 1. Map of measurement locations in South Kalimantan, Indonesia (above) and the research location of Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County (below)

The collected data is processed using AGI EarthImager 2D software to produce a 2D cross-section containing resistivity values. The results of data processing were interpreted by correlating the 2D cross-section containing the resistivity value with the geological conditions of the research area, andesite rock outcrops and previous studies. The results of data interpretation and analysis are displayed in a lithological section using Surfer software. This lithological cross-section depicts rock layers to determine the depth and thickness of the rock which provides information on the presence of andesite rocks in Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County.

Results

Track 1 shown in Fig. 2 is in the direction of the relative north-east–south-west section with steep slope terrain conditions. Resistivity with a value range of 333-550 Ωm which is represented by oran-

ge to red indicates an andesite. The first andesite indications are known to be at a distance of 4-40 m with a depth of 1-37 m and a thickness of 36 m. The second indication is at a depth of 17-26 m and at a distance of 48-69 m with andesite thickness of about 9 m. In addition to andesite, on track 1 there are also other indications that are suspected to be layers of clay and sandstone. The clay layer, which has a resistivity value range of 10-45 Ωm , is symbolized by dark blue to light blue. This layer dominates from a distance of 40-260 m and is distributed not only on the surface but also occurs under igneous rocks. The sandstone layer has resistivity values ranging from 45-333 Ωm . The first indication is at a distance of 21-146 m, the second one is at a distance of 180-252 m. Sandstone in the form of small chunks spreads at a distance of 78-93 m, 121-144 m and 203-215 m at a depth of 11-41 m. In Fig. 3 it is seen that the lithology on track 1 is divided into three layers, namely clay, sandstone and andesite.

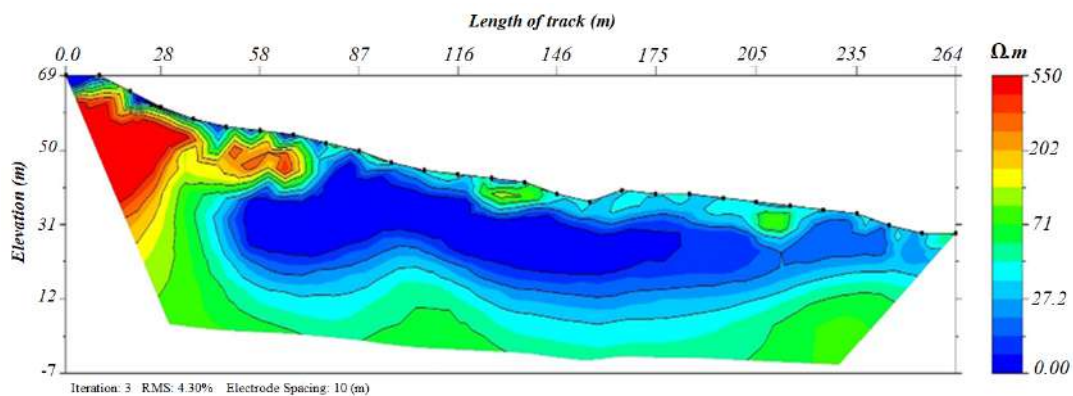


Fig. 2. 2D cross-section of Geoelectric Value on track 1

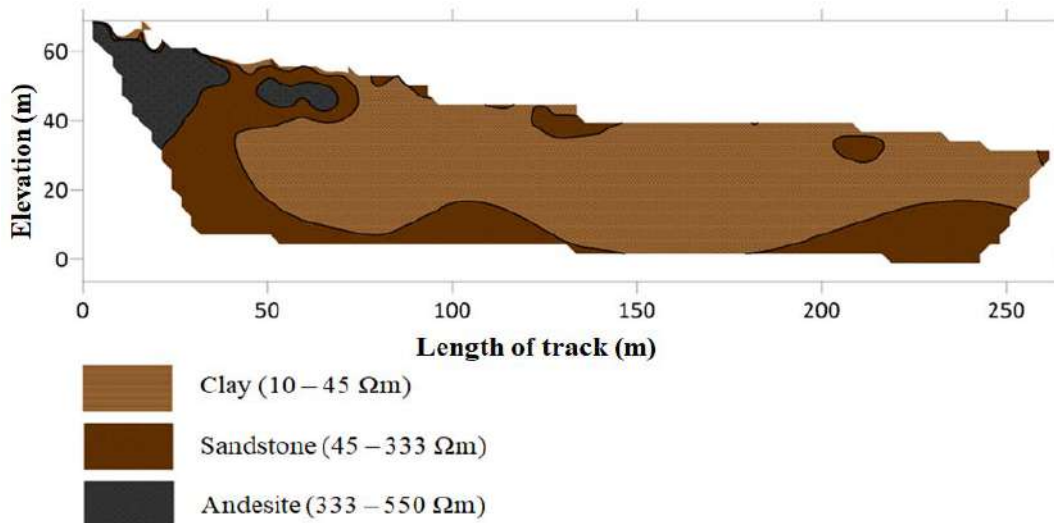


Fig. 3. 2D cross-section of lithology on track 1

Track 2 is relatively parallel to track 1, namely north-east–south-west and is in the form of hillsides in the terrain condition. This layer has a resistivity value of 333-550 Ωm symbolized by orange to red in Fig. 4. The first indication is at a distance of 2-24 m at a depth of 3-23 m with a thickness of 20 m. The resistivity value of 333-550 Ωm is symbolized by orange to red. The second indication is at a depth of 13-17 m with a thickness of 4 m and only spreads at a distance of 26-28 m. The third indication has a resistivity value of 333-428 Ωm and is symbolized by an orange to light orange. Andesite at this point spreads at a distance of 42-50 m and at a depth of 16-22 m with a thickness of about 6 m. In addition to andesite, on track 2 there are also other indications that are suspected to be layers of clay and sandstone. The clay layer has a resistivity value range of 10-45 Ωm while the resistivity value of 45-333 Ωm indicates a sandstone layer. Indications of the clay layer were found at a distance of 19-261 m and the sandstone layer was found at a distance of 13-55 m, 141-180 m and in the form of small boulders scattered at a distance of 189-230 m. A 2D cross-section showing three lithologies is given in Fig. 5.

Track 3 is in the direction of a relatively north-west–south-east stretch almost with flat terrain conditions. The andesite resistivity values range from 333 to 428 Ωm in this path (Fig. 6). In Fig. 7 it is seen that the first indication which is at a depth of 22-57 m has a thickness of 35 m and is at a distance of 40-130 m. The second indication is at a depth of 25-35 m with an andesite thickness of about 10 m. The third indication is not far from the second indication which is considered at a depth of 12-21 m with a thickness of about 9 m. These two indications are at a distance of 192-222 m and both in the form of chunks. The fourth indication which is at a distance of 230-240 m is considered at a depth of 12-28 m with a thickness of about 16 m. Andesite outcrops are found at this point, namely at electrodes 24 and 25. Other layers that are also indicated to be in track 3 are clay and sandstone. The sandstone layer that dominates this path has a resistivity value of 45-333 Ωm . This layer spreads thoroughly at a distance of 3-265 m from the surface to a depth of 61 m. The clay layer which has a resistivity value of 10-45 Ωm was found in the form of small lumps at a distance of 120-141 m and 241-250 m.

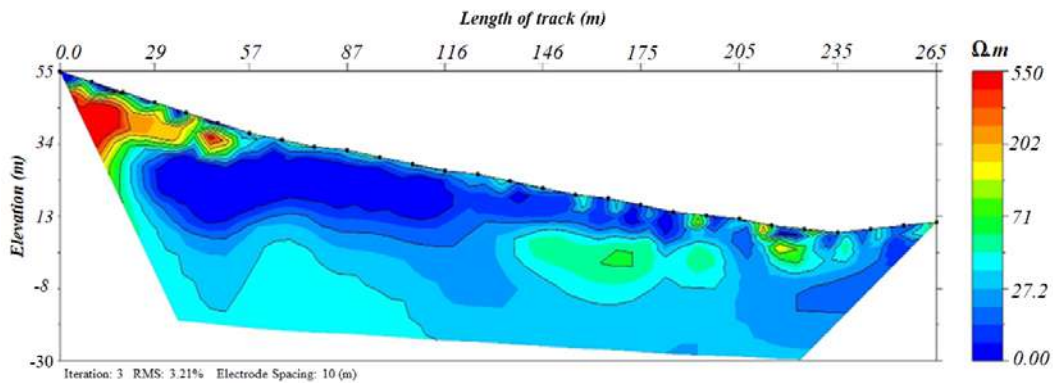


Fig. 4. 2D section of Geoelectric Value on track 2

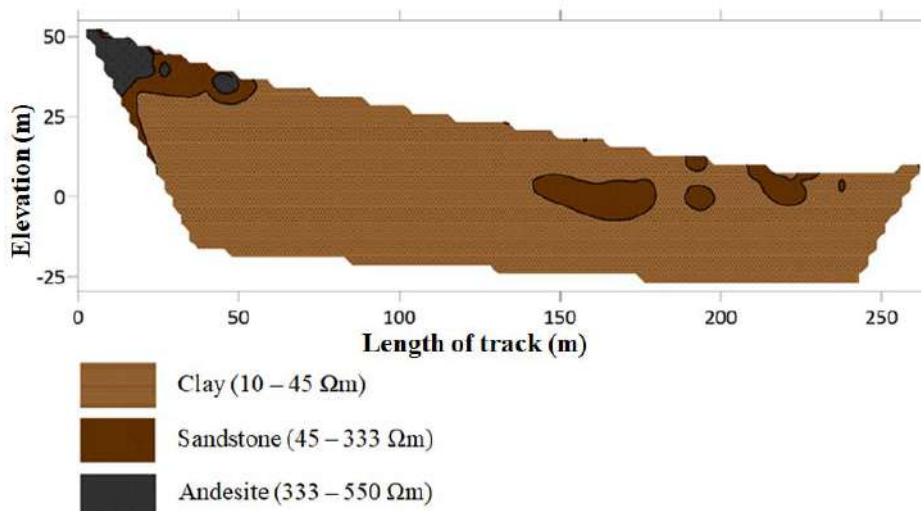


Fig. 5. 2D lithology section on track 2

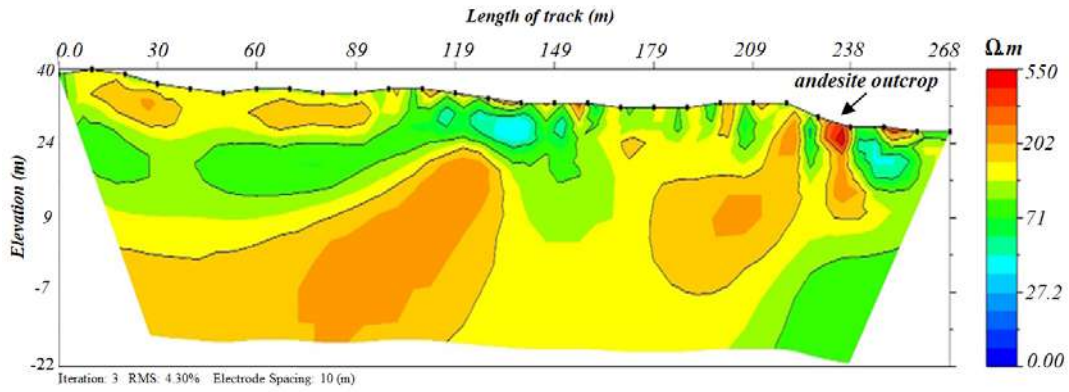


Fig. 6. 2D cross-section of Geoelectric Value on track 3

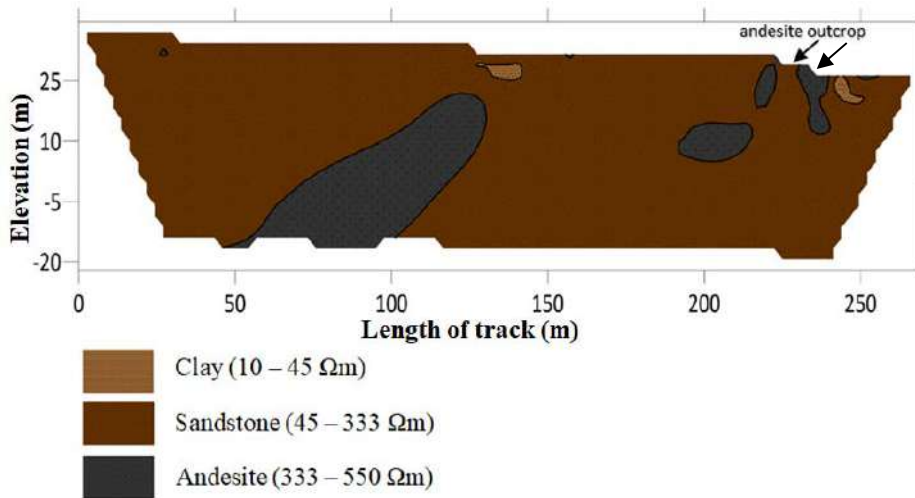


Fig. 7. 2D cross-section of lithology on track 3

Track 4 is in the direction of a relatively east-west stretch with the terrain condition being the top of a hill. Overall, the andesite on track 4 has a resistivity value of 333-550 Ωm which is symbolized by orange to red. This layer has a high resistivity value compared to the surrounding layers. The first indication has a larger size and is at a distance of 2-120 m. Andesite is thought to be at a depth of 23-65 m with a thickness of about 42 m. The second indication is at a distance of 200-239 m at a depth of 53-67 m. The thickness of andesite is about 14 m at the sec-

ond point. The clay layer which has a resistivity value range of 10-45 Ωm is found at a distance of 129-256 m. The determination of this value is in accordance with Jayadi's research (2019) which obtained a clay layer value of 14-45 m. The clay layer is symbolized by dark blue to light blue in Fig. 8. The sandstone layer has a resistivity value ranging from 45-333 Ωm , is located at a distance of 40-245 m and is found in the form of small boulders at a distance of 27-34 m and 41-45 m. Fig. 9 is a 2D cross-section showing the lithology on track 4.

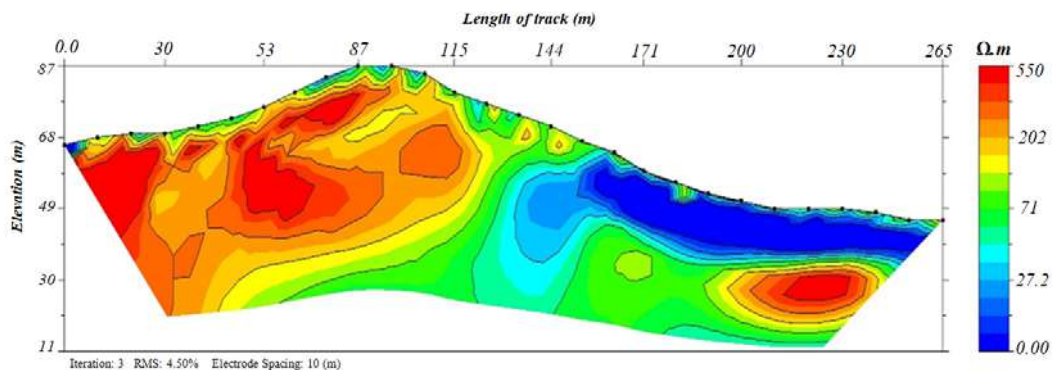


Fig. 8. 2D cross-section of Geoelectric Value on track 4

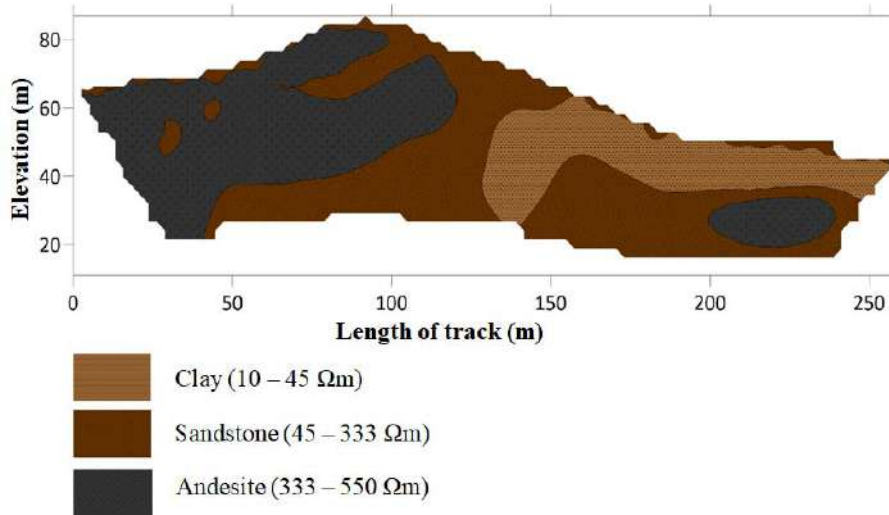


Fig. 9. 2D cross-section of lithology on track 4

Overall, the subsurface layer is composed of three layers, namely clay, sandstone and andesite at the study site. Andesite resistivity for each path is $> 333 \Omega\text{m}$. This value refers to the results of Wahyono's research (2020) which obtained an andesite resistivity value of $324 \Omega\text{m}$. The results of the research by Saputro, Winingsih (2018) categorize the resistivity value of $300\text{-}600 \Omega\text{m}$ as andesite and the research (Ilmi et al., 2018) states that the potential of andesite is estimated to have a resistivity value of $> 100 \Omega\text{m}$. In this research, compared to other tracks, the andesite indication in the middle of track 3 has a fairly low resistivity value which is thought to indicate the physical condition of the andesite rock experiencing mild weathering. Andesite rocks that have undergone mild weathering have fracture lines that appear clearer and appear less fresh in color than secondary minerals (Simamora et al., 2020). The andesite resistivity value increased towards the end of the measurement path which also found andesite outcrops at a distance of $230\text{-}240 \Omega\text{m}$. Two andesite indications were found at a depth of $23\text{-}67 \text{ m}$ with a thickness of $14\text{-}42 \text{ m}$ on track 4. Andesite at a distance of $2\text{-}120 \text{ m}$ is

thought to be a laccolith with a dome-shaped rock body and a boulder at a distance of $200\text{-}239 \text{ m}$. The andesite distribution on track 4 appears to be thicker towards the base of the track and is slightly detected at the end of the measurement track. It can be seen clearly in Fig. 10 and Fig. 11 as the result of combining each 2D cross-section which is vertically displayed andesite distribution information.

Conclusions

In conclusion, there are indications of andesite in Bukit Baru Village, Tanah Bumbu County, Indonesia. Processing of 2D lithology shows that the resistivity value is $10\text{-}550 \Omega\text{m}$ and there are three types of lithology at the research site, namely clay with a resistivity value of $10\text{-}45 \Omega\text{m}$, sandstone with a resistivity value of $45\text{-}333 \Omega\text{m}$ and andesite with a resistivity value of $333\text{-}550 \Omega\text{m}$. Andesite indications were found on all tracks. On track 1 andesite is at a depth of $1\text{-}37 \text{ m}$ with a thickness of $9\text{-}36 \text{ m}$. Track 2 andesite is at a depth of $3\text{-}23 \text{ m}$ with a thickness of $4\text{-}20 \text{ m}$. On track 3 it is at a depth of $12\text{-}57 \text{ m}$ with a thickness of $9\text{-}35 \text{ m}$ and on track 4 it is at a depth of $23\text{-}67 \text{ m}$ with a thickness of $14\text{-}42 \text{ m}$.

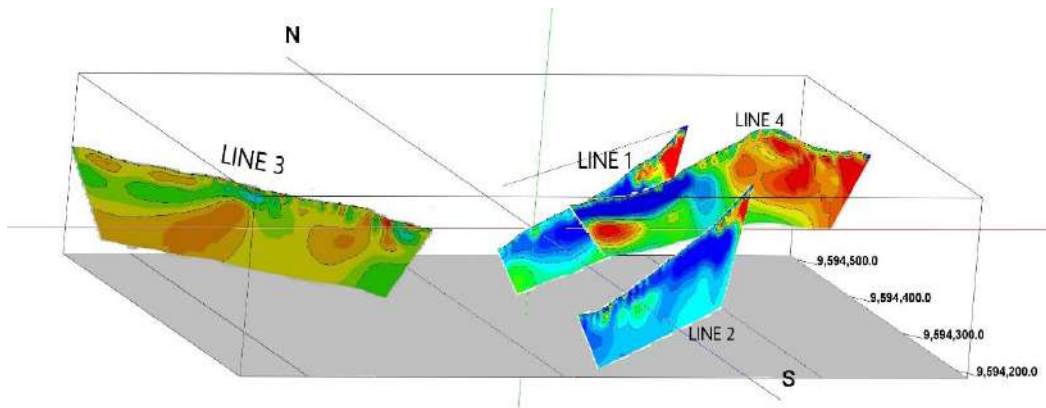


Fig. 10. Combined of 2D geoelectrical section

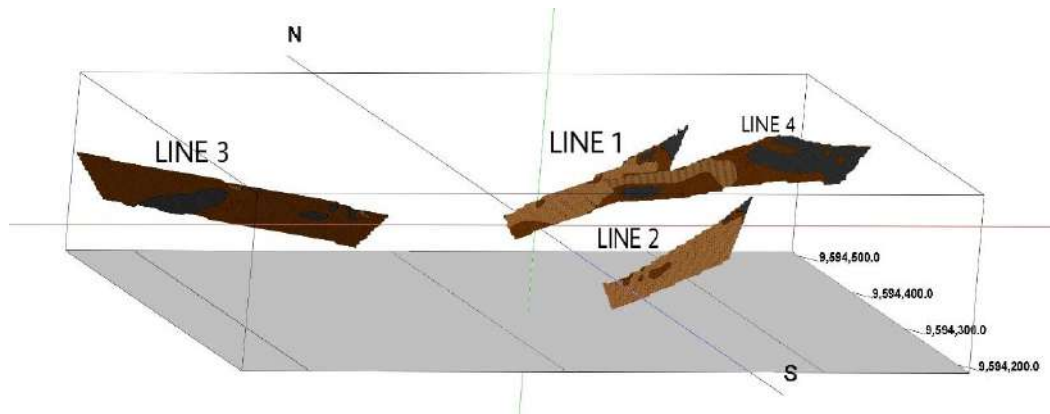


Fig. 11. Combined of 2D Lithology section

Acknowledgement

The authors express their gratitude to the UPTD ESDM Laboratory of South Kalimantan, Indonesia

especially the Exploration and Mapping Equipment Section, which supported this research.

REFERENCES

- Antosia R.M., Mustika, Putri I.A., Rasimeng S., Dinata O. Andesite prospect at West Sungkai of North Lampung: Its distribution based on electrical resistivity tomography. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Vol. 882, No. 1 (012086), 2021, pp. 9.
- Carlson D.H., Plummer C.C., McGeary D. Physical Geology – Earth Revealed (Seventh edition). McGraw-Hill. 2008, 640 p.
- Ilmi I., Taufan Y.A., Denis M., Agus Nur A., Syafri I. Identification of andesite prospects using the geoelectrical method in Cilaku District, Cianjur Regency, West Java. Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY, Vol. 16, No. 3, 2018, pp. 229-236 (in Indonesian).
- Jayadi H., Meidji I.U., Tang B.Y. Identifying andesite rocks sources using geoelectrical resistivity in Loli, Donggala Regency, Central Sulawesi. Journal of Physical Science and Engineering, Vol. 4, No. 2, 2019, pp. 45-54.
- Johnson C., Affolter M.D., Inkenbrandt P., Mosher C. An introduction to geology. Free textbook for college-level introductory geology courses. Salt Lake Community College. 2017.
- King H.M. Pictures of igneous rocks. Andesite [online]. Geology.com. Available from: <https://geology.com/rocks/andesite.shtml>, 2018, [Accessed 10 Jun 2022]
- Kusmita T., Iwalzi. 2D electrical resistivity imaging to determine depth of andesite spreading at Tanjung Batu, Jambi as eco-friendly exploration of minerals method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 926, No. 1 (012046), 2021, pp. 1-7.
- Lenggono T., Putra D.P.E., Setianto A. The quality and distribution of andesite rock for construction materials. Journal of Applied Geology, Vol. 3, No. 2, 2018, pp. 73-82.
- Prastowo R., Helmi H., Trianda O., Umam R. Identification of andesite resource potential in Kalirejo Area, Kokap Sub-District, Kulon Progo using resistivity method. Forum Geografi, Vol. 35, No. 1, 2021, pp. 74-84.
- Price M., Walsh K. Rocks and Minerals. Dorling Kindersley Limited. 2005, 224 p.
- Saputro H., Winingsih P.H. The characterization of BANDIT (andesite rock) at laboratory scale in Laksanamekar village. AIP Conference Proceedings, Vol. 2014, No. 1, 2018, id. 020141.
- Simamora S.T., Wahyono S.C., Siregar S.S. Identification of andesite rocks using the 2D geoelectrical method in the Pengaron Area, South Kalimantan. Jurnal Fisika Unand, Vol. 9, No. 4, 2020, pp. 487-494.

ЛИТЕРАТУРА

- Antosia R.M., Mustika, Putri I.A., Rasimeng S., Dinata O. Andesite prospect at West Sungkai of North Lampung: Its distribution based on electrical resistivity tomography. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Vol. 882, No. 1 (012086), 2021, pp. 9.
- Carlson D.H., Plummer C.C., McGeary D. Physical Geology – Earth Revealed (Seventh edition). McGraw-Hill. 2008, 640 p.
- Ilmi I., Taufan Y.A., Denis M., Agus Nur A., Syafri I. Identifikasi Prospek Andesit Menggunakan Metode Geolistrik di Kecamatan Cilaku, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Bulletin of Scientific Contribution: Geology, Vol. 16, No. 3, 2018, pp. 229-236.
- Jayadi H., Meidji I.U., Tang B.Y. Identifying andesite rocks sources using geoelectrical resistivity in Loli, Donggala Regency, Central Sulawesi. Journal of Physical Science and Engineering, Vol. 4, No. 2, 2019, pp. 45-54.
- Johnson C., Affolter M.D., Inkenbrandt P., Mosher C. An introduction to geology. Free textbook for college-level introductory geology courses. Salt Lake Community College. 2017.
- King H.M. Pictures of igneous rocks. Andesite [online]. Geology.com. Available from: <https://geology.com/rocks/andesite.shtml>, 2018, [Accessed 10 Jun 2022].
- Kusmita T., Iwalzi. 2D electrical resistivity imaging to determine depth of andesite spreading at Tanjung Batu, Jambi as eco-friendly exploration of minerals method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 926, No. 1 (012046), 2021, pp. 1-7.
- Lenggono T., Putra D.P.E., Setianto A. The quality and distribution of andesite rock for construction materials. Journal of Applied Geology, Vol. 3, No. 2, 2018, pp. 73-82.
- Prastowo R., Helmi H., Trianda O., Umam R. Identification of andesite resource potential in Kalirejo Area, Kokap Sub-District, Kulon Progo using resistivity method. Forum Geografi, Vol. 35, No. 1, 2021, pp. 74-84.
- Price M., Walsh K. Rocks and Minerals. Dorling Kindersley Limited. 2005, 224 p.
- Saputro H., Winingsih P.H. The characterization of BANDIT (andesite rock) at laboratory scale in Laksanamekar village. AIP Conference Proceedings, Vol. 2014, No. 1, 2018, id. 020141.
- Simamora S.T., Wahyono S.C., Siregar S.S. Identification of andesite rocks using the 2D geoelectrical method in the Pengaron Area, South Kalimantan. Jurnal Fisika Unand, Vol. 9, No. 4, 2020, pp. 487-494.

Wahyono S.C., Atmadja K.G., Siregar S.S. Identification of andesite rock based on the resistivity value in Satui Area, South Kalimantan. Jurnal Geofisika Eksplorasi, Vol. 6, No. 3, 2020, pp. 173-182.

Wahyono S.C., Atmadja K.G., Siregar S.S. Identification of andesite rock based on the resistivity value in Satui Area, South Kalimantan. Jurnal Geofisika Eksplorasi, Vol. 6, No. 3, 2020, pp. 173-182.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ АНДЕЗИТОВЫХ ПОРОД ОКРУГА ТАНАХ БУМБУ, ЮЖНЫЙ КАЛИМАНТАН НА ОСНОВЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Вахйонo С.К., Сирегар С.С., Путри Р.А., Сарн Н., Вианто Т., Насруллох А.В.

Программа физических исследований, Университет Ламбунга Мангкурата, Индонезия
Banjarbaru 70714, Indonesia: scwahyono@ulm.ac.id

Резюме. В округе Танах-Бумбу имеются значительные запасы андезитовых пород, которые широко используются в строительном секторе. Целью этого исследования является поиск новых месторождений андезита в округе Танах-Бумбу, Южный Калимантан, Индонезия. Для этого проводят измерения на основе геоэлектрического метода, конфигураций Веннера и получения 2D-модели, анализируют литологический тип, а также глубину расположения и толщину андезитовых пород в деревне Букит-Бару, графство Танах-Бумбу. Измерения проводятся на четырех дорожках длиной 270 м каждая и расстоянием между электродами 10 м. Расположение электродов соответствует конфигурации Веннера. Обработка данных осуществляется с помощью программного обеспечения AGI EarthImager 2D и Surfer. Результаты обработки данных были интерпретированы путем корреляции 2D поперечных сечений, содержащих значения удельного сопротивления, с геологическими условиями района исследований, выходами андезитовых пород и предыдущими исследованиями. Результаты интерпретации и анализа данных отображаются в литологическом разрезе с помощью программного обеспечения Surfer. Этот литологический разрез изображает слои породы для определения ее глубины и толщины, что дает информацию о наличии андезитовых пород в деревне Букит-Бару, округ Танах-Бумбу. В результате идентификации 2D поперечных сечений делается заключение о том, что обнаружено три типа литологических слоев, а именно: глина со значением удельного сопротивления 10-45 Ωm , песчаник – с 45-333 Ωm , андезит – с 333-550. Результаты двумерной интерпретации показывают, что андезит, который находится на глубине 1-67 м и характеризуется толщиной 4-42 м, имеет значение удельного сопротивления 333-550 Ωm .

Ключевые слова: округ Танах Бумбу, андезитовая порода, деревня Букит-Бару, конфигурация Веннера, метод удельного сопротивления

XÜSUSİ MÜQAVİMƏT ƏSASINDA CƏNUBİ KALİMANTANIN TANAX BUMBUBU DAİRƏSİNİN ANDEZİT SÜXURLARININ İDENTİFİKASİYASI VƏ TƏSNİFATI

Vaxyono S.K., Sireqar S.S., Putri R.A. Sari N., Vianto T., Nasrullox A.V.

Fiziki tədqiqatlar proqramı, Lambunq Manqkurat Universiteti, İndoneziya
Banjarbaru 70714, Indonesia: scwahyono@ulm.ac.id

Xülasə. Tanax Bumbu dairəsində tikinti sektorunda geniş istifadə edilən andezit süxurlarının böyük ehtiyatları mövcuddur. Bu tədqiqatın məqsədi İndoneziya, Cənubi Kalimantanın Tanax Bumbu dairəsində andezitlərin yeni yataqlarının axtarışından ibarətdir. Buna nail olmaq üçün geoelektrik metod əsasında Venner konfigurasiyaları ölçülmələri və 2D modelləri almaq üçün litoloji tipləri, həmçinin Tanax Bumbu qraflığının Bukit-Baru kəndində andezit süxurlarının qalınlığını təhlil edirlər. Ölçülmələr hərəsinin uzunluğu 270 m və elektrodlar arası məsafə 10 m olan dörd zolaqda aparılır. Elektrodların yerləşməsi Venner konfigurasiyasına müvafiqdir. Məlumatların emalı AGI EarthImager 2D və Surfer proqram təminatı vasitəsilə həyata keçirilir. Məlumatların emal nəticələri andezit süxurları çıxışları olan tədqiqat rayonunun geoloji şəraitində xüsusi müqavimətə malik 2D köndələn kəsirlərin korrelyasiyası və əvvəlki tədqiqatlarla interpretasiya olunmuşdur. Məlumatların təhlili və interpretasiya nəticələri Surfer proqram təminatı vasitəsilə litoloji kəsilişdə əks olunur. Bu litoloji kəsiliş süxur qatlarının dərinlik və qalınlığını əks etdirərək, Tanax Bumbu qraflığının Bukit-Baru kəndində andezit süxurlarının varlığı haqqında məlumat verir. 2D köndələn kəsirlərin identifikasiyası əsasında belə nəticə çıxarmaq olur ki, üç tip litoloji qat: gil – 10-45 Ωm , qumdaşı – 45-333 Ωm və andezit – 333-550 Ωm xüsusi müqavimətli aşkar olunmuşdur. İkiölçülü interpretasiya nəticələri göstərir ki, andezit 1-67 m dərinlikdə yerləşir və 4-42 m qalınlıqla səciyyələnir, 333-550 Ωm xüsusi müqavimətə malikdir.

Açar sözlər: Tanax Bumbu, andezit süxurları, Bukit-Baru kəndi, Venner konfigurasiyası, xüsusi müqavimət metodu

BOUGUER GRAVITY DATA AND SATELLITE GRAVITY TRANSFORMATION INTEGRATION IN THE CASPIAN REGION: AN INTRODUCTION

Kadirov F.A.^{1,2}, Klokočník J.³, Eppelbaum L.V.^{4,5}, Kostelecký J.^{6,7}, Bezděk A.³

¹Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan
119, H.Javid Ave. Baku, AZ1143: kadirovf@gmail.com

²Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Oil and Gas, Azerbaijan
9, F.Amirov ave., Baku, AZ1000: kadirovf@gmail.com

³Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague

⁴Dept. of Geophysics, Tel Aviv University, Israel
Ramat Aviv 6997801, Tel Aviv

⁵Azerbaijan State Oil and Industry University
20 Azadlig Ave., Baku, AZ1010, Azerbaijan

⁶Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, Zdiby, Czech Republic

⁷Faculty of Mining and Geology, VSB-TU Ostrava, Czech Republic

Keywords: Bouguer gravity map, satellite gravity measurements, gravity aspects, combed strike angles, dilatation, compression

Summary. Earth's surface gravity measurements are essential (as close to the investigation targets) but insufficient. These measurements were carried out at different years, with various scales and accuracy and numerous white spots. The present epoch makes it possible to utilize various satellite gravity missions that have accomplished a great number of repetitions, the same grids, and the same accuracy. This paper considers satellite-derived data retracked to the Earth's surface and transformed by various mathematical apparatuses. These data can be derived from the global Earth's satellite data, mainly from the GRACE and GRACE-FO missions. The gravity gradient tensor Γ (the *Marussi tensor*) is a tensor of the second derivatives of the disturbing potential T of the gravity field model. This tensor was considered the centerpiece of traditional differential geodesy. It is analogous to the tidal deformation from geodesy and geophysics; one can imagine the direction of such a deformation due to "erosion" brought about solely by gravity. The strike angles usually show chaotic directions. We aim to detect where they are oriented dominantly in one prevailing direction (linearly or creating a halo around the object). Another applied gravitational parameter allows us to obtain the distribution of compressions and dilatations. The values may be used for detecting mainly subsurface structures: oil-gas fields, groundwater, and paleolakes. Integrating the conventional Bouguer gravity maps with satellite-derived gravity transformations will enable the generation of crucial physical-geodynamical and geological conclusions.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The gravity field analysis is a comprehensive instrument for studying gravity anomalies of different orders (e.g., Kadirov, 2000; Kadirov et al., 2012; Klokočník et al., 2014, 2017, 2020; Eppelbaum et al., 2018; Eppelbaum, 2019). The studied regions of the Caspian Sea and surrounding areas display the mosaic distribution of the Earth's surface (water) observed

Bouguer gravity anomalies (Figure 1), not all of which are explained geologically.

At present, the variable gravity data can be derived from the global Earth's satellite data, mainly from the GRACE and GRACE-FO missions. The combination of Earth's surface registered data with the non-conventional satellite-derived gravity field transformations is of great interest.

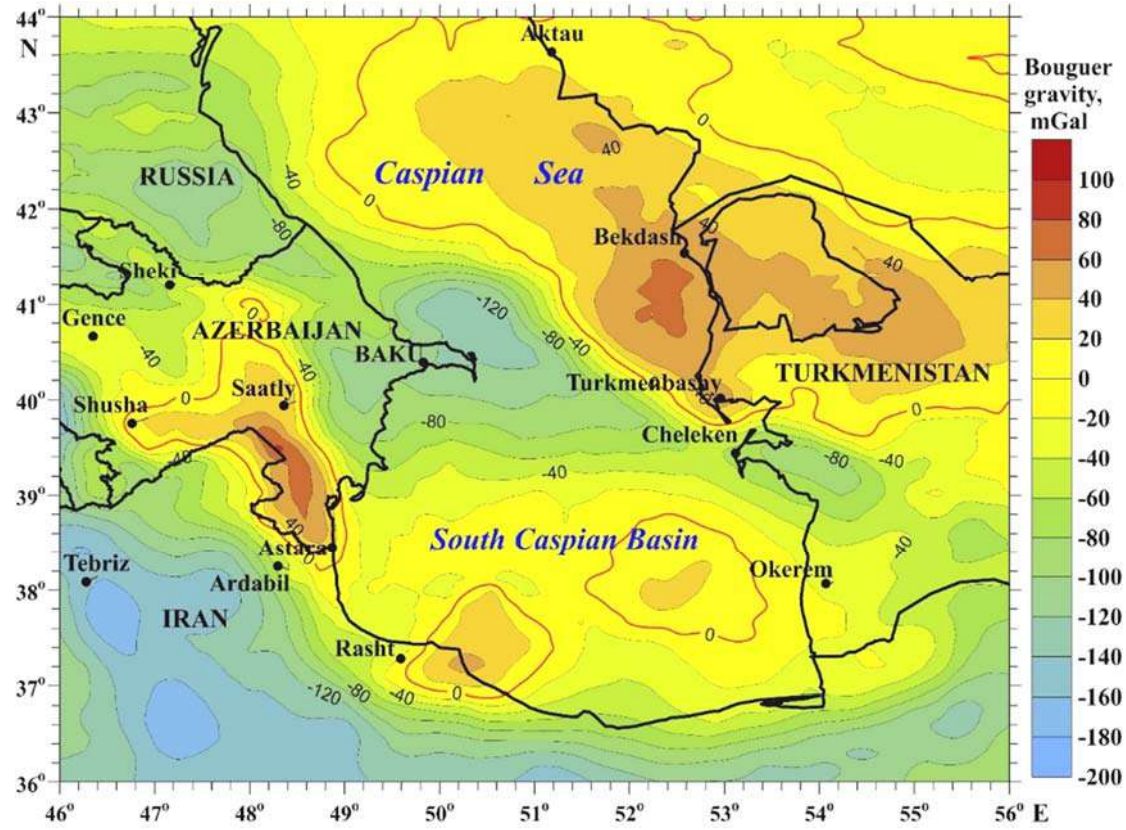


Fig. 1. Bouguer gravity map of the study region (after Kadirov (2000) and Gravity Map (1990))

The disturbing static global gravitational potential outside the masses of a celestial body in the spherical harmonic expansion is given by

$$T(r, \varphi, \lambda) = \frac{GM}{r} \sum_{l=2}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{R}{r}\right)^l (C'_{l,m} \cos m\lambda + S_{l,m} \sin m\lambda) P_{l,m}(\sin \varphi), \quad (1)$$

where GM is a product of the universal gravitational constant G and the mass M of the planet (also known from satellite analyses as the geocentric gravitational constant in the case of the Earth), r is the radial distance of an external point where T is computed, R is the radius of the planet (which can be approximated by the semi-major axis of a reference ellipsoid), $P_{l,m}(\sin \varphi)$ are the Legendre associated functions, l and m are the degree and order of the spherical harmonic expansion, the coordinates (φ, λ) are the planetocentric latitude and longitude, $C'_{l,m}$ and $S_{l,m}$ are the *harmonic geopotential coefficients* (*Stokes parameters*), fully normalized, $C'_{l,m} = C_{l,m} - C^{el}_{l,m}$, where $C^{el}_{l,m}$ belongs to the reference ellipsoid. The word “**disturbing**” here means the difference between the actual body's total gravitational potential and the reference body's gravitational potential, i.e., the reference ellipsoid, usually taken as a rotational ellipsoid with some flattening on the poles due to the rotation of that body. All the gravity transformations of satellite-derived observations provide thorough information about the density anomaly due

to the causative body, which is more complete than, for example, the information that the traditional gravity anomalies themselves could yield. The set of gravity aspects informs about location, shape, orientation, a tendency to a 2D or 3D pattern, and some stress tendencies and may also partly simulate “dynamic information” (Klokočník et al., 2017).

Applied Methods

The gravity gradient tensor Γ (the *Marussi tensor* or simply the **gravity tensor**) is a tensor of the second derivatives of the disturbing potential T of the gravity field model. The Marussi tensor was considered the centerpiece of traditional differential geodesy. The tensor Γ is given in the local north-oriented reference frame (x, y, z) , where z has the geocentric radial direction, x points to the north, and y is directed to the west (Pedersen and Rasmussen, 1990):

$$\Gamma = \begin{bmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 V}{\partial x \partial z} \\ \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 V}{\partial y \partial z} \\ \frac{\partial^2 V}{\partial z \partial x} & \frac{\partial^2 V}{\partial z \partial y} & \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

The gradient tensor Γ contains information about subsurface strike (stress) directions. Pedersen and Rasmussen (1990) defined the *strike angle* θ (strike lineaments, strike direction) as follows:

$$\begin{aligned} \tan 2\theta_s &= 2 \frac{T_{xy}(T_{xx} + T_{yy}) + T_{xz}T_{yz}}{T_{xx}^2 - T_{yy}^2 + T_{xz}^2 - T_{yz}^2} = \\ &= 2 \frac{-T_{xy}T_{zz} + T_{xz}T_{yz}}{T_{xz}^2 - T_{yz}^2 + T_{zz}(T_{xx} - T_{yy})}, \end{aligned} \quad (3)$$

where θ is estimated within a multiple of $\pi/2$; and only one value represents the main direction of Γ .

The strike angle may indicate a dominant 2D structure. If one were able to rotate with the structure in such a way that the elements of the first row and first column of Γ were identically equal to zero, then one would reach a “correct” direction of “stress fields” described by θ (Beiki and Pedersen, 2010).

Mathematically, θ is the main direction of Γ . Geophysically, it is an important direction for the ground structures; it may indicate areas with a higher porosity or “stress directions” or both (Klokočník et al., 2020).

The strike angles usually show chaotic directions. Sometimes, they are oriented dominantly in one prevailing direction (linearly or creating a halo around the object); they are aligned, we say, “combed”. The values may be used for detecting mainly subsurface structures: oil-gas fields, groundwater, paleolakes, or impact craters (e.g., Klokočník et al. 2020, and further references there).

The situation remains, however, not unambiguous when solely using gravity data. The parameter θ probably relates to changes in porosity, for example, possibly revealing the porosity increase due to an impact pressure deformation. It is evident that we need additional information on the gravity aspects. This means geological or geophysical information, namely drilling data, analysis of seismic data, magnetic anomalies, thermal and other data.

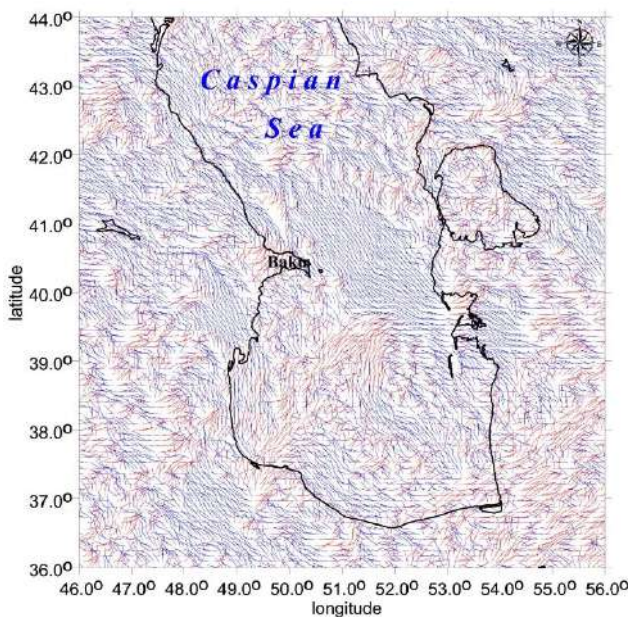


Fig. 2. Map of the strike angles (the main direction of the tensor Γ)

Let us define the parameter of “virtual deformation” (Kalvoda et al., 2013). It is analogous to the tidal deformation from geodesy and geophysics; one can imagine the directions of such a deformation due to “erosion” brought about solely by gravity.

If there were a tidal potential, represented as in our case by the gravity potential T , then horizontal shifts (deformations) would exist due to this, and they could be expressed in the north-south direction (latitude direction) as

$$u_\Phi = l_s \frac{1}{g} \frac{\partial T}{\partial \varphi}, \quad (4)$$

and in the east-west direction (longitudinal direction) as

$$u_\Lambda = l_s \frac{1}{g \cos \varphi} \frac{\partial T}{\partial \lambda}, \quad (5)$$

where g is the gravity acceleration ($9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$), l_s is the elastic coefficient (called the Shida number) expressing the elastic properties of the Earth as a planet (generally $l_s = 0.08$), φ and λ are the geocentric latitude and longitude of the point P where we measure T ; and the potential T is expressed in [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$].

Results and discussion

Here are presented only two examples from a wide variety of transformations: parameter Q (Figure 2), one of the variants of virtual deformations (Figure 3) and “combed” image accompanied by hydrocarbon deposit location (Figure 4). As clearly seen from Figure 1, from one side, and Figures 2, 3 and 4, from another side, despite a visible correlation between these figures, variety of noticeable anomalies wait for their careful physical-geological interpretation.

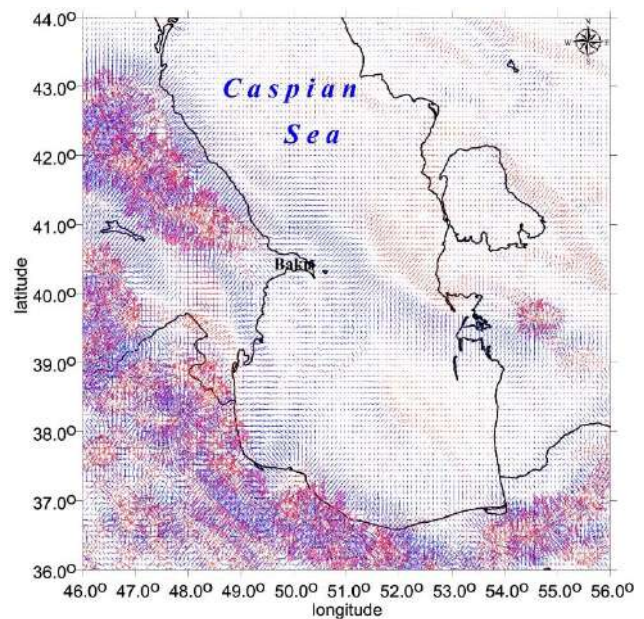


Fig. 3. Map of the virtual deformation parameter. Blue color reflects areas of compression, and red color – areas of dilation

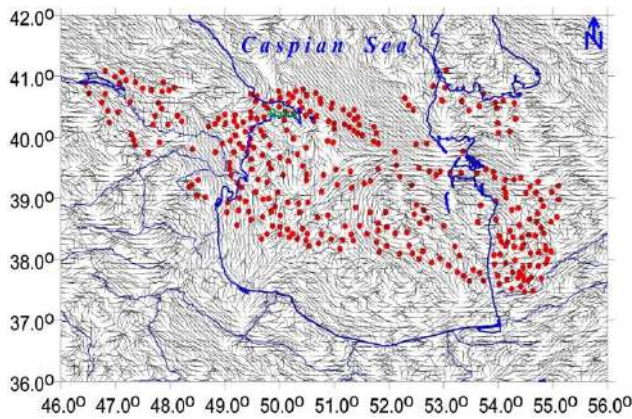


Fig. 4. The “combed” strike angles (black dashes) in the South Caspian Basin accompanied by the hydrocarbon deposit location (red dots) (last – after Alizadeh et al., 2017)

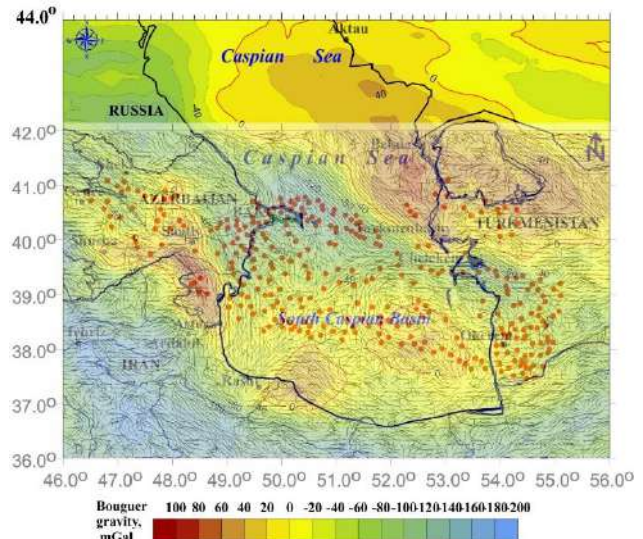


Fig. 5. Comparison of the Bouguer gravity map (Fig. 1) and the “combed” strike angles (Fig. 4)

The tectonic-geodynamic significance of Figures 2, 3, and 4 is obvious, but their further study demands an integrated geological-geophysical examination with attracting the available borehole data.

The comparison of the Bouguer gravity map (Figure 1) and the “combed” strike angles are displayed in Figure 5. Evidently, a careful analysis of the borehole columns and the attraction of other data are necessary.

REFERENCES

- Alizadeh A.A., Guliyev I.S., Kadirov F.A., Eppelbaum, L.V. Geosciences in Azerbaijan. Volume II: Economic Minerals and Applied Geophysics. Springer. Heidelberg – N.Y., 2017, 340 p.
- Eppelbaum L.V. Geophysical Potential Fields: Geological and Environmental Applications. Elsevier. Amsterdam – N.Y., 2019, 476 p.
- Eppelbaum L., Katz Yu., Klokočník J., Kosteletský J., Zheludev V., Ben-Avraham Z. (2018). Tectonic insights into the Arabian-African Region inferred from a comprehensive examination of Satellite Gravity Big Data. *Global and Planetary Change*, Vol.171, pp. 65-87.
- Gravity map of the USSR. Scale 1:2500000, Ministry of Geology. Moscow, USSR, 1990.
- Kadirov F.A. Gravity field and models of Azerbaijan’s deep structure. Nafta-Press. Baku, 2000 (in Russian).
- Kadirov F., Floyd M., Alizadeh A., Guliyev I., Reilinger R., Kuleli S., King R., Toksoz, M.N. Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Natural Hazards*, Vol. 63, No. 2, 2012, pp. 997-1006.
- Kalvoda J., Klokočník J., Kosteletský J., Bezděk A. Mass distribution of Earth landforms determined by aspects of the geopotential as computed from the global gravity field model EGM 2008. *Acta Univ. Carolinae, Geographica XLVIII*, 2, Prague, 2013, pp. 17-97.
- Klokočník J., Kosteletský J., Bezděk A. Gravitational Atlas of Antarctica. Springer. Dordrecht – N.Y., 2017, 124 p.
- Klokočník J., Kosteletský J., Čílek V., Bezděk A. Subglacial and underground structures detected from recent gravito-topography data. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 2020.
- Klokočník J., Kosteletský J., Eppelbaum L., Bezděk A. Gravity

Conclusions

Combining conventional gravity measurements with the calculation of advanced satellite-derived gravity transformations will enable us to obtain novel physical-tectonic characteristics, for example, locating subsurface inhomogeneities and detecting deep faults, zones of compression, and dilatation.

ЖИТЕПАТЫПА

- Alizadeh A.A., Guliyev I.S., Kadirov F.A., Eppelbaum, L.V. Geosciences in Azerbaijan. Volume II: Economic Minerals and Applied Geophysics. Springer. Heidelberg – N.Y., 2017, 340 p.
- Eppelbaum L.V. Geophysical Potential Fields: Geological and Environmental Applications. Elsevier. Amsterdam – N.Y., 2019, 476 p.
- Eppelbaum L., Katz Yu., Klokočník J., Kosteletský J., Zheludev V., Ben-Avraham Z. (2018). Tectonic insights into the Arabian-African Region inferred from a comprehensive examination of Satellite Gravity Big Data. *Global and Planetary Change*, Vol.171, pp. 65-87.
- Gravity map of the USSR. Scale 1:2500000, Ministry of Geology. Moscow, USSR, 1990.
- Kadirov F., Floyd M., Alizadeh A., Guliyev I., Reilinger R., Kuleli S., King R., Toksoz, M.N. Kinematics of the eastern Caucasus near Baku, Azerbaijan. *Natural Hazards*, Vol. 63, No. 2, 2012, pp. 997-1006.
- Kalvoda J., Klokočník J., Kosteletský J., Bezděk A. Mass distribution of Earth landforms determined by aspects of the geopotential as computed from the global gravity field model EGM 2008. *Acta Univ. Carolinae, Geographica XLVIII*, 2, Prague, 2013, pp. 17-97.
- Klokočník J., Kosteletský J., Bezděk A. Gravitational Atlas of Antarctica. Springer. Dordrecht – N.Y., 2017, 124 p.
- Klokočník J., Kosteletský J., Čílek V., Bezděk A. Subglacial and underground structures detected from recent gravito-topography data. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 2020.
- Klokočník J., Kosteletský J., Eppelbaum L., Bezděk A. Gravity disturbances, the Marussi tensor, invariants and other functions of the geopotential represented by EGM 2008. *Journal*

disturbances, the Marussi tensor, invariants and other functions of the geopotential represented by EGM 2008. Journal of Earth Science Research, Vol. 2, No. 3, 2014, pp. 88-101.

Pedersen B.D., Rasmussen T.M. The gradient tensor of potential field anomalies: Some implications on data collection and data processing of maps. Geophysics, Vol. 55, No. 12, 1990, pp. 1558-1566.

of Earth Science Research, Vol. 2, No. 3, 2014, pp. 88-101.

Pedersen B.D., Rasmussen T.M. The gradient tensor of potential field anomalies: Some implications on data collection and data processing of maps. Geophysics, Vol. 55, No. 12, 1990, pp. 1558-1566.

Кадиров Ф.А. Гравитационное поле и модели глубокого строения Азербайджана. Нафта-Пресс. Баку, 2000.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РЕДУКЦИИ БУГЕ И ТРАНСФОРМАЦИЙ СПУТНИКОВЫХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ: ВВЕДЕНИЕ

Кадиров Ф.А.^{1,2}, Клокочник Я.³, Эппелбаум Л.В.^{4,5}, Костелески Я.^{6,7}, Бездек А.³

¹Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, Институт геологии и геофизики, Азербайджан AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119: kadirovf@gmail.com

²Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, Институт нефти и газа, Азербайджан AZ1000, Баку, ул. Ф.Амирова, 9: kadirovf@gmail.com

³Астрономический Институт, Академия наук Чешской Республики, Прага

⁴Отдел геофизики, Тель-Авивский университет, Израиль
Рамат-Авив 6997801, Тель-Авив

⁵Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан AZ1010, Баку, просп. Азадлыг, 20

⁶Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии, Здиби, Чехия

⁷Факультет горного дела и геологии, Остравский технический университет, Острава, Чехия

Резюме. Анализ гравитационного поля является одним из мощных методов изучения как региональных, так и локальных особенностей строения Земли. Гравитационные измерения на поверхности Земли необходимы (поскольку находятся ближе к объектам исследования), но недостаточны. Данные измерения проводились в различные годы, с разным масштабом и точностью и многочисленными «белыми пятнами» в тех областях, где невозможно было провести измерения по тем или иным причинам. Нынешняя эпоха позволяет использовать многократно повторенные спутниковые гравитационные измерения, наблюдаемые по одинаковой сети и с одинаковой точностью. В этой статье рассматриваются особенности спутниковых гравитационных данных, пересчитанных к поверхности Земли и трансформированных с использованием различных алгоритмов. В настоящее время эти данные могут быть получены из глобальных спутниковых данных, в основном из миссий GRACE и GRACE-FO. Тензор градиента гравитации Γ (Марусси тензор) представляет собой тензор вторых производных возмущающего потенциала T модели гравитационного поля. Данный тензор считается центральным элементом традиционной дифференциальной геодезии, аналогичным приливной деформации в геодезии и геофизики. Это позволяет представить направления такой деформации за счет «эрозии», вызванной исключительно силой тяжести. Углы простираения обычно показывают хаотические направления. Нашей целью является определение тех площадей, где углы простираения ориентированы преимущественно в одном преобладающем направлении (линейно или создавая некий ореол вокруг объекта исследований). Другой применяемый гравитационный параметр позволяет получить распределение сжатий и растяжений. Полученные карты могут быть использованы для выявления погребенных структур: нефтегазовых месторождений, подземных вод и палеозер. Комплексирование конвенциональных карт силы тяжести в редукции Буге с преобразованными спутниковыми гравитационными данными позволяет сделать выводы, имеющие существенные физико-геодинамические и геологические аспекты.

Ключевые слова: гравитационная карта в редукции Буге, спутниковая гравиметрия, гравитационные параметры, сглаженные углы простираений, растяжение, сжатие

XƏZƏR REGIONU QRAVİTASIYA SAHƏSİNİN BUQE REDUKSIYASININ VƏ PEYK QRAVİTASIYA MƏLUMATLARININ TRANSFORMASIYALARI İLƏ İNTEQRASIYASI: GİRİŞ

Qədirov F.Ə.^{1,2}, Klokoçnik Ya.³, Eppelbaum L.V.^{4,5}, Kosteleski Ya.^{6,7}, Bezdek A.³

¹Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Geologiya və Geofizika İnstitutu, Azərbaycan AZ1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 119: kadirovf@gmail.com

²Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Neft və Qaz İnstitutu, Azərbaycan AZ1000, Bakı, F.Əmirov küçəsi, 9: kadirovf@gmail.com

³Astronomiya İnstitutu, Çexiya Respublikası Elmlər Akademiyası, Praqa

⁴Geofizika şöbəsi, Tel-Əviv Universiteti, İsrail
Ramat-Əviv 6997801, Tel-Əviv

⁵Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan AZ1010, Bakı, Azadlıq prospekti, 20

⁶Elmi-Tədqiqat Geodeziya, Topoqrafiya və Kartografiya İnstitutu, Zdibi, Çexiya

⁷Dağ işi və geologiya fakulteti, Ostrava Texniki Universiteti, Çexiya, Ostrava

Xülasə. Qravitasiya sahəsinin təhlili Yer strukturunun həm regional, həm də lokal xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün güclü üsullardan biridir. Yer səthində qravitasiya ölçmələri zəruri olsada (çünki onlar öyrənilən obyektlərə daha yaxındır) kifayət deyil. Bu ölçmələr müxtəlif illərdə müxtəlif miqyasda və dəqiqliklə aparılıb, bu və ya digər səbəbdən ölçmə aparılması mümkün olmayan çoxsaylı yerlər (“ağ ləkələr”) mövcuddur. Hazırkı dövr eyni şəbəkə üzərində və eyni dəqiqliklə müşahidə edilən dəfələrlə təkrarlanan peyk qravitasiya ölçmələrindən istifadə etməyə imkan verir. Bu məqalədə müxtəlif alqoritmlər istifadə edilərək Yer səthinə hesablanmış

peyk qravitasiya məlumatlarının xüsusiyyətləri müzakirə edilir. Hazırda bu məlumatlar əsasən GRACE və GRACE-FO qlobal peyk məlumatlarından, əldə edilə bilər. Qravitasiya qradiyenti tensoru Γ (Maroussi tensoru) qravitasiya sahəsi modelinin həyəcənlanmış T potensialının ikinci törəmələrinin tenzorudur. Bu tensor geodeziya və geofizikada Yerin qabaran deformasiyasına bənzər ənənəvi diferensial geodeziyanın mərkəzi elementi hesab olunur. Bu, yalnız qravitasiya qüvvəsinin yaratdığı "eroziya" səbəbindən belə deformasiyanın istiqamətlərini təmsil etməyə imkan verir. Uzanım bucaqları adətən xaotik istiqamətləri göstərir. Məqsədimiz uzanım bucaqlarının əsasən bir üstünlük təşkil edən istiqamətə yönəldildiyi sahələri müəyyən etməkdir (xətti və ya tədqiqat obyektinin ətrafında bir növ areol yaratmaqla). Digər tətbiq olunan qravitasiya parametri sıxılmaların və gərginliklərin paylanması əldə etməyə imkan verir. Alınan xəritələr kömülmüş strukturları (neft və qaz yataqları, yeraltı sular və paleolaklar) müəyyən etmək üçün istifadə edilə bilər. Buqə reduksiyasında məlum qravitasiya xəritələrinin çevrilmiş peyk qravitasiya məlumatları ilə inteqrasiyası əhəmiyyətli fiziki, geodinamik və geoloji aspektləri olan nəticələr çıxarmağa imkan verir.

Açar sözlər: *Buqə qravitasiya xəritəsi, peyk qravimetriyası, qravitasiya parametrləri, uzanmanın hamarlanmış bucaqları, genişlənmə, sıxılma*

**DIGITAL ESTIMATION OF THE GRAVITATIONAL EFFECT
OF THE CRYSTALLINE BASEMENT OF THE YEVLAKH-AGJABADI BASIN
(MIDDLE-KUR DEPRESSION, AZERBAIJAN)**

Isgandarov E.H.

*Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan
34, Azadlig ave., Baku, AZ1010: elton_iskender@mail.ru*

Keywords: *algorithm, block-diagram, gravity anomaly, structural map, assessment of gravitational effect, gravity model, digital modeling*

Summary. The paper is devoted to an assessment of the gravitational effect of the crystalline basement of the Yevlakh-Agjabadi Basin of the Middle Kur Depression of Azerbaijan. The Yevlakh-Agjabadi trough is characterized by a thick layer of sedimentary deposits of the Mesozoic and Cenozoic age, lying on a crystalline basement. According to the data of deep seismic sounding, a structural map on the surface of the crystalline basement was plotted. The trough itself is oriented in the Caucasian direction. In this area well-known Muradkhanly and Jafarly oil and gas deposits occur. The crystalline basement, as well as the Meso-Cenozoic deposits, have excessive density and therefore are well reflected in the gravitational field as local gravity anomalies. It can be said that most of the areas of Azerbaijan, including the territory of the Yevlakh-Agjabadi trough, are covered by a general and detailed gravimagnetic surveys. Based on these results, a number of local anomalies were identified here, including in the Muradkhanly and Jafarly areas. High-precision gravimetric and magnetometric surveys are carried out here using digital gravimeters and magnetometers, which disclose great opportunities for gravimetric and magnetometric explorations in the study of this region. In addition, the Department of Geophysics of Azerbaijan State Oil and Industrial University has developed software for various transformations of gravimagnetic fields, as well as solving forward and inverse problems of gravity and magnetic exploration. Therefore, the study of this trough by digital gravity modeling is a very essential problem.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

In the search, exploration and study of the geological structure of promising oil and gas areas, the gravimetric exploration method is of great importance, and is based on studying the distribution pattern of gravity fields created by some structural uplifts which are characterized by an excess density contrast of rocks their composing. At the stage of gravimetric data quantitative interpretation, a very important problem is modeling of gravitational anomalies, which has a great importance for the geological interpretation (e.g., Искандаров, 2018, 2011, 2005; Hirt, 2016; Nava-Flores, 2016; Hinze et al., 2013; Chakravarthi, 2003). Currently, this problem is being solved in the form of digital modeling using modern graphic programs in two-dimensional and three-dimensional versions based on the results of computer calculations of the observed and theoretical gravitational fields using developed algorithms and programs, which provide the most complete picture of the shape, depth and size of the desired geological facilities and oil and gas fields.

Currently, high-precision gravity exploration using digital gravimeters is being carried out all over the world, as well as in Azerbaijan, which makes it possible to solve finer structural problems and give a more accurate solution to the problem of direct searches for oil and gas deposits. One of the areas with a promising oil and gas potential in the Middle Kur Depression of Azerbaijan is the Yevlakh-Agjabadi trough, which is characterized by a thick layer of sedimentary deposits of the Mesozoic and Cenozoic age, lying on a crystalline basement. According to deep seismic sounding data, a structural map is constructed here on this surface (Fig.1). The Yevlakh-Agjabadi Basin is oriented in the Caucasian direction and is characterized by the depths isohypses from 9 to 15 km. So the vertical amplitude of the basin reaches about 6 km. The Mesozoic rocks are represented by the volcanic-sedimentary deposits. There are well-known Muradkhanly and Jafarly oil and gas deposits, which are reflected in the gravitational and magnetic fields. The Yevlakh-Agjabadi Basin and the overlying sedimentary cover struc-

tures are well reflected in the gravitational field. According to the seismic and gravity surveys, deep faults and gaps are observed here, crossing not only the crystalline basement, but also Mesozoic deposits. Therefore, the study of this basin by the gravity exploration using digital modeling is very important. A lot of works have been devoted to the study of this region (e.g. Гадиров и др., 2016; Салманов, Юсифов, 2013; Erpelbaum and Khesin, 2012).

The purpose of this research is to describe an algorithm for calculating the gravity effects from the Yevlakh-Agjabadi Basin and profile and areal gravity digital modeling of the values of the gravity in the aforementioned basin and the Middle Kur depression.

Means and methods

To perform digital modeling, the vertical gravity component and magnetic field values for separate selected profiles on the computer were calculated. To do this, we used the GTEOR algorithm and program developed at the Department of Geophysics of the Azerbaijan State Oil and Industry University (ASOIU) and implemented using the FORSE compiler in the WINDOWS system (Fig.2). This program allows to calculate the gravity field and the vertical component of magnetic field in a two-dimensional version based on the partition of a two-dimensional body into separate homogeneous two-dimensional rectangular prisms (Fig.3) with the constant bases (partition step), and variable heights (dif-

ferences between the upper and lower edges). The sum of gravitational and magnetic effects from each elementary prism is computed. SURFER programs were used to digitally present the calculation results, as well as to combine profile and areal data. In the two-dimensional case, the gravitational field from the vertical prism is calculated by the following formula:

$$\Delta g_{TEOR} = G\Delta\sigma \left[(\xi - x) \ln \left[(\xi - x)^2 + \zeta^2 \right] + 2\zeta \arctg \frac{\xi - x}{\zeta} \right] \frac{\xi_2}{\xi_1} \frac{\zeta_2}{\zeta_1} \cdot (1)$$

Here G is the gravitational constant; $G=6.67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}\cdot\text{s}^2$; $\Delta\sigma$ is the density contrast; $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1, \text{ g/cm}^3$; ξ is the prism abscissa; ζ is the ordinate of an elementary prism, and x is the observation point abscissa.

The vertical component of the magnetic field of an elementary prism is calculated by the following formula:

$$Z_a = 2I \left[\arctg \frac{2bz_1}{z_1 + x^2 - b^2} - \arctg \frac{2bz_2}{z_2 + x^2 - b^2} \right] \cdot (2)$$

Here 2b is the horizontal dimension of the prism; I is the intensity of magnetization; Z_1 and Z_2 are the depth of the upper and lower edges of the prism, respectively, and x is the observation point abscissa.

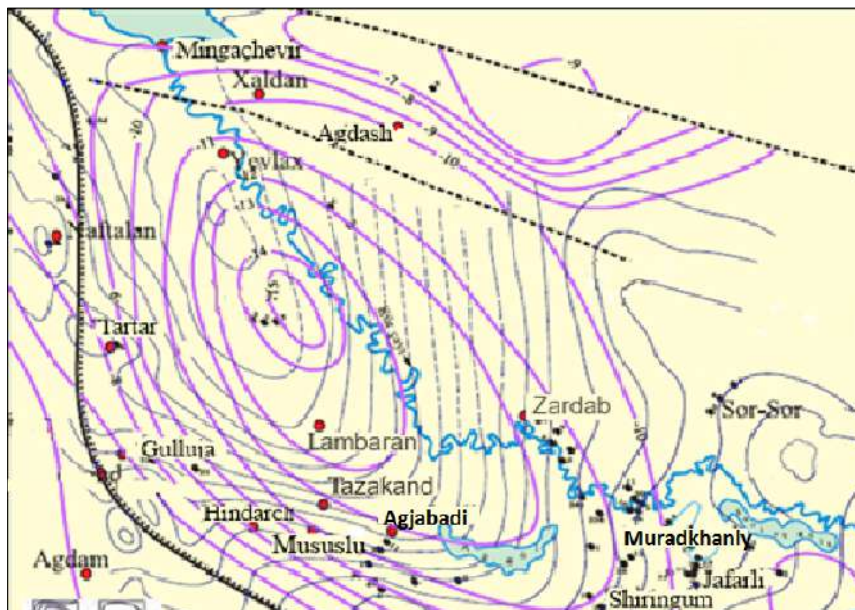


Fig. 1. Comparison of depth of the crystalline basement and gravity anomalies maps in the Yevlakh-Agjabadi depression (1 – isolines of gravity anomalies, 2 – isohypses of the surface of the crystalline basement (Алексеев и Хесин, 1985), 3 – border geological structures (a) and tectonic units (b) (Алексеев и Хесин, 1985), 4 – exploration wells; 5 – localities)

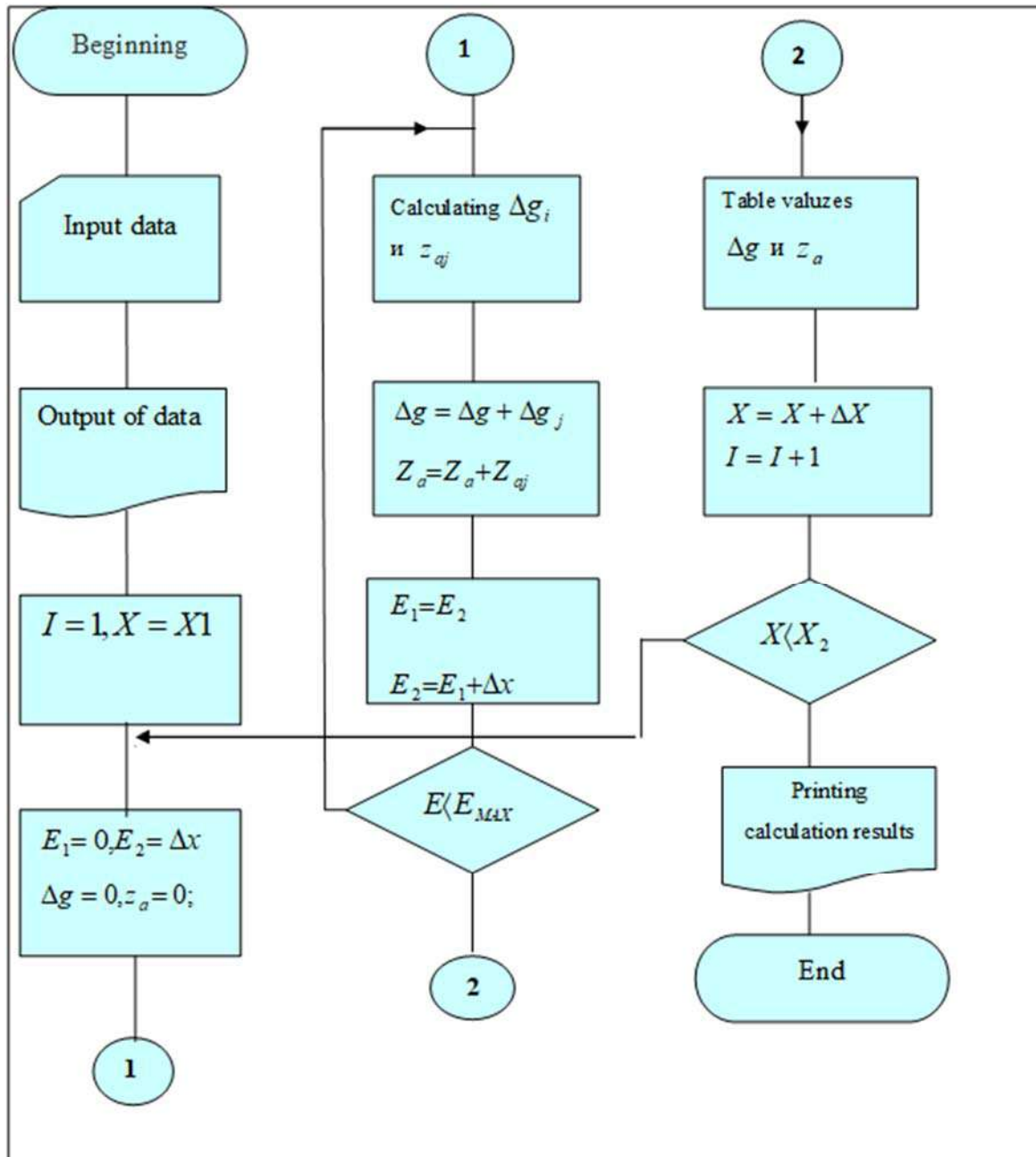


Fig.2. The block-diagram of GTEOR algorithm

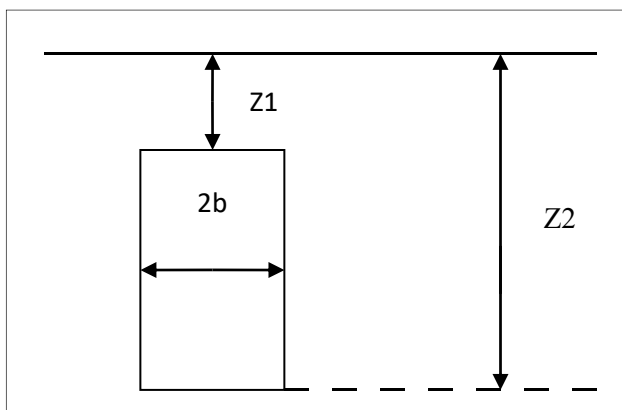


Fig. 3. Vertical prism parameters

To implement the task on a computer, the source data in accordance with the algorithm are entered in the following order:

1) $N, X1, X2, EMAX, DX, SIG, Y$.

Here N is the number of elementary prisms; $X1, X2$ – start and end coordinates of the observation point; $EMAX$ – the abscissa of the extreme point of the structure; DX – step of separation of the structure in km or step of the observation point (calculation); SIG – excess density of the geological body; J is the intensity of the prism magnetization.

2) $Z1(I)$ – the set of depths of the upper edges of the elementary prisms (data array) in km.

3) $Z2(I)$ – the set of depths of the lower edges of elementary prisms (data array) in km.

Results:

Based on seismic data, we first performed a digital simulation of the Yevlakh-Agjabadi trough and compiled a structural model of the Yevlakh-Agjabadi Basin using the SURFER multi-task program (Fig. 4). Then six profiles crossing the Yevlakh-Agjabadi basin were developed (Fig. 5-6). Based on these six profiles, deep sections of the surface of the crystalline basement were constructed (Fig.7). In the next step modeling gravity field was calculated on a PC using the GTEOR Fortran-program (Искандаров, 2005, 2011, 2018). Moreover, the theoretical values of the first vertical deriva-

tive of gravity potential (V_z) – vertical component of the gravity force were calculated for separate profiles. Below, as an example, profile No.1 shows the initial data prepared for calculating the theoretical values of the vertical component of the gravity force, as well as the calculation results using the GTEOR program (Tables 1-3). Then, using the SURFER program (Силкин, 2008), theoretical values of the gravity field were digitized according to the profile section and a map of the theoretical values of the gravity field was constructed in 2D and 3D variants (Figs. 8-9). A combination of these maps is presented in Fig. 10.

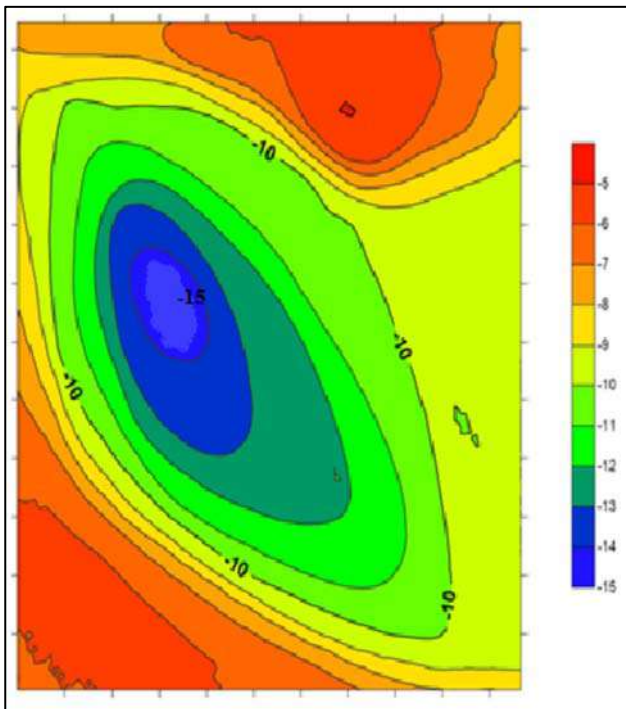


Fig.4. Structural map of the crystalline basement (in km) of the Yevlakh-Agjabadi basin developed using the SURFER program

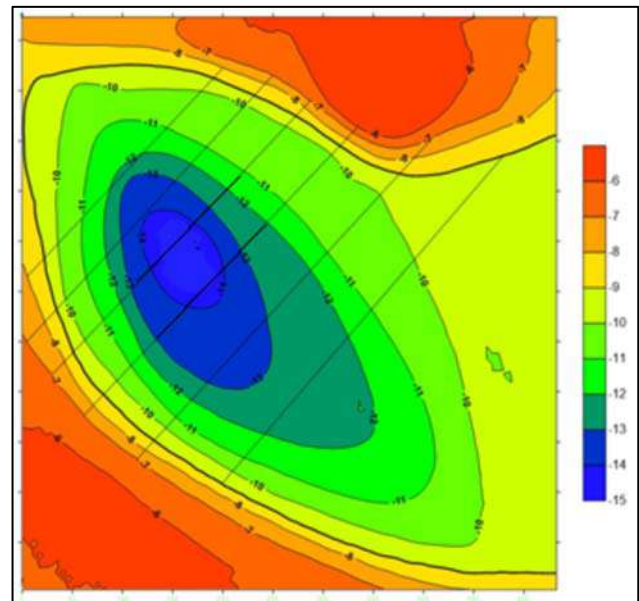


Fig. 5. Profiles crossing Yevlakh-Agjabadi Basin for computing V_z (2D variant)

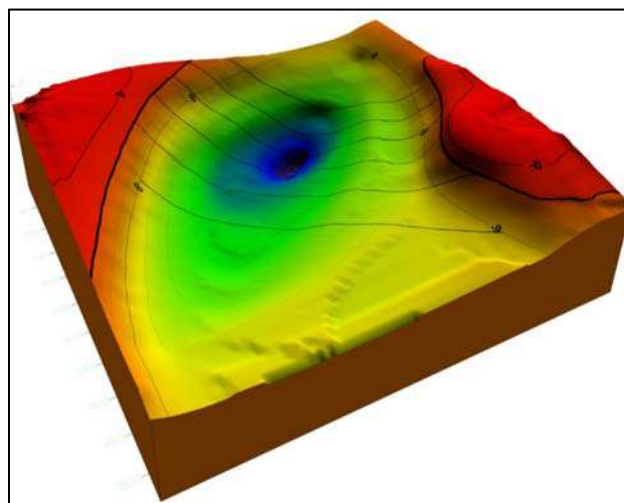


Fig. 6. Profiles crossing Yevlakh-Agjabadi Basin for computing V_z (first vertical derivative of gravity potential) (3D variant)

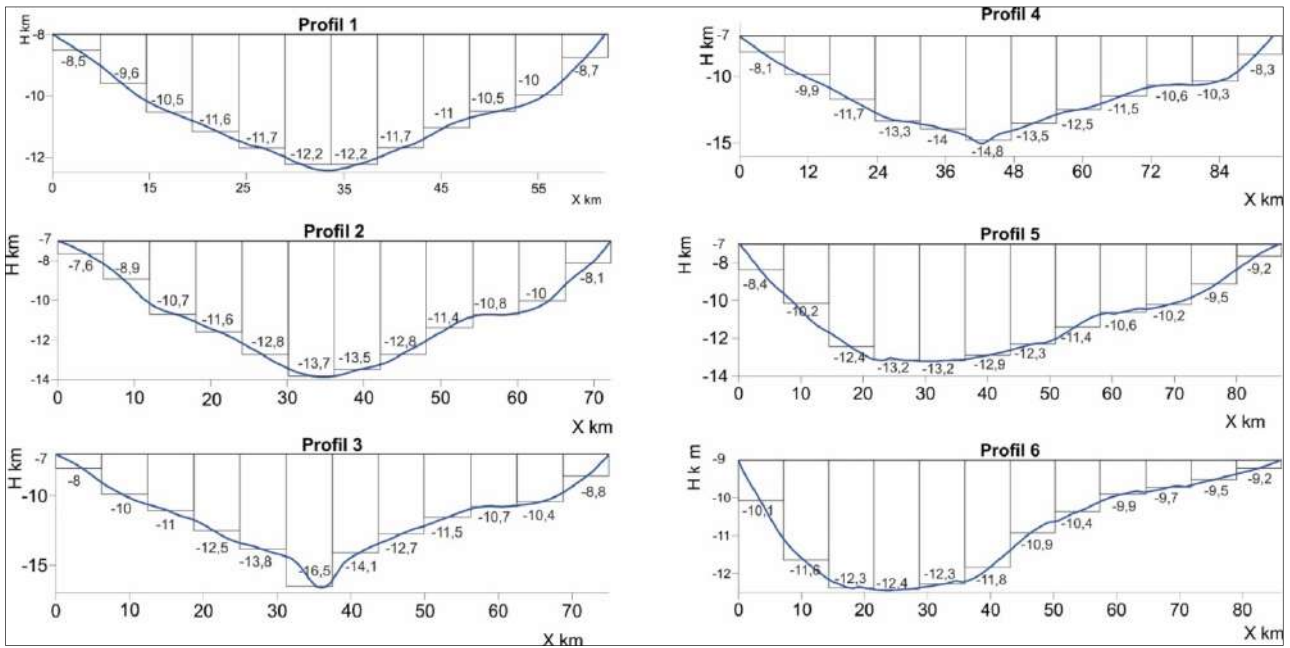


Fig. 7. The depths of the crystalline basement for profiles 1-6 (developed on the basis of the SURFER program)

Table 1

Initial data for the GTEOR program for profile No. 1

| N | X1 | X2 | EMAX | DX | DX | DS | J |
|----|----|----|------|----|----|------|----|
| 12 | 0 | 60 | 60 | 0 | 5 | -0.3 | 50 |

Table 2

The depths of the crystalline basement computed for profile No. 1

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H ₁ | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| H ₂ | 8.5 | 9.6 | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.2 | 12.2 | 11.7 | 11.7 | 10.5 | 8.70 | 10.0 |

Table 3

Results of calculating the vertical component of the gravity force (in mGal) and magnetic component Z_A (in gamma) for profile No. 1 according to the GTEOR program

| N | X | V _z | Z _A |
|----|----|----------------|----------------|
| 1 | 0 | -10.74 | -7.81 |
| 2 | 5 | -15.76 | 1.19 |
| 3 | 10 | -21.29 | 11.64 |
| 4 | 15 | -26.26 | 19.73 |
| 5 | 20 | -30.16 | 25.63 |
| 6 | 25 | -32.71 | 29.74 |
| 7 | 30 | -33.63 | 31.23 |
| 8 | 35 | -32.78 | 29.45 |
| 9 | 40 | -30.34 | 25.12 |
| 10 | 45 | -26.71 | 19.76 |
| 11 | 50 | -22.15 | 13.42 |
| 12 | 55 | -16.83 | 3.96 |

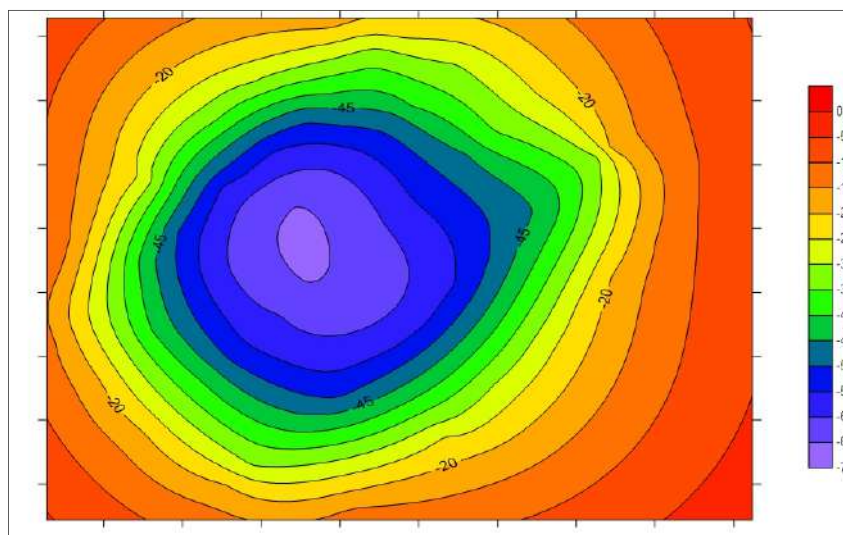


Fig. 8. Map of the vertical component of the gravity force (V_z) of the Yevlakh-Agjabadi Basin in milligals (2D variant)

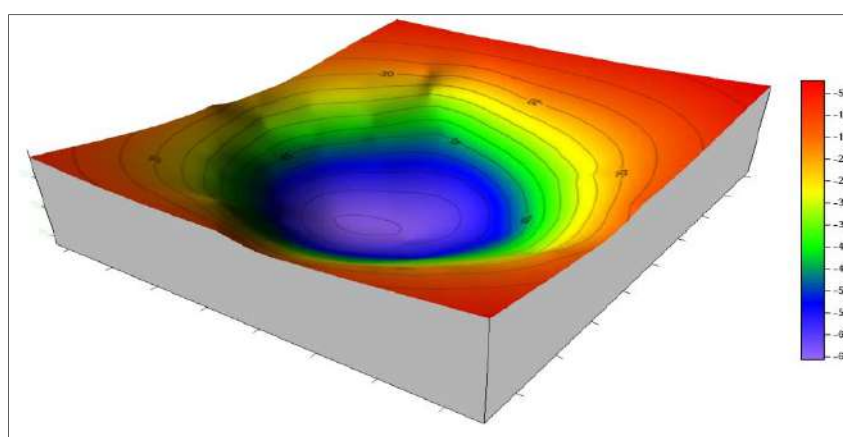


Fig. 9. Map of the vertical component of the gravity force (V_z) of the Yevlakh-Agjabadi deflection in milligals (3D variant)

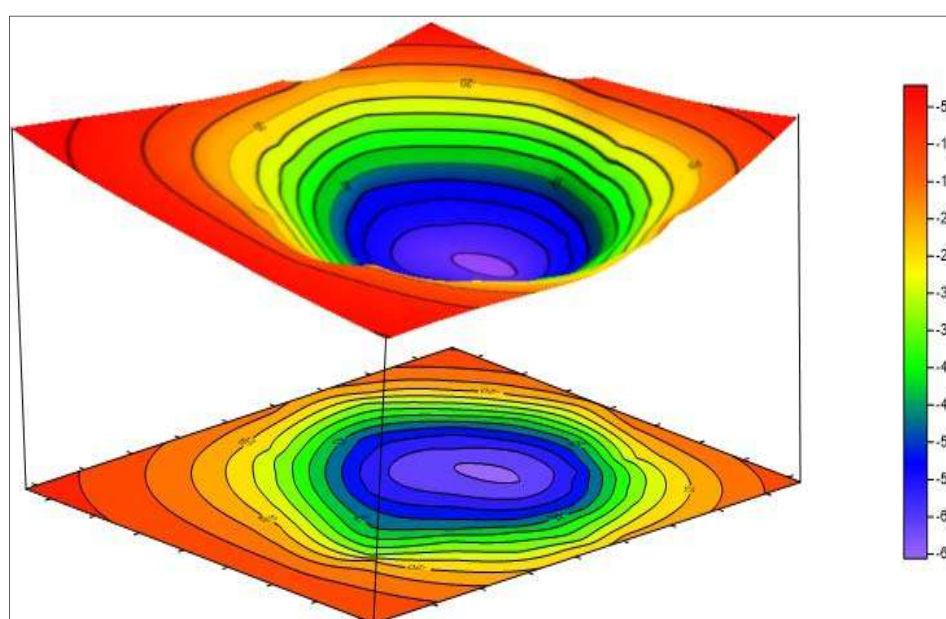


Fig. 10. Combination of 2D and 3D maps of the vertical component of the gravity force (V_z) of the Yevlakh-Agjabadi Basin (in milligals)

Conclusions:

1. The block diagram of our GTEOR algorithm for calculating the theoretical values of the gravity anomaly in the profile version is presented. The GTEOR program is implemented using the FORCE FORTRAN compiler in the WINDOWS system.

2. Using the SURFER program, digital modeling of the structural map of the depths of the Yevlakh-

Agjabadi deflection in three dimensions was performed.

3. Using the GTEOR program, the values of the gravity field of the Yevlakh-Agjabadi Basin were calculated, and the SURFER program was used to gravitational field digitization, which can be applied to estimate the gravitational effects of the sedimentary rock formations.

REFERENCES

- Alekseev V.V., Khesin B.E. Map of the deep structure of the Azerbaijan SSR with adjacent regions according to gravimetric data. VSEGEI (All-Russian Research Geological Institute named after A.P.Karpinsky). Leningrad, 1985.
- Chakravarthi V. Digitally implemented method for automatic optimization of gravity fields obtained from three dimensional density interfaces using depth dependent density. US Patent 6,615,139, 2003.
- Eppelbaum L.V., Khesin B.E. Geophysical studies in the Caucasus. Springer. Heidelberg – N.Y., 2012, 411 p.
- Gadirov V.G., Gadirov K.V., Gamidova A.G. On the deep structure of the Yevlakh-Agjabadi deflection of Azerbaijan according to the data of gravimagnetic measurements. Geodynamics, No. 1(20), Lvov, Ukrain, 2016, pp. 133-143 (in Russian).
- Hinze W.J., Von Frese R.R.B., Saad A.H. Gravity and magnetic exploration. Cambridge University Press. 2013, 502 p.
- Hirt C. Gravity forward modelling. In: Encyclopaedia of geodesy (Ed. Grafarend E.). 2016, 9 p., DOI:10.1007/978-3-319-02370-0_106-1.
- Iskandarov E.H. Digital modeling gravity field of Muradkhanli uplift. Australian Journal of Education and Science, The University of Sydney, No.1(21), 2018, pp. 275-283 (in Russian).
- Iskandarov E.H. Estimation of the gravitational influence of oil deposits at various depths. Journal Geologist of Azerbaijan, Scientific Bulletin of the Society of Petroleum Geologists of Azerbaijan, No. 10, Baku, 2005, pp. 85-88 (in Russian).
- Iskandarov E.H. Estimation of RTA (Reservoir Type Anomalies) associated with the zones of decompression of rocks. Journal Geologist of Azerbaijan, Scientific Bulletin of the Society of Petroleum Geologists of Azerbaijan, No. 15, Baku, 2011, pp. 96-101 (in Russian).
- Nava-Flores M., Ortiz-Aleman C., Orozco-del-Castillo M.G. et.al. 3D Gravity modeling of complex salt features in the southern Gulf of Mexico. International Journal of Geophysics, Vol. 2016, Article ID 1702164, 2016, 12 p.
- Salmanov A.M., Yusifov Kh.M. To petroleum prospects of a northeast board Yevlakh-Agdzhabedy depression. SOCAR Proceedings, No. 2, 2013, pp. 6-12 (in Russian).
- Silkin K.Y. Geoinformation system Golden Software Surfer 8. Educational and methodological manual for high schools. Publishing and printing center of Voronezh state University, Surfer.pdf. 2008, p.66 (in Russian).

ЛИТЕРАТУРА

- Chakravarthi V. Digitally implemented method for automatic optimization of gravity fields obtained from three dimensional density interfaces using depth dependent density. US Patent No. 6,615,139, 2003.
- Eppelbaum L.V., Khesin B.E. Geophysical Studies in the Caucasus. Springer. Heidelberg – N.Y., 2012, 411 p.
- Hinze W.J., Von Frese R.R.B., Saad A.H. Gravity and magnetic exploration. Cambridge University Press. 2013, 502 p.
- Hirt C. Gravity forward modelling. In: Encyclopaedia of Geodesy (Ed. Grafarend E.). 2016, 9 p., DOI:10.1007/978-3-319-02370-0_106-1.
- Nava-Flores M., Ortiz-Aleman C., Orozco-del-Castillo M.G. et.al. 3D Gravity modeling of complex salt features in the southern Gulf of Mexico. International Journal of Geophysics, Vol. 2016, Article ID 1702164, 2016, 12 p.
- Алексеев В.В., Хесин Б.Э. Карта глубинного строения Азербайджанской ССР с сопредельными областями по гравимагнитным данным. ВСЕГЕИ. Ленинград, 1985.
- Гадиров В.Г., Гадиров К.В., Гамидова А.Г. О глубинном строении Евлахско-Агджабединского прогиба Азербайджана по данным гравимагнитных измерений. Геодинамика, No. 1(20), Львов, Украина, 2016, с. 133-143.
- Искандаров Э.Г. Цифровое моделирование гравитационного поля поднятия Мурадханлы. Австралийский журнал образования и науки, Университет Сиднея, No. 1(21), 2018, с. 275-283.
- Искандаров Е.Х. Оценка гравитационного влияния нефтяных месторождений на различных глубинах. Журнал «Геолог Азербайджана», Научный вестник Общества геологов-нефтяников Азербайджана, No. 10, Баку, 2005, с. 85-88.
- Искандаров Э.Г. Оценка АТЗ (аномалии типа залежи), связанных с зонами разуплотнения горных пород. Журнал «Геолог Азербайджана», Научный вестник Общества геологов-нефтяников Азербайджана, No. 15, Баку, 2011, с. 96-101.
- Салманов А.М., Юсифов Х.М. К перспективам нефтегазности северо-восточного борта Евлах-Агджабединского прогиба. SOCAR Proceedings (Научные труды НИПИ «Нефтегаз»), Вып. 2, 2013, с. 6-12.
- Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. Учебно-методическое пособие для вузов. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, Surfer.pdf. 2008, 66 с.

ЦИФРОВАЯ ОЦЕНКА ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЕВЛАХ-АГДЖАБЕДИНСКОГО БАССЕЙНА (СРЕДНЕКУРИНСКАЯ ВПАДИНА, АЗЕРБАЙДЖАН)

Искандаров Э.Г.

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан
AZ1010, Баку, просп. Азадлыг, 34: elton_iskender@mail.ru

Резюме. Статья посвящена оценке гравитационного влияния кристаллического фундамента Евлах-Агджабединского прогиба Средне-Куринской впадины Азербайджана. Как известно, для Евлах-Агджабединского прогиба характерна мощная толща осадочных отложений мезозойского и кайнозойского возраста, залегающих на кристаллическом фундаменте. По данным глубинного сейсмического зондирования была построена структурная карта поверхности кристаллического фундамента. Сам прогиб ориентирован в кавказском направлении. На этой площади известны месторождения нефти и газа Мурадханлы и Джафарлы. Кристаллический фундамент, а также мезокайнозойские отложения обладают избыточной плотностью и поэтому хорошо отображаются в гравитационном поле в виде локальных аномалий силы тяжести. Можно сказать, большинство площадей Азербайджана, в том числе и территория Евлах-Агджабединского прогиба, покрыто общей и детальной гравимагнитной съемкой. По этим результатам здесь, а также на площадях Мурадханлы и Джафарлы выделен целый ряд локальных аномалий. В настоящее время проводятся высокоточные гравиметрические и магнитометрические съемки с использованием цифровых гравиметров и магнитометров, что открывает большие возможности перед гравимагниторазведкой при исследовании этого региона. Кроме того, на кафедре «Геофизика» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности разработано программное обеспечение для различных трансформаций гравимагнитных полей, а также решены прямая и обратная задачи грави- и магниторазведки. С помощью программы SURFER было выполнено цифровое моделирование структурной карты глубин прогиба Евлах-Агджабединского в трёх измерениях. С помощью программы GTEOR рассчитывались значения гравитационного поля Евлах-Агджабединского бассейна, а для оцифровки гравитационного поля использовалась программа SURFER, которая может применяться для оценки гравитационных воздействий осадочных пород.

Ключевые слова: алгоритм, блок-схема, гравитационная аномалия, структурная карта, оценка гравитационного эффекта, гравитационная модель, цифровое моделирование

YEVLAH-AĞCABƏDİ HÖVZƏSİNİN KRİSTAL TƏMƏLİNİN QRAVİTASIYA TƏSİRİNİN RƏQƏMSAL QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ (ORTA KÜR ÇÖKƏKLİYİ, AZƏRBAYCAN)

İskəndərov E.H.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan
AZ1010, Bakı, Azadlıq prosf., 34: elton_iskender@mail.ru

Xülasə. Məqalə Azərbaycanın Orta Kür çökəkliyinin Yevlax-Ağcabədi çökəkliyinin kristallik bünövrəsinin qravitasiya təsirinin qiymətləndirilməsinə həsr edilmişdir. Məlum olduğu kimi, Yevlax-Ağcabədi çökəkliyi kristallik bünövrə üzərində yatan mezozoy və karnozoy yaşlı çöküntülərinin qalın təbəqəsi ilə xarakterizə olunur. Dərin seysmik zondlama məlumatlarına əsasən, kristallik bünövrənin səthinə görə struktur xəritəsi qurulmuşdur. Çökəklik özü Qafqaz istiqamətində yönəldilmişdir. Bu ərazidə Muradxanlı və Cəfərli neft-qaz yataqları mövcuddur. Kristallik bünövrə, eləcə də Mezo-Karnozoy çöküntüləri izafi sıxlığa malikdir və buna görə də qravitasiya sahəsində ağırlıq qüvvəsinin lokal anomaliyalar şəklində yaxşı əks olunur. Demək olar ki, Azərbaycanın əksər əraziləri, o cümlədən Yevlax-Ağcabədi çökəkliyi ərazisi ümumi və mükəmməl qravimaqnit planalmalar ilə əhatə olunub. Bu nəticələr əsasında burada, o cümlədən Muradxanlı və Cəfərli ərazilərində bir sıra lokal anomaliyalar müəyyən edilib. Hazırda bu sahədə rəqəmsal qravimetir və maqnitometrlərdən istifadə etməklə yüksək dəqiqlikli qravimetrik və maqnitometrik planalmalar aparılır ki, bu da bu regionun öyrənilməsində qravimetrik və maqnitometrik kəşfiyyatlar üçün böyük imkanlar açır. Bundan əlavə, ADNSU-nun "Geofizika" kafedrasında qravimaqnit sahələrinin müxtəlif çevrilmələri, eləcə də qravimətr və maqnit kəşfiyyatının düz və tərs məsələlərinin həlli üçün proqram təminatı hazırlanıb. Buna görə də, rəqəmsal modelləşdirmədən istifadə edərək qravitasiya məlumatlarına görə bu çökəkliyin öyrənilməsi çox aktual bir məsələdir.

Açar sözlər: alqoritm, blok-sxem, qravitasiya anomaliyası, struktur xəritəsi, qravitasiya təsirinin qiymətləndirilməsi, qravitasiya modeli, rəqəmsal modelləşdirilmə

ПАЛИНОФЛОРА МАЙКОПСКОГО ВРЕМЕНИ
(ПОЗДНИЙ ОЛИГОЦЕН – РАННИЙ МИОЦЕН) И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ
ДЛЯ СТРАТИГРАФИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

Байрамова Ш.Ш.¹, Тагиева Е.Н.²

¹Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,
Институт геологии и геофизики

AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119: shafaqbayram@rambler.ru

²Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,
Институт географии им. Г.Алиева

AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г.Джавида, 115: tagelena@rambler.ru

PALYNOFLORA OF THE MAIKOP FORMATION (LATE OLIGOCENE – EARLY MIOCENE) AND
ITS SIGNIFICANCE FOR STRATIGRAPHY AND PALEO GEOGRAPHY OF AZERBAIJAN

Bayramova Sh.¹, Taghieva E.N.²

¹ Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan
119 H. Javid ave., Baku, AZ1143: shafaqbayram@rambler.ru

² Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Geography named after H.Aliyev, Azerbaijan
115 H.Javid ave., Baku, AZ1143: tagelena@rambler.ru

Keywords: *palynocomplexes, Oligocene, Miocene, Maikop Formation, pollen and spores, South Caucasus*

Summary. The research reconstructs some elements of climate and vegetation of the Shamakhi-Gobustan region in the Late Oligocene – Early Miocene, using the approach of co-existing palynoflores obtained from published literature sources and current palynological studies. The results show that sedimentation occurred mainly within warm subtropical climatic conditions during the Rupelian and Early Chattian stages (mean annual temperature (MAT) 16.5-21.3°C and mean temperature of the coldest month (CMT) 5.5-13.3°C). In the second half of the Chattian, the climate becomes cooler, with the invasion of the heat-dominant small-leaved Turgai flora into the fairly still representative Poltava flora. In the Late Miocene (Caucasian age), conditions in the region are stabilized and temperatures acquire values similar to those of the Early Oligocene. The diversity of species, representatives of mountain forests indicates the presence of the lower and middle stages and differentiation of vegetation by altitudinal belts. Analysis of palinospectra from the sections of the Shamakha-Gobustan region and the discovered leaf flora indicates dominance in the Maikop on the southern coast of the Caucasian island of forest vegetation with the participation of moisture-loving tropical, subtropical evergreen and deciduous forms along with mesophilic, warm-temperate and moderate representatives.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Проявляемый длительное время интерес к изучению майкопских отложений оправдывается их высоким нефтегазовым потенциалом. Начало изучения майкопской серии пород, ее стратиграфии, литологии, фациальных особенностей на территории Азербайджана было положено в XIX веке (Абих, 1864; Felix, 1894) и продолжилось в последующие столетия (Богданович и др., 1911; Голубятников, 1904; Шатский, Меннер, 1927; Ализаде, 1945). Совершенствование методов исследования, качественно новые подходы и нап-

равления расширяют возможности изучения этих отложений до сих пор (Abreu et al., 2007; Bechtel et al., 2014; Efendiyeva, 2004; Фейзуллаев и др., 2000; Hudson et al., 2008; Abdullayev et al., 2021; Aghayeva et al., 2021).

Первоначально флора и фауна майкопского времени изучалась попутно совместно с геологическими изысканиями. Макроостатки растений были обнаружены преимущественно в отложениях олигоцена (нижний майкоп) и территориально приурочены к Абшеронскому полуострову (Палибин, 1936; Ярмоленко, 1941), региону Та-

лышских гор (Ализаде и др., 1951), предгорьям Малого Кавказа (Джабарова и др., 1961; Касумова, 1961) и Нахчыванской Автономной Республики (Палибин, 1947; Касумова, 1961; Азизбеков, 1961; Ахметьев, Запорожец, 1989).

В 60-х годах XX века после развития палинологического метода расширились территориально-возрастные границы и возможности детальной интерпретации и восстановления палеогеографических условий (Джабарова, 1960; Джабарова, Касумова, 1961; Мамедов, Работина, 1990; Шахбазова, 2001; Ахметьев и др., 2007; Байрамова и др., 2021).

Материалы, методы и район исследования

Майкопская серия, состоящая из толщи темно-серых слоистых глин, представляет собой стратиграфическое подразделение на границе палеогена и неогена. В Понто-Каспийской шкале майкопская свита соответствует олигоцену и нижнему миоцену и подразделяется на 3 подотдела (Стратегический словарь СССР, 1982).

Нижний подотдел соответствует нижнему олигоцену (рюппельский ярус – 33.9-27.82 млн. л.н.), средний – верхнему олигоцену (хаттский ярус – 27.82-23.03 млн. л.н.), верхний – нижнему миоцену (аквитан и бурдигал – 23.03-15.87 млн. л.н.).

Верхний подотдел майкопской толщи имеет одну датировку из Предкавказья – 23.3 млн. л.н. (Хаин, Шарданов, 1952) и подразделяется на 3 регионаруса (снизу вверх) – кавказский, сакараульский и коцахурский. Они не датированы, но сопоставляются с эгериевским (24-22 млн. л.н.), эггенбургским (22-19 млн. л.н.) и отнангийским (19-17.5 млн. л.н.) ярусами Западного Паратетиса (Ганзей, 1984; Зубаков, 1990; Невеская и др., 1984). Их возраст принимают за возраст соответствующих ярусов Понто-Каспия, за исключением верхней границы коцахурского регионаруса. Однако более или менее точного сопоставления между ними еще нет. Л.А.Невеская и др. (1984) совмещают нижние границы сакараула (с кавказом) и эггенбурга (с эгером), но верхнюю границу сакараула (с коцахуром) поднимают выше верхней границы эггенбурга (с отнангом). В.А.Зубаков (1990) же сопоставляет между собой верхние границы сакараула и эггенбурга, а нижнюю границу первого опускает ниже нижней границы второго. К раннему миоцену относится и тарханский ярус (17.2-16.5 млн. л.н.).

В Азербайджане фация майкопских отложений имеет широкое распространение и играет существенную роль в строении структурных комплексов Северо-Восточных предгорий Мало-

го Кавказа, Талыша, Куринской депрессии и Юго-Восточного Кавказа, включая Шамахи-Гобустанский район.

Произошедший на границе эоцена и олигоцена перелом в геотектоническом развитии всего Кавказа привел к образованию поднятий и складкообразованию. Наиболее мощные антиклинальные складки формировали большие и малые острова в этой части Восточного Паратетиса. В начале олигоцена в Шамахи-Гобустанском прогибе происходит некоторое смещение северной границы бассейна с расширением контуров зон размыва, в результате чего майкопские отложения здесь не имеют сплошного распространения и установлены на ограниченных синклинальных участках при резко сокращенной мощности. На отдельных поднятиях по южному борту Шамахи-Гобустанского прогиба верхний майкоп трансгрессивно залегает на более древних отложениях, вплоть до верхнего мела (Салаев, 1961). В центральном Гобустане майкопские слои обнажаются на крыльях и погружениях антиклиналей, в сторону г. Шамахи – на сводах крупных поднятий. Эти отложения вскрыты в многочисленных обнажениях, структурно-поисковых и разведывательных скважинах.

Единого стратотипического разреза майкопской серии для территории Южного Кавказа нет в отличие от Западного и Центрального Предкавказья, где характерным, хорошо обнаженным и изученным рассматривается типовой разрез майкопских отложений р. Белая выше г. Майкопа. (Запорожец, Ахметьев, 2017; Попов и др., 2019).

Основой для данного палеогеографического исследования послужили палинологически изученные авторами четыре разреза майкопской серии пород, вскрытые в Шамахи-Гобустанском районе – Перекишкюль, Шихзагирли, Исламдаг, Хильмили (рис. 1). Всего было просмотрено 158 проб, а также проанализированы списки листовой флоры, обнаруженной в майкопских отложениях различных регионов Южного Кавказа (рис. 2).

Камеральные исследования и химическая обработка образцов майкопской серии пород изученных разрезов проводились по стандартной методике мацерации (Traverse, 2007) с последующим применением плавиковой кислоты. Просмотр пыльцы и спор осуществлялся во временных препаратах. При определении использовались атласы пыльцы и спор (Атлас олигоценных..., 1956; Атлас миоценовых..., 1956).

Общее количество подсчитанных пыльцевых зерен на каждый образец составляло в среднем 200-300 единиц. Статистическая обработка результатов производилась общепринятым груп-

повым методом (Grimm, 1987; Каревская, 1999): пыльца древесных и кустарничковых (NAP), травянистых (AP), споровых растений (SP). При подсчете общего состава (процентное соотношение между суммами пыльцы деревьев, трав, спор) за 100% принималась сумма всех зарегистрированных пыльцевых зерен и спор. Внутри каждой группы (NAP, AP, SP) подсчитывалось процентное содержание пыльцы и спор каждого вида.

По совокупности изменения состава и соотношения таксонов, их максимального содержания или исчезновения определенных форм в спектрах выделялись палинostrатиграфические подразделения. В настоящем исследовании мы придерживались методики выделения последних, описанной в работе Н.Ю.Филипповой (1997). Сначала выделялись палиноспектры для каждого образца в конкретном разрезе, затем сходные палиноспектры объединялись в палинокомплексы (ПК), характеризующие определенный интервал в разрезе.

Учитывалось также присутствие редких (индикаторных) и не характерных для региона форм растений, имеющих в настоящее время ограниченный ареал распространения. М.А.Ахметьев (2004) отмечает, что «климатическая локализация ареалов последних позволяет использовать актуалистический подход, оценивая, хотя и провизорно, экологические условия и климатические обстановки существования растений в палеогене».

Достаточно высокая степень достоверности палеогеографических реконструкций по микро- и макроостаткам ископаемой флоры олигоцена объясняется тем, что 80-85% ее имеет своих

представителей в современной флоре, и поэтому актуалистический метод в данном случае вполне оправдан. В основе реконструкции климата по палинологическим данным лежат допущения о неизменности экологических требований видов растений и о том, что современное географическое распространение растений обусловлено климатом (Гричук, 1985).

Для количественных определений климатических параметров, определяющих развитие растительности (температуры (°C) наиболее холодного месяца – января (СМТ); температуры (°C) наиболее теплого месяца – июля (WMT); среднегодового количества (мм) осадков (НМР) был использован метод климатограмм, основу которого заложил Иверсен (Iversen, 1944). Для построения климатограмм были использованы данные, полученные с метеостанций, находящихся в пределах ареала вида. Современные климатические данные были получены из электронного атласа IWM Climate Atlas, 2002 (<http://wcatlas.iwmi.org>). Совмещение климатограмм всех видов позволило определить пределы климатических параметров, допускающие совместное существование ископаемой флоры каждого отдельного горизонта.

Результаты палинологических исследований. Расположенные в Шамахи-Гобустанском районе на юго-восточном окончании Большого Кавказа изученные разрезы (рис. 1) охватывают различные стратиграфические деления майкопа.

Разрез Перекишкюль общей мощностью 616.5 м расположен у одноименного села на юго-восточном крыле Восточно-Джангинской синклинали. Охватывает отложения нижнего (хадум, рюпель, хатт) и низы (кавказский регионрус) верхнего майкопа.

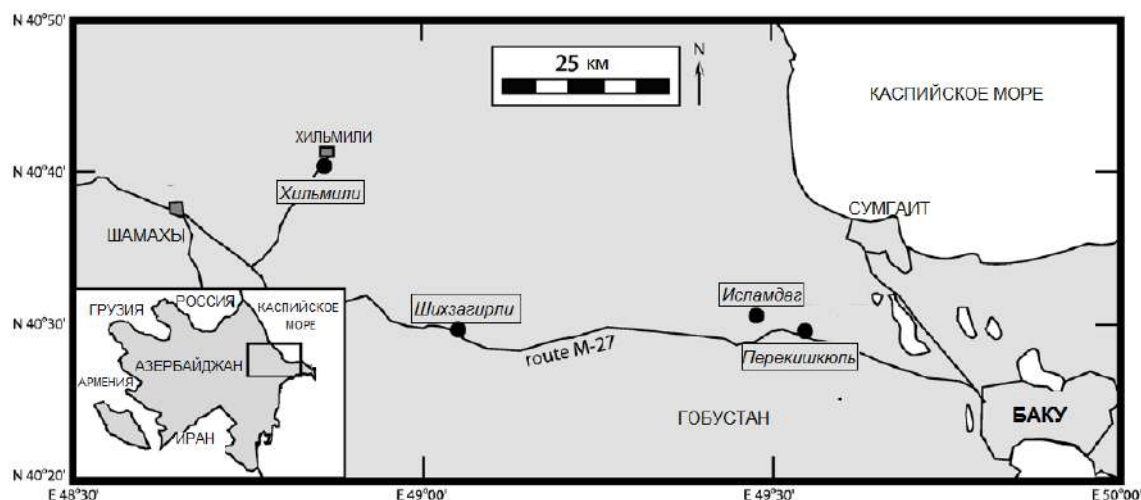


Рис. 1. Месторасположение палинологически изученных разрезов на карте Азербайджана

Разрез Исламдаг, расположенный северо-западнее разреза Перекишкюль, общей мощностью 162 м охватывает отложения нижнего (верхний олигоцен – хатт) и верхнего (нижний миоцен – кавказ, сакараул) майкопа. Обнажение майкопских отложений к западу от разрезов Исламдаг и Перекишкюль располагается на границе литофаций нижнего и верхнего майкопа Шамахи-Гобустанского района, и в пределах Шихзагирилинской складки разрез Шихзагири общей мощностью 342 м характеризует преимущественно верхнюю часть майкопа – нижний миоцен (кавказ, сакараул, коцахур). Разрез Хильмили, расположенный северо-западнее всех представленных разрезов, охватывает отложения, соответствующие границе верхнего и нижнего майкопа и частично верхнего отдела майкопа (кавказ, сакараул).

Палинологическими исследованиями в изученных разрезах по составу доминирующих микрофоссилий и комплексов диноцист выделено 9 общих палинокомплексов провинциального ранга (ПК), которые характеризуют все подразделения майкопа, за исключением (отсутствие материала) верхних слоев рюпельского и верхов хаттского ярусов (Ахметьев и др., 2007; Байрамова и др., 2021).

Согласно выделенным стратиграфическим подразделениям и проведенной корреляции изученных разрезов каждый палинокомплекс (ПК) имеет свои особенности и преобладающую группу таксонов.

ПК I характеризует отложения нижнего майкопа (хадумский горизонт) (палиноспектры обр. 1, 2 разреза Перекишкюль). Преобладающие таксоны: *Tsuga-Fagus-Juglans-Cedrus*.

Пыльца древесных и кустарниковых пород преобладает (91%), пыльца травянистых (Amaranthaceae) единична (9%). Покрытосеменные доминируют и представлены семействами Fagaceae (35%) – *Fagus* (12-27%), *Quercus* (14-19%), *Castanea* (4-9%) и Juglandaceae (22%) – *Juglans* sp. (11%), *Juglans polyporata* (3%), *Carya* (2-8%), *Carya spackmania* (2%), *Engelhardia* (2%). Единично отмечена пыльца представителей умеренной флоры *Alnus*, *Corylus*, *Carpinus*, а также *Tilia*, *Palmae*, *Myrica*, Magnoliaceae, Moraceae. В группе пыльцы древесных пород голосеменные составляют 18-26%, среди них выделяются *Tsuga*, *Cedrus*, единично *Taxodium*, *Abies*, Cupressaceae. Пыльца *Pinus* и *Picea* отсутствует в наших образцах в отличие от одновозрастных разрезов по реке Белая (Запорожец, Ахметьев, 2017).

ПК II характеризует нижние слои рюпеля (палиноспектры обр. 9-16 разреза Перекишкюль).

Преобладающие таксоны: *Juglans-Fagus-Taxodium-Palmae*.

Среди пыльцы широколиственных пород доминируют *Juglans* (17-35%), *Quercus* (5-25%), *Fagus* (10-22%) с участием *Castanea* (5-9%), *Carya*, *Carpinus* (3-5%) и единично *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Ulmus*, Moraceae, Magnoliaceae. Отмечена до 1-2% пыльца древесных ксерофитов (*Rhus*, *Pistacia*, *Ephedra*). Содержание голосеменных в группе древесных в сравнении с предыдущим спектром сохраняется (14-25%), однако увеличивается их разнообразие. Преобладает пыльца *Taxodium* (4-17%) с участием *Tsuga* (4%), *Cedrus* (4%), содержится пыльца остальных голосеменных – *Sequoia*, Cupressaceae, *Ginkgo*, *Glyptostrobus*. Участие *Palmae* составляет 1-2%.

Верхние слои рюпеля в регионе палинологически не охарактеризованы, данные отсутствуют.

ПК III – низы хаттского яруса (палиноспектры обр. 28-30 разреза Перекишкюль, обр. 1-6 разреза Исламдаг). Преобладающие таксоны: *Juglans-Fagus-Quercus-Castanea-Taxodium*.

Пыльца древесных пород составляет 98%. Содержание голосеменных в группе древесных возрастает по сравнению с предыдущим ПК в разрезе Перекишкюль – до 31%, в Исламдаге – до 22% за счет пыльцы *Taxodium* (6-15%), а так же *Cedrus*, *Sequoia*, *Tsuga* (в разрезе Перекишкюль) и *Glyptostrobus*, *Ephedra* (в разрезе Исламдаг). Среди покрытосеменных доминирует пыльца *Juglans* (15-25%), *Quercus* (18%), *Fagus* (6-13%), *Castanea* (6-10%), *Carya* (9-17%), *Engelhardia* (2-16%). Единично (1-2%) встречена пыльца *Carpinus*, *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Ulmus*, Moraceae, Magnoliaceae, *Laurus*, *Nissa*. Содержание пыльцы *Palmae* составляет 2-3%. Споры растений представлены водно-болотным родом *Salvinia*.

ПК IV – верхняя часть хаттского яруса (палиноспектры обр. 31-42 разреза Перекишкюль). Преобладающие таксоны: *Juglans-Quercus-Fagus-Castanea-Engelhardia-Taxodium-Tsuga-Cedrus*.

Содержание хвойных в группе древесных составляет 4-16% с преобладанием пыльцы *Taxodium* (3-6%) и *Tsuga* (1-2%) и разнообразием других представителей – *Cedrus*, *Pinus*, *Larix*, *Thuja*, *Juniperus*, *Sequoia*, *Glyptostrobus*, Cupressus, *Ginkgo*, *Ephedra*. В группе пыльцы широколиственных пород доминируют *Fagus* (17-36%), *Quercus* (8-25%), *Juglans* (15-24%), *Castanea* (4-24%). Увеличивается в сравнении с предыдущим спектром присутствие пыльцы *Carya* (6-18%), *Engelhardia* (16%), *Myrica* (до 4%), *Rhus* (4-15%), *Corylus* (до 13%). Отмечается пыльца Magnoliaceae, *Ulmus*, Moraceae, *Ptero-*

carya, Tilia, Betula, Alnus, а также *Palmae, Laurus*. Пыльца травянистых единична и представлена семействами *Amaranthaceae, Asteraceae*.

ПК V – верхние отложения хатского яруса, переходные слои от нижнего к верхнему майкопу (палиноспектры обр. 43-50 разреза Перекишкюль, обр. 7-11 разреза Исламдаг, обр. 1-5 разреза Хильмили, обр. 1-7 разреза Шихзагирли). Преобладающие таксоны: ***Fagus-Quercus-Juglans-Taxodium***. По сравнению с предыдущим ПК здесь увеличивается пыльца хвойных пород в группе древесных и кустарничковых за счет пыльцы *Taxodium* (до 28%), *Sequoia* (9%) с участием пыльцы *Glyptostrobus, Cupressaceae, Ginkgo* (Исламдаг), *Pinus, Tsuga, Ephedra*. Среди пыльцы широколиственных пород преобладают *Juglans* (20-22%), *Quercus* (21%), *Fagus* (16-18%), *Corylus* (11%), *Castanea* (10%). Присутствует пыльца *Engelhardia, Carya, Carpinus, Alnus, Ulmus, Pterocarya, Palmae, Rhus, Betula*.

ПК VI – верхний майкоп, низы кавказского яруса (палиноспектры обр. 12-13 разреза Исламдаг, обр. 6-14 разреза Хильмили, обр. 8-25 разреза Шихзагирли, обр. 51-65 разреза Перекишкюль палинологически немые. Преобладающие таксоны: ***Quercus-Fagus-Corylus-Rhus-Taxodium-Pinus***.

Содержание хвойных в группе древесных пород довольно высокое (16%), за счет пыльцы *Taxodium* (6-12%), присутствие пыльцы *Pinus* максимально (до 9%) в разрезе Исламдаг и по 3-5% в других разрезах. Встречена также пыльца *Cedrus, Sequoia, Glyptostrobus, Cupressus, Ginkgo, Tsuga, Ephedra*. В группе пыльцы широколиственных пород доминируют *Quercus* (8-25%), *Fagus* (8-15%), *Juglans* (15-19%), *Castanea* (4-12%). Увеличивается по сравнению с предыдущим ПК присутствие пыльцы *Carya* (6-18%), *Myrica* (до 4%), *Rhus* (4-15%), *Corylus* (до 13%). Отмечена пыльца *Magnoliaceae, Ulmus, Moraceae, Pterocarya, Tilia, Betula, Alnus, Ephedra*, а также *Palmae*. В группе травянистых содержание пыльцы *Amaranthaceae* несколько увеличивается по сравнению с ПК V.

ПК VII – верхние слои кавказского яруса (палиноспектры обр. 66-73 разреза Перекишкюль, спектры обр. 14-17 разреза Исламдаг, спектры обр. 15-20 разреза Хильмили, обр. 26-32 разреза Шихзагирли). Преобладающие таксоны: ***Juglans-Quercus-Fagus-Castanea-Betula-Taxodium***.

В группе древесных пород преобладает пыльца *Juglans* (20-26%), *Quercus* (14-20%), *Fagus* (9-17%). В подчиненном положении пыльца – *Betula* (6-9%), *Carya* (5-11%), *Castanea* (12%). Среди голосеменных (9-22%) встречена

пыльца *Taxodium* (5-15%), *Cupressaceae* (5%), *Pinaceae* (1-3%). Единично присутствуют споры папоротников (*Polypodiaceae, Cyatheaceae*).

ПК VIII – сакараульский региоярус (палиноспектры обр. 18-19 разреза Исламдаг, обр. 21-27 разреза Хильмили, обр. 33-38 разреза Шихзагирли). Преобладающие таксоны: ***Taxodium-Fagus-Castanea-Alnus-Betula***. Комплекс характеризуется преобладанием среди голосеменных пыльцы *Taxodium* (до 28%). Пыльца *Cupressaceae* (8%) с участием пыльцы *Pinus, Ephedra* находится в подчиненном положении. Среди пыльцы широколиственных пород преобладают *Fagus* (15%), *Alnus* (10%), *Quercus* (7%), *Juglans* (6-10%), *Castanea* (10%), *Betula* (до 9%) с участием пыльцы *Engelhardia* (Хильмили), *Carya, Carpinus, Ulmus, Pterocarya, Palmae*.

ПК IX – коцахурский региоярус (палиноспектры обр. 39-45 разреза Шихзагирли). Преобладающие таксоны: ***Fagus-Quercus-Betula-Alnus-Castanea-Taxodium***. Среди покрытосеменных доминирует пыльца *Quercus* (9-12%), *Fagus* (11-12%), *Juglans* и *Carya* (по 8-12%), *Castanea* (10-13%), *Betula* (6-14%), а также *Magnolia, Palmae* и другие. Хвойные представлены пыльцой *Taxodium* (10-12%), *Pinaceae* (3-5%), *Sequoia* (5%), *Tsuga* (6%), *Ephedra* (6%) и единично *Ginkgo, Cupressaceae*. Участие травянистых (*Compositae*) и споровых (*Cyatheaceae*) незначительное.

Исследования макрофлоры. Формирование палеопалинокомплексов происходило за счет пыльцы продуцентов, расположенных на островных участках суши, которые и являлись источником ископаемой макрофлоры. Макроостатки совместно с палинологическими данными дают возможность объективно оценить картину распределения и изменения растительности в регионе.

В олигоцене и раннем миоцене растительность, произраставшая на островных территориях, не имела достаточно принципиальных различий и входила в состав единой Центрально-европейской фитогеографической провинции на границе со Среднеазиатской провинцией (Климат в эпохи..., 2004).

Листовая флора олигоцена (рис. 2) обнаружена преимущественно в отложениях раннего майкопа (олигоцен) (Касумова, 1966) из местонахождений в Талыше (Лерикский район: селение Билабанд); на северо-востоке Малого Кавказа (Юхары Агджакенд, Аджи-дере, Зейва, Хархапут); в Нахчыванской Автономной Республике (гора Даррыдаг) (Касумова, 1961); Шамахы-Гобустане (Верхний Перекишкюль у р. Сумгайыт) (Ярмоленко, 1941).

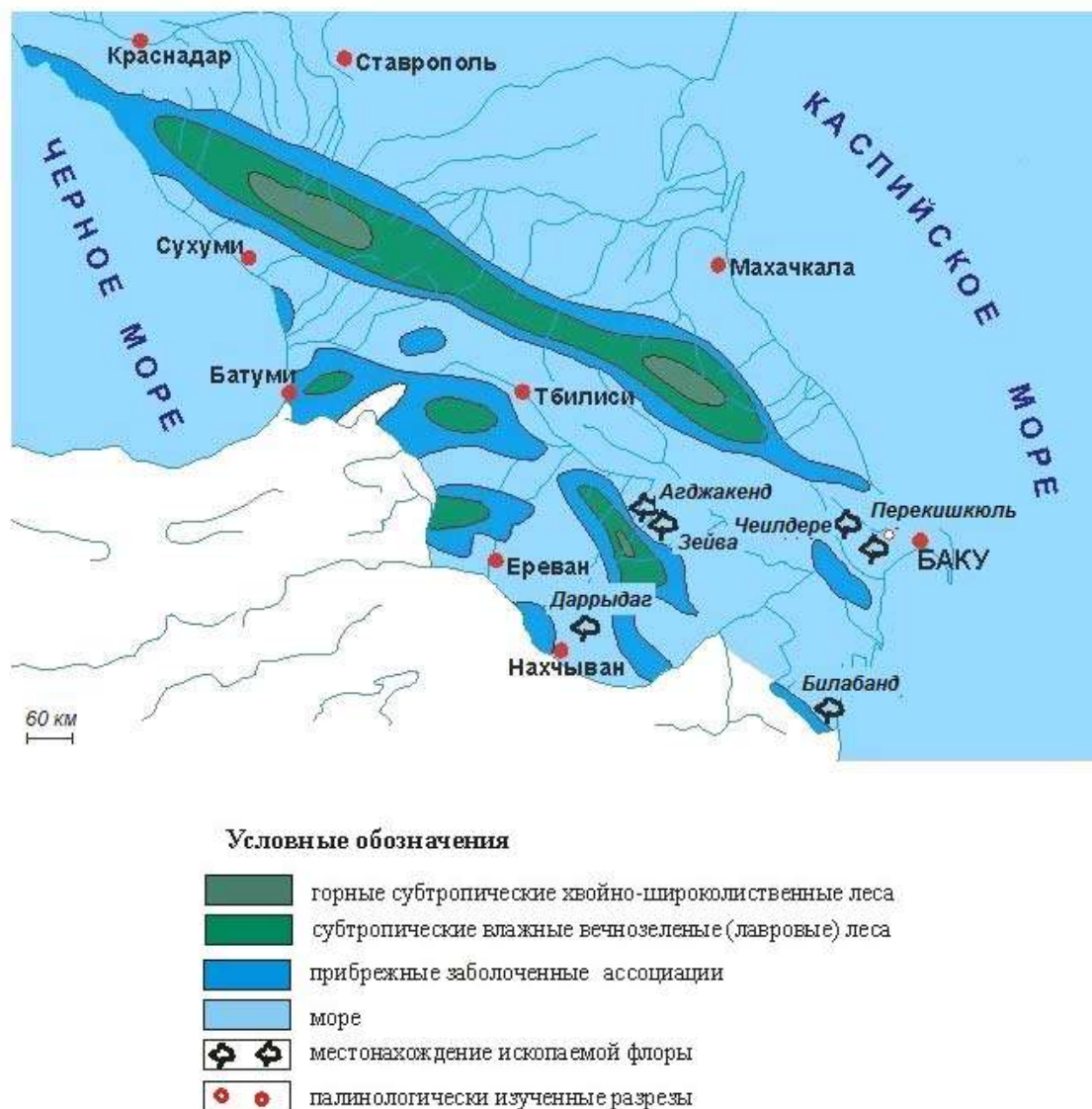


Рис. 2. Месторасположение пунктов сбора листовой флоры на карте-схеме растительности олигоцена Кавказа (Тагиева, 2011)

Общий список (таб. 1) (Тагиева, 2011; Shatilova et al., 2011) определенных растений раннего и среднего олигоцена представлен 75 видами и 43 родами из 28 семейств, 3 семейства, 10 родов и 12 видов относятся к хвощам, папоротникам и травянистым – в основном интразональным водно-болотным растениям (таб. 2). Большинство видов (40 из 65, т.е. 62%) принадлежит вечнозеленым формам, что дополняет информацию по палиноспектрам.

Теплоумеренные виды олигоценовой флоры, представленные большим разнообразием видов дуба, ореха с участием кипариса, секвойи, сосны осваивали горные склоны формирующихся гор.

Аналоги раннеолигоценовой флоры в настоящее время произрастают в нескольких регионах в зависимости от принадлежности ареалов их родов к географическим группам (таб. 3), основ-

ными являются две – тропическая (Т) и американо-средиземноморско-азиатская (АСА) группы.

К тропической группе принадлежат 39% (14 из 33) родов (*Podocarpus*, *Libocedrus*, *Annona*, *Anacardium*, *Apocynophyllum*, *Cinnamomum*, *Persea*, *Leucothoe*, *Dalbergia*, *Eucalyptus*, *Eugenia*, *Hakea*, *Citrus*, *Sapindus*). Они произрастают в тропиках и частично субтропиках Америки, Африки, Азии, Австралии и островов Океании и входят в состав влажных вечнозеленых лесов. Два из них (*Eucalyptus*, *Hakea*) – чисто австралийские.

Американо-средиземноморско-азиатская (АСА) группа представлена 5 родами (*Cupressus*, *Ficus*, *Laurus*, *Juglans*, *Rhus*), виды которых образуют влажные вечнозеленые субтропические и теплоумеренные листопадные леса.

Таблица 1

Сводный список макрофлоры раннего и среднего олигоцена Кавказа

| | | |
|---|--|---|
| <p>I. Хвощовые Сем. Equisetaceae <i>Equisetum</i> sp.</p> <p>II. Папоротникообразные Сем. Asplenaceae <i>Blechnum brauni</i> Ett.</p> <p>Сем. Adiantaceae <i>Pteris oeningensis</i> Heer. <i>Pteris cadigera</i> Sap. <i>Pteris</i> sp.</p> <p>III. Голосеменные Сем. Cupressaceae <i>Cupressus</i> sp. <i>Glyptostrobus europaeus</i> Heer.</p> <p>II/Сем. Taxodiaceae <i>Libocedrus salicornoides</i> Herr. <i>Taxodium dubium</i> Heer. <i>Taxodium</i> sp. <i>Sequoia</i> sp.</p> <p>Сем. Pinaceae <i>Pinus</i> sp.^{1,2} <i>Pinus palaeostrobis</i> Ett. <i>Pinus bungeana</i> Zuss. foss.</p> <p>Сем. Podocarpaceae <i>Podocarpus eocenica</i> Ung. <i>Podocarpus</i> sp.</p> <p>IV. Однодольные Сем. Cyperaceae <i>Cyperacites</i> sp.</p> <p>Сем. Gramineae <i>Graminea</i> sp. <i>Phragmites oeningensis</i> A.Br. <i>Arundo goepperti</i> Muens.</p> <p>Сем. Iridaceae <i>Iris</i> sp.</p> <p>Сем. Liliaceae <i>Liliophyllites</i> sp.</p> <p>Сем. Palmae <i>Sabal haeringiana</i> Ung. <i>Sabal ptuchjanii</i> Ahmet.sp.nov <i>Sabal</i> sp.</p> <p>Сем. Typhaceae <i>Typha latissima</i> A.Br.</p> | <p>V. Двудольные Сем. Anacardiaceae <i>Anacardites talyschensis</i> n.sp. <i>Rhus alizadei</i> Kasum. <i>Rhus merianii</i></p> <p>Сем. Annonaceae <i>Annona</i> sp.</p> <p>Сем. Apocynaceae <i>Apocynophyllum lanceolatum</i> Ung. <i>Apocynophyllum</i> cf. <i>helveticum</i> Heer.</p> <p>Сем. Ericaceae <i>Andromeda protogea</i> Ung. <i>Leucothoe protagaeta</i> Ung.</p> <p>Сем. Fagaceae <i>Castanopsis vetusta</i> <i>Quercus neerifolia</i> A.Br. <i>Quercus drymeja</i> Ung. <i>Quercus furcinervis</i> Heer. <i>Quercus evoluna</i> Kasum. <i>Quercus indjatschaensis</i> Kasum. <i>Quercus parallelnervis</i> Kas.</p> <p>Сем. Juglandaceae <i>Juglans acuminata</i> A.Br. <i>Juglans</i> sp. <i>Engelhardia brongniartii</i> Sap. <i>Phyllites zeiwensis</i> Kasum.</p> <p>Сем. Lauraceae <i>Laurus primigenia</i> Ung. <i>Laurus</i> cf. <i>ocoteaefolia</i> Heer. <i>Laurus larguensis</i> Sap. <i>Laurus</i> sp. <i>Persea braunii</i> Heer. <i>Persea speciosa</i> Heer. <i>Persea talyschensis</i> Kasum. <i>Cinnamomum lanceolatum</i> Heer. <i>Cinnamomum polymorphum</i> Heer. <i>Cinnamomum scheuchzeri</i> Heer. <i>Cinnamomum oligocenicum</i> Kasum.</p> <p>Сем. Leguminosae <i>Dalbergia krysstofowichi</i> Kas.</p> <p>Сем. Magnoliaceae <i>Magnolia</i> sp.</p> | <p>Сем. Moraceae <i>Ficus arcinervis</i> Rossm. <i>Ficus jynx</i> Ung <i>Ficus lanceolata</i> Heer.</p> <p>Сем. Myricaceae <i>Myrica agdjakendica</i> Kas. <i>Myrica hakeaefolia</i> Sap. <i>Myrica</i> cf. <i>lignitum</i> Ung. <i>Myrica</i> cf. <i>longifolia</i> Goep. <i>Myrica oligocenicum</i> Kas. <i>Myrica salicina</i> Heer.</p> <p>Сем. Myrtaceae <i>Eucalyptus oceanica</i> Ung. <i>Phyllites kirovabadensis</i> Kas. <i>Eugenia bogatschevi</i>.</p> <p>Сем. Oleaceae <i>Fraxinus juglandina</i> Sap.</p> <p>Сем. Proteaceae <i>Hakea</i> cf. <i>spathulata</i> Schmalh.</p> <p>Сем. Rhamnaceae <i>Berchemia oligocenicica</i> Kas. <i>Berchemia indjatschaica</i> Kas. <i>Ziziphus ungeri</i> Heer. <i>Ziziphusziziphoides</i> (Ung)Heer <i>Rhamnus</i> cf. <i>acuminatifolium</i> Web. <i>Rhamnus dechenii</i> Web. <i>Rhamnophyllum</i> sp.</p> <p>Сем. Rutaceae <i>Citrophyllyum azerbaijanicum</i> Kas.</p> <p>Сем. Sapindaceae <i>Sapindus indjatschaica</i> Kas.</p> <p>Сем. Ulmaceae <i>Ulmus carpinoides</i> Goep. <i>Zelkova araxina</i> Palib.</p> <p>Сем. Vitaceae <i>Vitis</i> sp.</p> |
|---|--|---|

Таблица 2

Участие жизненных форм растений во флоре раннего и среднего олигоцена Кавказа

| Жизненные формы | Количество | | |
|--------------------------------|------------|----------|----------|
| | семейств | родов | видов |
| Всего | 31 | 49 | 84 |
| Древесные | 24 | 39 | 72 |
| Голосеменные | 4 (17%) | 7 (18%) | 11 (15%) |
| Покрытосеменные (вечнозеленые) | 20 (83%) | 16 (44%) | 31 (45%) |
| Покрытосеменные (листопадные) | | 16 (38%) | 30 (40%) |

Таблица 3

Число родов в составе географических групп олигоценовой флоры Кавказа

| Географические группы го-ларктических и тропических родов | Количество родов | |
|---|------------------|------------------|
| | Ранний олигоцен | Поздний олигоцен |
| Панголарктические (ПГА) | 4 (11%) | 6 (24%) |
| Американо-евразийские (АЕА) | 3 (8%) | 7 (28%) |
| Американо-средиземно-морско-азиатские (АСА) | 5 (16%) | 6 (24%) |
| Американо-восточноазиатские (АВА) | 3(11%) | 1 (4%) |
| Восточноазиатские (ВА) | 2 (5%) | 2 (8%) |
| Североамериканские (СА) | 3 (8%) | 1 (4%) |
| Тропические (Т) | 14 (39%) | 2 (8%) |
| Евразийские (ЕА) | 1 (2%) | 0 |
| Всего количество родов | 33 | 25 |

Американо-восточно-азиатская (АВА) группа представлена 3 родами (*Castanopsis*, *Berchemia*, *Carya*). Это вечнозеленые и листопадные представители влажных тропических и муссонных лесов, в том числе и островных (*Berchemia*). Американо-евразийская группа (АЕА) представлена 2 родами (*Quercus*, *Fraxinus*). Эти роды присутствуют сейчас на Кавказе и в Азербайджане, но в видовом отношении эти представители чужды флоре данного региона, их аналоги обитают в более южных и влажных широтах. Североамериканская группа (СА) представлена 3 родами (*Sabal*, *Sequoia*, *Taxodium*). Это обитатели морских побережий и речных долин, которые произрастают на заболоченных, хорошо дренированных почвах. Виды, входящие в состав панголарктической группы родов (*Pinus*, *Andromeda*, *Myrica*, *Rhamnus*), представляют формации теплоумеренной зоны.

Остальные группы родов, как видно из таблицы 3, представлены одним или двумя родами, ареалы которых не выходят за пределы субтропических широт.

Сопоставляя раннеолигоценовую и позднеолигоценовую флоры, надо иметь в виду, что данные по первой получены как по ископаемому листовому материалу, так и по спорам и пыльце, а сведения по второй представлены исключительно по спорам и пыльце растений. При этом необходимо учитывать, что палиноспектры характеризуются обобщенностью данных, недостатком видовых определений и сведений о вечнозеленых экзотических растениях, но дают более полную информацию о голосеменных и травянистых растениях.

Согласно палинологическим данным в позднем олигоцене увеличивается количество родов голосеменных растений (таб. 4), относящихся к панголарктической (*Picea*, *Cedrus*) и средиземноморской (*Cupressus*) географическим группам. Наряду с сосной, таксодиумом и подокарпом, произраставшими еще в раннем олигоцене, они входили в состав различных растительных группировок – от заболоченных низинных до смешанных горных лесов.

Таблица 4

Участие жизненных форм растений во флоре позднего олигоцена Кавказа

| Жизненные формы | Количество (%) | | |
|-----------------|----------------|-------|-------|
| | семейств | родов | видов |
| Всего | 20 | 30 | 30 |
| Древесные | 15 | 25 | 25 |
| Голосеменные | 4 | 6 | 6 |
| Покрытосеменные | 11 | 19 | 19 |

Представители тропической флоры в палиноспектрах представлены всего лишь 2 родами (*Eucalyptus*, *Podocarpus*). Морфология современных пыльцевых зерен тропических растений изучена не в полной мере, поэтому присутствие в спектрах до 80% неопределенной пыльцы типа Tricolporopollenites, возможно, относится к этому типу тропических растений. Остатки древесины, которые не встречены в палиноспектрах, обнаруженные на Абшеронском полуострове (*Anacardiaceae*, *Theaceae*, *Sapotaceae*, *Mirobalanaceae*, *Lauraceae*, *Hamamelidaceae*), подтверждают более значимую роль тропической группы растений в позднем олигоцене, нежели это представлено в палиноспектрах. По сравнению с ранним олигоценом увеличивается разнообразие семейства Juglandaceae, представленное 5 родами. Появляются представители новых семейств и родов – *Betulaceae* (4 рода), *Aceraceae*, *Tiliaceae*, *Ulmaceae*, характерные для теплоумеренной и умеренной зоны. Из 25 родов древесных растений, отмеченных в позднем олигоцене, 14 родов в настоящее время присутствуют во флоре Азербайджана и Кавказа. Говорить о листопадных и вечнозеленых элементах во флоре позднего олигоцена при отсутствии видовых определений невозможно.

Преобладающими по количеству родов в позднем олигоцене были американо-евразийская – 7 родов (*Acer*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fagus*, *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*), панголарктическая – 6 родов (*Cedrus*, *Pinus*, *Picea*, *Alnus*, *Betula*, *Myrica*) и американо-средиземноморско-азиатская – 6 родов (*Laurus*, *Juglans*, *Pterocarya*, *Castanea*, *Rhus*) географические группы (таб. 3).

Эвкалипт (*Eucalyptus*) имеет широкую экологическую приспособляемость: от заболоченных лесов до сухих саванн и ныне распространен лишь в Австралии и прилегающих островах. Ногоплодник (*Podocarpus*) – род хвойных вечнозеленых растений, обитающих в горных лесах тропиков и субтропиков Южной Америки, Южной Японии, Китая, Новой Гвинеи и Новой Зеландии.

От раннего к позднему олигоцену уменьшается количество тропических и американо-евразийских родов, тип флоры постепенно меняется от влажно-тропического и субтропического к теплоумеренному.

Для внутренних, континентальных регионов, этот процесс начал происходить в раннем олигоцене, как свидетельствуют данные спорово-пыльцевого анализа. Флора была представлена в основном умеренными родами (*Acer*, *Alnus*, *Betula*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Populus*) с участием теплоумеренных (*Aralia*, *Pterocarya*) и субтропических родов (*Comptonia*, *Laurophyllum*).

Обсуждение результатов

Палинологические данные показали, что во время накопления отложений хадумского горизонта (основание майкопской серии) преобладающим элементом в смешанных хвойно-широколиственных лесах являлся бук (*Fagus*), порода более холодоустойчивая, чем орех (*Juglans*). Разнообразие хвойных пород – *Tsuga*, *Cedrus*, *Abies*, *Cupressaceae* говорит о формировании растительности горных склонов. Свидетелями процесса похолодания выступают мелколистственные архаичные представители панголарктической группы *Betula*, *Alnus*, *Corylus*. Однако участие в составе растительности элементов субтропической и тропической флоры (*Magnoliaceae*, *Palmae*) свидетельствует о еще высоком температурном режиме в это время. И если говорить о процессе похолодания, то оно, конечно же, было относительным в сравнении с предыдущими периодами (рис. 3).

Присутствие пальм в майкопской флоре является надежным климатическим индикатором, позволяющим оценить среднегодовые температуры в пределах 14-18°C. Присутствие таксодиаума (*Taxodium*) в составе растительности, обитающего в настоящее время в условиях высокой влажности воздуха и почвы, говорит о среднего-

довом количестве осадков в раннем олигоцене не менее 1000-1500 мм.

В растительности раннего олигодена преобладали представители теплолюбивой полтавской флоры наряду с появлением представителей теплоумеренной мелколистственной тургайской. Этот период сопоставляется с периодом понижения температур на границе 36-37 млн. л.н. (Зубаков, 1990).

Начало олигодена (нижние слои рупеля) характеризуется теплыми и влажными условиями с первыми признаками иссушения на расширяющихся участках суши при регрессивной фазе бассейна в регионе (Sachsenhoffer et al., 2017). Полидоминантные влажные хвойно-широколиственные леса продолжают доминировать, преимущество в них получают *Juglans*, *Quercus*, значение *Fagus* уменьшается. Субтропические, средиземноморского типа леса формировались как из вечнозеленых, так из листопадных пород – магнолия, лавр, кипарис, кария, мирика. Формации из болотного кипариса, ольхи и речного кедра занимали заболоченные речные и морские террасы. Увеличивается роль пальм в составе прибрежных формаций. Ксерофиты – сумах, фисташка, эфедра, осваивали сухие открытые пространства. По песчаным побережьям произрастали пальмы.

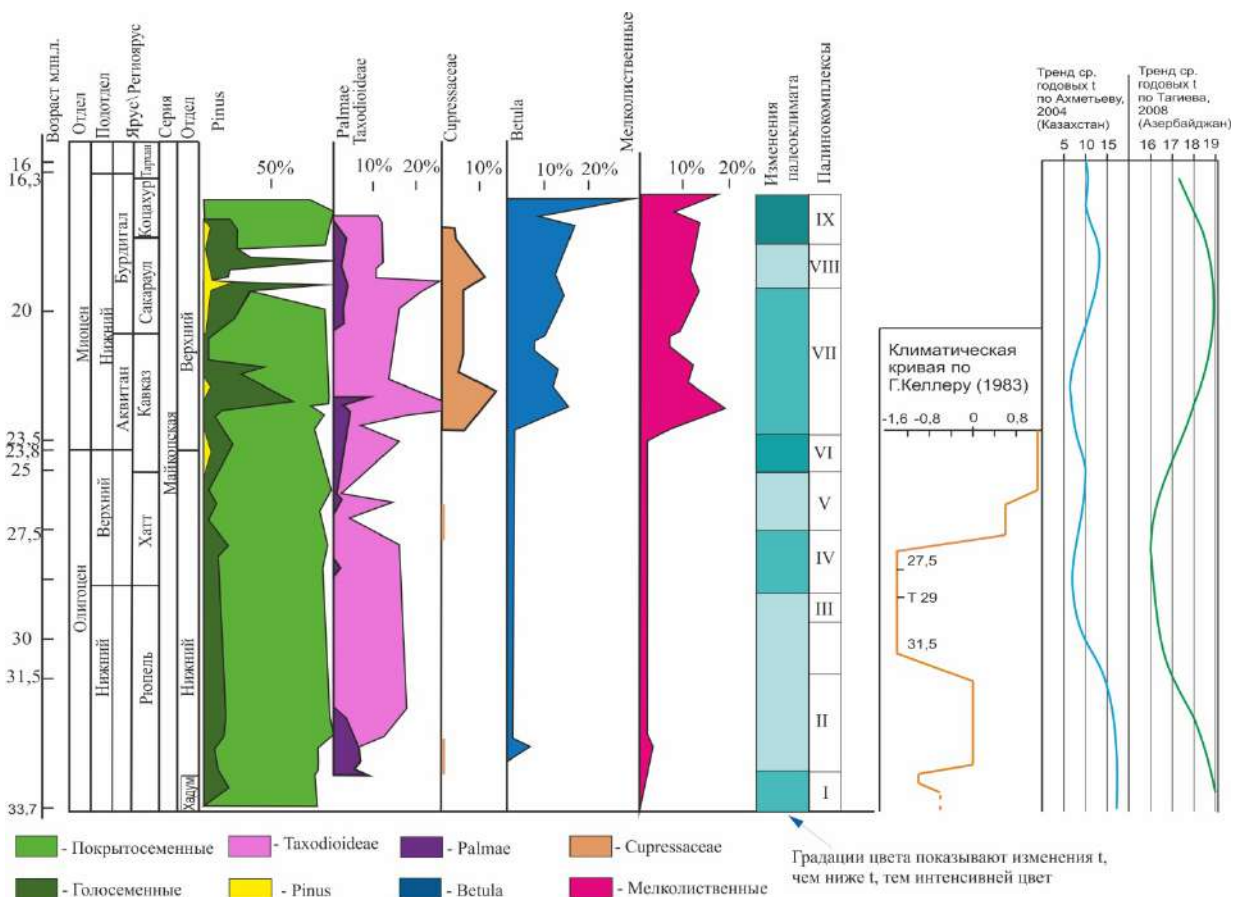


Рис. 3. Сводная схема палинологических и климатических данных майкопа юго-восточного окончания Большого Кавказа

Разнообразие представителей вечнозеленых восточно-азиатских и тропических флор (*Sarcococca*, *Engelhardia*, *Syatheaceae*) возрастает. В настоящее время они произрастают в субтропических и тропических широтах Азии. Представители рода саркококка (*Sarcococca*) семейства самшитовые (*Vuxaceae*) – вечнозеленые кустарники, обитают в субтропических лесах Западных Гималаев, предгорьях Индии, Китая и Суматры при зимних температурах 14-16°C и высокой влажности воздуха, хотя способны выносить и сухой климат.

Представители семейства циатейных (*Syatheaceae*), в состав которых входят большей частью древовидные папоротники, равномерно распределены между тропическими областями Старого и Нового Света. Особенно обильно виды циатейных представлены в относительно холодных и постоянно влажных горных тропических районах. Участие этих папоротников во флоре раннего олигоцена в изучаемом регионе говорит о появлении сезонности в распределении осадков и дифференциации растительных сообществ по высотным поясам в связи с ростом гор.

Монотипные роды растений, имеющих ограниченный ареал распространения или обитания в настоящее время и климатические параметры которых в полной мере можно использовать при оценке климатической обстановки всего растительного комплекса (индикаторные виды), в раннем олигоцене представлены родами – секвойя, гинкго, пальмы, таксодиум и уже описанный выше род циатейных папоротников.

Оптимальные среднегодовые температуры обитания *Sequoia* колеблются от 11° до 15°C, зимние – от 8° до 10°C, июля – от 13° до 19.5°C. Современное распространение болотного кипариса – *Taxodium* – ныне не выходит за пределы среднегодовой изотермы 13.3°C, а среднегодовые температуры холодных месяцев колеблются от 4.9° до 9.9°C (Ахметьев, 2004). Климатические пределы произрастания индикаторных видов раннего олигоцена говорят о среднегодовых температурах – 13-14°C.

Наличие в составе раннеолигоценовой флоры видов и родов, произрастающих в условиях с высокой и избыточной влажностью воздуха и почвы (секвойя, гинкго, таксодиум, глиптостробус), свидетельствует о высоком режиме увлажнения. Присутствие панголарктических родов *Betula*, *Pinus* и ксерофитов американо-средиземноморско-азиатской флоры *Pistacia*, *Rhus* говорит о меняющихся в сторону похолодания и иссушения условиях климата и начале дифференциации растительных сообществ в раннем олигоцене. Одной из причин таких изме-

нений явилось увеличение общей площади суши и её абсолютной высоты.

Палеоэкологическая обстановка второй половины раннего олигоцена (верхние слои рюппеля) в регионе из-за отсутствия палинологических данных не охарактеризована.

Ранние этапы позднего олигоцена (хатт) характеризуются относительно холодными условиями. Основные типы лесных формаций сохраняются. Появляются более холодолюбивые хвойные породы – *Cedrus*, *Pinus*, *Larix* наряду с разнообразными восточно-азиатскими и средиземноморскими представителями голосеменных – *Thuja*, *Juniperus*, *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Cupressus*, *Ginkgo*, *Tsuga*, *Ephedra*. Среди широколиственных пород преимущество получают *Fagus*, *Quercus* с участием *Juglans*, *Castanea*. Увеличивается разнообразие мелколиственных пород *Carya*, *Corylus*, *Betula*, *Myrica*. Сокращение заболоченных таксодиевых формаций и наличие ксерофитных редколесий (можжевельник, эфедра, сумах) с участием трав (маревые) говорит об иссушении климата. Эти изменения, происшедшие в составе субтропической вечнозеленой гигрофильной и мезофильной с элементами тропической растительности, явились следствием проявления сезонности в распределении как температур, так и осадков. Родовой и видовой состав флоры начала хаттского времени отличается присутствием наибольшего количества умеренных представителей в течение всего олигоцена.

В конце позднего олигоцена (верхняя часть хаттского яруса) во влажных полидоминантных лесах региона вновь увеличивается доля ореха на фоне присутствия дуба, бука и хвойных пород – гинкго, секвойи, тсуги. Лещина продолжает оставаться основным элементом подлеска в этих лесах. Роль панголарктических элементов – березы и сосны, появившихся в период похолодания, заметно уменьшается. Состав влажных приречных и низинных лесов обогащается средиземноморскими и восточно-азиатскими элементами – кария, птерокария, мирика, ольха, ильм. В прибрежно-морских формациях участвовали пальмы. Расширяются заболоченные формации с участием болотного кипариса и глиптостробуса, что говорит о высоком уровне как почвенного, так и воздушного увлажнения. Общий состав и распределение родов в группе покрытосеменных и голосеменных растений сходен с раннеолигоценовым этапом (низы рюппеля) и свидетельствует о повышении среднегодовых температур и увлажнения относительно середины позднего олигоцена (средний хатт). Определенные для этого периода количественные показатели климата по разрезу Исламдаг составляют для января

9-13°C, июля – 26-29°C, среднегодовое количество осадков – 1000-1500 мм.

В позднем майкопе (ранний миоцен) преобладающим типом растительности остаются леса, среди которых выделяются: прибрежные морские на заболоченных почвах из болотного кипариса, мирики с участием пальм по песчаным побережьям; полидоминантные многоярусные хвойно-широколиственные из бука, дуба, ореха, каштана, березы с участием гинкго, кедра, тсуги, секвойи; средиземноморского типа из карики, магнолии; пойменные леса с различными видами ольхи, ивы, граба, мирики; и сухие редколесья с участием сумаха, эфедры. В палиноспектрах олигоцена единичное присутствие пыльцы трав говорит о незначительной роли открытых пространств в это время.

Вышеназванная лесная растительность существовала в достаточно влажных условиях с практически равномерным распределением осадков в течение года, о чем говорит как наличие буковых лесов, требовательных к летней влаге и не переносящих длительных периодов засухи, так и присутствие гигрофитов – таксодиевых, мирики, гинкго, циатейных папоротников. Наличие индикаторных видов, имеющих узкий ареал распространения (гинкго, пальмы, циатейные) свидетельствует о довольно теплых условиях со средне-зимними температурами в предгорье не ниже 15°C.

Результаты изучения макрофлоры. Территория Азербайджана в конце палеогена являлась частью Восточного Паратетиса (Попов и др., 2010) и была представлена крупными сушами Большого и Малого Кавказа, имевшими на отдельных участках горный рельеф высотой до 500 м, и мелкими островами (Хаин, Шарданов, 1952; Долуханов, 1988; Халилов, 2000).

К началу олигоцена происходит оживление восходящих тектонических движений, и появляются новые островные поднятия в западной части центральной зоны Малого Кавказа и в южной части Талыша.

Наличие в водах мелководных олигоценых морей Малого Кавказа нуммулитов, кораллов и тропических форм моллюсков (Мамедов, Работина, 1990), обитателей современной Индо-Тихоокеанской области говорит о высоком температурном режиме морских вод – порядка 22-24°C (Султанов, Исаев, 1982). Анализ флоры с использованием метода Шафера (Szafer, 1946) показал, что современные ареалы более 40% ископаемых родов раннего олигоцена, совместно произрастают сейчас в тропических и в субтропических широтах Центральной Америки, Юго-Восточной Азии и на островах Океании.

Согласно современным климатическим данным Climate Atlas, 2002 (<http://wcatlas.iwmi.org>) определено, что эти территории лежат в области январских изотерм +15 и +20°C и июльской +25°C и годового количества осадков в пределах 2000-2500 мм. Наложение климатограмм растений ранней эпохи раннего олигоцена показало для этого периода WMT – 22-26°C; CMT – 18-22°C (таб. 5).

В зависимости от отношения к термическому режиму и режиму увлажнения изученная растительность принадлежит к субтропической, теплоумеренной и умеренной экологическим группам. Основным типом растительных формаций были вечнозеленые и смешанные хвойно-широколиственные леса. В прибрежной части на более сухих и открытых пространствах произрастали пальмы сабаль и отдельные виды мирики, а на более увлажненных участках – в лагунах или в устьях рек формировались заболоченные леса и заросли типа мангров с участием глиптостробуса, либоцедруса (речной кедр), таксодиума (болотный кипарис), влаголюбивых видов мирики (восковника), фикусов и дуба. Эти формации соседствовали с влажными вечнозелеными субтропическими лесами из дубов, подокарпа, фикусов, мыльного дерева, эвгении, анакардии, листопадных деревьев энгельгардии, далбергии, с участием лиан и папоротников. Обширные площади занимали жестколистные леса, образованные разнообразными видами лавров, коричников, персеи.

Таким образом, устанавливается, что в раннем олигоцене флористические элементы тропического климата продолжают господствовать. Однако доля этих элементов сокращается, им на смену приходят элементы субтропического климата. Проявляется пока не столь значительная амплитуда между зимними и летними температурами (таб. 5). Климат раннего олигоцена для изучаемого региона можно определить как переходный от тропического к субтропическому типу.

В позднеолигоцене морском бассейне наблюдается сокращение ареала кораллов и нуммулитов, появляются холодолюбивые и эвритермные виды моллюсков (Султанов, Исаев, 1982). Меняется термический и солевой режим морского бассейна. К концу олигоцена, как показал анализ раковинного вещества двухстворчатых моллюсков, среднегодовые температуры придонных вод морей снизились до 17-18°C (Ясаманов, 1978). В результате в позднеолигоцене на территории Азербайджана исчезают крупные фораминиферы, кораллы, толстоствольные и крупнораковинные моллюски, морские ежи и другие теплолюбивые формы.

Палеоклиматические реконструкции олигоцена Азербайджана

| Возраст | | Местонахождение лиственной флоры | Реконструированные среднегодовые значения температур и осадков | | | Современные показатели средне- годовых температур и осадков | | |
|----------|---------|--|--|-------|-----------|--|-------|---------|
| | | | CMT | WMT | MAP | CMT | WMT | MAP |
| Олигоцен | Поздний | Джалилабадский район (с. Садатлы, Албалам) | 8-16 | 22-27 | 1000-1500 | 0-3 | 25-27 | 400-600 |
| | Ранний | СВ склоны Малого Кав- каза (с. Зейва, Хархапут) | 13-25 | 22-25 | 1200-1500 | 0-3 | 27-30 | 200-400 |
| | | Нахчыванская АР (Даррыдыг) | 25-26 | 25-26 | 1100-2000 | -3 -6 | 27-30 | 200-300 |
| | | Лерикский р-н (с. Билабанд) | 16-20 | 24-28 | 1200-1600 | 0-3 | 25-27 | 400-600 |

WMT – средняя температура самого теплого месяца (°C); CMT – средняя температура самого холодного месяца (°C); MAP – среднегодовое количество осадков (мм)

Процесс похолодания во второй половине позднего олигоцена проявился в постепенной смене средиземноморского типа флоры тургайским. Увеличилось количество панголарктических видов, и появились представители тургайской теплоумеренной и умеренной флоры (4 рода из семейств Betulaceae, Aceraceae, Tiliaceae, Ulmaceae). Состав тургайских лесов изменился и за счет более широкого распространения дуба, ильма, платана, граба и ореха, произрастающих на этой территории и ранее.

Тем не менее, средиземноморский тип растительности сохраняется в виде вечнозеленых субтропических лесов из лавра, подокарпа, энгельгардии, эвкалипта, миртовых. Число тропических родов в составе флоры сокращается, но они продолжают играть значительную роль в составе растительности. Теплоумеренная растительность существует одновременно со средиземноморской. Подобное соседство указывает на то, что в позднем олигоцене Кавказ приобретает горный характер, и происходит дифференциация растительности, где выделяются две высотные зоны: нижняя с субтропическим климатом и средиземноморской растительностью и верхняя с теплоумеренным климатом и тургайской растительностью.

Количественные показатели климата позднего олигоцена, полученные методом климатограмм, свидетельствуют о понижении средних значений температур самого холодного месяца на 5-6°C, наряду с практически незначительными колебаниями средне-июльских температур (22-27°C) и годового количества осадков в пределах 1000-1500 мм.

Закключение. Анализ палиноспектров по разрезам Шамахи-Гобустанской области и общего списка (таб. 1) обнаруженной лиственной флоры свидетельствует о господстве в майкопе на южном побережье Кавказского острова лесной растительности с участием влаголюбивых тропических, субтропических вечнозеленых и листопадных форм наряду с мезофильными, теплоумеренными и умеренными представителями. Широколиственные породы составляли большинство (70%) в растительных ассоциациях (рис. 3). Основными типами лесных формаций без ярко выраженного доминанта были смешанные хвойно-широколиственные – орехово-буково-дубовые леса с участием хвойных пород – *Cedrus*, *Abies*, *Tsuga*, *Larix*; субтропические леса с участием вечнозеленых элементов – *Laurus*, *Magnoliaceae*, *Cupressaceae* и влажные низинные и приречные леса из *Taxodium*, *Carya*, *Ulmus*, *Morus* с участием пальм по морскому побережью. Группа голосеменной растительности отличалась большим разнообразием, но находилась в подчиненном положении (до 30% пыльцы от всех древесных). Доминировали среди хвойных таксодиевые, участие сосны на постоянной основе, но в небольших количествах (максимальное 9% от всех хвойных пород) отмечается лишь начиная с раннего миоцена (кавказский регионарус).

Максимум таксодиевых фиксируется и на северном побережье Кавказского острова на границе позднего олигоцена и раннего миоцена по спектрам реки Белая (Запорожец, Ахметьев, 2017). Однако в отличие от спектров побережья северной части острова, где практически во всех палиноспектрах доминирует пыльца голосемен-

ных растений (в разных соотношениях Taxodiaceae и Pinaceae), в его южной части преобладала пыльца покрытосеменных растений над голосеменными, и роль сосны в них была минимальна.

Чистых хвойных лесов сосна в майкопское время в изучаемом регионе не образовывала. Присутствие в растительности элементов субтропической и тропической флоры говорит о высоком режиме температур и увлажнения в это время. На протяжении майкопского времени фиксируется постепенная смена доминантов в лесных формациях, которая вела к смене полтавской тропической флоры (лавр, магнолия, пальма – бесстебельная *Nipa* и высокоствольная *Sabal*, листовые отпечатки которых известны из отложений в Нахчыванской Автономной Республике, вечнозеленые дубы, из хвойных – таксодиевые, *Sequoia*) – умеренной флорой тургайского типа, характеризующейся расцветом сережкоцветных древесных пород из семейств буковых, ореховых, березовых (*Fagus*, *Quercus*, *Castanea*, *Juglans*, *Pterocarya*, *Alnus*, *Betula*) с участием *Acer*, *Ulmus*.

Согласно многочисленным исследованиям эпоху позднего палеогена (олигоцен, 36.5-23.5 млн. л.н.) связывают со вторым на протяжении кайнозоя крупным похолоданием, на фоне которого выделяются различные по продолжительности и степени периоды потепления (Борзенкова,

1992). Наши исследования показали, что в изучаемом регионе похолодание во второй половине позднего олигоцена проявилось возрастанием представителей панголарктической географической группы родов, увеличением в составе лесных формаций архаичных мелколиственных пород (*Corylus*, *Betula*, *Alnus*), появлением среди хвойных представителей горных областей (*Tsuga*, *Cedrus*, *Abies*, *Larix*, Cupressaceae) устойчивых к низким зимним температурам. Похолодание протекало одновременно с иссушением, выразившееся в сокращении заболоченных таксодиевых формаций и формировании ксерофитных формаций (можжевельник, эфедра, сумах) с участием трав (маревые). Увеличение площади суши и похолодание в позднем олигоцене явилось причиной вторжения теплоумеренной мелколиственной тургайской флоры в достаточно еще представительную на территории Кавказа полтавскую флору. Этот процесс проявлялся повсеместно, но в северных широтах степень и скорость флористических преобразований изменялись быстрее и контрастнее, нежели в южных.

В конце олигоцена – в начале раннего миоцена (кавказский век) после относительно кратковременного похолодания (Zachos et al., 2001) климатические условия стабилизируются и температуры приобретают значения, сходные с раннеолигоценными.

ЛИТЕРАТУРА

- Абих Г.А. Краткий обзор строения Апшеронского полуострова и некоторые сведения о минеральных произведениях Бакинской губернии. Зап. Кавк. отд. русск. геогр. общ., кн. VI, 1864, 129 с.
- Азизбеков Ш.А. Геология Нахичеванской АССР. Госгеолтехиздат. Москва, 1961, 502 с.
- Ализаде А.А. Майкопская свита Азербайджана и ее нефтегазоносность. Азнефтеиздат. Баку, 1945, 489 с.
- Ализаде К.А., Узнадзе М.Д. Материалы по изучению флоры палеогена. Тр. Азерб. индустр. ин-та, вып. 4, Баку, 1951, с. 39-48.
- Атлас миоценовых спорово-пыльцевых комплексов различных районов СССР. Госгеолтехиздат. Москва, 1956, 460 с.
- Атлас олигоценых спорово-пыльцевых комплексов различных районов СССР. Госгеолтехиздат. Москва, 1956, 312 с.
- Ахметьев М.А. Климат земного шара в палеоцене и эоцене по данным палеоботаники. В кн.: (Семихатова М.А., Чумакова Н.М., ред.) Климат в эпохи крупных биосферных перестроек. Глава 1. Наука. Москва, 2004, 299 с., <https://geocryology.files.wordpress.com/2013/05/climat.pdf>.
- Ахметьев М.А., Запорожец Н.И. Новые находки пальм из олигоценых отложений Дарры-Дага (Нахичеванская АССР). Бюлл. МОИП, отдел геологический, No. 64, вып. 6, 1989, с. 57-67.
- Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Головина Л.А., Попов С.В., Сычевская Е.К., Эфендиева М.А., Фейзуллаев А.А.,

REFERENCES

- Abich W.H. A brief overview of the structure of the Apsheron Peninsula and some information about the mineral products of Baku province. Western Caucasus Department of the Russian Geographical Society, book VI, 1864, 129 p. (in Russian).
- Abreu V., Nummedal D. Miocene to Quaternary sequence stratigraphy of the South and Central Caspian basins In (P.O.Yilmaz and G.H.Isaksen, ed.): Oil and gas of the Greater Caspian area: AAPG Studies in Geology, Vol. 55, 2007, pp. 65-86.
- Abdullayev E., Baldermann A., Warr L.N., Grathoff G., Tağıyeva Y.N. New constrains on the depositional environment of the Eastern Paratethys: Implications from the Miocene Diatom Suite (Azerbaijan). Sedimentary Geology, Vol. 411, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105794>.
- Aghayeva V., Sachsenhofer R.F., van Baak C.G.C., Bechtel A., Hoyle T.M., Selby D., Shiyanova N., Vincent S.J. New geochemical insights into Cenozoic source rocks in Azerbaijan: implications for petroleum systems in the South Caspian region. Journal of Petroleum Geology, Vol. 44, No. 3, 2021, pp. 349-384, <https://doi.org/10.1111/jpg.12797>.
- Akhmetev M.A. Climate of the globe in the Paleocene and Eocene according to paleobotany. In the book: (Semikhatov M.A. and Chumakov N.M. eds.) Climate in the epoch of major biospheric restructurings. Chapter 1. Nauka. Moscow, 2004, 299 p. (in Russian).
- Akhmetev M.A., Zaporozhets N.I., Golovina L.A., Popov S.V., Sychevskaya E.K., Efendieva M.A., Feyzullaev A.A., Aliev C.S. New data on the stratigraphy of Maikop deposits of Central Gobustan. Stratigraphy and sedimentology of oil-

- Алиев Ч.С. Новые данные по стратиграфии майкопских отложений Центрального Гобустана. Стратиграфия и седиментология нефтегазоносных бассейнов, No. 1, 2007, с. 32-53.
- Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н., Бабазаде А.Д. Микропалеонтологические исследования отложений Майкопской серии юго-восточного окончания Большого Кавказа (Азербайджан). ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2021, с. 56-74, DOI: 10.33677/ggianas20210100055.
- Богданович К.И., Губкин И.М., Прокопов К.А., Черноцкий С.И. Отчет о деятельности геол. ком. за 1911 г. Изв. Геол. ком., т. 31, 1912, 57 с.
- Борзенкова И.И. Изменение климата в кайнозое. Гидрометеиздат. Санкт-Петербург, 1992, 247 с.
- Ганзей С.С. Хронология палеогеографических событий позднего кайнозоя Понто-Каспия (по данным метода треков). Автореф. дисс. канд. геогр. наук. Изд. МГУ. Москва, 1984, 24 с.
- Голубятников Д.В. Главнейшие результаты геологических работ, произведенных на Апшеронском полуострове в 1903 году. Изв. Геол. ком., 1904, Т. 23, No. 5-6.
- Гричук В.П. Палеоботанические индикаторы палеоклиматических реконструкций. В кн.: Методы реконструкции палеоклиматов. Наука. Москва, 1985, с. 20-28.
- Джабарова Х.С. Некоторые данные о майкопской растительности по данным спорово-пыльцевого анализа района Ялама (Азербайджан). ДАН Азерб. ССР, 1960, Т. 16, No.1, с. 57-59.
- Джабарова Х.С., Касумова Г.М. Дополнительные материалы об ископаемых растениях из майкопских отложений Талыша (на основании отпечатков растений и данных спорово-пыльцевого анализа). Доклады АН Азерб. ССР, Т. 18, No. 11, 1961, с. 1081-1083.
- Долуханов П.М. История Средиземных морей. Наука. Москва, 1988, 144 с.
- Запорожец Н.И., Ахметьев М.А. Палеоботаническое изучение разреза майкопской серии олигоцена-нижнего миоцена по р. Белая выше г. Майкопа, Предкавказье. Стратиграфия. Геологическая корреляция, Т. 25, No. 6, 2017, с. 61-83, DOI: 10.7868/S0869592X17060047.
- Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. Гидрометеиздат. Ленинград, 1990, 223 с.
- Каревская И.А. Спорово-пыльцевой анализ при палеогеографических и геоморфологических исследованиях. Учебное пособие. МГУ. Географический факультет. Москва, 1999, 113 с.
- Касумова Г.М. О флоре нижнего олигоцена в районе Даррыдаг (Нахичевань). Докл. АН Азерб. ССР, т. 27, No. 1, 1961, с. 161-162.
- Касумова Г.М. Флора олигоценовых отложений северовосточных предгорий Малого Кавказа. Изд. АН Азерб. ССР. Баку, 1966, 85 с.
- Климат в эпохи крупных биосферных перестроек. Наука. Москва, 2004, 299 с.
<https://geocryology.files.wordpress.com/2013/05/climat.pdf>
- Мамедов А.В., Работина Е.Н. Ландшафтно-климатические условия эоцена и олигоцена на территории Азербайджана. Известия АН СССР. Сер. Географическая, Москва, 1990, No. 5, с. 79-87.
- Невесская Л.А., Гончарова И.А., Ильина Л.Б. и др. Региональная стратиграфическая шкала неогена Восточного Паратетиса. Советская геология, No. 9, 1984, с. 37-49.
- Палибин И.В. Нижнеолигоценовая флора горы Даррыдаг в бассейне Аракса (Закавказье). Труды Ботанического института АН СССР, серия 1, вып. 6, 1947, с. 7-27.
- Палибин И.В. Этапы развития флоры прикаспийских стран со времени мелового периода. Москва, Ленинград, Изд. АН СССР, 1936, 60 с.
- and-gas bearing basins, No. 1, 2007, pp. 32-53 (in Russian).
- Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I. New finds of palm trees from the Oligocene deposits of Darry-Dag (Nakhichevan ASSR). Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. Geological Department, No. 64, Issue 6, 1989, pp. 57-67.
- Alizade A.A. The Maikop Formation of Azerbaijan and its oil and gas content. Azneft publishing house. Baku, 1945, 489 p. (in Russian).
- Alizade K.A., Uznadze M.D. Materials for the study of the Paleogene flora. Trudy of the Azerbaijan industry inst. Baku, No. 4, 1951, pp. 39-48 (in Russian).
- Atlas of Oligocene spore-pollen complexes in various regions of the USSR. Gosgeoltekhizdat. Moscow, 1956, 312 p. (in Russian).
- Atlas of Miocene spore-pollen complexes in various regions of the USSR. Gosgeoltekhizdat. Moscow, 1956, 460 p. (in Russian).
- Azizbekov Sh.A. Geology of the Nakhichevan ASSR. Gosgeoltekhizdat. Moscow, 1961, 502 p. (in Russian).
- Bayramova Sh., Tagieva E.N., Babazade A.D. Micropaleontological studies of the Maikop series sediments of the south-eastern end of the Greater Caucasus (Azerbaijan). ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2021, pp. 56-74, DOI: 10.33677/ggianas20210100055 (in Russian).
- Bechtel A., Movsumova U., Pross J., Gratzner R., Coric S., Sachsenhofer R.F. The Oligocene Maikop series of Lahich (eastern Azerbaijan): Paleoenvironment and oil-source rock correlation. Organic Geochemistry, Vol. 71, 2014, pp. 43-59, <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2014.04.005>.
- Bogdanovich K.I., Gubkin I.M., Prokopov K.A., Chernotsky S.I. Report on the activities of the Geological Committee for 1911. Proceedings of the Geological Committee, Vol. 31, 1912, 57 p. (in Russian).
- Borzenkova I.I. Climate change in the Cenozoic. Gidrometeoizdat St. Petersburg, 1992, 247 p. (in Russian).
- Climate in the epoches of major biospheric restructuring (Semikhatov M.A., Chumakov N.M., eds.) Nauka. Moscow, 2004, 299 p. <https://geocryology.files.wordpress.com/2013/05/climat.pdf> (in Russian).
- Climate Atlas IWMI. 2002, <http://wcatlas.iwmi.org>, New et al.
- Dolukhanov P.M. History of the Mediterranean Seas. Nauka. Moscow, 1988, 144 p. (in Russian).
- Efendiyeva M.A. Anoxia in waters of the Maikop paleobasin (Tethys Ocean, Azeri sector), with implications for the modern Caspian Sea. Geo-Mar Lett., 2004, Vol. 24, pp. 177-181.
- Feyzullayev A.A., Tagiyev M.F., Ismailova G.G. Hydrocarbon potential of the Maikop deposits of the Shemakha-Gobustan region. J. Azerbaijan Geologist, No. 5, 2000, pp. 110-119 (in Russian).
- Filippova N.Yu. Palynology of the Upper Pliocene – Middle Pleistocene deposits in the Southern Part of the Caspian Region. GEOS. Moscow, 1997, 164 p. (in Russia).
- Felix J. Study of fossil wood from the Caucasus. Ztsch. D. Deutsch. Geol. Gesselsch. Berlin, Vol. 46 (1), 1894, pp. 88-129 (in German).
- Ganzev S.S. Chronology of Late Cenozoic Ponto-Caspian paleogeographic events (based on the track method). Abstract of PhD dissertation. Moscow State University Press. Moscow, 1984, 24 p. (in Russian).
- Grichuk V.P. Paleobotanical indicators of paleoclimatic reconstructions. In: Methods of paleoclimate reconstruction. Nauka. Moscow, 1985, pp. 20-28 (in Russian).
- Golubyatnikov D.V. The main results of geological works, carried out on Apsheronky peninsula in 1903. Proceedings of the Geological Committee, 1904, Vol. 23, No. 5-6 (in Russian).
- Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. Comput. and Geosci., 1987, Vol. 13, No. 1, pp. 13-35.

- Попов С.В., Антипов М.П., Застрожных А.С., Курина Е.Е., Пинчук Т.Н. Колебания уровня моря на северном шельфе Восточного Паратетиса в олигоцене-неогене. Стратиграфия. Геологическая корреляция, Т. 18, No. 2, 2010, с. 99-124.
- Попов С.В., Табачникова И.П., Банников А.Ф., Сычевская Е.К., Пинчук Т.Н., Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Ван дер Боон А., Крайшман В., Столяров А.С., Крховски Я. Лектостратотип майкопской серии по р. Белая выше г. Майкопа (Западное Предкавказье) в его олигоценовой части. Стратиграфия. Геологическая корреляция, Т. 27, No. 3, 2019, с. 70-92, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27370-92>.
- Салаев С.Г. Оligocen-миоценовые отложения юго-восточного Кавказа и их нефтегазоносность. Изд. АН Азерб.ССР. Баку, 1961, 253 с.
- Стратиграфический словарь СССР. Палеоген. Неоген. Четвертичная система. Недр. Ленинград, 1982, 616 с.
- Султанов К.М., Исаев С.А. Палеобиогеохимия моллюсков Азербайджана. Эм. Баку, 1982, 180 с.
- Тагиева Е.Н. Эволюция природных условий Азербайджана в кайнозое. Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле, 2008, No. 2, с. 106-116.
- Тагиева Е.Н. Эволюция растительности и климата Азербайджана в кайнозое. Дис. на соиск. уч. степ. доктора географич. наук. Инст. географии им. акад. Г.А.Алиева НАН Азербайджана, Баку, 2011, 371 с.
- Фейзуллаев А.А., Тагиев М.Ф., Исмаилова Г.Г. Углеродородный потенциал майкопских отложений Шамахы-Гобустанского района. Геолог Азербайджана, No. 5, 2000, с. 110-119.
- Филиппова Н.Ю. Палинология верхнего плиоцена – среднего плейстоцена юга Каспийской области. ГЕОС. Москва, 1997, 164 с.
- Хаин В.Е., Шарданов А.Н. Геологическая история и строение Куринской впадины. Изд. АН Аз. ССР. Баку, 1952, 237 с.
- Халилов Г.А. Палеогеоморфология Азербайджанской части Большого Кавказа в олигоцен-раннемиоценовой эпохе неотектонического этапа. Вестник БГУ. Серия естественных наук, No. 1, 2000, с. 204-211.
- Шатский Н.С., Меннер В.В. Миоцен юго-восточного окончания Кавказа. Бюл.МОИП, Т. 5, кн. 1, 1927.
- Шахбазова В.Г. Растительность и климат майкопского времени восточного Азербайджана по данным спорово-пыльцевого анализа. Сборник № 4 Азербайджанского палеонтологического общества, Баку, 2001, 119-123 с.
- Ярмоленко А.В. Ископаемые древесины майкопской свиты юго-восточного Закавказья. Тр. Ботан. Ин-та АН СССР, сер. 1, вып. 5, 1941, с. 13-35.
- Ясаманов Н.А. Ландшафтно-климатические условия юры, мела и палеогена Юга СССР. Недр. Москва, 1978, 224 с.
- Abdullayev E., Baldermann A., Warr L.N., Grathoff G., Tagiyeva Y.N. New constrains on the depositional environment of the Eastern Paratethys: Implications from the Miocene Diatom Suite (Azerbaijan). Sedimentary Geology, Vol. 411, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105794>.
- Abreu V., Nummedal D. Miocene to Quaternary sequence stratigraphy of the South and Central Caspian basins. In: (P.O.Yilmaz and G.H.Isaksen, ed.) Oil and gas of the Greater Caspian area. AAPG Studies in Geology, Vol. 55, 2007, pp. 65-86.
- Aghayeva V., Sachsenhofer R.F., van Baak C.G.C., Bechtel A., Hoyle T.M., Selby D., Shiyanova N., Vincent S.J. New geochemical insights into Cenozoic source rocks in Azerbaijan: implications for petroleum systems in the South Caspian region. Journal of Petroleum Geology, Vol. 44, No. 3, 2021, pp. 349-384, <https://doi.org/10.1111/jpg.12797>.
- Hudson S.M., Johnson C.L., Efendiyeva M.A., Rowe H.D., Feyzullayev A.A., Aliyev Ch.S. Stratigraphy and geochemical characterization of the Oligocene-Miocene Maikop series: Implications for the paleogeography of Eastern Azerbaijan. Tectonophysics, Vol. 451, 2008, pp. 40-55, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.045>.
- Iversen J. Viscum. Hedera and Ilex as climatic indicators. A contribution to the study of the Post-Glacial temperature climate. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Vol. 66, 1944, pp. 463-483.
- Jabarova H.S. Some data on Maikop vegetation according to the data of spore-pollen analysis of Yalama area (Azerbaijan). Doklady AN Azerb. SSR, Vol. 16, No. 1, 1960 (in Russian).
- Jabarova H.S., Kasumova G.M. Additional materials on fossil plants from the Maikop deposits of Talysh (based on plant prints and data from spore-pollen analysis). Doklady AN Azerb. SSR, Vol.18, No. 11, 1961, pp. 1081-1083 (in Russian).
- Karevskaya I.A. Spore-pollen analysis in paleogeographic and geomorphological studies. Tutorial. MSU. Faculty of Geography. Moscow, 1999, 113 p. (in Russian).
- Kasumova G.M. On the flora of the Lower Oligocene in the Darrydag region (Nakhichevan). Doklady AN Azerb. SSR, Vol. 27, No. 1, 1961, pp. 161-162 (in Russian).
- Kasumova G.M. Flora of Oligocene deposits of the northeastern foothills of the Lesser Caucasus. Publishing House of Academy of Sciences of the Azerb. SSR. Baku, 1966, 85 p. (in Russian).
- Khain V.E., Shardanov A.N. Geological history and structure of Kur River depression. Publishing House of Academy of Sciences of the Azerb.SSR. Baku, 1952, 237 p. (in Russian).
- Khalilov G.A. Paleogeomorphology of the Azerbaijan part of the Greater Caucasus in the Oligocene-Early Miocene era of the Neotectonic stage. Bulletin of BSU. Science Series, 2000, No. 1, pp. 204-211 (in Russian).
- Keller G. Paleoclimatic analyses of Middle Eocene through Oligocene planktic foraminiferal faunas. Marine Micropaleontology, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Printed in the Netherlands, 1983, pp. 463-486.
- Mamedov A.V., Rabotina E.N. Landscape and climatic conditions of the Eocene and Oligocene in the territory of Azerbaijan. Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Ser. Geographical, Moscow, No. 5, 1990, pp. 79-87 (in Russian).
- Neveskaya L.A., Goncharova I.A., Ilyina L.B. et al. East Paratethys regional Neogene stratigraphic scale. Soviet geology, No. 9, 1984, pp. 37-49 (in Russian).
- Palibin I.V. Stages of development of the flora of the Caspian littoral countries since the Cretaceous period. Publishing House of the USSR Academy of Sciences. Moscow, 1936, M.: L. 60 s.
- Palibin I.V. Lower Oligocene flora of Mount Darrydag in the Araks basin (Transcaucasia). Proceedings of the Botanical Institute of the USSR Academy of Sciences, series 1, No. 6, 1947, pp. 7-27 (in Russian).
- Popov S.V., Antipov M.P., Zastrozhnov A.S., Kurina E.E., Pinchuk T.N. Sea level fluctuations on the northern shelf of the East Paratethis in the Oligocene-Neogene. Stratigraphy. Geological Correlation, 2010, Vol. 18, No. 2, pp. 99-124 (in Russian).
- Popov S.V., Tabachnikova I.P., Bannikov A.F., Sychevskaya E.K., Pinchuk T.N., Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I., van der Boon A., Kryshman W., Stolyarov A.S., Krkhovski Y.A. Lectostratotype of the Maykopian series along the Belaya River above Maykop town (Western Ciscaucasia) in its Oligocene part. Stratigraphy. Geological Correlation, Vol. 27, No. 3, 2019, с. 70-92, DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27370-92> (in Russian).
- Sachsenhofer R.F., Popov S.V., Akhmetiev M.A., Bechtel A., Gratzner R., Groß D., Horsfield B., Rachetti A., Rupprecht B., Schaffar W.B.H., Zaporozhets N.I. The type section of the Maikop Group (Oligocene-lower Miocene) at the Belaya River (North Caucasus): Depositional environment and hy-

- Bechtel A., Movsumova U., Pross J., Gratzner R., Coric S., Sachsenhofer R.F. The Oligocene Maikop series of Lahich (eastern Azerbaijan): Paleoenvironment and oil-source rock correlation. *Organic Geochemistry*, Vol. 71, 2014, pp. 43-59, <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2014.04.005>.
- Efendiyeva M.A. Anoxia in waters of the Maikop paleobasin (Tethys Ocean, Azeri sector), with implications for the modern Caspian Sea. *Geo-Mar. Lett.*, Vol. 24, 2004, pp. 177-181.
- Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Comput. and Geosci.*, Vol. 13, No. 1, 1987, pp. 13-35.
- Hudson S.M., Johnson C.L., Efendiyeva M.A., Rowe H.D., Feyzullayev A.A., Aliyev Ch.S. Stratigraphy and geochemical characterization of the Oligocene-Miocene Maikop series: Implications for the paleogeography of Eastern Azerbaijan. *Tectonophysics*, Vol. 451, 2008, pp. 40-55, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.045>.
- Iversen J. *Viscum*. *Hedera* and *Ilex* as climatic indicators. A contribution to the study of the Post-Glacial temperature climate. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, Vol. 66, 1944, pp. 463-483.
- Keller G. Paleoclimatic analyses of Middle Eocene through Oligocene planktic foraminiferal faunas. *Marine Micropaleontology*, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, Printed in the Netherlands, 1983, pp. 463-486.
- Sachsenhofer R.F., Popov S.V., Akhmetiev M.A., Bechtel A., Gratzner R., Groß D., Horsfield B., Rachetti A., Rupprecht B., Schaffar W.B.H., Zaporozhets N.I. The type section of the Maikop Group (Oligocene-lower Miocene) at the Belaya River (North Caucasus): Depositional environment and hydrocarbon potential. *Journal AASP Bulletin*, Vol. 101, No. 3, 2017, pp. 289-319, <https://doi.org/10.1306/08051616027>.
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L., Kavadze E. The history of the flora and vegetation of Georgia (South Caucasus). *Georgian National Museum Institute of Paleobiology*. Tbilisi, 2011, 200 p.
- Traverse A. *Paleopalynology*. Springer. 2007, DOI:10.1007/978-1-4020-5610-9.
- Zachos J.C., Pagani M.O., Sloan L.C., Thomas E., Billups K. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science*, Vol. 292(5517), 2001, pp. 686-693.
- Felix J. *Untersuchen über fossilen Holz aus dem Caucasus*. *Ztsch. D. Deutsch. Geol. Gesselsch. Berlin*, Vol. 46 (1), 1894, pp. 88-129.
- Szafer W. *Flora plioceniska z Krościenka n/Dunajcem* Vol. 1,2, nakt. *Polskiej Akademii Umiejętności. Kraków*, 1946.
- drocarbon potential. *Journal AASP Bulletin*, Vol. 101, No. 3, 2017, pp. 289-319, <https://doi.org/10.1306/08051616027>.
- Salaev S.G. Oligocene-Miocene deposits of the southeastern Caucasus and their oil and gas content. *Publishing House of Academy of Sciences of the Azerb.SSR. Baku*, 1961, 253 p. (in Russian).
- Stratigraphic Dictionary of the USSR. Paleogene. Neogene. Quaternary system*. Nedra. Leningrad, 1982, 616 p. (in Russian).
- Sultanov K.M., Isaev S.A. *Paleobiogeochimistry of mollusks of Azerbaijan*. Elm. Baku, 1982, 180 p. (in Russian).
- Shatsky N.S., Menner V.V. *Miocene of the southeastern end of the Caucasus*. *Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers*, Vol. 5, book 1, 1927 (in Russian).
- Shakhbazova V.G. *Vegetation and climate of the Maikop time of eastern Azerbaijan according to spore-pollen analysis*. Collection No. 4 of the Azerbaijan Paleontological Society, 2001, pp.119-123 (in Russian).
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L., Kavadze E. *The history of the flora and vegetation of Georgia (South Caucasus)*. *Georgian National Museum Institute of Paleobiology*. Tbilisi, 2011, 200 p.
- Szafer W. *The Pliocene flora of Krościenko in Poland*. Vol. 1, 2. *Pol. Akad. Umiej. Krakow, Poland*, 1946 (in Polish).
- Tagiyeva E.N. *Evolution of natural conditions of Azerbaijan in the Cenozoic*. *Proceedings of the NAS of Azerbaijan. Earth Sciences*, 2008, No. 2, pp. 106-116 (in Russian).
- Tagiyeva E.N. *Evolution of vegetation and climate of Azerbaijan in Cenozoic*. *Abstract of Doctoral (Geographical) Dissertation*, Institute of Geography of NAS of Azerbaijan, Baku, 2011, 371 p. (in Russian).
- Traverse A. *Paleopalynology*. Springer. 2007, DOI:10.1007/978-1-4020-5610-9.
- Yarmolenko A.V. *Fossil wood of the Maikop formation of southeastern Transcaucasia*. *Proceedings of the Botanical Institute of the USSR Academy of Sciences*, Ser. 1, No. 5, 1941, pp. 7-34 (in Russian).
- Yasamanov N.A. *Landscape and climatic conditions of the Jurassic, Cretaceous and Paleogene of the South of the USSR*. Nedra. Moscow, 1978, 224 p. (in Russian).
- Zubakov V.A. *Global climate events of the Neogene*. *Hydrometeoizdat. Leningrad*, 1990, 223 p. (in Russian).
- Zaporozhets N.I., Akhmetiev M.A. *Paleobotanical study of the section of the Maikop series of the Oligocene-Lower Miocene along the Belaya River above the city of Maikop, Ciscaucasia*. *Stratigraphy. Geological Correlation*, Vol. 25, No. 6, 2017, pp. 61-83, DOI: 10.7868/S0869592X17060047 (in Russian).
- Zachos J.C., Pagani M.O., Sloan L.C., Thomas E., Billups K. *Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present*. *Science*, Vol. 292(5517), 2001, pp. 686-693.

ПАЛИНОФЛОРА МАЙКОПСКОГО ВРЕМЕНИ (ПОЗДНИЙ ОЛИГОЦЕН-РАННИЙ МИОЦЕН) И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СТРАТИГРАФИИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

Байрамова Ш.Ш.¹, Тагиева Е.Н.²

¹Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, Институт геологии и геофизики, Азербайджан AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119: shafaqbayram@rambler.ru

²Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, Институт географии им. Г.Алиева, Азербайджан AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 115: tagelena@rambler.ru

Резюме. В исследовании дается реконструкция некоторых элементов климата и растительности в позднем олигоцене-раннем миоцене Шамахы-Гобустанского района, с применением подхода сосуществования палинофлор, полученных из опубликованных литературных источников и текущих палинологических исследований. В майкопе на южном побережье Кавказского острова господствовала лесная растительность с участием влаголюбивых тропических, субтропических вечнозеленых и листопадных форм наряду с мезофильными, теплоумеренными и умеренными представителями. Широколиственные породы составляли большинство (70%), группа голосеменных отличалась большим разнообразием, но находилась в подчиненном положении. Среди хвойных доминировали таксодиевые, участие сосны на постоянной основе и в небольших количествах отмечается, начиная с раннего миоцена (кавказский региоярус). Основными типами лесных формаций без ярко выраженного доминанта были смешанные хвойно-широколиственные – орехово-буково-дубовые леса с участием хвойных

porod – *Cedrus*, *Abies*, *Tsuga*, *Larix*; subtropicheskiye lesa s uchastiem vechnozelenykh elementov – *Laurus*, Magnoliaceae, Cupressaceae i vlazhnye nizinnnye i prirechnye lesa iz *Taxodium*, *Carya*, *Ulmus*, *Morus* s uchastiem pal'm po morskomu poberezh'yu. Rezul'taty pokazuyut, chto sedimentatsiya proishodila v osnovnom v tepleykh subtropicheskikh klimaticheskikh usloviyax v tchenie v tchenie rypel'skogo i nachele xatt'skogo vekov (srednyaya godovaya temperatura (MAT) 16.5-21.3°C i srednyaya temperatura samogo xolodnogo mesyatsa (CMT) 5.5-13.3°C). Vo vtoroy polovine xatta klimat stanovitsya prokhladnym, proishodit vtorzheniye teploumerennoy melkolistvennoy turgay'skoy flory v dostatochno eshe predstavitel'nyuyu poltav'skuyu floru. V ranneoligocenovoye vrema (kavkazskiy vek) usloviya v regione stabiliziruyutsya i temperatury priobretayut znacheniya, skhodnyye s ranneoligocenovymi. Raznobraziye vidov, predstaviteley gornykh lesov, govorit o nalichii nizhnego i srednego yруса i differentsiatsii rastitel'nosti po vysotnym poyasam v maykop'skoye vrema.

Ключевые слова: палинокомплексы, олигоцен, миоцен, майкопская серия, пыльца и споры, Южный Кавказ

MAYKOP (GEC OLİQOSEN-ERKƏN MİOSEN) PALİNOFLORASI VƏ ONUN AZƏRBAYCANIN STRATİQRAFİYASI VƏ PALEOCOĞRAFİYASINDA ƏHƏMİYYƏTİ

Bayramova Ş.Ş.¹, Tağhieva Y.N.²

¹ Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, Geologiya və Geofizika İnstitutu, Azərbaycan AZ1143, Bakı şəh., H. Javid küç. 119: shafaqbayram@rambler.ru

² Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, H. Əliyev ad. Coğrafiya İnstitutu, Azərbaycan AZ1143, Bakı şəh., H. Javid küç. 115: AZ1143: tagelena@rambler.ru

Xülasə. Tədqiqat işində palinofloraların birgə yaşayış xüsusiyyətlərindən istifadə edərək gec Oliqosen-erkən Miosendə Şamaxı-Qobustan rayonunun iqlim və bitki örtüyünün bir sıra elementlərinin bərpası təqdim olunur. Bu məlumatlar çap olunmuş ədəbiyyat mənbələrindən və hal-hazırkı palinoloji tədqiqatlardan əldə olunmuşdur. Maykopda Qafqaz adasının cənub sahilində rütubət sevən tropik, subtropik həmişəyaşıl və yarpaqlı formaların, həmçinin mezofil, isti-mülayim və mülayim nümayəndələri iştirak edən meşə örtüyü üstünlük təşkil edirdi. Əksəriyyəti enliyarpaqlı növlər (70%) təşkil edirdi, çılpaqtoxumlular qrupu böyük müxtəlifliyi ilə seçilirdi, lakin tabe mövqeyə malik idi. İynəyarpaqlılar arasında Taxodioidea üstünlük təşkil edirdi, şamın az miqdarda və daimi iştirakı erkən Miosendə (Qafqaz regionmərtəbəsi) başlayaraq müşahidə olunur. Meşə formasiyaları dominant olmayan – *Cedrus*, *Abies*, *Tsuga*, *Larix* iynəyarpaqlı nümayəndələri iştirak edən qarışıq iynəyarpaqlı-enliyarpaqlı – qoz-fıstıq-palid meşələrindən, həmişəyaşıl elementlər – *Laurus*, Magnoliaceae, Cupressaceae iştirak edən subtropik meşələrdən və dəniz sahili boyu yayılmış palmalar birgə iştirak edən *Taxodium*, *Carya*, *Ulmus*, *Morus* cinslərindən ibarət rütubətli ovalıq və çayboyu meşələrindən təşkil olunub.

Nəticələr göstərir ki, çöküntütoplama əsasən Rupel əsri ərzində və erkən Hat əsrinin əvvəlində isti subtropik iqlim şəraitində baş vermişdir (orta illik temperatur (MAT) 16,5-21,3°C və ən soyuq ayın orta temperaturu (CMT) 5,5-13,3°C). Hatın ikinci yarısında iqlim sərinləşir və isti-mülayim iqlimin xırdayarpaqlı Turqay florası kifayət qədər çox yayılmış Poltava florasını sıxışdırması baş verir. Erkən Miosendə (Qafqaz əsri) regionda şərait stabilləşir və temperatur Erkən Oliqosendəki vəziyyətinə oxşar olur. Maykopda dağlıq meşə nümayəndələrinin növ müxtəlifliyi alt və orta mərtəbələrin mövcud olmasını və bitki örtüyünün hündürlük qurşaqlarına görə fəqləndiyini göstərir.

Açar sözlər: palinokomplekslər, Oliqosen, Miosen, Maykop qrupu, tozcuqlar və spollar, Cənubi Qafqaz

NUMERICAL MODELLING OF THERMOHYDRODYNAMIC PROCESSES IN FRACTURED OIL RESERVOIR

Jalalov G.I.¹, Rasulov M.A.¹, Mirzoyeva D.R.²

¹*Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Oil and Gas, Azerbaijan*

9, F.Amirov ave., Baku, AZ1000: dzhalalovgarib@rambler.ru; mresulov@gmail.com

²*Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan*

119, H.Javid Ave. Baku, AZ1143: dilazer@yandex.ru

Keywords: *mass-temperature exchange in porous medium, fractured collector, fluid filtration, finite difference method, Joule-Thomson coefficient*

Summary. Numerous reasons for the existence of hydrocarbon reserves, as well as the complexity of the processes associated with their formation and extraction emphasize the need for complex scientific approaches in the rational selection and metrological development of exploitation. The most important direction in these studies is the research for the mass transfer of hydrocarbons and the mechanisms of interfacial transition, taking into account changes in pressure and temperature in the collector under the multiphase fluid filtration in a porous medium. In fundamental studies on physical and mathematical modeling in order to predict development it is important to consider all the features of temperature anomalies during the movement of gas-liquid systems in hydrocarbon fields with different thermobaric conditions. In this paper, the problem of determining influential level of temperature anomalies on the distribution of thermodynamics fields during oil exploitation in fractured collector is solved. The algorithm of numerical solution is offered and numerous computer experiments have been conducted by means of software creation. The influence of the specific heat capacity of the liquid, the Joule-Thomson coefficient, wellbore volume influence coefficient, absolute permeability, fluid viscosity and deformation properties of the collector on exploitation process were assessed.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

1. Introduction

Experience in the oil fields development shows that the complexity of the physical processes that occur during the exploitation of the fields highlights the need for a comprehensive scientific approach in the creation of technological schemes.

These geological and geophysical methods are more reliable and allow to obtain complete information. In this case, it is possible to address issues such as determining the operational characteristics of the productive layer, the technical condition of wells and control over the operation of pumping equipment. The most important of these issues is the determination of the exploitation characteristics of the layer. The most important direction of these studies is the study of the mechanisms of mass transfer of hydrocarbons and the transition between phases, taking into account changes in pressure and temperature during the filtration of fluid in the formation. It is important to take into account the im-

port of pressure and temperature changes in the development of hydrocarbon fields on the performance of oil reservoir exploitation. In this case, thermodynamics studies based on the measurement of pressure, flow and temperature in the wellbore play a key role in the complex of geophysical methods.

The study of heat transfer phenomena in the movement of fluids in a porous medium, taking into account the phase transitions and thermodynamics effects, is not only a search for methods of interpretation of thermometric data (especially in multiphase flow conditions), but also a scientific and practical interest in improving non-stationary heat and mass theory.

Measurement of the small changes in fluid temperature due to thermodynamic effects in the process of field development with modern well thermometers also allows to solve a number of diagnostic and practical issues related to the well and reservoir system. Numerous studies have been devoted to the de-

termination of the temperature field in the formation, taking into account the thermodynamics effects of fluid filtration in porous media, and on this basis to the assessment of the performance characteristics of the layers (Чекалюк, 1965; Карачинский, 1975; Алишаев et al., 1985; Abasov et al., 1993; Рамазанов, 2004; Рамазанов, Паршин, 2006; Филиппов, Ахметова, 2011; Джалалов и др., 2018).

In this paper the influence of thermodynamic effects on the change of exploitation parameters of the oil reservoir during the exploitation of the deformed reservoir is examined with central well.

2. Statement of the Problem

Assume that a central well is exploited in a circular oil formation with a fractured collector during development. The following physical assumptions were made in the statement of the problem: The initial pressure and temperature before layer development are p_0 and T_0 , respectively. Besides

- The well is entire on the degree and nature of the opening and covers the full thickness of the layer with a sufficiently large radius;
- Oil filtration is subject to Darcy's law and is non-isothermal;
- The pressure at the bed boundary is constant;
- The initial natural distribution of temperature along the layer is stable;
- The temperature of the liquid and porous medium is the same at any point in the layer;
- Heat transfer in the radial direction of the layer is not taken into account in comparison with convective heat transfer.

Under these conditions determination of the pressure and temperature distribution functions in the layer is described by the following system of equations by corresponding initial and boundary conditions:

$$\beta^* \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{k(p)}{\mu} r \frac{\partial p}{\partial r} \right), r_c \leq r \leq r_k, t > 0, \quad (1)$$

$$C_{pl} \frac{\partial T}{\partial t} = \rho_f C_f \frac{k(p)}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} + \varepsilon \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \eta \rho_f C_f \frac{\partial p}{\partial t}, r_c \leq r \leq r_k, t > 0, \quad (2)$$

$$p(r, 0) = p_0, r_c \leq r \leq r_k, \quad (3)$$

$$\frac{2\pi k(p)H}{\mu} \left(r \frac{\partial p}{\partial r} \right) \Big|_{r=r_c} = Q + C \frac{\partial p}{\partial t} \Big|_{r=r_c}, t > 0, \quad (4)$$

$$p(r_k, t) = p_0, t > 0, \quad (5)$$

$$T(r, 0) = T_0, r_c \leq r \leq r_k, \quad (6)$$

$$T(r_k, t) = T_0, r_c \leq r \leq r_k, \quad (7)$$

(Чекалюк, 1965; Карачинский, 1975; Алишаев et al., 1985).

Here $\beta^* = \beta_f + m\beta_{col}$ – elastic capacity coefficient, k – absolute permeability, μ – dynamic viscosity, r_c – radius of the well, r_k – radius of the layer, t – time, r – radial coordinate, C_{pl} – volume heat capacity of the layer, C_{sr} – specific heat capacity of rock, C_f – specific heat capacity of the liquid, ρ_f – density, m – porosity, ε – Joule-Tomson coefficient, η – adiabatic coefficient, p_0 – layer pressure, T_0 – layer temperature, H – layer thickness, Q – debit of the well, C – coefficient of impact of wellbore volume.

After the substitutions

$$r = r_k \bar{r}, p = p_0 \bar{p}, k(p) = k_0 \bar{k}(p), \mu = \mu_0 \bar{\mu}, T = T_0 \bar{T} \quad (8)$$

the problem (1)-(7) takes the following form:

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau} = \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left(\frac{\bar{k}(\bar{p})}{\bar{\mu}} \bar{r} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \right), r_0 < \bar{r} < r_s, \tau > 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} = \bar{A} \frac{\bar{k}(\bar{p})}{\bar{\mu}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{r}} + \bar{B} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \right) + \bar{D} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau}, \quad (10)$$

$$r_0 \leq \bar{r} \leq r_s, \tau > 0,$$

$$\bar{p}(\bar{r}, 0) = 1, r_0 < \bar{r} < r_s, \quad (11)$$

$$\frac{2\pi \bar{k}(\bar{p})}{\bar{\mu}} \left(\bar{r} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} \right) \Big|_{\bar{r}=1} = \bar{Q} + \bar{C} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau} \Big|_{\bar{r}=1}, \tau > 0, \quad (12)$$

$$\bar{p}(r_s, \tau) = 1, \tau > 0, \quad (13)$$

$$\bar{T}(\bar{r}, 0) = 1, \bar{T}(\bar{r}, t) = 1. \quad (14)$$

Here,

$$\tau = \frac{k_0}{\mu_0 r_k^2 \beta^*} t, r_0 = \frac{r_c}{r_k}, r_s = \frac{r_k}{r_k}, \bar{Q} = \frac{\mu_0}{H k_0 p_k} Q,$$

$$\bar{C} = \frac{C}{H r_k^2 \beta^*}, \bar{A} = \frac{\rho_f C_f p_k \beta^*}{C_{pl}}, \bar{B} = \frac{p_k \varepsilon}{T_k}, \bar{D} = \frac{\eta \rho_f C_f p_k}{C_{pl} T_k}.$$

As can be seen, equation (9) is not explicitly related to the function $T(r, t)$. Therefore, we can solve this equation separately.

By using of the substitution $x = \frac{\bar{r}^2}{4}$ we transform the problem (9)-(14) as follows:

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(x \frac{\bar{k}(\bar{p})}{\bar{\mu}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \right), x_c \leq x \leq x_s, \tau > 0, \quad (15)$$

$$\bar{p}(x, 0) = 1, x_c \leq x \leq x_s, \quad (16)$$

$$\frac{4\pi \bar{k}(\bar{p})}{\bar{\mu}} \left(x \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_c} = \left(\bar{Q} + \bar{C} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau} \right) \Big|_{x=x_c}, \quad (17)$$

$$\bar{p}(r_s, \tau) = 1, \tau > 0, \quad (18)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} = \tilde{A} \frac{\bar{k}(\bar{p})}{\mu} x \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + \tilde{B} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} \right) + \tilde{D} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau}, \quad (19)$$

$$x_c \leq x \leq x_s, \quad \tau > 0,$$

$$\bar{T}(x, 0) = 1, \quad (20)$$

$$\bar{T}(x_s, 0) = 1, \quad (21)$$

here, $x_c = \frac{r_0^2}{4}$. $x_s = \frac{r_s^2}{4}$.

The problem (15)-(21) is a mixed problem for partial differential equations with special nonlinearity which makes difficulties in finding its exact (analytical) solution. Obtaining approximate solution describing all physical properties accurate for the considered problem requires effective numerical method. Among extensive of approximate methods the finite differences method is one of the universal tools for obtaining numerical solution of the problem of nonlinear partial differential equations (see, for example, Азиз, Сеттари, 1982; Самарский, 1977; Richmyer, Morton, 1967; Годунов, Рябенский, 1972; LeVeque, 2002; Toro, 1999 et al.).

3. Building a Numerical Solution Algorithm

At first we cover the segment $[x_c, x_s]$ into n equal subsegments and let denote by x_j , ($j = 0, 1, 2, \dots, n$) points of partitions that $x_j = x_c + j \cdot h_x$, ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), and $h_x = \frac{x_s - x_c}{n}$. By analogy, the $[0, T)$ with points $\tau_k = k \cdot h_\tau$, $h_\tau > 0$, ($k = 0, 1, 2, \dots$) is divided to time layer.

Thus, the following grids

$$\Omega_{h_x} = \left\{ x_j = x_c + j \cdot h_x, \quad h_x = \frac{x_s - x_c}{n}, \right\}$$

$$(j = 0, 1, 2, \dots, n)$$

$$\Omega_{h_\tau} = \{ \tau_k = k \cdot h_\tau, h_\tau > 0, (k = 0, 1, \dots) \}$$

cover the $[x_c, x_s]$ and $[0, T)$ respectively. Consequently, $\Omega_{h_x h_\tau} = \Omega_{h_x} \times \Omega_{h_\tau}$ that is

$$\Omega_{h_x h_\tau} = \{ (x_j, \tau_k) \mid x_j \in \Omega_{h_x}, \tau_k \in \Omega_{h_\tau} \}$$

is two dimensional grid which covers of

$$D = \{ (x, \tau) \mid x \in [x_c, x_s], \tau \in [0, T) \}.$$

The approximate solution of the problem (15)-(21) found by the following system of algebraic equations which constructed by method of finite differences:

$$P_{j,k+1} = P_{j,k} \left[1 - \gamma \left(R_{j+\frac{1}{2}}(x) K_{j+\frac{1}{2}} + R_{j-\frac{1}{2}}(x) K_{j-\frac{1}{2}} \right) \right] + \gamma R_{j+\frac{1}{2}}(x) K_{j+\frac{1}{2}} P_{j+1,k} + \gamma R_{j-\frac{1}{2}}(x) K_{j-\frac{1}{2}} P_{j-1,k}, \quad (22)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n-1, \quad k = 0, 1, 2, \dots),$$

$$P_{j,0} = 1, \quad (j = 0, 1, \dots, n), \quad (23)$$

$$\gamma_1 \frac{4\pi \bar{k}(P_{0,k})}{\bar{\mu}} (P_{1,k} - P_{0,k}) - \gamma_1 \tilde{Q} =$$

$$= \tilde{C} P_{0,k+1} - \tilde{C} P_{0,k}, \quad (24)$$

$$P_{n,k} = 1, \quad \tau > 0, \quad (25)$$

$$T_{j,k+1} = T_{j,k} + \gamma \tilde{A} x_i \frac{\bar{k}(P_{j,k})}{\bar{\mu}} (P_{j+1,k+1} - P_{j,k+1}) \frac{T_{j+1,k} - T_{j-1,k}}{2} +$$

$$+ \gamma \tilde{A} B x_i \frac{\bar{k}(P_{j,k})}{\bar{\mu}} (P_{j+1,k+1} - P_{j,k+1})^2 +$$

$$\gamma_1 \tilde{D} (P_{j,k+1} - P_{j,k}), \quad (26)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n-1; \quad k = 0, 1, 2, \dots),$$

$$T_{j,0} = 1, \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n), \quad (27)$$

$$T_{0,k} = 1, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (28)$$

Here,

$$R_{s+\frac{1}{2}}(x) = \frac{x_{s+1} + x_s}{2},$$

$$K_{s-\frac{1}{2}}(P) = \frac{k(P_{s+1}) + k(P_{s-1})}{2}, \quad (s = i, i-1).$$

3.1. Analysis of Calculated Results

In order to carry out computer tests on the basis algorithm of (22)-(28) we use the relation of absolute permeability $\bar{k}(p) = a_k [1 + \alpha_k (p - p_k)]$ suggested by (Джалалов и др., 2018), and another necessary data adduced in the Table too. The graphical presentations of achieved results are shown on Fig. 1-6. It is clear that the change in pressure in the oil reservoir occurs only due to the well, which in turn leads to a change of temperature in the reservoir. The dynamic change in reservoir pressure and temperature over time is shown in Fig. 1 and Fig. 2, respectively. These results show that the change in pressure in the well does not depend on the thermobaric parameters, but only on the parameters of the filtration capacity.

Fig. 3-6 show the time dependence graphs of the thermophysical and filtration capacity parameters of the fluid temperature at the wellbore.

According to Fig. 3 and Fig. 4, we see that a decrease in the permeability values of the collector leads to an increase in the temperature drop, and an increase in the viscosity of the fluid leads to a decrease in the temperature drop.

Table

| Physical quantities | Units of measurement | Numeric values |
|------------------------------|----------------------------|---|
| β^* | $\frac{1}{MPa}$ | $1.0 \cdot 10^{-4}$ |
| k | m^2 | $0.05 \cdot 10^{-12}$ |
| μ | $MPa \cdot seconds$ | $7.0 \cdot 10^{-10}$ |
| r_c | m | 0.1 |
| r_k | m | $0.2 \cdot 10^2$ |
| C_{pl} | $\frac{Djol}{m^3 \cdot K}$ | 1800 |
| C_{sr} | $\frac{Djol}{kg \cdot K}$ | $1.8 \cdot 10^3$ |
| C_f | $\frac{Djol}{kg \cdot K}$ | $1.5 \cdot 10^3$ |
| ρ_f | $\frac{kg}{m^3}$ | $8.5 \cdot 10^2$ |
| m | - | 0.2 |
| ε | $\frac{K}{MPa}$ | 0.4 |
| p_k | MPa | 40.2 |
| p_c | MPa | 40.2 |
| T_k | C^0 | 65 |
| H | m | 15 |
| Q | $\frac{m^3}{sec}$ | $1.157 \cdot 10^{-4}$ |
| $a_k = A + Bp_k - C p_{qor}$ | | $A = 0.832, B = 0.8147 \cdot 10^{-2}, C = 0.0023$ |
| p_{qor} | MPa | 96.6 |
| η | $\frac{K}{MPa}$ | $1.5 \cdot 10^{-2}$ |

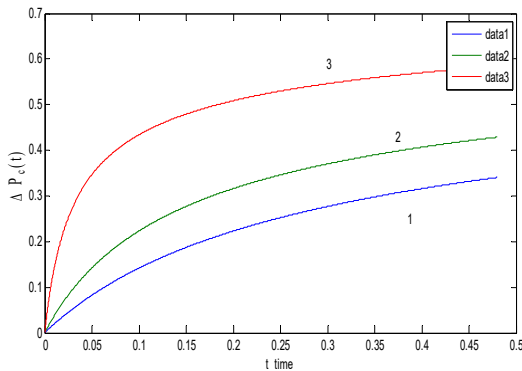


Fig. 1. Graphs of pressure drop distribution at the face of wellbore depending on the fixed value of viscosity $\mu = 0.5 \cdot 10^{-4} MPa \cdot sec$, and at different values of permeability; 1) $k = 0.005 \cdot 10^{-12} m^2$, 2) $k = 0.01 \cdot 10^{-12} m^2$, 3) $k = 0.05 \cdot 10^{-12} m^2$

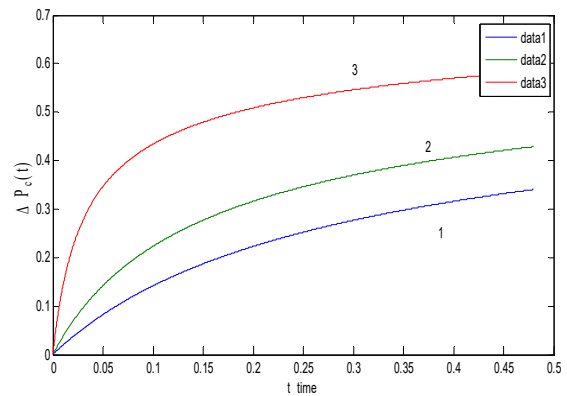


Fig. 2. Graphs of pressure drop distribution at the face of wellbore depending on the fixed value of permeability $k = 0.05 \cdot 10^{-12} m^2$ and at different values of viscosity: 1) $\mu = 1 \cdot 10^{-10} MPa \cdot sec$, 2) $\mu = 0.5 \cdot 10^{-10} MPa \cdot sec$, 3) $\mu = 0.7 \cdot 10^{-10} MPa \cdot sec$

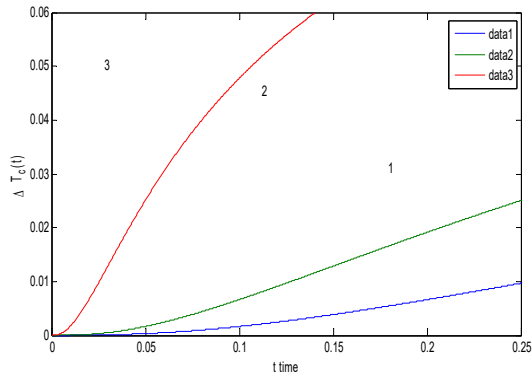


Fig. 3. Graphs of temperature drop distribution at the face of wellbore depending on the fixed value of viscosity $\mu = 0.7 \cdot 10^{-4} MPa \cdot sec$, and at different values of permeability: 1) $k = 0.01 \cdot 10^{-12} m^2$, 2) $k = 0.005 \cdot 10^{-12} m^2$, 3) $k = 0.05 \cdot 10^{-12} m^2$

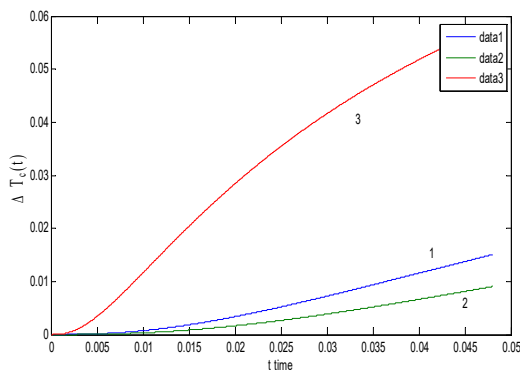


Fig. 4. Graphs of temperature drop distribution at the face of wellbore depending on the fixed value of permeability $k = 0.05 \cdot 10^{-12} m^2$ and for different viscosity values: 1) $\mu = 1 \cdot 10^{-10} MPa \cdot sec$, 2) $\mu = 0.5 \cdot 10^{-10} MPa \cdot sec$, 3) $\mu = 7 \cdot 10^{-10} MPa \cdot sec$

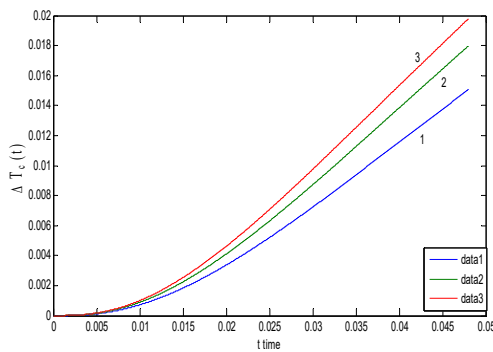


Fig. 5. Graphs of temperature drop distribution at the face of wellbore depending on the fixed value of the Joule-Thomson coefficient $\varepsilon = 0.4 \frac{K}{MPa}$ and at different values of the specific heat capacity of the liquid: 1) $C_{fluid} = 1500 \frac{D_{jол}}{kg \cdot K}$, 2) $C_{fluid} = 1850 \frac{D_{jол}}{kg \cdot K}$, 3) $C_{fluid} = 2100 \frac{D_{jол}}{kg \cdot K}$

Fig. 5 shows the time dependence of the temperature drop at the face of wellbore depending on the value of the specific heat capacity of the liquid. An increase in the cost of the specific heat capacity of a liquid leads to an increase in the temperature drop over time.

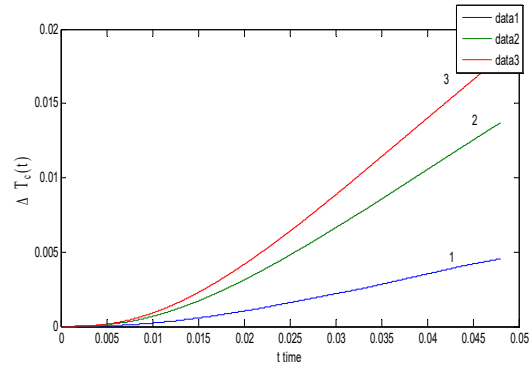


Fig. 6. Graphs of temperature drop distribution at the face of wellbore depending on the fixed value of heat capacity of the liquid $C_{fluid} = 1880 \frac{D_{jол}}{kg \cdot K}$ and at the different values of the Joule-Thomson effect: 1) $\varepsilon = 0.1 \frac{K}{MPa}$, 2) $\varepsilon = 0.3 \frac{K}{MPa}$, 3) $\varepsilon = 0.4 \frac{K}{MPa}$

Temperature anomaly, which depends on time and is observed when the Joule-Thomson's coefficient changes, dramatically affects the temperature field distribution (Fig. 6). In the variant under consideration, with an increase in the value of the parameter ε , the difference between the temperature drops is about 70-75% compared to $= 0.1 \frac{K}{MPa}$.

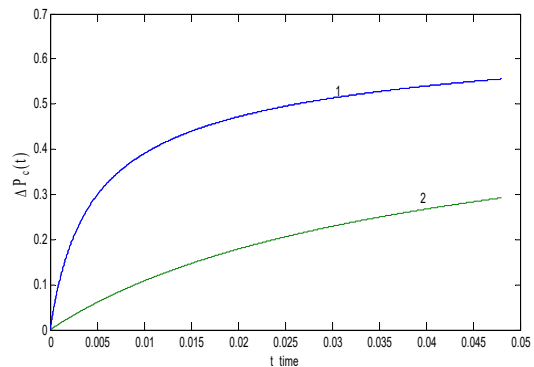


Fig. 7. Graphs of pressure drop distribution at the face of wellbore depending on the deformation factor of collector: 1 – the case $\alpha_k = 0$; 2 – the case $\alpha_k = 1$

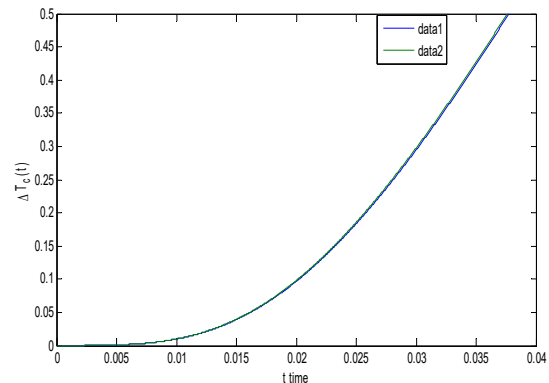


Fig. 8. Graphs of temperature drop distribution at the face of wellbore depending on the deformation factor of collector: 1) the case $\alpha_k = 0$, 2) the case $\alpha_k = 1$

As can be seen from the graph, negligible change of the deformation coefficient slightly affect the overfall temperature at the outlet of the collector (Fig. 8), during the exploitation of the oil reservoir.

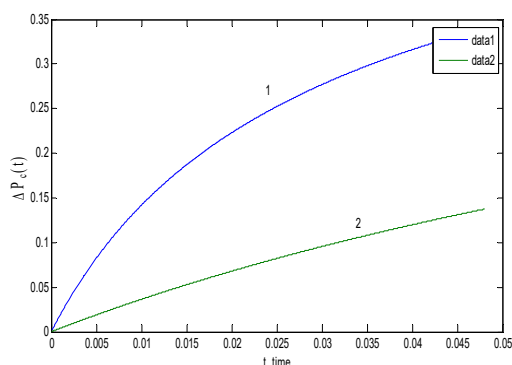


Fig. 9. Graphs of pressure drop distribution at the face of wellbore depending on the coefficient of impact of the wellbore volume: 1 – the case $C = 0$; 2 – the case $C = 1$

Conclusions

- A hydro-thermodynamics model of the process of heat and mass transfer formed in the conditions of nonstationary filtration of a liquid in a porous medium layer with a fractured collector is proposed and a numerical solution algorithm is developed. The effect of the parameters included in the model on the process has been studied.

REFERENCES

- Abasov M.T., Azimov E.Kh., Kuliev A.M. Hydro thermodynamic studies of wells in deep-seated fields. Azerbaijan State Publishing House. Baku, 1993, 176 p. (in Russian).
- Alishaev M.G., Rosenberg M.D., Teslyuk E.V. Non-isothermal filtration in the development of oil fields. Nedra. Moscow, 1985, 271 p. (in Russian).
- Aziz H., Settari E. Mathematical modeling of reservoir systems. Nedra. Moscow, 1982, 407 p. (in Russian).
- Jalalov G.I., Ibrahimov T.M., Aliyev A.A., Gorshkova Ye.V. Modeling and investigation of filtration processes in deep oil and gas fields. Elm ve Takhsil. Baku, 2018, 382 p. (in Russian).
- Chekalyuk E.B. Oil reservoir thermodynamics. Nedra. Moscow, 1965, 238 p. (in Russian).
- Filippov A.I., Akhmetova O.V. Temperature field in the reservoir and well. Gilem. Ufa, 2011, 336 p. (in Russian).
- Godunov S.K., Ryabenkii V.S. Finite difference schemes. Nauka. Moscow, 1972, 400 p. (in Russian).
- Karachinsky V.E. Methods of geothermodynamics of gas and oil deposits. Nedra. Moscow, 1975, 168 p. (in Russian).
- Le Veque R.J. Finite volume methods for hyperbolic problems. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom, 2002, 558 p.
- Ramazanov A.S. Theoretical foundations of thermodynamic methods for studying oil reservoirs. Dissertation for the degree of doctor of technical sciences. Ufa, 2004, 269 p. (in Russian).
- Ramazanov A.Ш., Parshin A.B. Temperature field in an oil-water saturated reservoir, taking into account oil degassing, *Neftegazovoe delo*, No. 1, 2006, pp. 1-17 (in Russian).

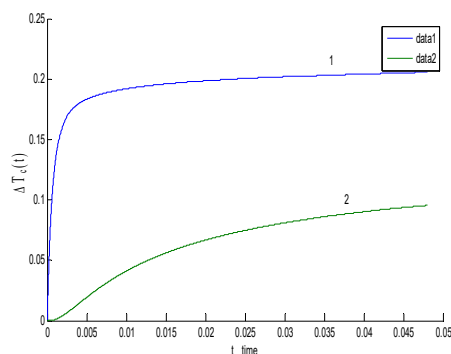


Fig. 10. Graphs of temperature drop distribution at the face of wellbore depending on the coefficient of impact of the wellbore volume: 1 – the case $C = 0$; 2 – the case $C = 1$

- Based on the results of the numerical calculations, it was found that the thermophysical and filtration-capacity parameters have different effects on the distribution of pressure and temperature field in the porous medium, which is important to consider in solving practical problems related to field development, including well thermometry.

ЛИТЕРАТУРА

- Le Veque R.J. Finite volume methods for hyperbolic problems. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom, 2002, 558 p.
- Richmyer R.D., Morton K.W. Difference methods for initial value problems Wiley-Interscience. New York, 1967, 405 p.
- Toro E.F. Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1999, 624 p.
- Абасов М.Т., Азимов Э.Н. Кулиев А.М. Гидро-термодинамические исследования скважин глубокозалегающих месторождений. Азербайджанское Государственное Издательство. Баку, 1993, 176 с.
- Алишаев М.Г., Розенберг М.Д., Теслюк Е.В. Неизотермическая фильтрация при разработке нефтяных месторождений. Недра. Москва, 1985, 271 с.
- Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. Недра. Москва, 1982, 407 с.
- Годунов С.К., Рябенкий В.С. Разностные схемы. Наука. Москва, 1972, 400 с.
- Джалалов Г.И., Ибрагимов Т.М., Алиев А.А., Горшкова Е.В. Моделирование и исследование фильтрационных процессов в глубокозалегающих месторождениях нефти и газа. Elm ve Takhsil. Баку, 2018, 382 с.
- Карачинский В.Е. Методы геотермодинамики залежей газа и нефти. Недра. Москва, 1975, 168 с.
- Рамазанов А.Ш. Теоретические основы термогидродинамических методов исследования нефтяных пластов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Уфа, 2004, 269 с.
- Рамазанов А.Ш., Паршин А.В. Температурное поле в нефтеводонасыщенном пласте с учетом разгазирования нефти.

Richmyer R.D., Morton K.W. Difference methods for initial value problems Wiley-Interscience. New York, 1967, 405 p.
Samarский A.A. Theory of finite differences schemes. Nauka. Moscow, 1977, 656 p. (in Russian).
Toro E.F. Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1999, 624 p.

Нефтегазовое дело, No. 1, 2006, с. 1-17.
Самарский А.А. Теория разностных схем. Наука. Москва, 1977, 656 с.
Филиппов А.И., Ахметова О.В. Температурное поле в пласте и скважине. Гилем. Уфа, 2011, 336 с.
Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. Недра. Москва, 1965, 238 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДЕФОРМИРОВАННОМ НЕФТЯНОМ ПЛАСТЕ

Джалалов Г.И.¹, Расулов М.А.¹, Мирзоева Д.Р.²

¹Министерство науки и образования Азербайджанской Республики, Институт нефти и газа, Азербайджан
AZ1000, Баку, ул. Ф.Амирова, 9: dzhalalovgarib@rambler.ru; mresulov@gmail.com

²Министерство науки и образования Азербайджана, Институт геологии и геофизики, Азербайджан
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119: dilazer@yandex.ru

Резюме. Многочисленные причины наличия запасов углеводородов, а также сложность процессов, связанных с их образованием и добычей, выдвигают на первый план необходимость использования комплексных научных подходов при рациональном выборе и разработке методов эксплуатации. Важнейшим направлением этих исследований является изучение массопереноса углеводородов и механизмов межфазного перехода с учетом изменения давления и температуры в пласте в условиях фильтрации многофазного флюида в пористой среде. В фундаментальных исследованиях по физико-математическому моделированию для прогноза полной разработки важно учитывать все особенности температурных аномалий при движении газожидкостных систем на месторождениях углеводородов с различными термобарическими условиями. В статье решается задача определить степень влияния температурных аномалий на распределение термогидродинамических полей при разработке нефтяной залежи деформируемым пластом. Предложен алгоритм численного решения и проведены многочисленные компьютерные эксперименты путем создания программного обеспечения. Оценивалось влияние удельной неплооскости жидкости, коэффициента Джоуля-Томсона, коэффициента влияния объема ствола скважины, абсолютной проницаемости, вязкости жидкости и деформационных свойств на процесс.

Ключевые слова: теплообмен в пласте, деформируемый коллектор, фильтрация флюидов, метод конечных разностей, коэффициент Джоуля-Томсона

DEFORMASIYA OLUNAN NEFT YATAQLARINDA TERMOHİDRODİNAMİK PROSESLƏRİN ƏDƏDİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

Calalov G.İ.¹, Rəsulov M.Ə.¹, Mirzəyeva D.R.²

¹Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyi, Neft və Qaz İnstitutu, Azərbaycan
AZ1000, Bakı şəh., F. Əmirov küç., 9: dzhalalovgarib@rambler.ru; mresulov@gmail.com

²Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, Geologiya və Geofizika İnstitutu,
AZ1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 119: dilazer@yandex.ru

Xülasə. Karbohidrogen ehtiyatlarının mövcudluğunu təmin edən çoxsaylı səbəblər, həmçinin onların əmələgəlmə və çıxarılması ilə bağlı baş verən proseslərin mürəkkəbliyi işlənilmə üsullarının rəşional olaraq seçilməsi və yaradılmasında kompleks elmi yanaşmaların zəruriliyini öndə çəkir. Bu tədqiqatların ən vacib istiqaməti məsələli mühitdə çoxfazlı fluidin süzülməsi şəraitində layda təzyiq və temperatur dəyişmələrini nəzərə almaqla karbohidrogenlərin kütlə mübadiləsinə və fazalararası keçid mexanizmlərinin öyrənilməsinə ibarətdir.

Fiziki və riyazi modelləşmə üzrə aparılan fundamental tədqiqatlar isə müxtəlif səciyyəli termobarik şəraitə malik karbohidrogen yataqlarında qaz-maye sistemlərinin hərəkəti zamanı yaranan temperatur anomaliyalarının bütün xüsusiyyətlərinin tamliqlə işlənilmə göstəricilərinin proqnozunun təyini zamanı nəzərə alınması vacib və mühüm əhəmiyyətə malikdir. Məqalədə bu qəbildən olan işlənilmə məsələsinin həllinə həsr olunduğundan mühüm aktuallıq kəsb edir.

Bu iş deformasiya olunan kollektorda neftin istismarı zamanı temperatur anomaliyalarının termodinamika sahələrinin paylanmasına təsir dərəcəsinin təyin edilməsi məsələsinə həsr edilmişdir. Ədədi həllin tapılması üçün alqoritm təklif edilmiş və proqram təminatının yaradılması yolu ilə çoxsaylı kompüter təcrübələri aparılmışdır. Mayenin xüsusi istilik tutumunun, Joule-Tomson əmsalının, quyu lüləsinin həcmi təsir əmsalının, mütləq keçiriciliyin, mayenin özlülüyünün və kollektorun deformasiya xassələrinin istismar prosesinə təsiri qiymətləndirilmişdir.

Açar sözlər: layda kütlə-temperatur mübadiləsi, deformasiya olunan kollektor, flüidın süzülməsi, sonlu fərqlər üsulu, Joule-Tomson əmsali

ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY OF LOKBATAN MUD VOLCANO: INNER STRUCTURE AND FORMATION MECHANISM

Salamov A.M., Mammadov V.A., Rashidov T.M.,
Zamanova A.G., Gasimov E.E.

*Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan
119, H. Javid ave., Baku: vmamed@rambler.ru*

Keywords: *geophysics, mud volcano, electrical sounding, microelements, fracture, 3D model, gases*

Summary. The paper deals with the genesis, structure, geochemical and geophysical studies in the vicinity of Lokbatan mud volcano, situated in the SW of Absheron peninsula (Azerbaijan) and characterized by the very intensive mud volcanic activity.

Along with the earlier-stated ideas regarding the process of the mud volcano formation as well as the theory based on the properties of non-newtonian fluid, we had proposed own hypothesis. Here the water has a leading role in formation of the mud volcano: it discharges as a result of geodynamic pressure upon the terrigenous-clayey bed, forming the substances (breccia) with the lowest density respectively the surrounded lithological differences. Breccia is under the great pressures and tends to the day surface along the newly formed conduit, shaping a mud volcano.

The prevailing microcomponents in mud breccia are boron, mercury, manganese, barium, strontium, lithium. Their content is several times over the bulk earth values for the sedimentary rocks.

Using the field data of the vertical electrical sounding on 9 geophysical lines in 19 physical points within Lokbatan mud volcano, 3D models of the area of study had been compiled such as complete, random section, along X, Y and Z axes, and the morphological structure of the ground part of the described volcano.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The geological features, mostly described in literature as “mud volcanoes” are distributed worldwide. The main part of these natural objects is corresponded to the oil-and-gas provinces, and their number is assessed as 2500+ (Рашидов, 2017).

The phenomenon of mud volcanism itself represents a rise and emission of clayey masses (of different consistence) and rock fragments to the day surface that form the mud volcanic edifice (Алиев и др., 2015). The driving-forces are mainly the hydrocarbon gases and the rise occurs along the conduits. But the issue of “triggering mechanism” is still open. There are various hypotheses including the earthquakes, dislocations and even the drilling operations (Sawolo et al., 2009; Zoporowski, Miller, 2009).

The study of mud volcanoes is closely related with solution of various problematic theoretical and practical issues in geology, geochemistry, geophysics and some other natural sciences; definition of the deep horizons structure and the physical-chemical processes occurring there. For a total, it is necessary

to identify the role of the mud volcanoes in formation of the petroleum system of the region as well as the assessment of oil-and-gas content of the great depths, etc. (Алиев и др., 2015; Рахманов, 1987).

As it was mentioned above, the area of the described natural phenomenon is wide enough. There is a clear regularity in mud volcanoes’ spatial distribution: most of them have a development within the Alpine-Himalayan (Mediterranean) and Pacific folded belts.

Besides it, the areas of mud volcanism development are also corresponded to the zones of accretionary prisms. The mud volcanism with non-accretionary conditions includes the areas of the Black Sea, the Alboran Sea, and the Gulf of Mexico (Louisianian coast) (Алиев и др., 2015; Robertson, Kopf, 1998). The recent investigations with application of up-to-date tools and techniques allow identifying new volcanoes, especially in those places that were not considered as the traditional ones (e.g. Nile Delta) (Feseker et al., 2010). As a result, the total number of world mud volcanoes grows.

The territory of the East Azerbaijan and the adjacent water area of the South Caspian is character-

ized by the most intensity of the mud volcanism manifestation. This territory is the host for over 350 mud volcanoes (including 156 offshore) that occupy the total area of 60,000 km². It is well known that the mud volcanoes are mainly developed in the submontane and intermontane troughs where the thick series of the terrigenous-clayey Cenozoic sediments accumulate. Both East Azerbaijan and South Caspian basin (including the territory of the SW Turkmenistan) are the elements of the South Caspian oil-and-gas bearing basin, which is also characterized by the thick (over 25 km) sedimentary series.

Unlike the other regions, in Azerbaijan and the adjacent water area of the Caspian Sea the present natural phenomenon can be observed in all of its forms: acting, extinct, buried, island, submarine, oil-seeping mud volcanoes. From a morphology point of view, there are cone-, dome-, ridge- and plateau-like mud volcanoes. The craters can be of conical, plane-convex, shield, deeply-seated and caldera shape. About 40 mud volcanic manifestations are characterized by the abundant oil seepage. According to a number of mud volcanoes, their variety and activity this region is without equal. Thus, Azerbaijan is deservedly considered as the “motherland of mud volcanoes” (Martinelli, Ferrari, 1991; Алиев и др., 2001; 2015; Rashidov, 2014; Rashidov et al., 2019).

The major part of the mud volcanoes in Azerbaijan make the mud volcanic groups both onshore and the adjacent water area of the Caspian Sea (Baku archipelago, deep-water part of the Caspian Sea). Onshore (Absheron peninsula, SW Gobustan and Lower Kura region) there had been mapped over 220 mud volcanic structures, related with the anticlinal highs, tectonic faults, sometimes complicating the large oil and gas fields.

The individual mud volcanoes in Azerbaijan can reach 400-450 m in height with a crater field to 1000 m²; the total volume of the hard ejects during the eruption can exceed hundred million cubic metres.

On theory of formation mechanism of the mud volcanoes

In spite of more than two-hundred-year history of study of the mud volcanoes in Azerbaijan, the problem of inner structure as well as the formation mechanism is still among the debatable issues (Baghzendani et al., 2015; Evans, 2007; Evans et al., 2008; Milkov, 2000; Zoporowski, Miller, 2009; Саламов и др., 2019).

The discussion of the theory of the mud volcanoes formation (origin) generated, as a rule, the various schools of thought and the expressed hypotheses consequently. Thus, some researchers like E.P.Shterber, S.A.Kovalevski, V.A.Gorin, N.A.Kudryavtsev,

P.N.Kropotkin, B.M.Valyaev, Sh.F.Mekhtiyev, S.D.Gemp, Z.A.Buniyat-zadeh, C.Wilson et al. developed the early-cited ideas of Hermann W.Abich. The mentioned scientists held the theory of the endogenic, magmatic genesis of the mud volcanoes and drew attention to the individual, sometimes hard-to-explain features of the present phenomenon.

The tectonic explanation of the mud volcanism phenomenon and geodynamics contribution in the form of development of diapir folds, low-angle thrusts or deep faults had been proposed by academician A.D.Arkhangel'ski and, partly M.I. Gubkin. Further, it was supported by such geologists like N.S.Shatski, M.M.Zhukov, E.V.Milanovski, V.E.Ruzhentsev, S.Zuber, V.A.Gorin, S.F.Fedorov, Z.A.Buniyat-zadeh, V.G.Bondarchuk, A.L.Putkaradze, Ch.A.Zeynalov, M.M.Sirika, N.Yu.Khalilov, A.A.Kerimov, A.N.Pilchin, L.N.Elanski, M.L.Kopp, etc.

The theory, elaborated by the petroleum geologists M.K.Kalinko, A.A.Yakubov, M.M.Zeynalov, Z.A.Buniyat-zadeh, R.R.Rakhmanov, E.F.Shnikov, et al. turned out to be the most popular. Based on the earlier-cited opinions of V.N.Veber, K.P.Kalitski, V.D.Golubtanikov, and M.I.Gubkin the present theory connects the mud volcanism genesis with formation and destruction of oil and gas fields. The extra pressure, that appears in the oil fields and promotes the break of the mud volcanic breccia to the day surface through the eruptive channels, is explained by the excessive pressure of the hydrocarbon gases concentrated at the depths (Холодов, 2012).

Yusubov and Guliyev (2022) have proposed quite new mechanism of the mud volcanism formation, basically proved by the 3D seismic survey outcomes. The following idea had been suggested: the Maykopian clayey units exhibit properties of the non-newtonian fluid and locate under the geological system, consisting of the alternating beds of clays and sands. Because of the Rayleigh–Taylor instability (gravity instability) these units created the intrusions in the overlying environment. As a result, the eruptive channels of the mud volcanoes had formed. In other words, the mud volcanism had been developed.

To our opinion, plenty of water discharges as a result of the lateral, vertical pressures, geodynamic and geothermal processes in the terrigenous-clayey series.

The heated water, released as a result of the geothermal process, dissolves and wets a part of the clayey rocks, creating the new geological environments consequently.

As a result of swelling, the wet part of the clayey rocks decompacts and breaks the overlying beds and creates the discharge (eruptive) channels, and sometimes the intermediate chambers at the definite depths. As a result, the substance with lowest density relatively the surrounding lithological varieties, is formed. The formed

substance – breccia, is under the great pressure and gravitate to the day surface along the newly-formed eruptive channel. As a result the mud volcano is forming (Fig. 1).

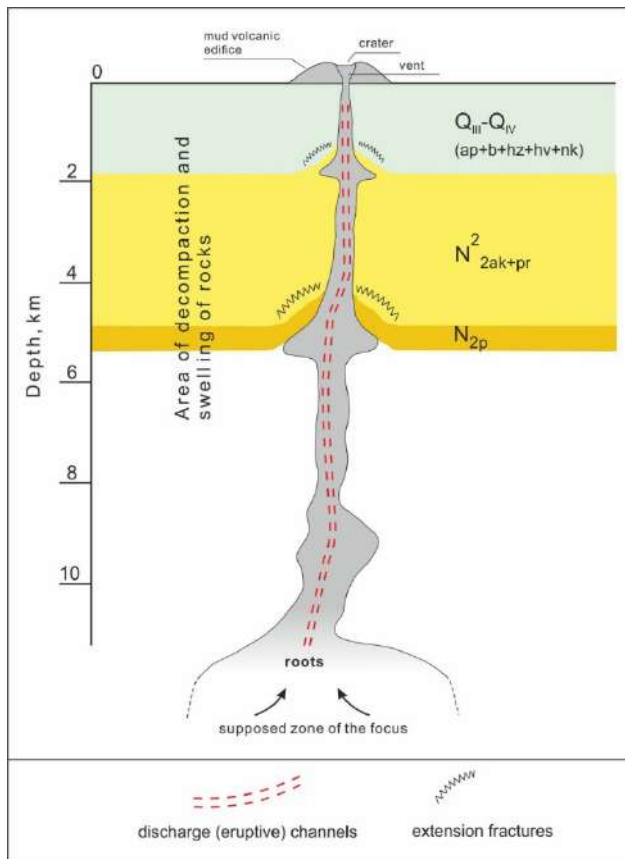


Fig. 1. Scheme of formation mechanism of the mud volcano

Besides it, Ad.A. Aliyev (Алиев, 2003) mentions that the formation of mud volcanic breccia doesn't take place in the volcanic focus itself. The stepped, somewhat stage-by-stage process of its formation is proposed. The fluids move upward along the conduit and the process finally ends at the definite depth, close to the day surface. In the course of paroxysm of eruption when pressure releases, the mud volcanic breccia is portionwise ejected from the volcano vent, filling the crater or flowing down the volcano slopes.

Geological setting

Lokbatan mud volcano (40°18'15.98"N; 49°42'32.61"E) stands out against the rest volcanoes in Azerbaijan. It is the most active and has the clear relation with oil-and-gas content of the structure where it locates. Fig. 2 illustrates a placement of Lokbatan mud volcano within Absheron peninsula.

The sediments of the Absheronian, Akchagilian stages and the Productive Series (Upper and Middle Pliocene) of the Cenozoic take part in the geological structure of Lokbatan fold. These rocks expose as the ridges in the volcano vicinity. The deep drilling had reached the sediments underlying the Productive

Series – the Pontian (Lower Pliocene) and the Miocene tops. Generally, the roots of the majority of mud volcanoes in Azerbaijan are related with the Cretaceous and Paleogene-Miocene sediments. But towards the center of the South-Caspian depression these sediments transform into younger Pliocene-Quaternary sediments (Якубов и др., 1971).



Fig. 2. The placement of Lokbatan mud volcano within Absheron peninsula

Tectonically, the mud volcano locates at the crest of asymmetric anticline of latitudinal strike and steep angles of dip at the south side (45-50°) and gentle at the north ones (33-35°). The fold is complicated by faults running in different ways respectively the axis. There is a large displacement of the overthrust type on its top.

The studied mud volcano represents a dome-shaped rise with two humps on top and relative elevation of 86 m, the base 2.5 x 2.3 km and volcanic edifice volume estimated as 98.76 million m³. Its cone is composed of the mud breccia, formed as a result of the numerous eruptions. The great number of fragments of various rocks are scattered over the volcano vicinity. The volcano crater is represented by subsidence caldera and has an oval shape of ~25 m across. The hard ejects from mud volcano take the area of ~ 400 ha, the average thickness of breccia cover is ~ 40 m, and to 150 m near the crater. The most extended flows of breccia are traced westward for ~700 m and have the width to 300 m (Рашидов, 2017). The hard ejects of Lokbatan mud volcano are

corresponded to the Paleogene-Miocene complex and represented by the sandstones, siltstones, clays, marls, limestones and dolomites. The bitumen content is 0.03 to 0.8%, rarely exceeding the values of 1.56%. The increased content (0.8-1.56%) is related with the bitumen presence in non-scattered state but due to rocks enrichment by the epigenetic bitumens accumulated here due to their migration. The quantity varies 0.01 to 1.05%, in rocks strongly saturated with oil the value reaches to 1.83% (Якубов и др., 1976).

According to chemical composition the gases from Lokbatan mud volcano are hydrocarbonic; they consist of methane (92%), heavy hydrocarbons (~2%) and carbon dioxide (~2.5%). The volume of gas emanated during the eruption in 1972 was about 9 million m³.

Among the rock-forming combinations, SiO₂ (55.35%) and Al₂O₃ (15.51%) prevail in the chemical composition of the breccia (by field works in 2012), and a row of clarkes of concentration for microelements had the following expression:

$$\frac{Cd}{14.7} > \frac{As}{2.9} > \frac{Cr}{2.0} > \frac{Mo}{1.6} > \frac{Cu, Zn}{1.2} > \frac{Ni}{0.9} > \frac{Ba, Sr}{0.6} > \frac{Rb, V}{0.5} > \frac{Co, Pb, Ga}{0.2}$$

Parameters of the present row are corresponded to the nearly all mud volcanoes of Absheron region.

The main morphological elements of the relief of Lokbatan mud volcano are the breccia flows and crater field, but the main destructive factors – the physical and chemical erosion.

Observations for the great number of eruptions of various mud volcanoes in Azerbaijan show that difference between them is mainly in frequency and intensity of eruptions. But they are very similar in respect to the external effect of paroxysm manifestation and products of activity. It is clearly seen on the example of Lokbatan mud volcano being one of the most active (from viewpoint of eruption). Since 1829 till 2017 there had been recorded 25 eruptions, i.e. one eruption every 7.5 year in an average. The strongest eruptions with intensive ejection of breccia, gas ignition with further burning fire were observed in 1887, 1923, 1935, 1954, 2001, 2012 and 2017 (Якубов и др., 1971; Aliyev et al., 2002; Рашидов, 2017).

The intensity of eruptions and closeness to the settlements make this volcano quite easy to perform the various geologic-geophysical studies. So, a month after the eruption in September 20, 2012, the short-term field works had been performed within Lokbatan mud volcano (Figs. 3-5). Gas emissions were observed mainly in the north-western part of the crater field. In some places there were newly-formed mud springs as well as the fragments of mud volcanic breccia experienced the thermal impact because of gas ignition (Fig. 6).

As it was mentioned above, Lokbatan mud volcano locates within the oil-and-gas bearing structure of the same name. It is quite important to point out that a gusher of oil had been obtained for the first time from the IV horizon of the Productive Series (Middle Pliocene) in 1935, from well #45 located eastward of the crater. For the less than 50 years ~ 30 million tons of oil and ~ 1 milliard m³ of natural gas had been produced in Lokbatan oil field for a total (Якубов и др., 1971).

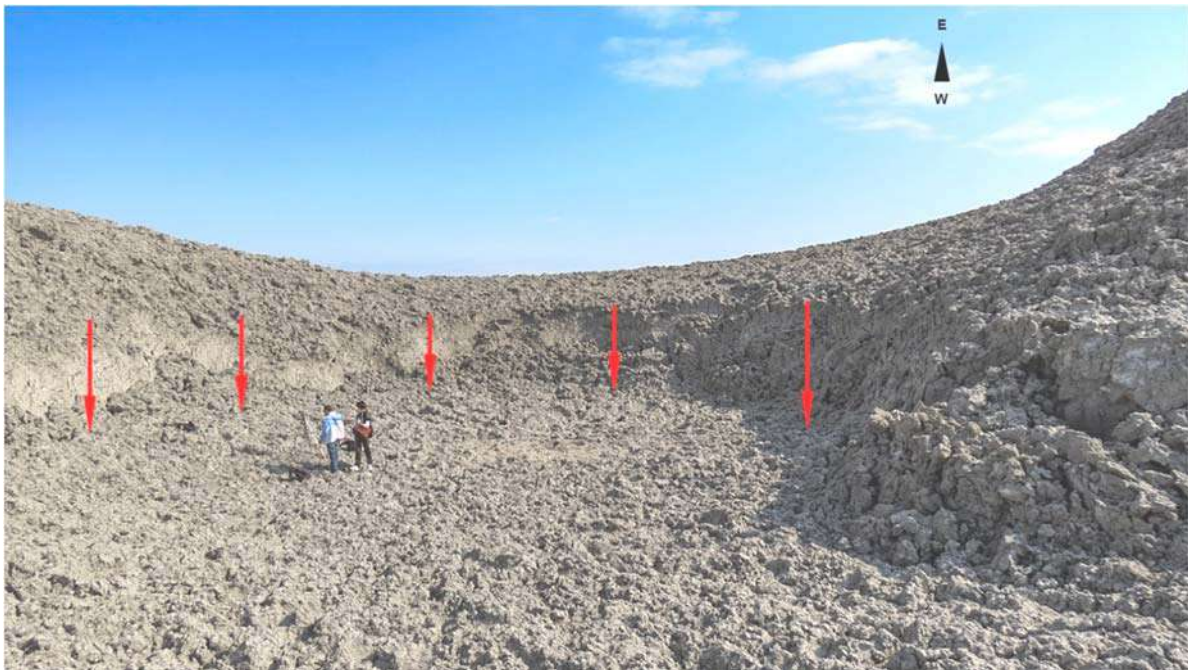


Fig. 3. Crater of Lokbatan mud volcano after eruption in September 20, 2012. The red arrows indicate the border of crater subsidence after the event



Fig. 4. Mud breccia flow cut the crater in the western direction. Two mountains locally called as “Baku ears” in the back ground (on the left)

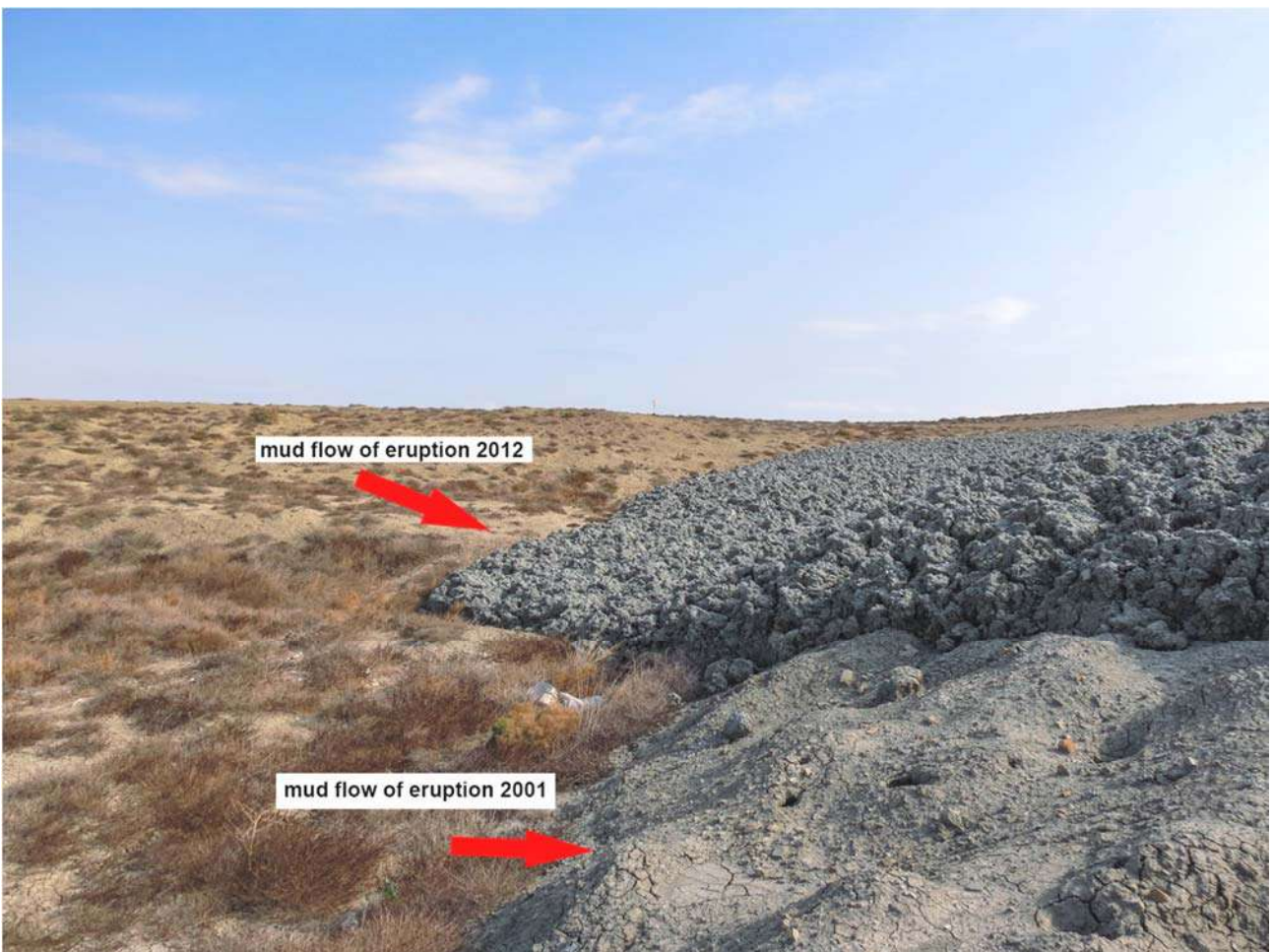


Fig. 5. Fresh mud flows, overlying the previously erupted, eroded flows



Fig. 6. Gas emission from newly-born mud spring (A) and fragment of mud volcanic breccia after the thermal impact (b)

Methodology and technique of the field works for Vertical Electrical Sounding in Lokbatan mud volcano

The aims to carry out the geophysical studies using the Vertical Electrical Sounding (VES) within Lokbatan mud volcano were:

- the detail dissection of the geological section to 200 m in depth;
- definition of the morphological structure of the above-surface part of the mud volcano;
- definition of the proposed thickness of the mud volcanic breccia and depth of occurrence of the primary deposits top;
- definition of the inferred dislocations;
- definition of the inferred structure of the underground part of the mud volcano.

The field works using EVS had been carried out for the first time in 2018 around the volcanic vent and the adjacent areas to solve the set tasks as well as the detail study of the geological section.

The field geophysical activities using AMNB quadripole had been performed in 9 geophysical lines of total length of 3195 running metres and in 19 physical points. The observation points coordinates had been defined using GPS (Fig. 7).

As it is known, the VES modern theory is based on the Schlumberger mathematical model. It allows calculating the apparent resistivity ρ_k of the horizontally layered medium depending upon the electrical resistivity and thickness of the individual layers as well as the sizes of the VES measuring equipment.

The usage of the mentioned model excludes the possibility of the single-valued solution of the inverse problem – definitions on totality of the values ρ_k , obtained when measuring with different equipment, as well as the depths of occurrence of horizontal boundaries and electrical resistivity of individual layers.

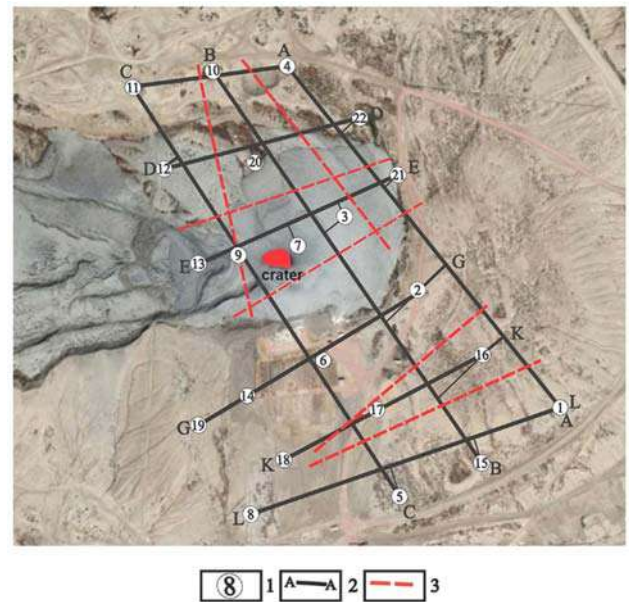


Fig. 7. Scheme of geophysical lines near Lokbatan mud volcano: 1 – VES points; 2 – geophysical lines; 3 – inferred dislocations revealed by VES data

The present aim can be generally reached by compiling a new model, based on the introduction of the following simplifying approximations regarding the nature of current distribution in the horizontally layered medium under electrodes' distribution on the day surface:

- the measured value ρ_k describes the section up to some depth H , entirely defined by correlation between the dimensions (MN) and transmitting (AB) lines; moreover, under $MN \ll AB$ the H value makes $AB/2$ (actually MN should be not more than $0.1 AB$);

- the value ρ_k is defined only by the vertical component of current density, i.e. represents some kind of averaged electrical characteristics of the medium in vertical direction, depending upon the electrical resistivities ρ_i of each layer; moreover, the

“contribution” of every ρ_i into the value ρ_k depends upon the thickness of the present layer h_i . The made assumptions allow designing the following simple equation that defines the relation between the values (ρ_i, h_i) of n -layer section and the value ρ_k :

$$\rho_k = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_i h_i}{h_1 + h_2 + \dots + h_i} = \sum_{i=1}^n h_i \rho_i / \sum_{i=1}^n h_i \quad (1)$$

where $\sum_{i=1}^n h_i, m = H_i, m$ – the depth of occurrence of the bottom of n -layer.

Since, according to assumption, the value H_i is completely defined by the relation between MN and AB and, consequently, is the known one, the Equation (1) can be used to solve the inverse problem – definition of parameters of the electrical model on totality of values ρ_k , obtained under various dimensions of the measuring equipment. Indeed, having a set of the successive values ρ_{ki} and $H_i (i=1, 2, \dots, n)$, one can consistently define h_i and ρ_i , i.e. the thickness and resistivity of every layer.

So, for any i -layer

$$h_i = H_i - H_{i-1} \text{ or } h_i = (AB/2)_i - (AB/2)_{i-1} \quad (2)$$

Equation

$$\rho_{ki} = K_{ves} * \frac{\Delta U_{MB}}{I_{mA}} \quad (3)$$

was used to calculate the apparent resistivity ρ_k .

Equation (4) is used to define the electrical resistivity of individual layers when $\rho_i > \rho_{i-1}$

$$\rho_i = [\rho_{ki} * (AB/2)_i - \rho_{ki-1} * (AB/2)_{i-1}] / [(AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}] \quad (4)$$

but in case $\rho_{i-1} > \rho_i$ Equation (5) was used:

$$\rho_i = \{[(AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}] * \rho_{ki-1} * \rho_{ki}\} / [\rho_{ki-1} * (AB/2)_i - \rho_{ki} * (AB/2)_{i-1}] \quad (5)$$

The expressions (2), (3) and (4) are the basic calculation equations within the proposed method of defining the parameters of the electrical model by VES data for equipment with $MN \ll AB$.

As it follows from Equations (2), (4) and (5), the usage of the proposed model provides the ability to define the thickness and electrical resistivity of any layer irrespective of the overlying series' properties.

Taking into account the above-mentioned, as a result of carried out actual measurements by VES method the following dimensions of transmitting $AB/2$ and receiving $MN/2$ lines had been accepted accordingly: $AB/2=1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10,10; 12,12; 14; 16; 18; 20; 22; 24,24; 26,26; 28; 30; 32; 34; 36,36; 38,38; 40,40; 42; 44; 46; 48; 50,50; 52; 54; 56; 58; 60; 63; 66; 69; 72,72; 75,75; 78; 81; 84; 87; 90,90; 93,93; 96; 99;$

$102; 105; 108; 111; 114; 117; 120; 125,125; 130,130; 135; 140; 145; 150; 155; 160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 195; 200, 200$ and $MN/2=0.3; 0.3; 0.3; 0.3; 0.3; 0.3; 0.3; 0.3; 0.3; 1; 0.3; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 2; 1.2; 2; 2; 2; 2; 2.3; 2.3; 2.3; 3; 3; 3; 3.5; 3.5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 7; 5.7; 7; 7; 7; 7; 7.9; 7.9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 12; 9.12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 15.$

The electrical resistivity values of the individual layers had been defined using the interpretation technique provided in the guidelines for the use of VES for the detailed dissection of the section in solving geological and engineering-geological problems. The present recommendation is developed on the new theory and based on the practical data obtained in different regions of the former USSR (Попов и др., 1990). The software Surfer 15, CorelDRAW X6 and ZOND were used to proceed the field geophysical data.

The electrical operational equipment “ЭРА-MAX” with operational frequency 4.88 Hz had been used for the field measurements. The measuring system is oriented northwest to southeast.

Outcomes and discussions

The vertical sections of the apparent resistivity of the rocks (ρ_k) on 9 lines as well as 3D models of sections by X, Y and Z axes of the plot area had been compiled as a result of the carried out geophysical studies by VES method.

The electrical models had been compiled by electrical resistivity values (ρ_y), which had been subsequently transformed into the inferred lithologic-geophysical sections (Fig. 8).

The results of the carried out field works allowed stratifying the geological section up to 200 m depth. It had been determined that ρ_k of rocks with different thickness, composing the geological environment of the region of study, vary within 1-250, and ρ_y 1-300 Ohm×m.

Lithologically, on day surface these rocks are composed of the thin clayey drifts and volcanic breccia as well as the alternation of the thin layers of sands and clays.

Following the compiled lithologic-geophysical lines one can say that the volcano vent has approximately wavy shape and the chambers of the various size had been formed at different levels. The electrical resistivity (ρ_y) of the volcanic breccia, accumulated in the vent, varies 1-300 Ohm×m. It is proposed that the great (~ 200-300 Ohm×m) values of ρ_y are related with oil that penetrates into the volcano vent. This is indirectly proved by the dark color and slight oil smell of the volcanic breccia. The breccia thickness varies in the range of 1 to 40 m (VES ## 2, 9, 12, 13).

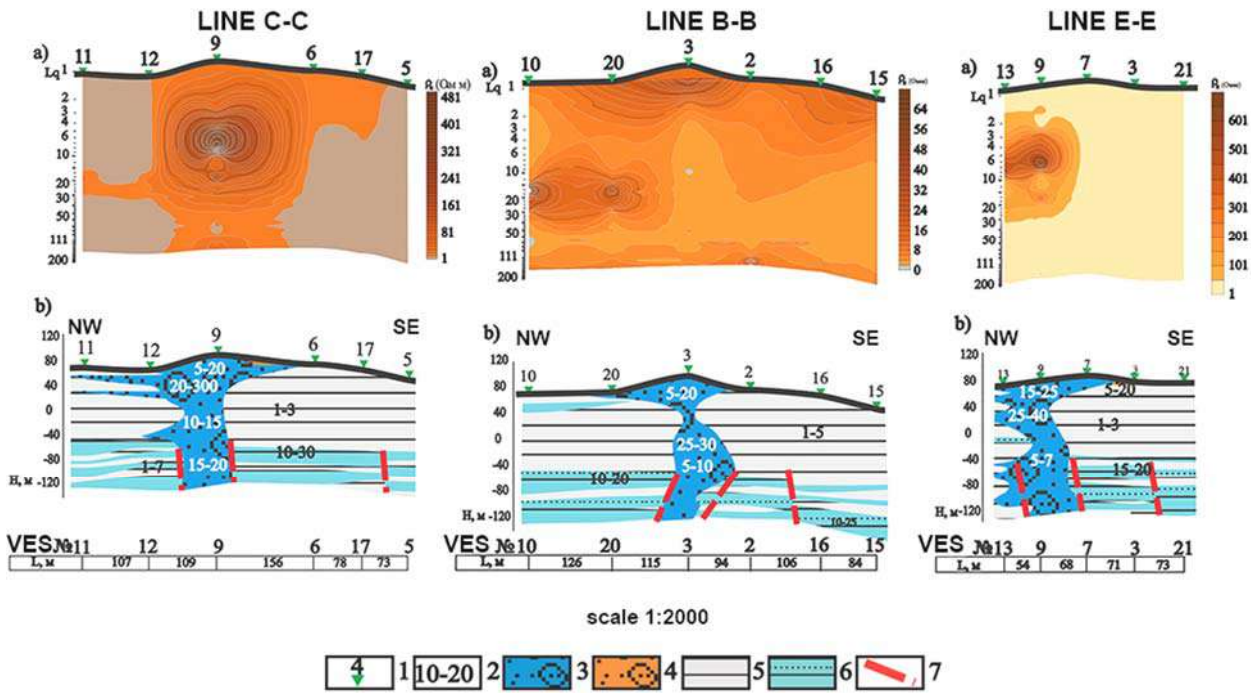


Fig. 8. Vertical sections of the apparent resistivity (A) and lithologic-geophysical sections (b) along the lines C-C, B-B and E-E: 1 – VES points and their numbers; 2 – electrical resistivity of the rocks; 3 – mud volcanic breccia; 4 – drifts; 5 – clays; 6 – alternation of the thin layers of sands with clays; 7 – inferred dislocations revealed by geophysical survey data

Some inferred dislocations had been revealed; they are probably related with activity of Lokbatan mud volcano.

Following the compiled 3D models it is seen that the apparent resistivity of the rocks, composing the geological section of the region of study, has quite variable nature (Fig. 9).

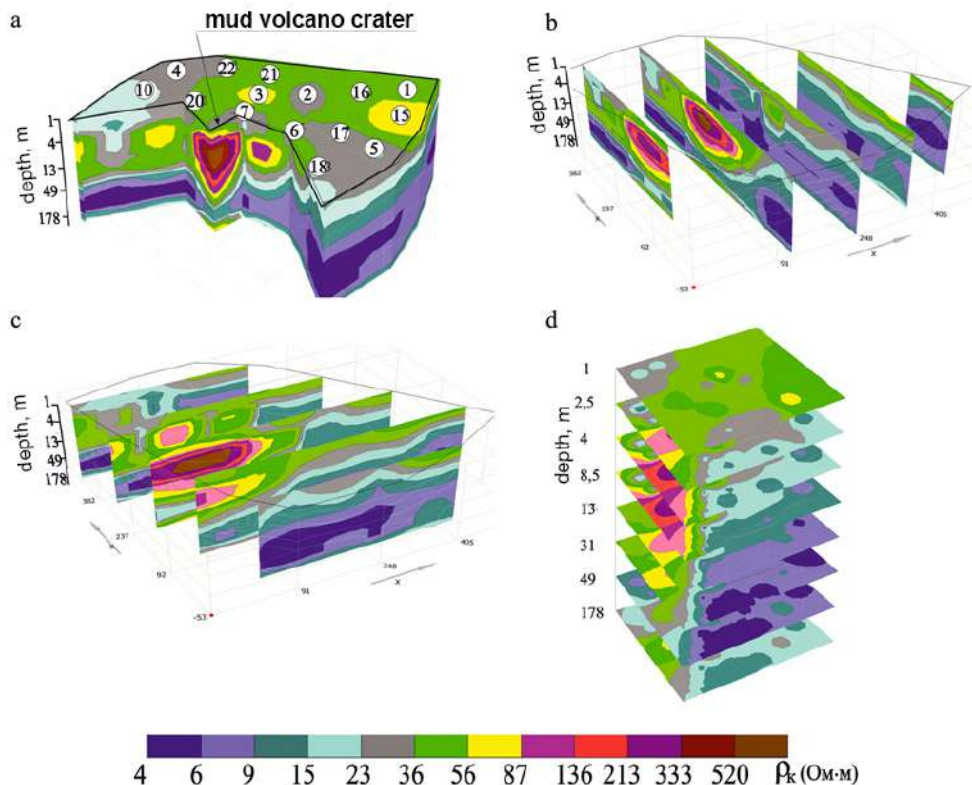


Fig. 9. 3D models of the territory of Lokbatan mud volcano (a) and the sections along the axes X (b), Y (c), Z (d)

In spite of the fact that within the region of study the geological section is generally composed of the sedimentary rocks, the layers are mainly in underformed state. But the upper part of the section is strongly deformed due to volcano's activity. Slightly deformed dip of the layers is traced with increase of their occurrence depths; to our opinion it is quite regular.

Conclusion

Analysis of the geologic-geophysical data for Lokbatan mud volcano allow drawing the following basic conclusions:

- it had been discovered that breccia with the lowest density respectively the surrounded lithological differences tends to the day surface along

the newly formed fractures (conduits), shaping a new mud volcano.

- lithologically the area of study is mainly composed of the clays and clayey rocks; the supposed thickness of the mud volcanic breccia around the volcano varies 35-45 m to 150 m;
- some differently directed dislocations had been revealed in the area of study;
- the upper layers of the section are strongly deformed due to volcano activity;
- it had been revealed that the hydrocarbons are transported from the underlying Pliocene-Miocene sediments into the mud volcanic chambers via the discharge (eruptive) channels.

REFERENCES

- Aliyev Ad.A. Mud volcanism of the South-Caspian oil-and-gas bearing basin. Proceedings of Geology Institute of Azerbaijan NAS, Nafta-Press, No. 31, 2003, pp. 21-47 (in Russian).
- Aliyev Ad.A., Gasanov A.G., Bayramov A.A., Belov I.S. Earthquakes and activation of mud volcanic activity (casal link and interaction). Proceedings of Geology Institute of Azerbaijan NAS, Nafta-Press. No. 29, 2001, pp. 26-39 (in Russian).
- Aliyev Ad.A., Guliyev I.S., Belov I.S. Catalogue of recorded eruptions of mud volcanoes of Azerbaijan for period of years 1810-2001. Nafta-Press. Baku, 2002, 88 p.
- Aliyev Ad.A., Guliyev I.S., Dadashev F.G., Rakhmanov R.R. Atlas of the world mud volcanoes. Nafta-Press. Baku, 2015, 322 p. (in Russian).
- Baghzendani H.R., Aghajani H., Solimani M. Subsurface modeling of mud volcanoes, using density model and analysis of seismic velocity. Journal of Mining & Environment, Vol. 6, No.1, 2015, pp. 31-39, DOI: 10.22044/jme.2015.383.
- Evans R.J. The structure, evolution and geophysical expression of mud volcano systems from the South Caspian Basin. PhD Thesis, Cardiff University, 2007, 290 p., <http://orca.cf.ac.uk/54906/1/U585295.pdf>
- Evans R.J., Stewart S.A., Davies R.J. The structure and formation of mud volcano summit calderas. Journal of the Geological Society, Vol. 165, No. 4, 2008, pp. 769-780, DOI: 10.1144/0016-76492007-118.
- Feseker T., Brown K., Blanchet C., Scholz F., Nuzzo M. Active mud volcanoes on the upper slope of the western Nile deep-sea fan – first results from the P362/2 cruise of R/V Poseidon. Geo-Marine Letters, Vol. 30, No. 3-4, 2010, pp. 169-186.
- Kholodov V.N. Mud volcanoes: Distribution and genesis. Geology and Mineral Resources of World Ocean, No. 4, 2012, pp. 5-25 (in Russian).
- Martinelli G., Ferrari G. Earthquake forerunners in a selected area of Northern Italy: recent developments in automatic geochemical monitoring. Tectonophysics, Vol. 193, No. 4, 1991, pp. 397-410, DOI: 10.1016/0040-1951(91)90348-V.
- Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. Marine Geology, Vol. 167, No.1-2, 2000, pp. 29-42, DOI: 10.1016/S0025-3227(00)00022-0.
- Popov E.A., Ten K.M., Funtikov G.N., Selyakov V.I., Glushko S.P. Guidelines for the use of VES for the detailed dissection of the section in solving geological and engineering-geological problems. Rotaprint. Moscow, 1990, 52 p. (in Russian).
- Rakhmanov R.R. Mud volcanoes and their significance in forecasting of oil-and-gas content of the depths. Nedra.

ЛИТЕРАТУРА

- Алиев Ад.А. Грязевой вулканизм Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна. Тр. Института Геологии НАН Азербайджана, Nafta-Press, No. 31, 2003, с. 21-47.
- Алиев Ад.А., Гасанов А.Г., Байрамов А.А., Белов И.С. Землетрясения и активизация грязевулканической деятельности (причинная связь и взаимодействие). Тр. Института Геологии АН Азербайджана, Nafta-Press, No. 29, 2001, с. 26-39.
- Алиев Ад.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Nafta-Press. Баку, 2015, 322 с.
- Попов Е.А., Тен К.М., Фунтиков Г.Н., Сеяков 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.
- Рахманов Р.Р. Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании газонефтеносности недр. Недра. Москва, 1987, 174 с.
- Рашидов Т.М. Морфоструктурные исследования грязевых вулканов Гобустана с использованием технологии GIS (в связи с нефтегазосностью). Дис. на соиск.уч. степени доктора философии по наукам о Земле. Баку, 2017, 165 с.
- Саламов А.М., Мухтаров А.Ш., Мамедов В.А. 3D геофизическая модель близповерхностной структуры грязевого вулкана Дашгиль. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2019, с. 32-40. DOI: 10.33677/ggianas20190100024.
- Холодов В.Н. Грязевые вулканы: распространение и генезис. Геология и полезные ископаемые Мирового океана. No. 4, 2012, с. 5-25.
- Юсубов Н.П., Гулиев И.С. Грязевой вулканизм и углеводородные системы Южно-Каспийской впадины (по новейшим данным геофизических и геохимических исследований). Элм. Баку, 2022, 168 с.
- Якубов А.А., Али-заде А.А., Зейналов М.М. Атлас грязевых вулканов Азербайджанской ССР. Элм. Баку, 1971, 258 с.
- Якубов А.А., Кастрюлин Н.С., Джавадов А.А. Грязевой вулканизм и нефтегазосность Локбатана. Элм. Баку, 1976, 76 с.
- Aliyev Ad.A., Guliyev I.S., Belov I.S. Catalogue of recorded eruptions of mud volcanoes of Azerbaijan for period of years 1810-2001. Nafta-Press. Baku, 2002, 88 p.
- Baghzendani H.R., Aghajani H., Solimani M. Subsurface modeling of mud volcanoes, using density model and analysis of seismic velocity. Journal of Mining & Environment, Vol. 6, No. 1, 2015, p. 31-39. DOI: 10.22044/jme.2015.383.

- Moscow, 1987, 174 p. (in Russian).
- Rashidov T. The diversity of mud volcanoes in the landscape of Azerbaijan. EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna, 2014, 1610019R, DOI: 10.13140/RG.2.2.23100.74883.
- Rashidov T., Kangarli I., Ibragimov V. The quaternary mud volcanism in Azerbaijan as the geological phenomenon of the Ponto-Caspian region of the Alpine-Himalayan folded belt. The Third Plenary Meeting and Field Trip of INQUA IFG 1709F POCAS. Tehran and Guilan Province, I.R. Iran, 2019, pp. 121-123.
- Rashidov T.M. Morphostructural studies of the mud volcanoes in Gobustan using GIS technology (in connection with oil-and-gas content). PhD Dissertation. Baku, 2017, 165 p. (in Russian)
- Robertson A.H.F., Kopf A. Tectonic settings and processes of mud volcanism on the Mediterranean ridge accretionary complex: evidence from LEG 160. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 160, 1998.
- Salamov A.M., Mukhtarov A.Sh., Mammadov V.A. 3D Geophysical model of near surface structure of the Dashgil mud volcano. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2019, pp. 32-40, DOI: 10.33677/ggianas20190100024 (in Russian).
- Sawolo N., Sutriano E., Istadi B.P., Darmoyo Agung B. The LUSI mud volcano triggering controversy: Was it caused by drilling? Marine and Petroleum Geology, Vol. 26, No. 9, 2009, pp. 1766-1784, DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2009.04.002.
- Yakubov A.A., Ali-zadeh A.A., Zeynalov M.M. Mud volcanoes of Azerbaijan SSR. Atlas. Elm. Baku, 1971, 258 p. (in Russian).
- Yakubov A.A., Kasturylin N.S., Dzhabadov A.A. Mud volcanism and oil-and-gas content of Lokbatan. Elm. Baku, 1976, 76 p. (in Russian).
- Yusubov N.P., Guliyev I.S. Mud volcanism and the hydrocarbon systems of the South-Caspian depression (by most recent data of the geophysical and geochemical studies). Elm. Baku, 2022, 168 p. (in Russian).
- Zoporowski A., Miller S.A. Modelling eruption cycles and decay of mud volcanoes. Marine and Petroleum Geology, Vol. 26, No. 9, 2009, pp. 1879-1887.
- Evans R.J. The structure, evolution and geophysical expression of mud volcano systems from the South Caspian Basin. PhD Thesis, Cardiff University, 2007, 290 p. <http://orca.cf.ac.uk/54906/1/U585295.pdf>.
- Evans R.J., Stewart S.A., Davies R.J. The structure and formation of mud volcano summit calderas. Journal of the Geological Society, Vol. 165, No. 4, 2008, pp. 769-780, DOI: 10.1144/0016-76492007-118.
- Feseker T., Brown K., Blanchet C., Scholz F., Nuzzo M. Active mud volcanoes on the upper slope of the western Nile deep-sea fan – first results from the P362/2 cruise of R/V Poseidon. Geo-Marine Letters, Vol. 30, No. 3-4, 2010, pp. 169-186.
- Martinelli G., Ferrari G. Earthquake forerunners in a selected area of Northern Italy: recent developments in automatic geochemical monitoring. Tectonophysics, Vol. 193, No. 4, 1991, pp. 397-410, DOI: 10.1016/0040-1951(91)90348-V.
- Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates. Marine Geology, Vol. 167, No.1-2, 2000, pp. 29-42, DOI: 10.1016/S0025-3227(00)00022-0.
- Rashidov T. The diversity of mud volcanoes in the landscape of Azerbaijan. EGU General Assembly Conference Abstracts. Vienna, 2014, 1610019R, DOI: 10.13140/RG.2.2.23100.74883.
- Rashidov T., Kangarli I., Ibragimov V. The quaternary mud volcanism in Azerbaijan as the geological phenomenon of the Ponto-Caspian region of the Alpine-Himalayan folded belt. The Third Plenary Meeting and Field Trip of INQUA IFG 1709F POCAS. Tehran and Guilan Province, I.R. Iran, 2019, pp. 121-123.
- Robertson A.H.F., Kopf A. Tectonic settings and processes of mud volcanism on the Mediterranean ridge accretionary complex: evidence from LEG 160. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 160, 1998.
- Sawolo N., Sutriano E., Istadi B.P., Darmoyo Agung B. The LUSI mud volcano triggering controversy: Was it caused by drilling? Marine and Petroleum Geology, Vol. 26, No. 9, 2009, pp. 1766-1784, DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2009.04.002.
- Zoporowski A., Miller S.A. Modelling eruption cycles and decay of mud volcanoes. Marine and Petroleum Geology, Vol. 26, No. 9, 2009, pp. 1879-1887.

ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ЛОКБАТАН: ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ

Саламов А.М., Мамедов В.А., Рашидов Т.М., Заманова А.Г., Гасымов Э.Э.

Министерство Науки и Образования Азербайджанской Республики,

Институт геологии и геофизики, Азербайджан

AZ1143, г. Баку, просп. Г.Джавида, 119: vmamed@rambler.ru

Резюме. В данной статье рассматриваются вопросы генезиса, строения, геохимических и геофизических исследований в районе грязевого вулкана Локбатан, расположенного в юго-западной части Абшеронского полуострова (Азербайджан), и отличающегося повышенной грязевулканической активностью. Наряду с ранее высказанными идеями о процессе формирования грязевого вулкана (магматическая, тектоническая, углеводородная и др.), авторами была предложена собственная гипотеза. В ней ведущая роль в формировании грязевого вулкана отводится воде, выделяющейся в результате геодинамического давления на терригенно-глинистую толщу. Данная вода увлажняет и насыщает глинистые породы, образуя субстанции с наименьшей плотностью относительно окружающих литологических разностей, тем самым создавая выходные каналы и промежуточные камеры на определенных глубинах. Образовавшаяся субстанция – брекчия, находящаяся под большим давлением, по новообразованному эруптивному каналу стремится к выходу на дневную поверхность и в результате формируется грязевой вулкан.

С учетом новой гипотезы формирования грязевого вулкана была предложена схема механизма формирования грязевого вулкана с выделением промежуточных камер накопления грязевулканической брекчии. Было выявлено, что преобладающими микроэлементами грязевулканической брекчии являются бор, ртуть, марганец, барий, стронций, литий и др., содержание которых в несколько раз превышает кларковые значения для осадочных пород. Используя материалы полевых работ вертикального электрического зондирования по 9 профилям на 19 физических точках в пределах грязевого вулкана Локбатан, были построены 3D модели площади исследования: полные, в произвольном срезе, по осям X, Y, Z, а также морфологического строения наземной части описываемого вулкана.

Ключевые слова: геофизика, грязевой вулкан, электроразведка, микроэлементы, разрыв, 3D модель, газы

LÖKBATAN PALÇIQ VULKANININ ELEKTROTOMOQRAFİYASI: DAXİLİ QURULUŞ VƏ FORMALAŞMA MEXANİZMİ

Salamov A.M., Məmmədov V.A., Rəşidov T.M., Zamanova A.G., Qasımov E.E.
*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Geologiya və Geofizika İnstitutu, Azərbaycan
AZ1143, Bakı, pr. H.Cavid, 119: vmamed@rambler.ru*

Xülasə. Məqalədə Abşeron yarımadasının (Azərbaycan) cənub-qərb hissəsində yerləşən və palçıq vulkanizminin aktivliyi ilə səciyyələnən Lökbatan palçıq vulkanı ərazisinin genezisi, quruluşu, geokimyəvi və geofiziki məsələləri müzakirə olunur.

Palçıq vulkanının əmələ gəlməsi prosesi haqqında əvvəllər söylənilən (maqmatik, tektonik, karbohidrogen və s.) fikirlərlə yanaşı müəlliflər öz fərziyyələrini irəli sürmüşlər.

Onların fikrincə palçıq vulkanının əmələ gəlməsində aparıcı rol geodinamik təzyiq nəticəsində terrigen-gilli təbəqələrdən sıxışdırılıb çıxarılan sular gilli süxurları nəmləndirib doyuraraq, ətrafdakı litoloji fərqlərə nisbətən zəif sıxlığa malik olduğundan müəyyən dərinliklərdə çıxış kanalları və ara kameralar yaradır. Əsasən gilli süxurlardan təşkil olunmuş brekçiya yüksək təzyiqlə yeni yaranmış püskürmə kanalı ilə yer səthinə çıxmağa meyillidir və nəticədə palçıq vulkanı formalaşır.

Palçıq vulkanının əmələ gəlməsi ilə bağlı yeni fərziyyəni nəzərə alaraq, oradakı brekçiyalarının toplanması üçün aralıq kameraların ayrılması ilə palçıq vulkanının əmələ gəlməsi mexanizminin sxemi təklif edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, palçıq vulkanı brekçiyalarında üstünlük təşkil edən mikroelementlər bor, civə, manqan, barium, stronsium, litium və s. olub onların miqdarı çökmə süxurlar üçün klark ədədindən bir neçə dəfə yüksəkdir.

Lökbatan palçıq vulkanı ərazisində 9 profil üzrə 19 fiziki nöqtədə şaquli elektrik zondlama işlərinin materiallarından istifadə edilərək tədqiqat sahəsinin tam, ixtiyari kəsiklə və X, Y, Z oxları boyunca, eləcə də vulkanın yerüstü hissəsinin morfoloji quruluşu 3D modelləri qurulmuşdur.

Açar sözlər: *geofizika, palçıq vulkanı, elektrik kəşfiyyatı, mikroelementlər, fasiləsizlik, 3D model, qazlar*

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЕНАСЫЩЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

Керимова К.А.

*Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности, Азербайджан
AZ1010, г.Баку, просп. Азадлыг, 20*

METHODOLOGICAL IMPROVEMENT FOR DETERMINING THE OIL SATURATION OF RESERVOIRS USING ELECTRICAL LOGGING

Karimova K.A.

*Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan
20, Azadlig ave., Baku, AZ1010*

Keywords: *collector-layer, lateral logging sounding, lateral logging, resistivity of the permeability zone, diameter of the permeability zone, true resistivity of the layers, gradient probe*

Summary. Evaluation of the productivity of collectors-layers is one of the important problems that remain actual at all times. While evaluating the productivity of collectors-layers, a number of geophysical production methods are used, one of which is lateral logging sounding and lateral logging. As it is known, changes occurring in the layer are studied based on the interpretation of lateral logging sounding. Referring to the changes occurring in the formation, we mean the occurrence of the permeability zone and the value of the resistivity in this zone ($\rho_{z, \text{про.}}$) as well as the determination of the diameter (D) of the permeability zone. Having found out the presence or absence of a permeability zone against layers-collectors over the study area based on the combined use of lateral logging sounding and lateral logging methods, true resistivity of the layers that are the zone of invasion, resistivity and diameter of the zone of penetration were determined. As a result, the productivity of these reservoirs was predicted. At the same time, 2D and 3D models of distribution of values of true resistivity are the invasion zone, resistivity values and diameter of the invasion zone on the well sections of Kapaz and Chirag structures were plotted. The sedimentary series of the Fasila and Upper Kirmaki sandy suites were chosen as an object of study on sections of wells drilled in the Chirag and Kapaz structures of the South Caspian basin.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Оценка производительности пластов-коллекторов является одной из важных проблем, сохраняющих свою актуальность на различных этапах эксплуатации нефтегазовых скважин. При оценке продуктивности пластов-коллекторов используется ряд промыслово-геофизических методов, одними из которых являются боковое каротажное зондирование (БКЗ) и боковой каротаж (БК) (Мәммədov, İsmayılov, 2007; Мәммədov, 2010).

Как известно, сущность метода БКЗ состоит в проведении измерительных работ в отложениях продуктивной толщи в разрезе скважины с использованием однотипных зондов различной длины. По результатам измерений исследуются истинное удельное сопротивление пласта и изменения, происходящие в самом пласте (Добрынин, 1988).

Говоря об изменениях, происходящих в пласте, имеется в виду возникновение зоны проницаемости и значение удельного сопротивления в данной зоне ($\rho_{z, \text{про.}}$), а также определение диаметра (D) зоны проницаемости. При применении метода БКЗ обычно используются 5 градиент-зондов различной длины. Длина градиент-зонда самого меньшего размера близка к значению диаметра скважины, длина же самого большого градиент-зонда достигает 8 м (Paşayev, 2010).

Методы исследований

В статье рассмотрены вопросы оценки производительности пластов-коллекторов с использованием методов бокового каротажного зондирования (БКЗ) и бокового каротажа (БК).

В качестве объекта исследования были выбраны осадочные серии свиты Фасила (Перерыва) и Надкирмакинской песчаной (НКП) по раз-

резам скважин, пробуренных на структурах Чираг и Кяяз Южно-Каспийского бассейна. Исследовательская работа была проведена на основе геофизических характеристик, полученных в разрезе скважин № 3 и № 5 на структуре Кяяз и скважины № 4 на структуре Чираг, расположенных в Абшерон-Прибалханской тектонической зоне (рис. 1).

По каротажным диаграммам, полученным по объекту исследования были выделены пла-

сты-коллектора по свитам Фасиля и Надкирмакинская песчаная (НКП). По кривым сопротивления и кавернограммам, полученных с использованием применения зондов А0.4М0.1N; А1.0М0.1N; А2.0М0.5N; А4.0М0.5N; А8.0М1.0N, в исследуемых пластах были определены значения кажущегося удельного сопротивления и диаметр скважины. Полученные значения приведены в табл. 1-3.

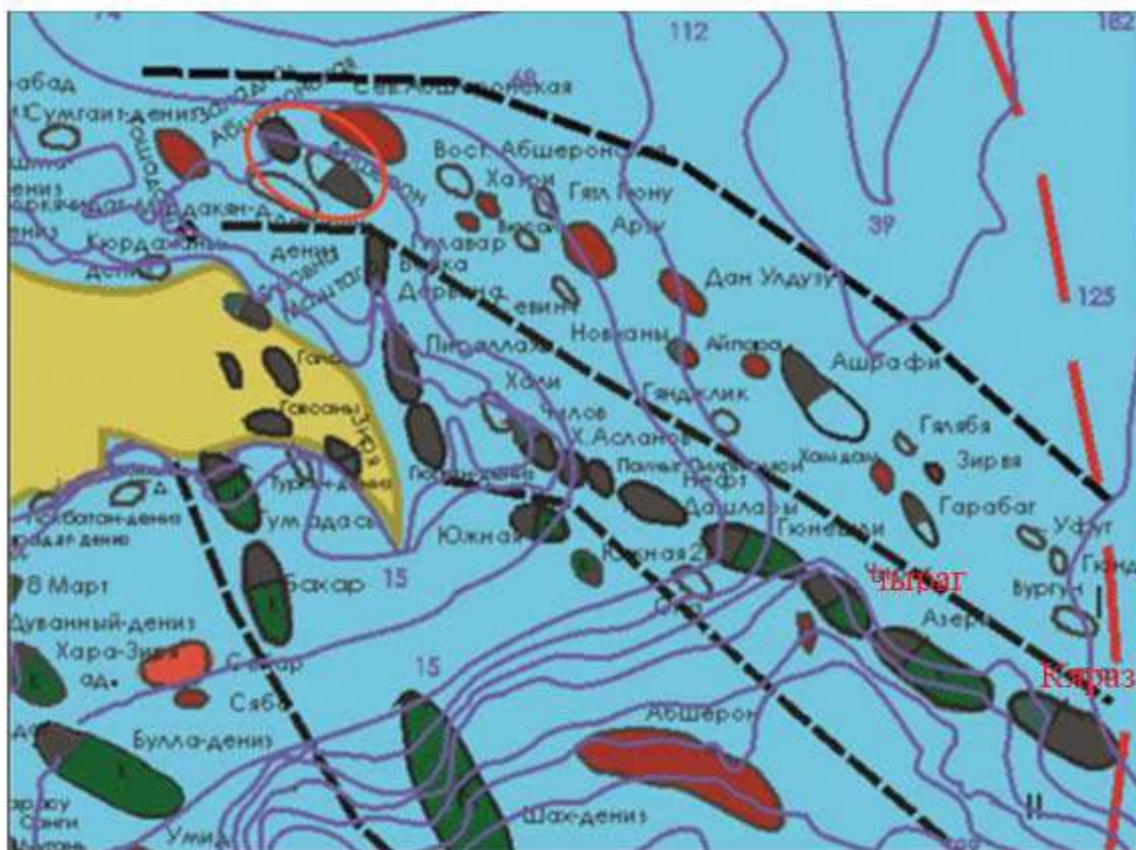


Рис. 1. Обзорная схема расположения структур ЮКВ

Таблица 1

Значения удельного сопротивления пласта, определенного по диаграммам, полученным с применением зондов различной длины в разрезе скважины №3 по свитам Фасиля (3623-3628 м) и Надкирмакинская песчаная (НКП) (3928-3932 м) по структуре Кяяз

| Каротажные зонды | A0.4M0.1N | A1.0M0.1N | A2.0M0.5N | A4.0M0.5N | A8.0M1.0N |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Длина зонда, АО,м | 0.45 | 1.05 | 2.25 | 4.25 | 8.5 |
| Оптимальное значение удельного сопротивления, Ом*м (3623-3628) | 3.5 | 8 | 10 | 6 | 4.8 |
| Оптимальное значение удельного сопротивления, Ом*м (3928-3932) | 1.9 | 4.6 | 7.2 | 4.14 | 3.3 |

Таблица 2

Значения удельного сопротивления пласта, определенного по диаграммам, полученным с применением зондов различной длины в разрезе скважины №5 по свитам Фасиля (3617-3622 м) и Надкирмакинская песчаная (НКП) (3942-3945 м) по структуре Кяпяз

| Каротажные зонды | A0.4M0.1N | A1.0M0.1N | A2.0M0.5N | A4.0M0.5N | A8.0M1.0N |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Длина зонда, АО,м | 0.45 | 1.05 | 2.25 | 4.25 | 8.5 |
| Оптимальное значение удельного сопротивления, Ом*м (3617-3622) | 2.3 | 4.5 | 6 | 4 | 2.5 |
| Оптимальное значение удельного сопротивления, Ом*м (3942-3945) | 1.04 | 2.6 | 3.9 | 2.3 | 1.5 |

По значениям удельного сопротивления, указанным в табл. 1, с использованием определенной методики для каждого выделенного пласта свиты Фасиля (3623-3628 м) и свиты НКП (3928-3932 м) в разрезе скважины 3, пробуренной на структуре Кяпяз были построены фактические кривые БКЗ (рис. 2а, 2б). На основе значения диаметра скважи-

ны, определенного по кавернограмме исследуемых пластов и удельному сопротивлению глинистого раствора, используемого при бурении скважины, были отмечены соответствующие точки на рис. 2а, 2б). Удельное сопротивление глинистого раствора, используемого при бурении скважины было оценено как $\rho_{\text{раств}} = 0.6 \text{ Ом*м}$.

Таблица 3

Значения удельного сопротивления пласта, определенного по диаграммам, полученным с применением зондов различной длины в разрезе скважины № 4 по свитам Фасиля (2905-2915 м) и Надкирмакинская песчаная (НКП) (3372-3376 м) по структуре Чираг

| Каротажные зонды | A0.4M0.1N | A1.0M0.1N | A2.0M0.5N | A4.0M0.5N | A8.0M1.0N |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Длина зонда, АО,м | 0.45 | 1.05 | 2.25 | 4.25 | 8.5 |
| Оптимальное значение удельного сопротивления, Ом*м (2905-2915) | 6 | 17 | 32 | 15 | 6.5 |
| Оптимальное значение удельного сопротивления, Ом*м (3372-3376) | 4 | 12 | 19 | 9.5 | 5 |

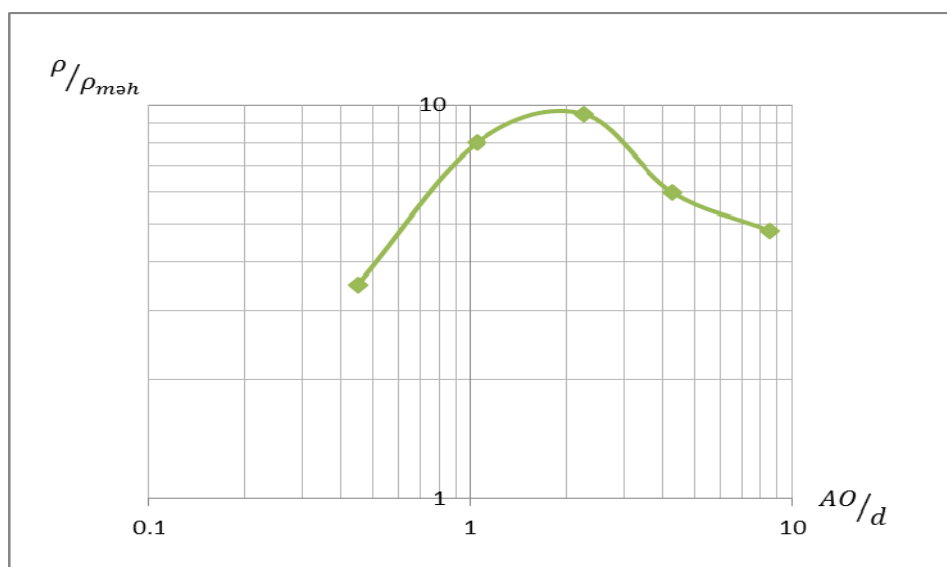


Рис. 2а. Фактическая кривая БКЗ, построенная по свите Фасиля (3623-3628 м) в разрезе скважины №3 структуры Кяпяз

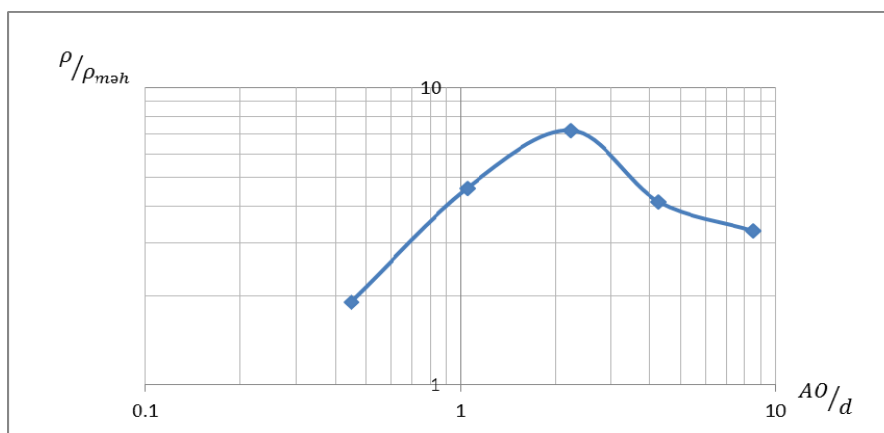


Рис. 2б. Фактическая кривая БКЗ, построенная по свите НКП (3928-3932 м) в разрезе скважины №3 структуры Кяпяз

При сравнении построенной фактической кривой БКЗ с теоретическими кривыми БКЗ, было выявлено наличие зоны проницаемости в исследуемых пластах и были определены истинное удельное сопротивление пластов, сопротивление зоны проницаемости и диаметр зоны проницаемости (Мәммədov, İsmayilov, 2003). Полученные результаты приведены в таблице 4.

В результате сравнительного анализа было выявлено, что в глубинном интервале 3623-3628 м свиты Фасиля в разрезе скважины № 3 структуры Кяпяз присутствует зона проницаемости в

5-ти метровом пласте и диаметр данной зоны 0.86 м; удельное сопротивление зоны проницаемости оценивается как 9 Ом*м, а истинное удельное сопротивление пласта как 12 Ом*м.

В аналогичном порядке, принимая во внимание значения, приведенные в табл. 2, были построены фактические кривые БКЗ для пластов-коллекторов, расположенных в разрезе скважины № 5 в глубинном интервале 3617-3622 м свиты Фасиля и глубинном интервале 3942-3945 м свиты НКП, а также определены точки крестообразности (рис. 2с, 2д).

Таблица 4

Результаты, полученные с применением метода БКЗ в разрезе скважины № 3, пробуренной на структуре Кяпяз

| Глубинный интервал, м | Мощность пласта, м | d _{скв.} , м | ρ _{з.про.} , Ом*м | ρ _{пл.} , Ом*м | D _{з.про.} , м |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 3623-3628 | 5 | 0.215 | 9 | 12 | 0.86 |
| 3928-3932 | 4 | 0.205 | 12 | 3.9 | 0.82 |

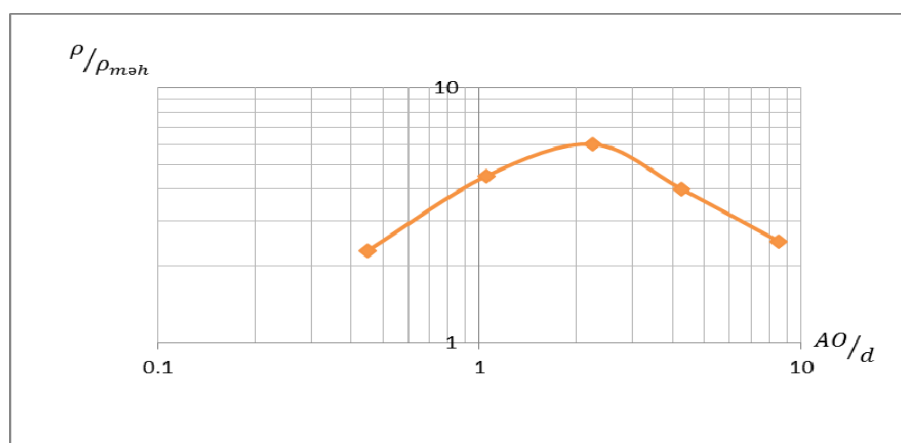


Рис. 2с. Фактическая кривая БКЗ, построенная по свите Фасиля (3617-3622 м) в разрезе скважины №5, пробуренной на структуре Кяпяз

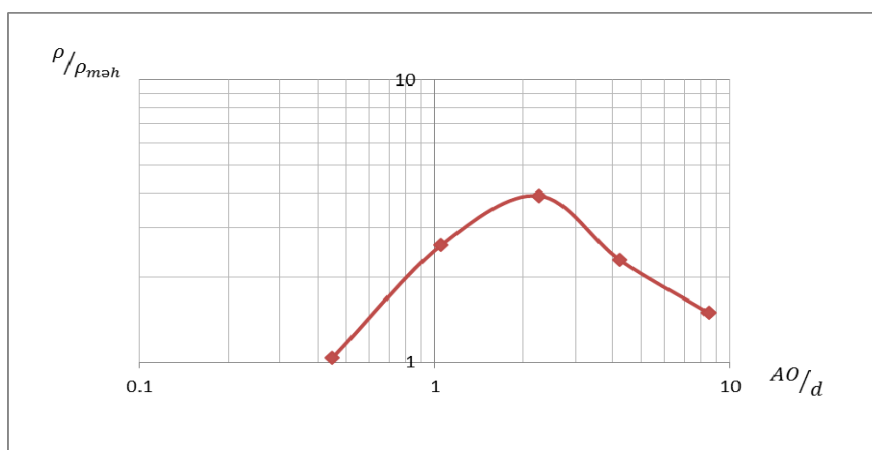


Рис. 2d. Фактическая кривая БКЗ, построенная по свите НКП (3942-3945 м) в разрезе скважины №5, пробуренной на структуре Кяяз

При сравнении фактических кривых БКЗ с таковыми теоретическими был дан прогноз по продуктивности исследуемых пластов. На основе сравнения кривых, было выявлено наличие зоны проницаемости в исследуемых пластах и были определены: истинное удельное сопротивление пластов, удельное сопротивление и диаметр зоны проницаемости (Karimova, 2014). Полученные результаты приведены в табл. 5.

В статье также был дан прогноз продуктивности пластов-коллекторов, выделенных в разрезе скважины № 4, пробуренной на структуре Чираг. С использованием табл.3 была построена фактическая кривая БКЗ по глубинному интервалу 2905-2915 м свиты Фасиля и глубинному интервалу 3372-3376 м свиты НКП в разрезе скважины Чираг 4 и была определена точка крестообразности (рис. 2e,2f).

Таблица 5

Результаты, полученные с применением метода БКЗ в разрезе скважины № 5, пробуренной на структуре Кяяз

| Глубинный интервал, м | Мощность пласта, м | $d_{скв.}$, м | $\rho_{з.про.}$, Ом*м | $\rho_{пл.}$, Ом*м | $D_{з.про.}$, м |
|-----------------------|--------------------|----------------|------------------------|---------------------|------------------|
| 3617-3622 | 5 | 0.34 | 6 | 2.9 | 0.68 |
| 3942-3945 | 3 | 0.285 | 9 | 1.9 | 0.114 |

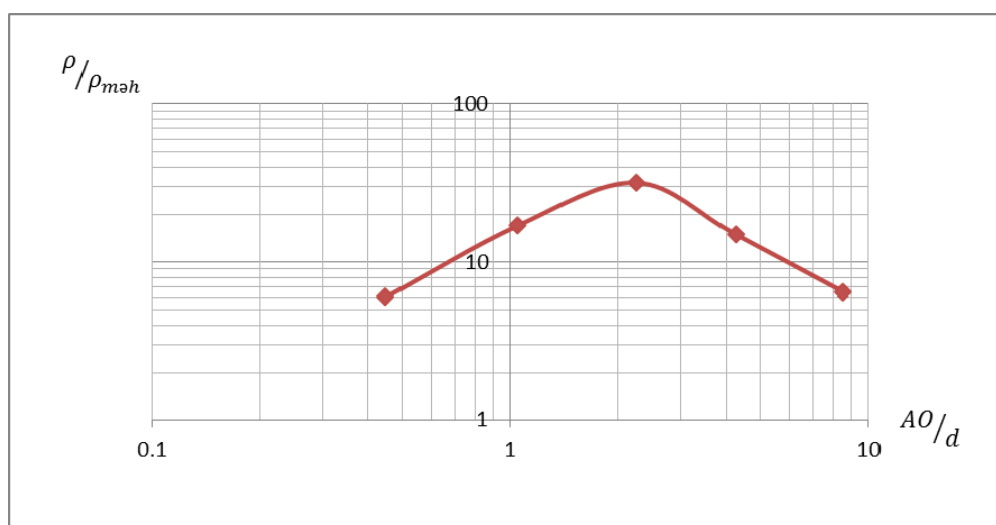


Рис. 2e. Фактическая кривая БКЗ, построенная для свиты Фасиля по интервалу 2905-2915 м разреза скважины № 4 структуры Чираг

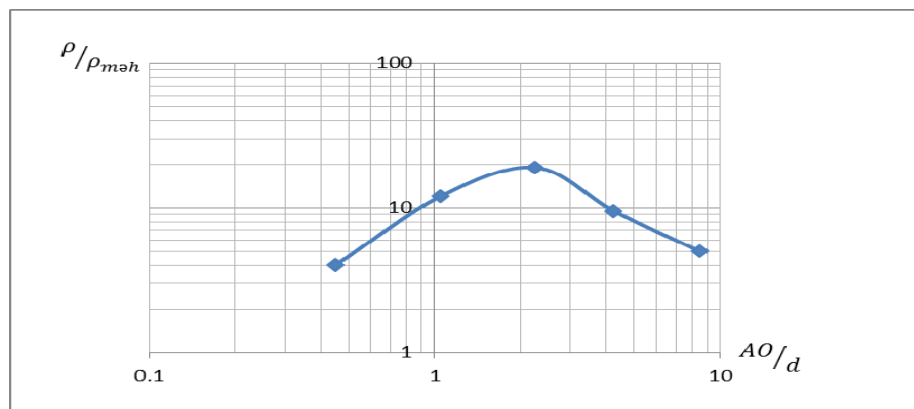


Рис. 2f. Фактическая кривая БКЗ, построенная для свиты НКП по интервалу 3372-3376 м в разрезе скважины № 4 структуры Чираг

Результаты исследований и их обсуждение

На основе сравнения данной фактической кривой БКЗ с таковой теоретической был дан прогноз. Сравнительный анализ позволил утверждать, что в этих пластах есть зона проницаемости. Результаты определения диаметра и удельного сопротивления зоны проницаемости, а также, истинного удельного сопротивления данного пласта приведены в табл. 6.

По площади исследования были построены

2D и 3D модели изменения удельного сопротивления ($\rho_{з.про.}$) зон проводимости, выявленных в свитах Фасиля и НКП, истинного удельного сопротивления пласта ($\rho_{пл.}$) и диаметра (D) зоны проводимости (рис. 3-8).

Были определены значения коэффициента водонасыщенности (K_B) и нефте-газонасыщенности пластов по данным БК по разрезу скважины № 3, пробуренной на структуре Кяпяз (табл. 5).

Таблица 6

Результаты, полученные с применением метода БКЗ в разрезе скважины № 4, пробуренной на структуре Чираг

| Глубинный интервал, м | Мощность пласта, м | $d_{скв.}$, м | $\rho_{з.про.}$, Ом*м | $\rho_{пл.}$, Ом*м | $D_{з.про.}$, м |
|-----------------------|--------------------|----------------|------------------------|---------------------|------------------|
| 2905-2915 | 10 | 0.315 | 5 | 6.5 | 0.124 |
| 3372-3376 | 4 | 0.310 | 12 | 6 | 0.248 |

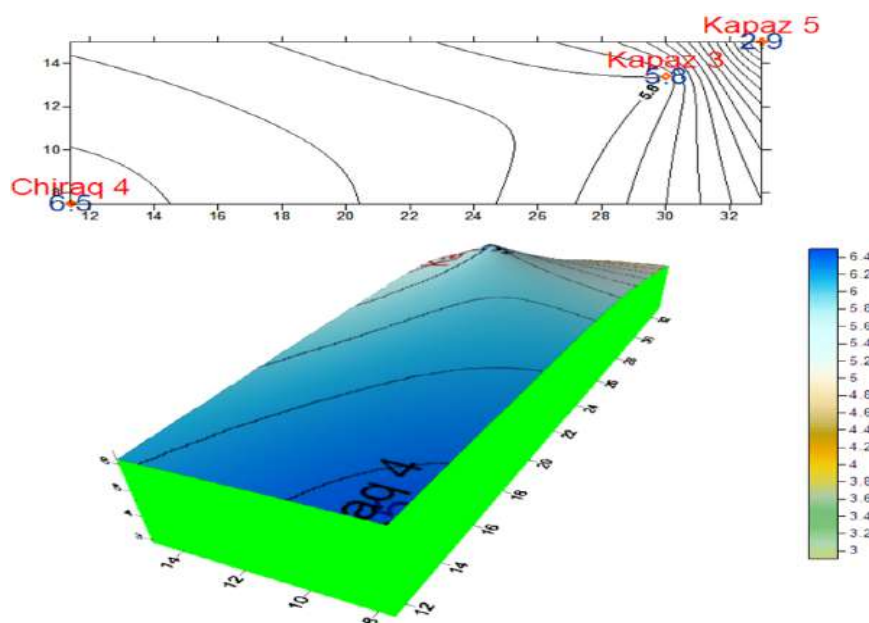


Рис. 3. 2D и 3D модели истинного удельного сопротивления пластов, выделенных в свите Фасиля в разрезе скважин Кяпяз 3, Кяпяз 5 и Чираг 4

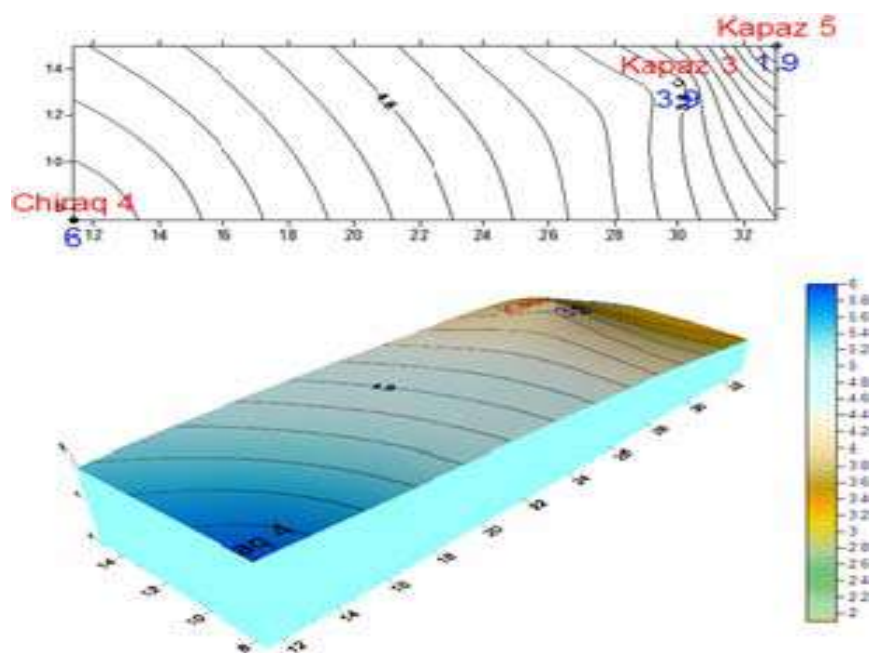


Рис. 4. 2D и 3D модели истинного удельного сопротивления пластов, выделенных в свите НКП в разрезах скважин Кяяз 3, Кяяз 5 и Чираг 4

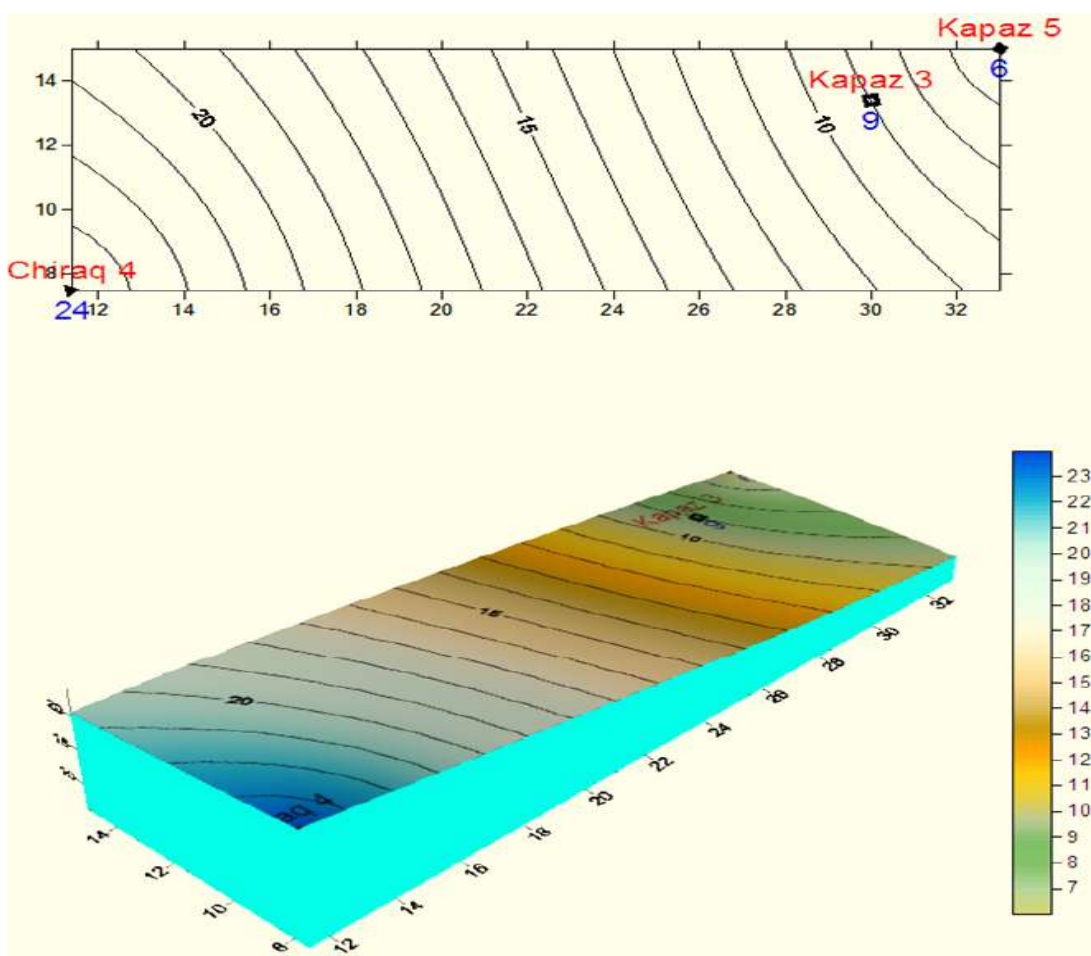


Рис. 5. 2D и 3D модели удельного сопротивления зоны проводимости в пластах свиты Фасиля, выделенных в разрезах скважин Кяяз 3, Кяяз 5 и Чираг 4

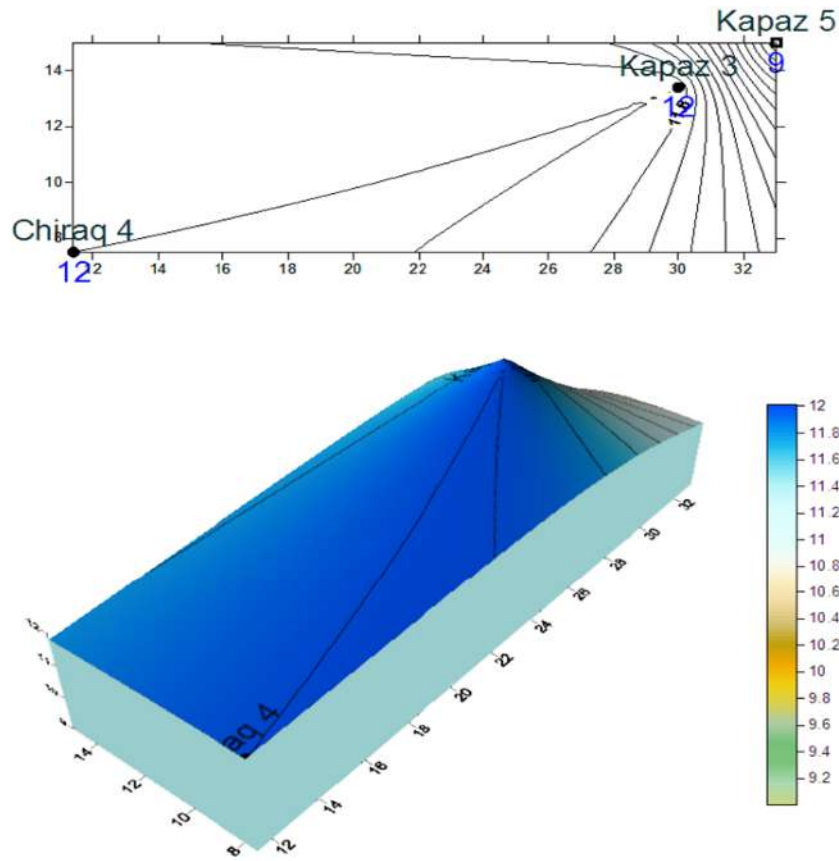


Рис. 6. 2D и 3D модели удельного сопротивления зоны проводимости в пластах свиты НКП, выделенных в разрезах скважин Кяяз 3, Кяяз 5 и Чираг 4

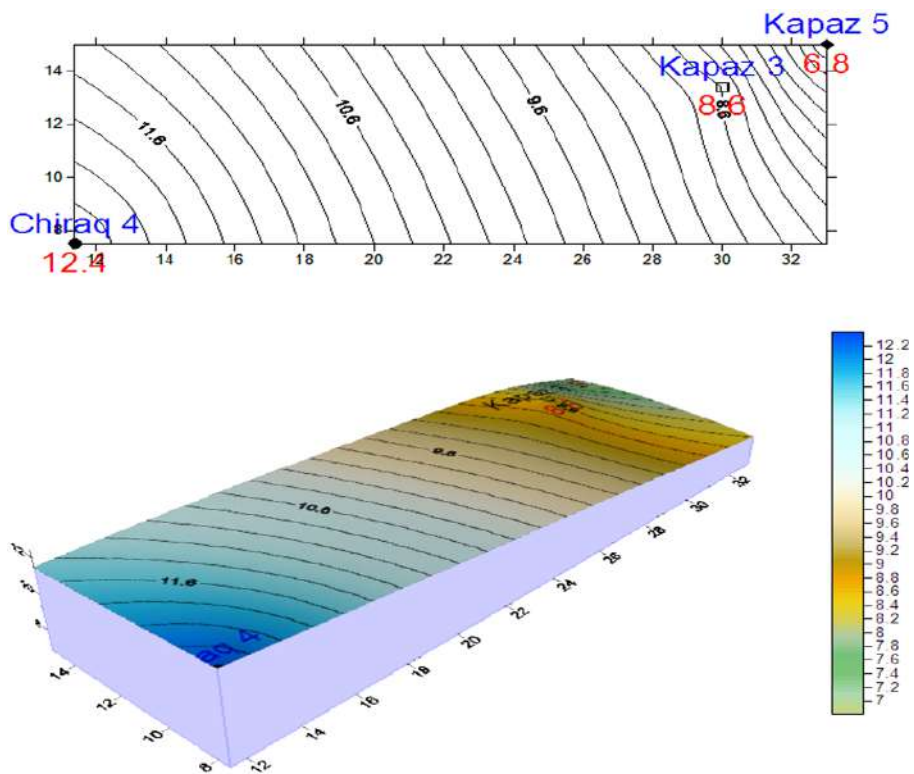


Рис. 7. 2D и 3D модели диаметра зоны проницаемости в пластах свиты Фасиля, выделенных в разрезах скважин Кяяз 3, Кяяз 5 и Чираг 4

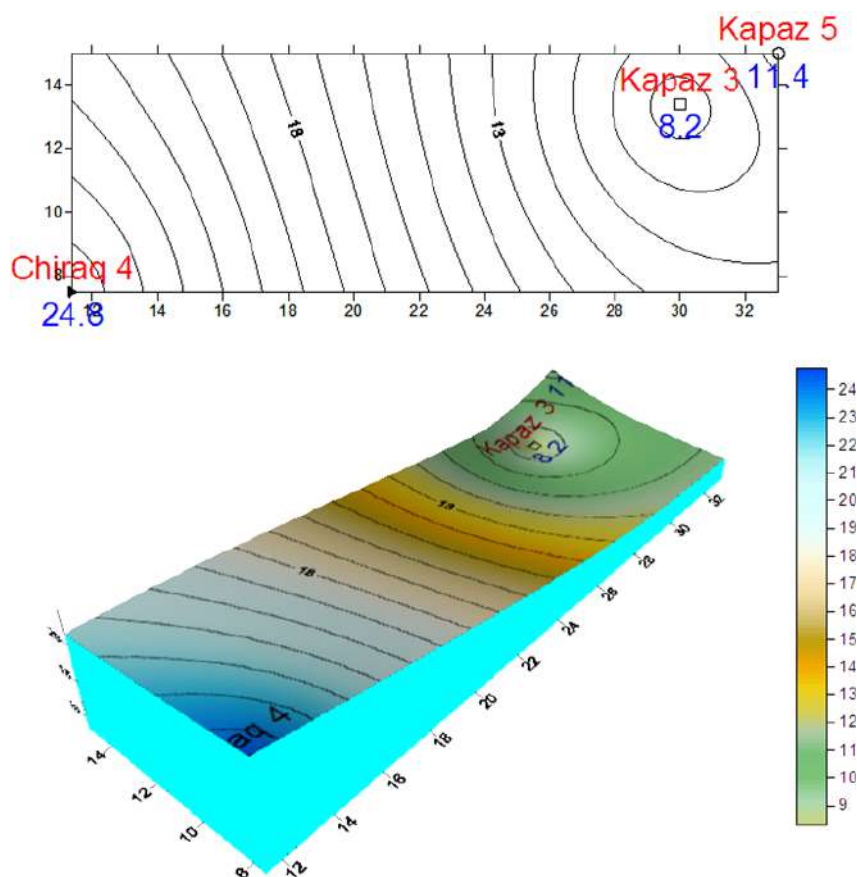


Рис. 8. 2D и 3D модели диаметра зоны проницаемости в пластах свиты «НКП», выделенных в разрезах скважин Кязь 3, Кязь 5 и Чираг 4

Таблица 5

| Интервал глубин, м | Мощность пласта, м | $\rho_{н.пл.}, \text{ Ом*м}$ | $\rho_{в.пл.}, \text{ Ом*м}$ | Q | $K_{н.г.}, \%$ | $K_{в.}, \%$ |
|--------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|------|----------------|--------------|
| 3615-3628 | 13 | 15.1 | 12.5 | 1.25 | 83 | 17 |
| 3662-3664 | 2 | 20 | 5.5 | 3.6 | 41 | 59 |
| 3671-3672 | 1 | 16.6 | 13 | 1.27 | 81 | 19 |
| 3658-3661 | 3 | 19 | 13 | 1.5 | 72 | 28 |

ВЫВОДЫ

На основе совместного применения методов бокового каротажного зондирования (БКЗ) и бокового каротажа (БК) было определено наличие зоны проницаемости против пласта-коллектора. Были определены: истинное удельное сопротивление пластов содержащих зоны проницаемости, удельное сопротивление и диаметр зоны проницаемости, и был дан прогноз продуктивности этих пластов.

Одновременно с применением данных бокового каротажа была проведена оценка нефтена-

сыщенности пластов, и из 6-ти исследованных коллекторских пластов 4 оцениваются как водонасыщенные, а 2 пласта – как нефтенасыщенные.

В рамках данной исследовательской работы были также построены 2D и 3D модели распределения значений истинного удельного сопротивления пластов, удельного сопротивления зоны проницаемости и диаметра зоны проницаемости по разрезам скважин, пробуренных на структурах Кязь и Чираг.

ЛИТЕРАТУРА

- Добрынин В.М. (под ред.). Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин. Справочник. Недра. Москва, 1988, 476 с.
- Kərimova K.Ə. Quyu məlumatlarının kompleks interpretasiyası. Metodik vəsait. Bakı, 2014, 86 s.
- Məmmədov N.V., İsmayılov Ə.K. Quyuların geofiziki tədqiqat üsulları (elektrik karotaj). Dərs vəsaiti. Bakı, 2007, 175 s.
- Məmmədov N.V. Quyuların geofiziki tədqiqat üsulları. Bakı, 2010, 145 s.
- Məmmədov N.V., İsmayılov Ə.K. Quyuların birbaşa üsullarla geofiziki tədqiqatı. Bakı, 2003, 128 s.
- Pəşayev N.V. Quyuların geofiziki tədqiqat məlumatlarının emal və interpretasiyası. Bakı, 2010, 280 s.

REFERENCES

- Dobrynin V.M. (ed.). Interpretation of results of oil and gas wells geophysical studies. Handbook. Nedra. Moscow, 1988, 476 s.
- Karimova K.A. Integrated interpretation of well data. Textbook. Bakı, 2014, 86 p. (in Azerbaijani).
- Mammadov N.V., Ismailov A.K. Geophysical well survey methods (electric logging). Bakı, 2007, 175 p. (in Azerbaijani).
- Mammadov N.V. Geophysical well survey methods. Bakı, 2010, 145 p. (in Azerbaijani).
- Mammadov N.V., Ismailov A.K. Geophysical surveys of wells by direct methods Bakı, 2003, 128 p. (in Azerbaijani).
- Pashayev N.V. Processing and interpretation of geophysical well data. Textbook, Bakı, 2010, 280 p. (in Azerbaijani).

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЕНАСЫЩЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

Керимова К.А.

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Азербайджан
AZ1010, г.Баку, Просп.Азадлыг,20*

Резюме. Оценка производительности пластов-коллекторов является одной из важных проблем, сохраняющих свою актуальность во все времена. При оценке продуктивности пластов-коллекторов используется ряд промыслово-геофизических методов, одними из которых являются боковое каротажное зондирование и боковой каротаж.

В статье были рассмотрены вопросы оценки производительности пластов-коллекторов с использованием методов бокового каротажного зондирования и бокового каротажа.

Говоря об изменениях, происходящих в пласте, имеется в виду возникновение зоны проницаемости и значение удельного сопротивления в данной зоне (р_{з.про.}), а также определение диаметра (D) зоны проницаемости.

Выяснив наличие или отсутствие зоны проницаемости против пластов-коллекторов по площади исследования на основе совместного применения методов бокового каротажного зондирования и бокового каротажа, были определены истинные удельные сопротивления пластов, являющихся зоной проникновения, удельное сопротивление и диаметр зоны проникновения. В результате был дан прогноз продуктивности этих пластов. В то же время были построены 2D и 3D модели распределения значений истинных удельных сопротивлений пластов, являющихся зоной проникновения, удельных сопротивлений и диаметра зоны проникновения по разрезу скважин структур Кяпяз и Чираг.

В качестве объекта исследования были выбраны осадочные серии свиты Фасила (Перерыва) и Надкирмакинской песчаной (НКП) по разрезам скважин, пробуренных на структурах Чираг и Кяпяз Южно-Каспийского бассейна.

Исследовательская работа была проведена на основе геофизических характеристик, полученных в разрезе скважин № 3 и № 5 на структуре Кяпяз и скважины № 4, пробуренной на структуре Чираг, расположенных в Абшерон-Прибалханской тектонической зоне.

Ключевые слова: пласт-коллектор, боковое каротажное зондирование, боковой каротаж, удельное сопротивление зоны проницаемости, диаметр зоны проницаемости, истинное удельное сопротивление пласта, градиент-зонд

KOLLEKTORLARIN NEFT DOYUMLULUĞUNUN ELEKTRİK KAROTAJI ÜSULU İLƏ PROQNOZ EDİLMƏSİ

Kərimova K.Ə.

*Azərbaycan Dövlət Nefti və Sənaye Universiteti, Azərbaycan
AZ1010, Bakı şəh., Azadlıq pros., 20*

Xülasə. Kollektor layların məhsuldarlığının qiymətləndirilməsi hər zaman aktuallığını qoruyub saxlayan vacib məsələlərdəndir. Kollektorların məhsuldarlığının qiymətləndirilməsində bir sıra mədən geofiziki üsullardan istifadə edilir ki, bu üsullardan biri də elektrik karotajının yan karotajı zondlaması və yan karotajı üsuludur.

Məqalədə yan karotaj zondlaması və yan karotajı üsullarından istifadə etməklə kollektor layların məhsuldarlığının qiymətləndirilməsi məsələsinə baxılmışdır.

Məlum olduğu kimi yan karotajı zondlaması məlumatlarının interpretasiyasının nəticəsinə görə layda baş verən dəyişikliklər öyrənilir. Layda baş verən dəyişikliklər dedikdə keçirmə zonasının yaranması və bu zonanın xüsusi müqaviməti (ρ_{nz}), eləcə də keçirmə zonasının diametrinin (D) təyini nəzərdə tutulur.

Yan karotaj zondlaması və Yan karotajı üsullarının birgə tətbiqinə əsasən tədqiqat sahəsi üzrə kollektor lay qarşısında keçirmə zonasının olub olmaması müəyyən edilərək, keçirmə zonası olan layların həqiqi xüsusi müqaviməti, keçirmə zonasının xüsusi müqaviməti, keçirmə zonasının diametri təyin edilərək həmin layların məhsuldarlığı proqnoz edilmişdir. Eyni zamanda keçirmə zonası olan layların həqiqi xüsusi müqavimətinin, keçirmə zonasının xüsusi müqavimətinin, keçirmə zonasının diametrinin qiymətlərinin Kəpəz və Çırağ strukturlarının quyu kəsilişləri üzrə paylanması 2D və 3D modelləri qurulmuşdur.

Tədqiqat obyektini kimi Cənubi Xəzər çökəkliyinin Çırağ və Kəpəz strukturlarının quyu kəsilişləri üzrə "Fasilə" və "Qırmakiüstü qumlu (QÜQ)" lay dəstələri götürülmüşdür. Tədqiqat işi Abşeron Balxanyanı tektonik zonasından götürülmüş Kəpəz strukturunun 3, 5 saylı və Çırağ strukturunun 4 saylı quyu kəsilişlərinin geofiziki xarakteristikləri əsasında aparılmışdır.

Açar sözlər: kollektor laylar, yan karotaj zondlaması, yan karotajı, keçirmə zonasının xüsusi müqaviməti, keçirmə zonasının diametri, layın həqiqi xüsusi müqaviməti, qradient zond

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE GADABAY INTRUSION COMPLEX IN THE STUDY OF MAGMA EVOLUTION AND TECTONIC PATTERN OF THE REGION (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN TERRITORY)

Abbasov K.F.

*Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan,
Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan
119, H.Javid Ave., Baku, AZ1143: kenan.abbasov@gmail.com*

Keywords: *Gadabay intrusion, REE elements, iron group elements, trace elements, classification diagrams, lithospheric mantle, partial melting, composition of primitive melts*

Summary. The Gadabay intrusion complex which is located within the Lok-Garabakh structural-formation zone of the Lesser Caucasus is formed in two magmatic phases – gabbroid and granitic. Quartz diorites as the second phase are the most widespread rocks of the intrusion complex. Alkaline rocks such as monzodiorites and monzonites with limited distribution in the region are considered as a branch of the second phase. However, the results of ilmenite-titanomagnetite geothermometry show equal and higher crystallization temperatures of these alkaline rocks. Despite the detailed petrographic and field studies, the source of magmatic melts that formed the intrusion is not deeply studied. And trace element composition of rocks of Gadabay intrusion complex is worth to be investigated. Furthermore, distribution of trace elements in certain minerals can also be considered as a valuable information source. Distribution of Fe group elements (Ni, Cr, V, Co), alkaline earth elements (Sr, Ba), and rare earth elements (in the rocks of Gadabay intrusion complex is controlled by fractional crystallization. Hence, concentration of coherent elements and heavy rare earth elements decrease towards more evolved rock types, whereas concentration of incoherent elements and light rare earth elements increase. Next fact is that Gadabay intrusion complex has been formed within calc-alkaline magma series and primitive melt was formed as a result of partial melting of an enriched mantle substrate which is proved by diagrams composed base on trace elements' ratios.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The behavior of trace elements in magmatic systems can provide highly valuable information about the origin of the rocks and processes they underwent during their evolution (Belousova et al., 2010; Béguelin et al., 2019; Rollinson, 2021). That's why the study of trace elements patterns is very important in petrological research works.

REE normalized spider diagrams show the degree of fractionation and provide an opinion on either enrichment or depletion of studied rocks comparing with standards such as C1 chondrite, MORB, OIB, etc. (Bedard, 2014; Barrat et al., 2012; Sun, McDonough, 1989). As well as, Eu/Eu* ratio shows the nature of magmatic melt sources (Имамвердиев, 2000; Rollinson, 2021). Th/Yb vs. Ta/Yb diagram distinguishes the rocks belonging to different magmatic series and identifies the source origin (Acosta-Vigil et al., 2017; Rollinson, 2021; Садыхов, 2019). Distribution of especially Fe group elements in minerals shows the direction of fractional crystallization (Agrawal et al., 2004).

In this paper the results of the analyses of available samples have been used to obtain information on aforementioned points.

Geology and petrography

The Lok-Garabakh zone with Gadabay intrusion complex is situated in the central part of the Mediterranean folding belt (Панов, 2013; Садыхов, 2019). In more local scale, the intrusion is within the Caucasus-Zagros segment of the belt and is formed as a result of the northern subduction of the Mesotethys ocean (Адамия и др., 1977; Панов, 2013; Рустамов, 2019). The intrusion has been formed during upper Jurassic-lower Cretaceous age (Абдуллаев и др., 1979; Абдуллаев, 1963; Мустафаев, 1977), with determined absolute age of 144-159 Ma (Садыхов, 2019).

The Gadabay-Soyudlu intrusion is divided into two phases based on its geological and petrological features: 1) gabbro and 2) quartz-diorite (Керимов, 1963; Mammadov et al., 2021). Subvolcanic rocks of both

phases have been determined in the field observations (Fig.1). Furthermore, melts of quartz-diorite phase have separated into quartz-diorite, granodiorite – normal granite, tonalite-banaitite – granitic pegmatite, monzodiorite-monzonite-syenite facies as a result of quantitative behavior of rock forming components in minerals through the evolution of the melt. The transition of facies from one to another is gradual (Mammadov et al., 2021). Bulk chemical composition and TAS diagram (Middlemost, 1994) of the rocks are shown in Table 1 and Fig. 2 respectively. As shown in the diagram, the gradual change in the composition of the rocks proves the evolutionary pattern from gabbro toward the granitic rocks. However, there is an obvious break in the trend lines between the rocks of I and II phases. Subalkaline rocks are separated from general direction of the trend lines and are located above their junction. The point merits a mention that biotite-quartz bearing gabbro lies in monzodiorite field. The reason for this exception is high concentration of potassium in the related rock type which can be explained with the presence of biotite in the rock.

The derivatives of the first phase are located in the central part of Gadabay-Soyudlu intrusion and the colour changes from dark black in the center to grey, greyish colours in the periphery (Керимов, 1963; Маммадов et al., 2021). There is a thermal contact between this and quartz-diorite phases (Керимов, 1963). The primitive derivatives of the first phase are considered to be dark black, coarse grained, phaneritic gabbro. These rocks are characterized by gabbro, gabbro-ophitic textures under the microscope. Idiomorphic olivine grains are presented in the rock in quiet large amount (3-6%) and in the form of characteristic loop shaped crystallites. The next or the first crystalline phase of crystallization sequence is plagioclase. In most cases, it makes intergrowth with hypersthene in an amount of 4-5%. Hypersthene is characterized with low Ca concentration. Plagioclases of labradorite-bytownite composition dominate (50-70%) in olivine bearing gabbro and gabbro-norite. They exist in two generations. The first one forms short poly-synthetic prismatic grains and has been exposed to alteration processes in varying degrees. The second phase is unaltered and dominates in the rock. Clinopyroxene dominates over orthopyroxene. According to optical features ($N_g=1.72$, $N_p=1.694$, $2V=54-56^\circ$) this is augite. Besides the described minerals, Cr bearing magnetite, average Ti bearing magnetite and apatite occur in a confined amount (1-2 %) (Kerimov, 1963).

The described rocks are replaced by macroscopically dark grey normal gabbro with the gradual transition. Under the microscope the texture of these rocks is phaneritic, gabbro ophitic. Olivine does not occur in the mineralogical composition of the rock. The amount of ortho- and clinopyroxene decreases

greatly in the rock corresponding to general differentiation. In turn, the amount of plagioclase of labradorite composition increases slightly. Besides, the average of Ti bearing magnetite increases in the rock and it forms an intergrowth with clinopyroxene. Finally, leucogabbro as an ultimate derivative of the first phase has been crystallized from the residual melt. This phaneritic rock is distinguished by having macroscopically grey colour and dominance of prismatic polysynthetic plagioclase of silica enriched labradorite and andesine. Besides the ortho- and clinopyroxene in confined amount, partly uraltized hornblende occurs in the rock. Both unaltered average of Ti bearing magnetite and secondary magnetite are observed in the rock. Quartz grains are present interstitially among plagioclase grains in confined amount (Керимов, 1963).

Indeed, the derivatives of the first phase are formed by the control of the fractional crystallization from petrochemical point of view. Since, olivine, pyroxene, Cr spinel, average Ti bearing magnetite, etc. minerals as concentrators of iron group elements (Fe, Ti, Cr, Ni, Co, V, etc.) have been settled down in the intrusive camera (Mammadov et al., 2021). As a result of this process the concentration of aforementioned elements in the residual melt decreases, hence the concentration of minerals containing these elements decreases in the subsequent rocks. So, in the rocks such as gabbro and leucogabbro aforementioned minerals are not observed. However instead of them, mainly hornblende, uraltite, andesine, labradorite and in confined amounts biotite and quartz are present in the rocks. Besides of them, the amount of ortho- and clinopyroxene decreases in the rocks. Uralite and sometimes epidote alteration over pyroxene and epidote, chlorite alteration over plagioclase are observed in the normal gabbro and leucogabbro. Formless quartz grains fill cavities among plagioclase ones.

Dolerite and kersantite dikes of the first phase cutting the parental rocks in different directions are found in the areas where gabbroid rocks are spread. The thickness of these dikes reaches 2-4 meters. They have characteristic micro-gabbro texture and in addition to ortho- and clinopyroxenes in confined amount contain hornblende, biotite and plagioclase of labradorite-andesine composition (Kerimov, 1963).

As we mentioned before, the second phase of the intrusion is quartz diorite. The rocks of this phase are macroscopically in grey, light grey colours. Transparent quartz grains and in confined amount narrow, elongated amphibole grains are distinguishable in the light background colour. However, straw yellow biotite grains are observed in some rock species of the phase. It must be noted that the

rocks of the quartz diorite phase are the most common rocks in the area. Xenoliths of the gabbroid phase with the thermal fringe and in different sizes are presented within the second phase rocks. Dike rocks of the quartz diorite phase cut through both their parental rocks and the rocks of the gabbroid

phase. Based on petrographic, petrochemical and mineralogical studies quartz diorite-granodiorite-granite pegmatite, quartz diorite-tonalite-banatite and quartz diorite-monzodiorite-monzonite-syenite facies are separated within the quartz diorite phase (Kerimov, 1963).

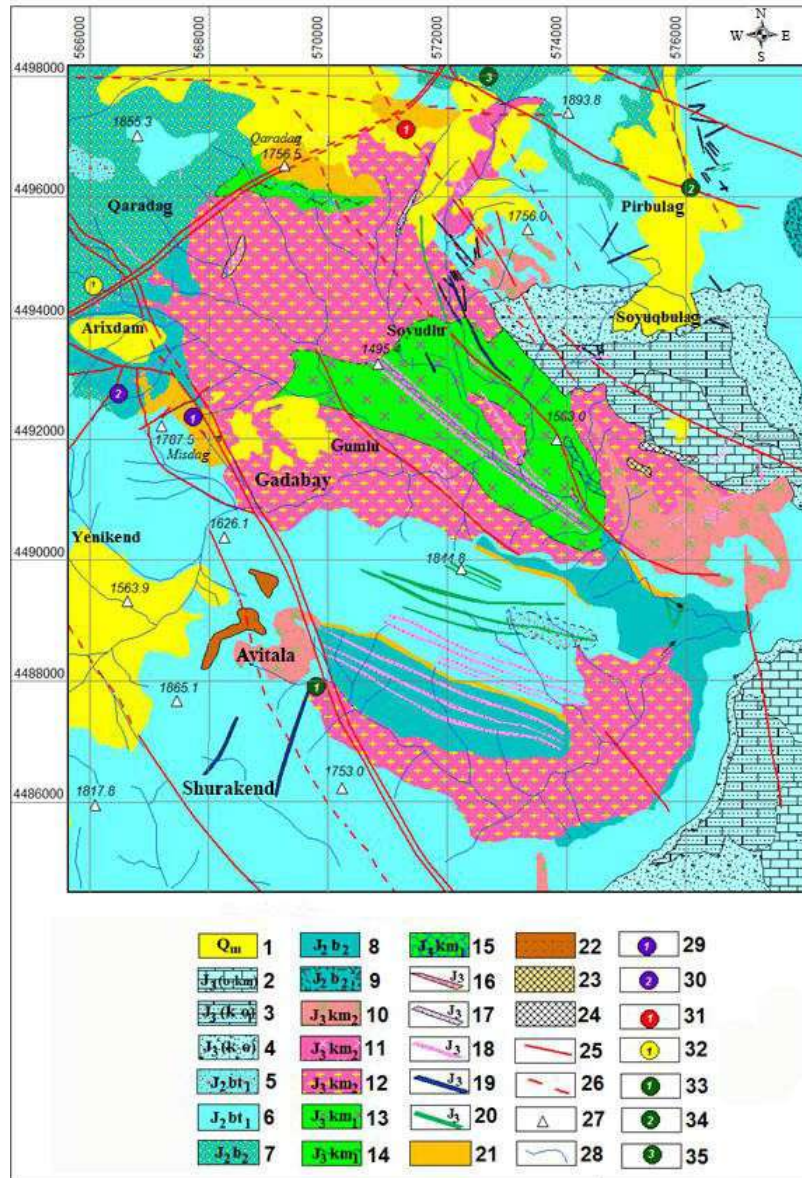


Fig. 1. Lithological-structural map of the south-eastern part of the Gadabay ore region. (Part of map composed by Azerbaijan Mining Company)

Legend: 1 – Quaternary sediments; 2 – Limestone layer (Lusitanian): alternation of limestones with limestones and tuff-sandstones; 3 – Upper tuff-conglomerate layer: tuff-sandstones, alternation of tuffs and limestones, sandy limestones and sandstones; 4 – Lower tuff-conglomerate layer: tuff-conglomerates, tuff-breccias, tuff sandstones; 5 – Metamorphically altered tuffs; 6. Bathonian sub-volcanic layer: tuff-breccias containing tuff, tuff-conglomerates; 7 – Upper Bajocian stratum: rhyolite-riodacitic lava facies; 8 – Lower Bajocian volcanic layer: andesitic lava facies; 9 – Lower Bajocian stratum: pyroclastic facies of tuff-breccia and andesite porphyries; 10 – Gara-gaya-Garamurad hypabyssal sub-intrusion: diorite, keratospilit; 11 – The second phase of Gadabay intrusion: diorites; 12 – The second phase of Gadabay intrusion: granodiorites, quartz diorites, diorite-syenites, diorites; 13 – The first phase of Gadabay intrusion: gabbro-diorites, gabbro; 14 – The first phase of Gadabay intrusion: gabbro-norites, gabbro; 15 – The first phase of Gadabay intrusion: gabbro-pyroxenites; 16 – Syenite-diorite dykes; 17 – Aplite dyke, 18 – Quartz-diorite dyke; 19 – Andesite dykes; 20 – Diabase dykes; 21 – Metasomatites; 22 – Greisenization (metasomatic quartzites with tourmaline); 23 – Skarns (garnet-vollastanite-calcite facies); 24 – Skarns (carbonate-epidote facies); 25 – Faults; 26 – Presumed faults; 27 – Altitude references, 28 – Rivers; 29 – Gadabay deposit; 30 – Gadir mineralization area; 31 – Great Galacha copper-porphyry ore manifestation; 32 – Cholpan sulfur-pyrite ore manifestation; 33 – Ayitala copper-pyrite ore manifestation; 34 – Pirbulag copper-pyrite ore manifestation; 35. Parakand-su copper-pyrite ore manifestation.

Table 1

Bulk chemical analyses of Gadabay intrusion rocks

| Oxides Samples | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | LOI | Σ |
|-------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|--------|
| 1 | 49.54 | 0.47 | 18.21 | 4.36 | 5.75 | 0.18 | 5.75 | 9.75 | 3.26 | 0.23 | 0.16 | 2.3 | 99.96 |
| 2 | 49.67 | 0.51 | 19.21 | 3.75 | 5.38 | 0.16 | 5.82 | 8.67 | 3.16 | 0.21 | 0.15 | 2.75 | 99.44 |
| 3 | 47.2 | 0.64 | 12.46 | 5.86 | 11.74 | 0.16 | 7.86 | 10.21 | 1.78 | 0.84 | 0.14 | 1.05 | 99.94 |
| 4 | 48.1 | 0.58 | 11.76 | 6.51 | 10.46 | 0.14 | 7.25 | 9.82 | 1.64 | 0.84 | 0.12 | 2.4 | 99.62 |
| 5 | 49.46 | 0.48 | 18.75 | 3.31 | 5.86 | 0.16 | 6.36 | 9.21 | 3.42 | 0.06 | 0.14 | 2.8 | 100.01 |
| 6 | 50.43 | 0.49 | 18.82 | 3.62 | 5.38 | 0.14 | 5.51 | 10.21 | 2.75 | 0.09 | 0.16 | 2.2 | 99.8 |
| 7 | 48.64 | 0.64 | 18.64 | 3.26 | 5.46 | 0.16 | 6.42 | 9.66 | 3.22 | 0.38 | 0.14 | 2.855 | 99.48 |
| 8 | 51.75 | 0.46 | 19.31 | 2.75 | 4.56 | 0.16 | 4.66 | 7.41 | 4.21 | 1.75 | 0.11 | 2.46 | 99.59 |
| 9 | 52.25 | 0.12 | 19.36 | 4.75 | 4.21 | 0.11 | 3.26 | 8.36 | 3.75 | 0.75 | 0.11 | 2.78 | 99.81 |
| 10 | 58.75 | 0.36 | 16.64 | 3.28 | 4.76 | 0.16 | 3.82 | 6.42 | 3.78 | 0.42 | 0.11 | 1.43 | 99.93 |
| 11 | 59.42 | 0.38 | 17.46 | 3.22 | 4.5 | 0.16 | 3.28 | 5.34 | 4.46 | 0.33 | 0.12 | 1.24 | 99.91 |
| 12 | 60.41 | 0.11 | 17.43 | 2.75 | 3.52 | 0.11 | 3.39 | 6.6 | 3.42 | 0.75 | 0.1 | 1.2 | 99.79 |
| 13 | 61.33 | 0.41 | 14.94 | 6.96 | - | 0.01 | 4.06 | 2.76 | 6.78 | 1.12 | 0.15 | 1.23 | 99.75 |
| 14 | 52.73 | 0.67 | 19.55 | 3.21 | 3.27 | 0.01 | 4.76 | 8.7 | 4.42 | 0.47 | 0.01 | 1.87 | 99.67 |
| 15 | 65.77 | 0.38 | 14.38 | 3.28 | - | 0.11 | 2.63 | 4.04 | 5.03 | 2.36 | 0.06 | 1.56 | 99.6 |
| 16 | 67.85 | 0.41 | 14.54 | 1.96 | 2.38 | 0.02 | 2.24 | 2.31 | 5.11 | 1.54 | 0.16 | 1.33 | 99.85 |
| 17 | 63.51 | 0.16 | 15.26 | 3.23 | 5.36 | 0.12 | 2.12 | 5.16 | 2.38 | 1.1 | 0.16 | 1.39 | 99.95 |
| 18 | 63.8 | 0.11 | 16.18 | 2.23 | 4.4 | 0.12 | 2.46 | 4.25 | 2.36 | 2.38 | 0.12 | 1.53 | 99.94 |
| 19 | 49.35 | 0.64 | 16.23 | 3.26 | 7.56 | 0.24 | 6.73 | 9.92 | 3.4 | 0.76 | 0.2 | 1.48 | 99.77 |
| 20 | 60.54 | 0.54 | 16.32 | 3.44 | 3.45 | 0.09 | 3.06 | 5.8 | 3.82 | 1.56 | 0.06 | 0.52 | 99.14 |
| 21 | 60.3 | 0.28 | 16.14 | 3.24 | 4.32 | 0.12 | 3.37 | 5.6 | 3.86 | 1.64 | 0.07 | 0.68 | 99.62 |
| 22 | 60.25 | 0.28 | 15.28 | 2.74 | 3.75 | 0.12 | 3.42 | 5.61 | 3.86 | 2.75 | 0.09 | 1.38 | 99.53 |
| 23 | 55.64 | 0.29 | 16.75 | 2.64 | 3.84 | 0.09 | 3.32 | 5.81 | 4.76 | 3.68 | 0.16 | 2.42 | 99.4 |
| 24 | 56.58 | 0.72 | 17.65 | 2.38 | 3.48 | 0.14 | 2.98 | 5.86 | 4.1 | 3.38 | 0.26 | 1.85 | 99.38 |
| 25 | 57.1 | 0.64 | 16.48 | 2.56 | 3.75 | 0.14 | 4.21 | 5.34 | 3.36 | 4.28 | 0.28 | 1.38 | 99.52 |
| 26 | 74.23 | 0.04 | 10.74 | 0.36 | 2.21 | 0.06 | 0.75 | 1.46 | 5.38 | 2.75 | 0.04 | 1.4 | 99.42 |
| 27 | 49.56 | 0.75 | 18.56 | 4.75 | 5.36 | 0.12 | 6.6 | 8.75 | 2.37 | 0.81 | 0.16 | 1.82 | 99.61 |
| 28 | 50.74 | 0.46 | 18.65 | 4.8 | 5.64 | 0.14 | 6.14 | 8.42 | 2.2 | 0.42 | 0.21 | 1.89 | 99.71 |
| 29 | 56.48 | 0.15 | 18.16 | 3.36 | 4.86 | 0.14 | 4.2 | 7.54 | 2.12 | 1.54 | 0.07 | 1.32 | 99.94 |
| 30 | 70.5 | 0.04 | 12.16 | 1.28 | 1.64 | 0.04 | 1.38 | 2.94 | 4.29 | 3.54 | 0.04 | 1.54 | 99.39 |

Names of rocks: 1,2,5,6 – gabbro; 3,4 – pyroxenite; 7,19 – gabbro; 8 – biotite-quartz bearing gabbro; 9 – gabbro; 10,11,14 – diorite; 12,13,20,21 – quartz diorite; 15,16 – granodiorite; 17 – tonalite; 18 – banatite; 22-25 – quartz monzonite; 26 – granite pegmatite; 27,28 – diabase; 29 – diorite dike; 30 – aplite dike

Quartz diorite facies rocks are the most spread rock types comparing to other facies. Rocks of this facies as mentioned before are normal diorite, quartz diorite, granodiorite, normal granite and granite-pegmatite. Plagioclases of andesine-labradorite as main mineral composition of normal diorite and quartz diorite are more idiomorphic than pyroxenes and they form prismatic polysynthetic twinnings. The amount of pyroxenes gradually decreases in the rocks

starting from normal diorites toward to granites through quartz diorite and granodiorite. In granites they occur as single grains. The amount of quartz intensely increases in the listed sequence. Dusky grey and xenomorphic orthoclase grains appear in granites and granite-pegmatites. In addition to the aforementioned rock forming minerals, confined amount of hornblende, pargasite also present in quartz diorites, granodiorites and granites (Керимов, 1963).

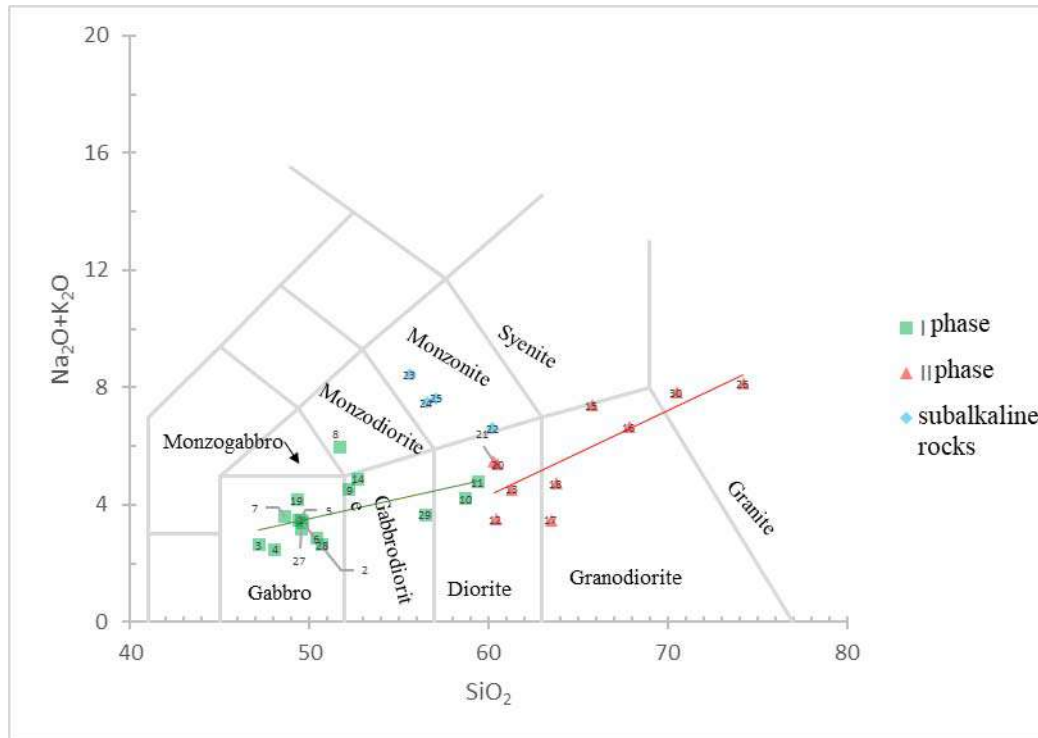


Fig. 2. TAS diagram for Gadabay intrusion rocks (Middlemost, 1994)

Banatite-tonalite rocks gradually path into quartz diorites. The amount of quartz decreases in tonalites and alkali feldspars occur as single grains. However, in tonalites the amount of alkali feldspars partially increases beside the quartz.

Monzodiorites, monzonites and the quartz bearing analogues occur in the area in quite less amount comparing to quartz diorites. Macroscopically these rocks are in pinkish grey colour and are represented by relatively large grains. Mineralogical compositions of the rocks consist of labradorite (An_{51-60}), transitional orthoclase, quartz, hornblende, biotite and average Ti bearing magnetite. Confined amount of augite grains occur beside the listed minerals.

Summarizing, the second phase of the intrusion includes mainly rock types such as diorite-quartz diorite-granodiorite-granite and to some degree granite pegmatite. However, among the main rock types confined amount of tonalite-banatite and monzodiorite-monzonite-syenite also occurs (Керимов, 1963).

Samples and analytical method

We possess results of trace elements analyses of eight samples which have been used in the paper. Trace element concentrations in minerals are also primary important in petrogenetic researches (Bédard, 2014). Hence, the results of trace element (Ni, Co, Cr, V, Ba, Sr) analyses of minerals

of six samples have been used, besides to rectify and enhance the interpretation eight rock samples also were studied. Four samples (1,2,3,4) belong to the rocks of the first phase and the other four ones (5,6,7,8) to the second phase. However, Sample 4 on composition is close to the rocks of the second phase because it is the latest rock type of the first phase (Mammadov et al., 2021). The results of analyses are from Prof. Musa Mammadov's data collection. Analyses of rock and monomineralic samples for trace elements have been run by neutron activation method in the laboratory of the Bronnitsa Geological and Geochemical Expedition of the IMGRE (Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystallochemistry of Trace Elements).

Discussion

Discrimination diagrams for tectonic environments

Discrimination diagrams based on couple of trace elements or trace elements ratios are widely used to identify tectonic environments where rocks are formed (Rollinson, 2021). For rocks of Gadabay intrusion the most suitable discriminant diagrams can be considered to be $\text{Zr}/\text{Y}-\text{Zr}$, $\text{Th}/\text{Y}-\text{Ta}/\text{Yb}$, $\text{Nb}-\text{Y}$ and $\text{Th}-\text{Yb}$ diagrams from which first two ones are suitable for mafic rocks and the latter two ones – for more evolved quartz bearing rocks (Pearce et al., 1979).

Table 2

Concentration of trace elements (in ppm) of Gadabay intrusion rocks

| Elements | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rb | 0.86 | 4.5 | 8.6 | 10.7 | 8.21 | 12.71 | 12.14 | 18.16 |
| Sr | 111 | 250 | 200 | 178.4 | 760 | 760 | 839 | 314.1 |
| Y | 9.2 | 7.2 | 7.8 | 9.2 | 8.8 | 7.4 | 12.4 | 10 |
| Zr | 40.2 | 45.4 | 50.8 | 61.4 | 94 | 90 | 116.4 | 131.1 |
| Nb | 3.2 | 3.4 | 3.8 | 4.2 | 3.6 | 7.2 | 4.8 | 6.3 |
| Ba | 20.6 | 90.7 | 114.3 | 230.4 | 154 | 400 | 239 | 182.2 |
| Hf | 7.6 | 7.5 | 7.8 | 8.2 | 2.14 | 2.39 | 3.24 | 3.29 |
| Ta | 0.64 | 0.66 | 0.82 | 0.84 | 0.22 | 0.46 | 0.4 | 0.6 |
| Pb | 2.63 | 2.2 | 2.1 | 2.4 | 2.6 | 12.16 | 3.19 | 1.74 |
| Th | 1.73 | 1.72 | 1.82 | 1.84 | 0.82 | 2.73 | 3.6 | 4.5 |
| U | 0.67 | 0.68 | 0.7 | 0.8 | 0.29 | 1.52 | 0.6 | 2.34 |
| V | 318 | 314 | 210 | 180.4 | 64 | 68.1 | 92.4 | 38.4 |
| Cr | 815 | 388 | 250 | 170.4 | 62 | 136.4 | 70.2 | 90 |
| Co | 58.1 | 45.4 | 41.2 | 25.4 | 16.2 | 11.2 | 15.2 | 6.8 |
| Ni | 123 | 98.2 | 60.2 | 30.4 | 25.12 | 12.4 | 12.2 | 15.4 |
| Cu | 94.1 | 100 | 120 | 180 | 3.72 | 13.0 | 12.1 | 25.7 |
| Zn | 111 | 120 | 150 | 154 | 47.0 | 46.4 | 49.8 | 14.6 |
| La | 9.3 | 11.6 | 12.5 | 12.7 | 15.7 | 16.8 | 23.2 | 25.4 |
| Ce | 18.6 | 20.7 | 20.7 | 21.4 | 32 | 35.2 | 49.2 | 45.9 |
| Pr | 2.9 | 2.9 | 2.8 | 3.2 | 4 | 4.36 | 5.82 | 5.15 |
| Nd | 11.2 | 11.4 | 11.4 | 12.4 | 16 | 17.24 | 22.4 | 19.2 |
| Sm | 2.8 | 3.0 | 3.1 | 3.3 | 3.2 | 3.16 | 4.16 | 3.21 |
| Eu | 1.0 | 0.98 | 0.98 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.2 | 0.95 |
| Gd | 3.8 | 2.1 | 2.8 | 2.6 | 2.69 | 2.4 | 3.62 | 2.6 |
| Tb | 0.76 | 0.74 | 0.78 | 0.79 | 0.4 | 0.36 | 0.5 | 0.34 |
| Dy | 2.4 | 2.3 | 2.5 | 2.8 | 1.9 | 2.42 | 2.6 | 1.78 |
| Ho | 0.91 | 0.33 | 0.34 | 0.38 | 0.4 | 0.44 | 0.52 | 0.38 |
| Er | 0.91 | 0.98 | 1.0 | 0.86 | 0.89 | 1.09 | 1.12 | 0.96 |
| Tm | 0.31 | 0.21 | 0.14 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.2 | 0.16 |
| Yb | 0.91 | 0.89 | 0.98 | 0.99 | 0.82 | 1.1 | 1.14 | 0.96 |
| Lu | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.2 | 0.14 | 0.14 | 0.2 | 0.16 |
| Cs | 0.19 | 0.2 | 0.24 | 0.18 | | | | |

Rock names: 1 – Gabbro, 2 – Gabbro, 3 – gabbrodiorite, 4 – Diorite, 5 – Quartz diorite, 6,7 – Tonalite, 8 – Granodiorite

In Fig. 3 the Zr/Y–Zr values of rocks are depicted. It can be seen that all rocks are in the continental arc zone which correspond to paleotectonic reconstruction of the region (Пусрамов, 2019) and the major element compositions of the rocks (Mammadov et al., 2021). Furthermore, despite the fact that Zr/Y–Zr diagram is good for mafic rocks, depicting of II phase rocks in the diagram shows conspicuous trendline, likely related to assimilation processes. It means that by the time passing the degree of assimilation increases, since Zr is a characteristic incompatible element and is strongly related to continental crust (Pearce et al., 1979; Rollinson, 2021).

Th/Y–Ta/Yb ratios for I phase rocks are shown in Fig. 4. This diagram is important due to its depicting of primitive melt source characteristic. Besides, it shows to which rock suites belong the considered rocks. In our case it is clear that primitive melt of gabbroid rocks is the product of the partial melting of enriched mantle which is characteristic for mantle wedge. Furthermore, rocks are representatives of calc-alkaline series which has been proved by multiple previous studies (Абдуллаев и др., 1979; Абдуллаев, 1963; Керимов, 1963; Mammadov et al., 2021; Мустафаев, 1977).

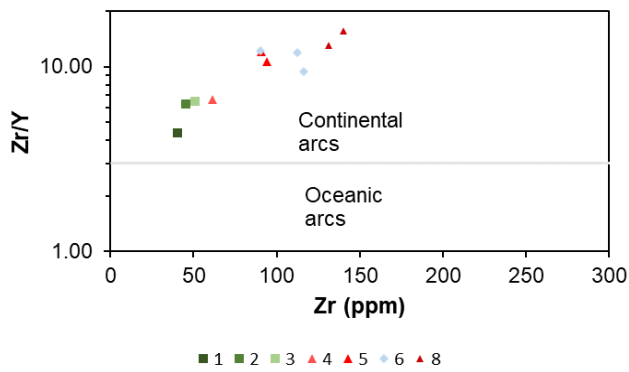


Fig. 3. Zr/Y–Zr diagram for Gadabay intrusion rocks (Pearce, 1979). Sample names are the same with Table 2

As mentioned above, Nb–Y and Th–Yb diagrams are especially useful for rocks containing quartz on the composition. In Fig. 5 and 6, relevant diagrams are composed for II phase rocks. Sample 4 is also added here due to compositional similarity to the second phase. These results are also in coherence with preceding results. Rocks lay within volcanic arc field. However, Nb–Y diagram shows syn-collisional characteristics of the rocks. Nevertheless, early collisional stage of the Lesser Caucasus has started from the late Cretaceous (Imamverdiyev et al., 2013, 2017; Русаиов, 2019).

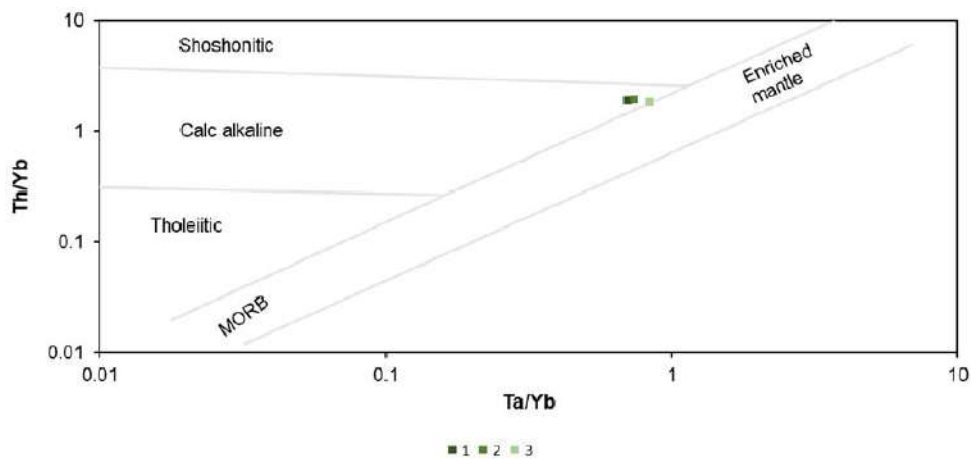


Fig. 4. Th/Y–Ta/Yb diagram for Gadabay intrusion rocks (Rollinson, 2021). Sample names are the same with Table 2

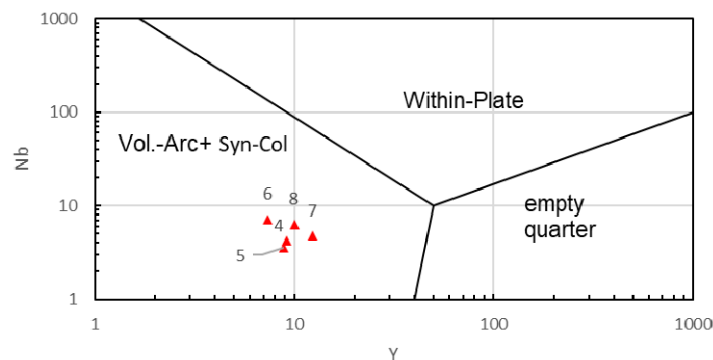


Fig. 5. Nb–Y diagram for Gadabay intrusion rocks (Rollinson, 2021). Sample names are the same with Table 2

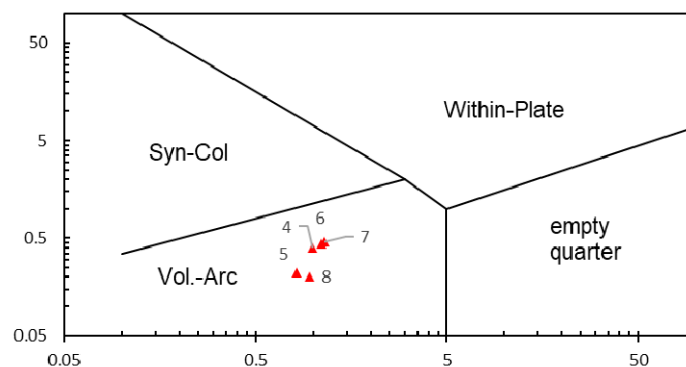


Fig. 6. Th–Yb diagram for Gadabay intrusion rocks (Rollinson, 2021). Sample names are the same with Table 2

Behavior of trace elements

Trace element concentrations of rocks of the Gadabay intrusion are presented in Table 2. As a general pattern it can be distinguished that the concentration of the main compatible elements decreases toward the more evolved rocks. And this is some kind of predictable behavior since in most intrusive magma chambers fractional crystallization is the dominating process. Furthermore, in the C1 chondrite (Sun, McDonough, 1989) normalized REE spider diagram (Fig. 7) LREE enrichment is observed, which also means the fractional crystallization process (Rollinson, 2021). However, the concentration of HREE is very close for all rocks. It can be explained by the fact that, the primitive melt producing Gadabay intrusion has been already fractionated with the accommodation of olivine and might be orthopyroxene crystallization, because gabbro-norite as the closest rock type to the primitive melt on composition has distribution coefficient K_D of 0.59 for Mg-Fe fractionation. Whereas, for unfractionated primitive melts this value must be 0.3-0.36 (Irvine, 1979). Since, fayalite component in olivine can host HREE, during the accumulation of olivine from primitive melt to produce residual melts of gabbro norites some portion of HREE could be extracted from the residual melt. The fact of olivine accumulation from the primitive mantle-derived melt is proved in author's research which has not yet been published. The result of this research shows 31.5% partial melting of metasomatized mantle peridotite with K_D value of 0.33 for Mg-Fe fractionation. Mg value of the melt is calculated to be 0.66.

In Fig. 7 comparison of REE patterns of the intrusion rocks with Normal MORB and Primitive Mantle is also presented. The LREE enrichment and HREE depletion of the rocks compared with MORB and full range of enrichment compared to Primitive mantle can

be seen here. This data can be interpreted as enriched mantle source and high volume partial melting of this source which correspond to research results.

From Fig. 7 it can be seen that, the most enrichment in LREE belongs to granodiorite, whereas the least is for gabbro-norite. The second fact deserving attention is that, there are no any Eu anomalies for rocks. This can be explained by the fact that, plagioclase is in the first crystallized mineral paragenesis and the change in plagioclase content of the rocks and Ca concentration in plagioclase occurs gradually.

In Fig. 8 more susceptible to fractionation trace elements are shown. As well-known fact, Ni, Co and Cr, especially Ni is the sign of Mg and Fe^{2+} change in melts, which means fractionation and evolution of melts. At the same time Ba shows increase in K content which can indicate increase in SiO_2 if alkali feldspar crystallizes. And Sr strongly correlates with Ca showing plagioclase content. From the Fig. 8 we can see that, the highest Ni and Co concentrations belong to gabbro-norites and decrease toward the granodiorite smoothly. For Sample 5 trough for Cr is observed, which can be interpreted as depletion in titanomagnetite or clinopyroxene phases. As well as a relatively high spike for Sample 6 (tonalite) may indicate a higher Fe oxidation, which corresponds to a higher magnetite content. As a general trend Sr concentration grows toward more acidic rocks with the increasing of plagioclase content of rocks comparing with pyroxenes. However, amount of anorthite component in plagioclase also influences Sr concentration. That can be the reason of saw teeth like appearance of Sr line with steep ascent from diorite to quartz diorite and steep decline from tonalite to granodiorite. However, the behavior of Cr and Ba are unusual, since the concentration of Ba should have increased and Cr decreased toward the granodiorite.

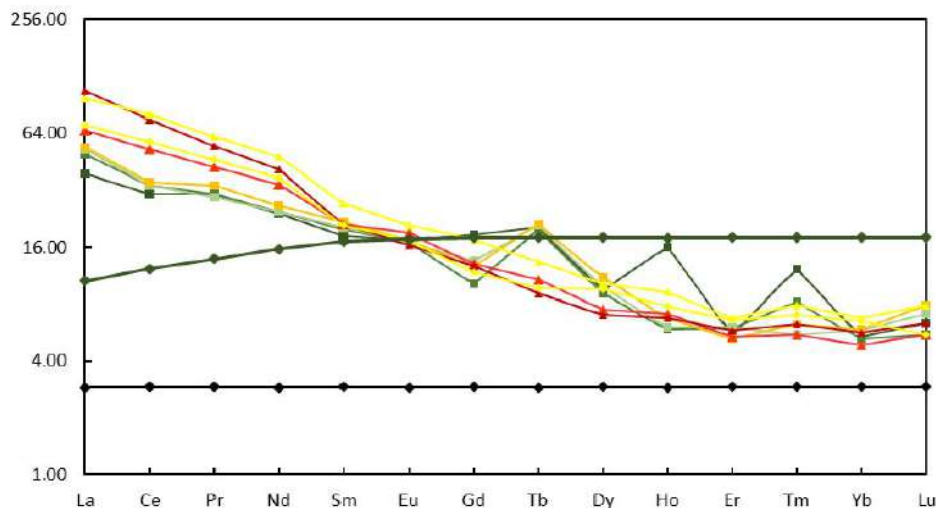


Fig. 7. Normalized REE spider diagram of Gadabay intrusion rocks (Sun, McDonough, 1989). Sample names are the same with Table 2

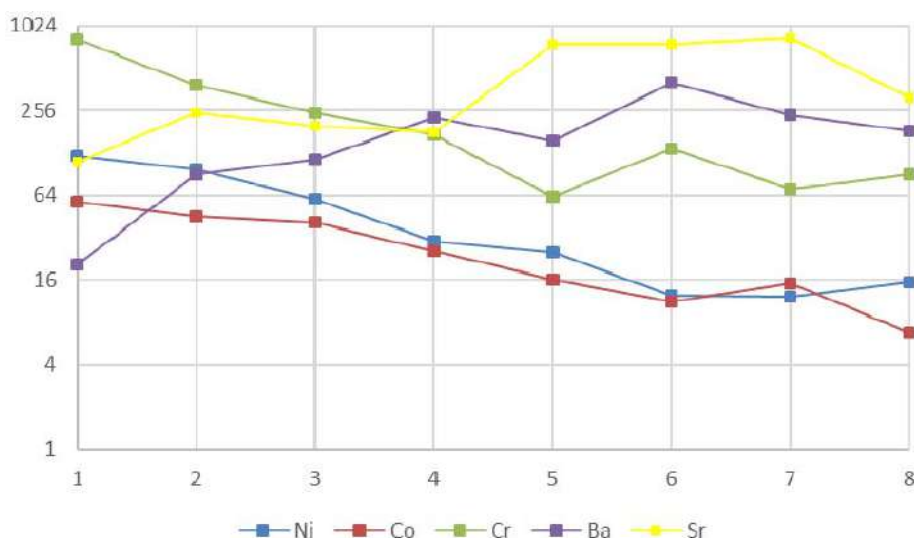


Fig. 8. Behavior of selected trace elements indicating the processes during evolution of the melt. Sample names are the same with Table 2

Results

From conducted study it can be concluded that, Gadabay intrusion rocks belong to calc-alkaline series as has been proved by previous studies. Primitive melt of the intrusion is the result of high degree partial melting of the enriched mantle substrate. Paleotectonic setting corresponds to continental or volcanic arc. Lithofacial studies of the region substantiate that it is mature island arc. Collision stage in the region started in the later Cretaceous whereas, the intrusion is dated to upper Jurassic-lower Cretaceous age (138-159 Ma).

Rocks are enriched in REE comparing to chondrite and primitive mantle which is characteristic for metasomatized mantle wedge. However, they are depleted in HREE comparing to NMORB. This with the behaviour of other trace elements indicates that the main process controlling the evolution of the melts of the rocks of the intrusion complex was fractional crystallization. Furthermore, different residual

melts have produced different degree of assimilation of wall rocks. The local scale formation of alkaline rocks such as monzodiorite, monzonite and monzonite may result from this assimilation of wall rocks by the latest residual melts (Mammadov et al., 2021). However, the results of ilmenite-titanomagnetite geothermometry show equal and higher crystallization temperatures for monzonites (Аббасов, 2023). Furthermore, the crystallization depth of alkaline rocks is also the deepest comparing to other rocks of the intrusion complex (Аббасов, 2023). Hence there is a probability that, the main part of alkaline rocks has not yet been exposed by erosion. Considering all the mentioned facts, it would be logical to think that, alkaline rocks are not the branch of the second phase but have been formed as the third phase. Furthermore, high temperature of the melt contributed to the high degree of assimilation of continental wall rocks, which enriched the melt with incompatible and perhaps ore mineralization elements.

REFERENCES

- Abbasov K.F. Determination of the physicochemical conditions for the formation of rocks of the Gadabay intrusion based on the composition of ilmenite and titanomagnetite. *Proceedings of Voronezh State University, Series: Geology*, No.1, 2023, pp. 29-38 (in Russian).
- Abdullaev R.N. et al. Age division of the magmatic formations in the north-eastern part of the Lesser Caucasus according to the K-Ar method. *Elm. Baku*, 1979, 146 p. (in Russian).
- Abdullaev R.N. Mesozoic volcanism of the north-eastern part of the Lesser Caucasus. Publishing house of the Academy of Sciences of Azerbaijan SSR. Baku, 1963, 228 p. (in Russian).
- Acosta-Vigil A., London D., Morgan G.B. Cesare B., Buick I., Hermann J., Bartoli O. Primary crustal melt compositions: Insights into the controls, mechanisms and timing of generation from kinetics experiments and melt inclusions. *Lithos*, Vol. 286-287, 2017, pp. 454-479. <https://doi.org/10.1016/lithos.2017.05.20>

ЖИТЕПАТҮПА

- Acosta-Vigil A., London D., Morgan G.B., Cesare B., Buick I., Hermann J., Bartoli O. Primary crustal melt compositions: Insights into the controls, mechanisms and timing of generation from kinetics experiments and melt inclusions. *Lithos*, Vol. 286-287, 2017, pp. 454-479, <https://doi.org/10.1016/lithos.2017.05.20>
- Agrawal S., Guevara M., Verma S.P. Discriminant analysis applied to establish major-element field boundaries for tectonic varieties of basic rocks. *International Geology Reviews*, Vol. 46, 2004, pp. 575-594, <https://doi.org/2747/0020-6814.46.7.575>.
- Barrat J.A., Zanda B., Moynier F., Bollinger C., Liorzou C., Bayon G. Geochemistry of CI chondrites: Major and trace elements, and Cu and Zn isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 83, 2012, pp. 79-92.
- Bédard J.H. Parameterizations of calcic clinopyroxene: Melt trace element partition coefficients. *Geochemistry, Geophysics*,

- Adamia Sh.A., Zakariadze G.S., Lordkipanidze M.B. The evolution of the ancient continental margin on the example of the Alpine history of the Caucasus. *Geotectonics*, No. 4, 1977, pp. 88-103 (in Russian).
- Agrawal S., Guevara M., Verma S.P. Discriminant analysis applied to establish major-element field boundaries for tectonic varieties of basic rocks. *International Geology Reviews*, Vol. 46, 2004, pp. 575-594, <https://doi.org/2747/0020-6814.46.7.575>.
- Barrat J.A., Zanda B., Moynier F., Bollinger C., Liorzou C., Bayon G. Geochemistry of CI chondrites: Major and trace elements, and Cu and Zn isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 83, 2012, pp. 79-92.
- Bédard J.H. Parameterizations of calcic clinopyroxene: Melt trace element partition coefficients. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 15, 2014, pp. 303-336. Doi: 10.1002/2013GC005112.
- Béguélin P., Bizimis M., McIntosh E.C., Cousens B., Clague D.A. Source vs processes: Unraveling the compositional heterogeneity of rejuvenated-type Hawaiian magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 514, 2019, pp. 119-129.
- Belousova E.A., Kostitsyn Y.A., Griffin W.L., Begg G.C., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. The growth of the continental crust: Constraints from zircon Hf-isotope data. *Lithos*, Vol. 119, 2010, pp. 457-466.
- Middlemost E.A.K. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Elsevier, Earth-Science Reviews* Vol. 37, No. 3-4, 1994, pp. 215-224; [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Imamverdiyev N.A. Geochemistry of the late Cenozoic volcanic complexes in the Lesser Caucasus. *Nafta-Press. Baku*, 2000, 191 p. (in Russian).
- Imamverdiyev N.A., Valiyev A.A., Hasanguliyeva M.Y. Petrology and geochemistry of late Cenozoic collisional volcanism of the Lesser Caucasus. *Baku*, 2017, 320 p. (in Azerbaijani).
- Irvine T.N. Rocks whose composition is determined by crystal accumulation and sorting. Chapter 9. The evolution of the igneous rocks Fiftieth Anniversary Perspectives. Princeton University Press. New Jersey, 1979, pp. 245-306.
- Kerimov G.I. Petrology and ore mineralization of the Gadabay ore cluster. Publishing house of the Academy of Sciences of Azerbaijan SSR. Baku, 1963, 222 p. (in Russian).
- Mammadov M.N., Babaeva G.J., Veliyev A.A., Abbasov K.F., Sariyev F.H., Bayramov A.A. Petrological factors of formation of central Lok-Garabakh zone intrusion complexes of upper Jurassic – early Cretaceous age. *ANAS Transactions, Earth Sciences* No. 2, 2021, pp. 3-15, DOI: 10.33677/ggianas20210200059
- Mustafaev G.V. Mesozoic granitoids of Azerbaijan and the features of their metallogeny. *Elm. Baku*, 1977, 234 p. (in Russian).
- Panov D.I. Stages of geological development of the Caucasus-Iranian segment of the Mediterranean belt in the Mesozoic and Cenozoic period. *Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geology department, Publishing house of the Moscow University, Moscow*, Vol. 88, No. 4, 2013, pp. 74-86 (in Russian).
- Pearce J.A., Norry M. J. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in intrusive rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.* Vol. 69, 1979, pp. 33-47.
- Rollinson H. Using geochemical data to understand geological processes. Cambridge University Press. 2021, 346 p.
- Rustamov M.I. Geodynamics and magmatism of the Caspian-Caucasian segment of the Mediterranean belt in the Phanerozoic. *Nafta-Press. Baku*, 2019, 544, pp. (in Russian).
- Sadygov E.A. Mesozoic plutonic complexes of the Lok-Karabakh zone of the Lesser Caucasus: Geochemical characteristics, age and magmatic sources. Abstract of PhD dissertation, St. Petersburg, 2019, 22 p. (in Russian).
- Geosystems, Vol. 15, 2014, pp. 303-336. Doi: 10.1002/2013GC005112.
- Béguélin, P., Bizimis M., McIntosh E.C., Cousens B., Clague D.A. Source vs processes: Unraveling the compositional heterogeneity of rejuvenated-type Hawaiian magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 514, 2019, pp. 119-129.
- Belousova E.A., Kostitsyn Y.A., Griffin W.L., Begg G.C., O'Reilly S.Y., Pearson N.J. The growth of the continental crust: Constraints from zircon Hf-isotope data. *Lithos*, Vol. 119, 2010, pp. 457-466.
- Irvine T.N. Rocks whose composition is determined by crystal accumulation and sorting. The evolution of the igneous rocks Fiftieth Anniversary Perspectives. Princeton University Press. New Jersey, 1979, pp. 245-306.
- Mammadov M.N., Babaeva G.J., Veliyev A.A., Abbasov K.F., Sariyev F.H., Bayramov A.A. Petrological factors of formation of central Lok-Garabakh zone intrusion complexes of upper Jurassic – early Cretaceous age. *ANAS Transactions, Earth Sciences*. No. 2, 2021, pp. 3-15, DOI: 10.33677/ggianas20210200059.
- Middlemost E.A.K. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Elsevier, Earth-Science Reviews* Vol. 37, No. 3-4, 1994, pp. 215-224; [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Pearce J.A., Norry M.J. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 69, 1979, pp. 33-47, <http://dx.doi.org/10.1007/BF00375192>
- Rollinson H. Using geochemical data to understand geological processes. Cambridge University Press. 2021, 346 p.
- Sun W., McDonough W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society London Special Publications*, 1989, pp. 313-345. DOI:10.1144/GSL.SP.1989.042/01.19
- Imamverdiyev N.A., Vəliyev A.Ə., Həsənguliyeva M.Y. Kiçik Qafqazın gec kaynozoy kolliziya vulkanizminin petrologiya və geokimyası. *Bakı*, 2017, 320 s.
- Аббасов К.Ф. Определение физико-химических условий образования пород Кедабекского интрузива на основе состава ильменита и титаномагнетита. *Вестник Воронежского государственного университета, Серия: Геология*, No. 1, 2023, с. 29-38.
- Абдуллаев Р.Н. и др. Возрастное расчленение магматических образований северо-восточной части Малого Кавказа по данным К-Аг метода. *Элм. Баку*, 1979, 146 с.
- Абдуллаев Р.Н. Мезозойский вулканизм северо-восточной части Малого Кавказа. *Изд-во АН Азерб.ССР. Баку*, 1963, 228 с.
- Адамия Ш.А., Закариадзе Г.С., Лордкипанидзе М.Б. Эволюция древней континентальной окраины на примере альпийской истории Кавказа. *Геотектоника*, No. 4, 1977, с. 88-103.
- Имамвердиев Н.А. Геохимия позднекайнозойских вулканических комплексов Малого Кавказа. *Nafta-Press. Баку*, 2000, 191 с.
- Керимов Г.И. Петрология и рудоносность Кедабекского рудного узла. *Изд. АН Азерб. СССР. Баку*, 1963, 222 с.
- Мустафаев Г.В. Мезозойские гранитоиды Азербайджана и особенности их металлогении. *Элм. Баку*, 1977, 234 с.
- Панов Д.И. Этапы геологического развития Кавказ-Иранского сегмента Средиземноморского пояса в мезозое и кайнозое. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический*, Изд-во Моск. ун-та. Т. 88, No. 4, 2013, с. 74-86.
- Рустамов М.И. Геодинамика и магматизм Каспийско-Кавказского сегмента Средиземноморского пояса в фанерозое. *Nafta-Press. Баку*, 2019, 544 с.

Sun W., McDonough W. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological Society London Special Publications, Vol. 42, 1989, pp. 313-345.

Садыхов Э.А. Мезозойские плутонические комплексы Лок-Гарабагской зоны Малого Кавказа: Геохимическая характеристика, возраст и магматические источники. Автореф. на соиск. ученой степени к.г.-м.н. Санкт-Петербург, 2019, 22 с.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЯДАБЕЙСКОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА В ИЗУЧЕНИИ ЭВОЛЮЦИИ МАГМЫ И ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ РЕГИОНА (МАЛЫЙ КАВКАЗ, ТЕРРИТОРИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА)

Аббасов К.Ф.

Министерство науки и образования Азербайджана, Институт геологии и геофизики, Азербайджан
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119: kenan.abbasov313@gmail.com

Резюме. Гядабейский интрузивный комплекс, расположенный в пределах Лок-Гарабахской структурно-формационной зоны Малого Кавказа, формируется в две магматические фазы – ~~это~~ габброидную и гранитоидную. Кварцевые диориты ~~породы~~ гранитоидной фазы являются наиболее распространенным в этом районе типом пород. Щелочные породы, такие как монцодиориты и монсониты, имеющие ограниченное распространение в регионе, рассматриваются как ветвь второй фазы. Однако результаты ильменит-титаномагнетитовой геотермометрии показывают равные и более высокие температуры кристаллизации этих щелочных пород. Следовательно, этот факт позволяет предположить, что щелочные породы являются не ветвью второй фазы, а третьей фазой интрузивного комплекса. Несмотря на детальные петрографические и полевые исследования, источник магматических расплавов, сформировавших интрузию, глубоко не изучен. В связи с этим заслуживает изучения микроэлементный состав пород Гядабейского интрузивного комплекса. Кроме того, распределение микроэлементов в некоторых минералах также может рассматриваться как ценный источник информации. Распределение элементов группы Fe (Ni, Cr, V, Co), щелочноземельных элементов (Sr, Ba) и РЗЭ в породах Гядабейского интрузивного комплекса контролируется фракционной кристаллизацией. Таким образом, концентрация когерентных элементов и тяжелых РЗЭ уменьшается в сторону более дифференцированных типов пород, тогда как концентрация инкогерентных элементов и легких РЗЭ увеличивается. Следующим фактом является то, что Гядабейский интрузивный комплекс сформировался в пределах известково-щелочной магматической серии, а первичный расплав являлся результатом частичного плавления обогащенного мантийного субстрата, что подтверждается диаграммами, построенными на основе соотношений микроэлементов.

Ключевые слова: Гядабейская интрузия, редкоземельные элементы, элементы группы железа, элементы-примеси, классификационные диаграммы, литосферная мантия, мантийные плюмы, парциальное плавление, состав примитивных расплавов

MAQMANIN TƏKAMÜLÜNÜN VƏ REGIONUN TEKTONİK QURULUŞUNUN ÖYRƏNİLMƏSİNDƏ GƏDƏBƏY İNTRUZİV KOMPLEKSİNİN GEOKİMYƏVİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ (KİÇİK QAFQAZ, AZƏRBAYCAN ƏRAZİSİ)

Abbasov K.F.

Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, Geologiya və Geofizika İnstitutu, Azərbaycan
AZ1143, Bakı, H.Cavid pros., 119: kenan.abbasov313@gmail.com

Xülasə. Kiçik Qafqazın Lök-Qarabağ struktur-formasiya zonasında yerləşən Gədəbəy intruziv kompleksi iki maqmatik fazada formalaşmışdır. Bunlar qabroid və qranitoid fazalarıdır ki, qranitoid fazasının kvars diorit tərkibli süxurları ərazidə ən geniş yayılmış süxur növüdür. Bölgədə məhdud yayılmış monsdiorit və monsonit kimi qələvi süxurlar ikinci fazanın qolu hesab olunur. Hərçənd, ilmenit-titanomaqnetit geotermometriyasının nəticələri bu qələvi süxurların bərabər və daha yüksək kristallaşma temperaturlarını göstərir. Bu fakt isə qələvi süxurların ikinci fazanın qolu deyil, intruziv kompleksin üçüncü fazası olması ehtimalını artırır. İllər boyu ətraflı petroqrafik və çöl tədqiqatlarının aparılmasına baxmayaraq, intruziv kompleksi əmələ gətirən maqmatik ərintilərin mənbəyi dərinlən öyrənilməmişdir. Bu baxımdan Gədəbəy intruziv kompleksinin süxurlarının mikroelement tərkibinin tədqiq edilməsi əhəmiyyətlidir. Bundan əlavə, müəyyən minerallarda mikroelementlərin paylanması da qiymətli məlumat mənbəyi hesab edilə bilər. Gədəbəy intruziv kompleksinin süxurlarında Fe qrupu elementlərinin (Ni, Cr, V, Co), qələvi torpaq elementlərinin (Sr, Ba) və NTE-nin paylanması fraksiyon kristallaşması ilə tənzimlənmişdir. Belə ki, koherent elementlərin və ağır NTE konsentrasiyası daha çox təkamül etmiş süxur növlərinə doğru azalır, inkohherent elementlərin konsentrasiyası və yüngül NTE isə artır. Növbəti fakt ondan ibarətdir ki, Gədəbəy intruziv kompleksi əhəngli-qələvi maqma seriyası daxilində formalaşmış və ilkin ərinti zənginləşmiş mantiya substratının qismən əriməsi nəticəsində əmələ gəlmişdir ki, bu da mikroelementlərin nisbəti əsasında tərtib edilmiş diaqramlarla sübut edilmişdir.

Açar sözlər: Gədəbəy intruzivi, nadir torpaq elementləri, dəmir qrupu elementləri, mikroelementlər, təsnifat diaqramları, litosfer mantiyası, mantiya plümləri, qismən ərimə, ilkin ərintilərin tərkibi

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОВУШЕК И ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ

Керимов В.Ю.^{1,2}, Сенин Б.В.³, Серикова У.С.², Мустаев Р.Н.², Романов П.А.²

¹Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,

Институт нефти и газа, Азербайджан

AZ1000, Баку, ул. Ф. Амирова, д. 9: vagif.kerimov@mail.ru

²Российский государственный геологоразведочный университет

им. Серго Орджоникидзе, Россия

117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23: serikovaus@mgri.ru;

mustaevrn@mgri.ru; romanovpa@mgri.ru

³АО «Союзморгео» – АО «Росгеология», научно-аналитический центр, Россия

353461, Геленджик, ул. Крымская, 20: sengri@mail.ru

ASSESSMENT OF THE CONDITIONS OF FORMATION AND DISTRIBUTION OF STRUCTURAL, LITHOLOGICAL, STRATIGRAPHIC AND COMBINED TRAPS IN THE BLACK SEA – CASPIAN REGION

Kerimov V.Yu.^{1,2}, Senin B.V.³, Serikova U.S.², Mustaev R.N.², Romanov P.A.²

¹Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Oil and Gas, Azerbaijan
9, F.Amirov str., Baku, AZ1000: vagif.kerimov@mail.ru

²Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Russian Federation

23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997: serikovaus@mgri.ru; mustaevrn@mgri.ru; romanovpa@mgri.ru

³AO "Soyuzmorgeo" – JSC "Rosgeologiya", scientific and analytical center, Russia
20, Krymskaya str., Gelendzhik, Russia, 353461: sengri@mail.ru

Keywords: Black Sea-Caspian region, trap, deposit, oil, gas, hydrocarbons, tectonic-sedimentation cycles

Summary. To assess the conditions for the formation and distribution of various types of traps and hydrocarbon deposits in the Black Sea – Caspian region: oil and gas geological characteristics of more than 670 offshore and continental deposits in Russia and abroad were used. The selection and generalization of the analyzed characteristics were carried out on the basis of ideas about the types of traps and hydrocarbon deposits in general and in relation to the Black Sea – Caspian region. In accordance with the definitions and characteristics of some types of traps and deposits, as well as data on deposits of different fluid composition and age of the host strata in the region, the whole set of analyzed characteristics reflecting the belonging of the deposit to a particular class is distributed in relation to two factors – structural and sedimentation (lithological-stratigraphic). It is shown that the largest number of deposits of different composition is associated with the newest (44%) and Alpine (about 40%) tectonic-sedimentation cycles and that the gas and condensate phases of the fluid composition significantly prevail in the fields of the western (Black Sea and Pont) half of the region, and oil – in its eastern (Caspian – about Caspian) one.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Источниками информации для оценки условий формирования и распределения различных типов ловушек и залежей УВ в Черноморско-Каспийском регионе стали нефтегазогеологические характеристики более чем 670 морских и континентальных месторождений России и зарубежья. (Гулиев и др., 2018; Глузов и др., 2004; Ермолкин, Керимов, 2012; Кадиров, Сафаров, 2013; Керимов и др.,

2016; Керимов и др., 2017; Керимов, Мусаев, 2021; Керимов, 2021; Керимов др., 2015а; Керимов и др., 2015б; Сенин и др., 2020; Сенин и др., 2022; Сенин и др., 2006; Гулиев и др., 2021). Разнообразие типов ловушек и залежей углеводородов на месторождениях четырёх нефтегазоносных провинций и соответствующих им 27 областей Черноморско-Каспийского региона отражено в табл.1. В соответствии с определениями и характеристиками типов

ловушек и залежей, а также данными о месторождениях разного флюидного состава и возраста вмещающих толщ в регионе вся совокупность анализируемых характеристик, отражающих принадлежность месторождения к тому или иному классу, распределена по отношению к двум факторам – структурному и седиментационному (литолого-стратиграфическому) (Ермолкин, Керимов, 2012; Керимов и др., 2016).

Первый фактор определяет полную конфигурацию месторождения в геологическом пространстве (т.е. обобщённую морфологию занимаемой им части этого пространства), второй совместно с первым или самостоятельно – внутреннюю структуру месторождения, образуемую одной или несколькими залежами. К структурному фактору в процессе анализа отнесены (см. табл. 1) типы структурных элементов в генерализованном, сокращённом до 5 основных форм варианте (антиклиналь, брахиантиклиналь, купол, диапировая структура, моноклиналь). Седимен-

тационный (литолого-стратиграфический) фактор представлен четырьмя основными типами элементарных (единичных) залежей – литологически ограниченными (ЛО), литологически экранированными (ЛЭ), стратиграфически экранированными (СЭ), связанными с биогенными выступлениями (БВ). При этом литологически экранированные залежи вместе с литологически ограниченными при анализе включены в сводную условную группу литологически обусловленных.

При анализе полученных характеристик возникла необходимость принять дополнительное условие, которое вытекает из наблюдаемых вариантов сочетания седиментационного и структурного факторов в строении месторождения (Гулиев и др., 2018; Глумов и др., 2004; Ермолкин, Керимов, 2012; Кадиров, Сафаров, 2013; Керимов и др., 2016; Керимов и др., 2017; Керимов, Мустаев, 2021; Керимов, 2021; Керимов др., 2015а; Керимов и др., 2015б; Сенин и др., 2020; Сенин и др., 2022; Сенин и др., 2006; Гулиев и др., 2021).

Таблица 1

Типы ловушек и залежей УВ, распространённых на территории Черноморско-Каспийского региона

| Класс | Группа и подгруппа месторождений, приуроченных: |
|----------------------------|---|
| Структурный | <ul style="list-style-type: none"> • к антиклиналям и куполам простого и ненарушенного строения; • к антиклиналям и куполам с несоответствием структурных поверхностей отдельных стратиграфических подразделений; • к структурам, характеризующимся смещением сводовых частей отдельных литолого-стратиграфических подразделений; • к структурам с существенно различным строением отдельных структурных этажей; • к антиклиналям и куполам, осложненным разрывной дислокацией; • к антиклиналям и куполам, осложненным соляной тектоникой; • к антиклиналям и куполам, осложненным диапиризмом или грязевым вулканизмом; • к структурам с открытым грязевым вулканом или открытым диапировым ядром; • к структурам с погребенным грязевым вулканом или криптодиапиром; • к антиклиналям и куполам, осложненным вулканогенными образованиями; • к моноклиналям; • к синклиналям |
| Рифогенный | <ul style="list-style-type: none"> • к одиночным рифовым массивам; • к группе (ассоциации) рифовых массивов |
| Литологический | <ul style="list-style-type: none"> • к участкам выклинивания пластов-коллекторов или замещения проницаемых пород непроницаемыми (литологически экранированные); • к участкам выклинивания пласта-коллектора по восстанию слоев; • к участкам замещения проницаемых пород непроницаемыми, в том числе запечатанными асфальтом; • к песчаным образованиям вдоль прибрежных частей палеоморей; • к песчаным образованиям ископаемых русел палеорек; • к прибрежным валоподобным песчаным образованиям ископаемых баров; • к гнездообразно и линзообразно залегающим пластам-коллекторам |
| Стратиграфический | <ul style="list-style-type: none"> • к участкам стратиграфических несогласий на антиклиналях и куполах; • к участкам стратиграфических несогласий на моноклиналях; • к стратиграфическим несогласиям на участках эродированной поверхности погребенных выступов палеорельефа |
| Литолого-стратиграфический | <ul style="list-style-type: none"> • к участкам выклинивания пластов-коллекторов, срезанных эрозией и перекрытых стратиграфически несогласно непроницаемыми отложениями более молодого возраста |

Из табл. 1 следует наличие трёх вариантов, в соответствии с которыми устанавливается тип ловушки, определяющий всё месторождение в целом: 1 – оно формируется только за счёт седиментационного фактора (структурный фактор не выражен в характеристике); 2 – оно образуется за счёт структурного фактора (седиментационный фактор не выражен в характеристиках); 3 – оно формируется за счёт сочетания седиментационного и структурного факторов. В первом случае не только залежь, но и вся ловушка рассматриваются как неструктурная, то есть – литологическая, стратиграфическая или литолого-стратиграфическая. Во втором – как структурная, в третьем – как комбинированная структурно-литолого-стратиграфическая ловушка.

Общая характеристика распределения месторождений УВ в нефтегазоносных провинциях и областях Черноморско-Каспийского региона по стратиграфическим интервалам и флюидному составу представлена на рис. 1 и 2, табл. 2 и 3.

Скопления углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе распределены в четырёх нефтегазоносных провинциях (см. рис. 2). Три из них – Черноморская, Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская и Южно-Каспийская – практически полностью расположены в пределах региона, а одна, Прикаспийская, – входит в него своей южной частью, географически соответствующей Северо-Каспийскому мелководью и прилегающим низменным территориям Прикаспийской впадины (Gurbanov et al., 2019; Kerimov et al., 2016a; Kerimov et al., 2016b; Kerimov et al.,

2018; Керимов и др., 2014; Лapidус и др., 2018; Rachinsky, Kerimov, 2015; Senin et al., 2021).

В количественном отношении к Черноморско-Каспийскому региону может быть отнесено около 680 месторождений/скоплений нефти, газа и конденсата, крайне неравномерно распределённых по выделяемым здесь нефтегазоносным провинциям (рис. 2, табл. 2).

В частности, показано, что наибольшее число месторождений разного состава связано с новейшим (44%) и альпийским (около 40%) тектоно-седиментационными циклами и что в месторождениях западной, Черноморской и Причерноморской половины региона заметно преобладают газовая и конденсатная фазы флюидного состава, а в его восточной, Каспийско-Прикаспийской, – нефтяная.

В порядке детализации этой характеристики и на основе проведённого анализа необходимо добавить, что более половины всех месторождений региона (более 53%) связано с отложениями кайнозоя, в составе которого 28% скоплений приходится на средний плиоцен – Южно-Каспийской НГП и около 53% – на отложения олигоцена и миоцена (включая майкопскую толщу и надмайкопский миоцен) Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакской НГП. Оставшаяся часть месторождений распределена в палеоцен-эоценовых горизонтах разрезов, относящихся к Черноморской, Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакской и Прикаспийской провинциям.

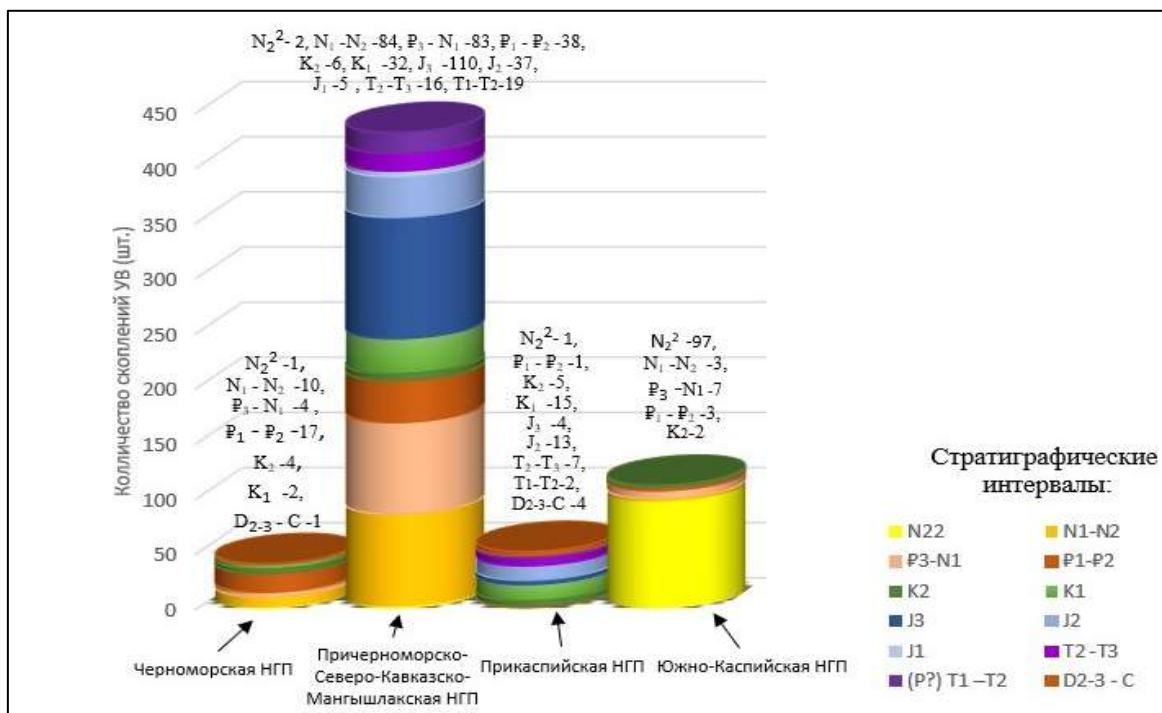


Рис. 1. Распределение скоплений (месторождений) УВ в продуктивных стратиграфических интервалах осадочного разреза нефтегазоносных провинций и областей Черноморско-Каспийского региона

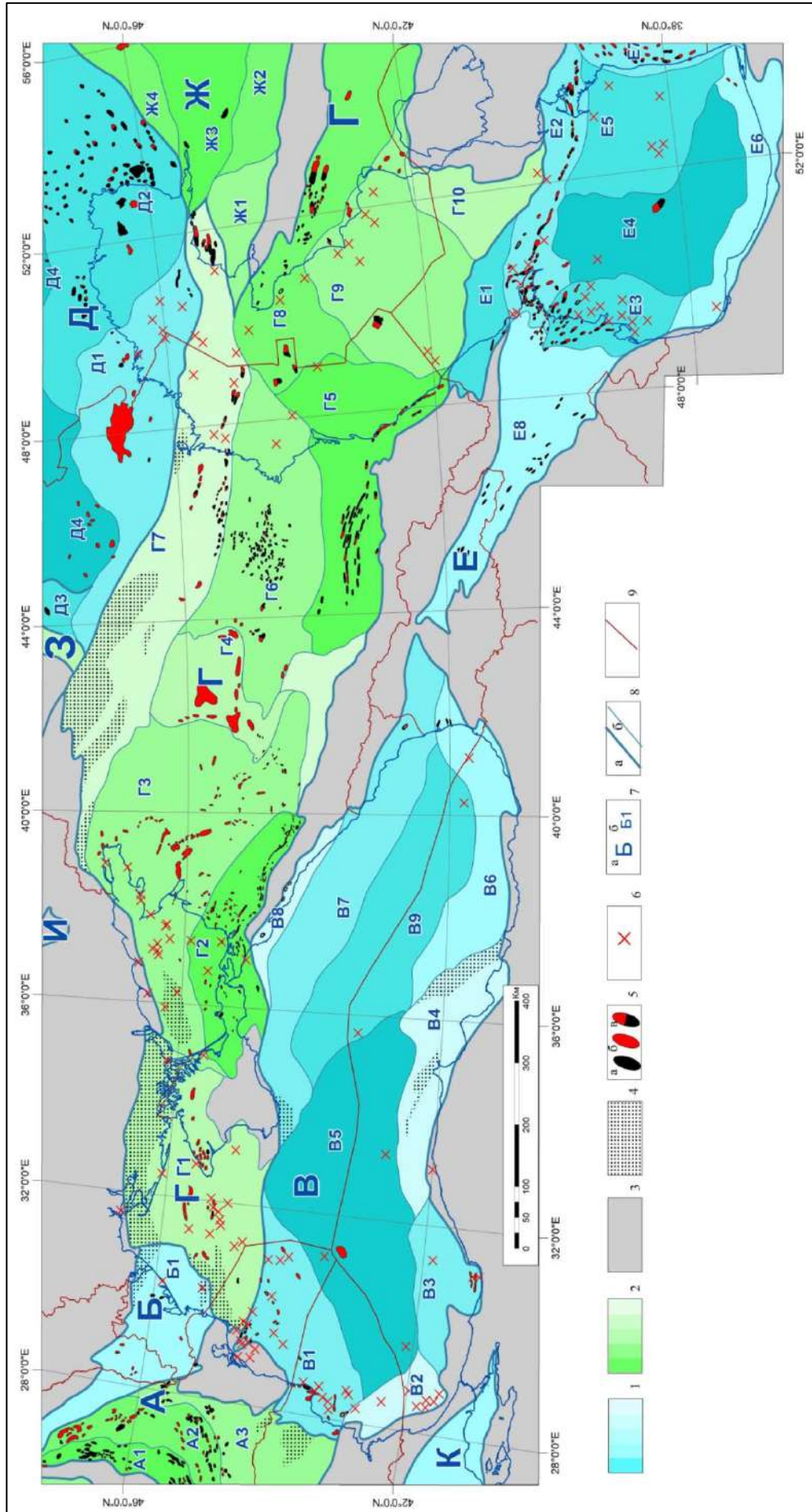


Рис. 2. Нефтегазовые провинции и области Черноморско-Каспийского региона и прилегающих территорий (Сенни и др., 2022) с дополнениями

Условные обозначения к рис. 2: 1 – нефтегазоносные провинции перикратонных погружений и крупных альпийских впадин; 2 – нефтегазоносные провинции и области подвижных платформ; 3 – неперспективные области за пределами провинций; 4 – перспективные зоны в границах провинций; 5 – месторождения: а – нефти, б – газа и конденсата, в – смешанного состава; 6 – площади, не давшие положительного или коммерчески значимого результата; 7 – индексы: а – нефтегазоносных провинций, б – нефтегазоносных областей; 8 – границы: а – нефтегазоносных провинций, б – нефтегазоносных областей; 9 – границы государств и национальных зон морского недропользования. *Нефтегазоносные провинции и области (индексы на карте):* А – Предкарпатско-Балканская (НГО, ПНГО: А1 – Восточно-Карпатская, А2 – Предкарпатская, А3 – Придунайско-Валахская); Б – Балтийско-Предобруджинская: Б1 – Молдавско-Предобруджинская НГО; В – Черноморская (НГО, ПНГО: В1 – Восточно-Мизийская/Истрия, В2 – Игнеада/Бургасско-Прибалханская, В3 – Западно-Понтийская, В4 – Синопская, В5 – Западно-Черноморская глубоководная, В6 – Восточно-Понтийская, В7 – Крымско-Кавказская континентальная окраина, В8 – Новороссийско-Лазаревская, В9 – Восточно-Черноморская глубоководная); Г – Причерноморско–Северо-Кавказско–Мангышлакская (НГО, ПНГО: Г1 – Причерноморско-Крымская, Г2 – Индоло-Кубанская, Г3 – Западно-Предкавказская, Г4 – Центрально-Предкавказская, Г5 – Терско-Каспийская, Г6 – Восточно-Предкавказская, Г7 – Кряжа Карпинского, Г8 – Южно-Мангышлакская, Г9 – Центрально-Каспийская, Г10 – Западно-Карабогазская); Д – Прикаспийская (НГО, ПНГО: Д1 – Астрахано-Калмыцкая, Д2 – Южно-Эмбенская, Д3 – Волгоградско-Карачаганакская, Д4 – Центрально-Прикаспийская); Е – Южно-Каспийская (НГО, ПНГО: Е1 – Северо-Абшеронская, Е2 – Абшерон-Прибалханская, Е3 – Восточно-Азербайджанская/Западного Борта, Е4 – Южно-Каспийская котловина/глубоководная, Е5 – Туркменская ступень, Е6 – Мазендеранская; Е7 – Западно-Туркменская, Е8 – Гобустано-Курунская); Ж – Арало-Устюртская (НГО, ПНГО: Ж1 – Южно-Бузачинская, Ж2 – Яркимбай-Арстановская, Ж3 – Бейнеуская, Ж4 – Мынсуалмасская); З – Волго-Уральская; И – Днепровско-Припятская; К – Фракийская.

Немногим менее половины месторождений региона (около 46%) связано с отложениями мезозоя. В их составе наибольшее число месторождений (41%) выявлено в нижнемеловых отложениях. Остальные скопления примерно в равных долях (13-16% от общего числа месторождений) распределены между продуктивными горизонтами верхнего мела, верхней и средней юры и триаса. Распределение месторождений по составу образующих их флюидных компонентов (фазовому составу) в разных стратиграфических интервалах продуктивного разреза представлено на рис. 3 (Kerimov et al., 2018; Rachinsky, Kerimov, 2015). Оно оценивается по сумме компонентов (нефть, газ, конденсат), представленных на разных уровнях разреза в составе 677 скоплений УВ (см. табл. 2), учтённых в рамках Черноморско-Каспийского региона по материалам публикаций.

Отражаемый на рисунке характер соотношения флюидных компонентов в продуктивных интервалах разреза Черноморско-Каспийского региона демонстрирует его отчётливое разделение на области преобладающей или преимущественной нефтеносности всего разреза к востоку от Центрально-Предкавказской газонефтяной области (ГНО) и области преобладающей газо- и конденсатоносности к западу от неё.

Это разделение следует, вероятно, понимать, как свидетельство роли рассмотренного выше Транскавказского поперечного поднятия в распределении скоплений, которое проявилось во всём продуктивном диапазоне разреза.

Данные о компонентном (фазовом) составе углеводородных месторождений и проявлений в континентальных и морских областях Черноморско-Каспийского региона, дополненные материалами геолого-геохимического изучения их разрезом и результатами анализа размещения место-

рождений относительно разновозрастных структурно-геодинамических и бассейновых систем, позволяют представить прогнозную схему районов возможного преобладания разных типов флюида в составе потенциальных скоплений и проявлений УВ на территориях и в акваториях региона (рис. 4). Согласно этой схеме и в соответствии с результатами проведённого анализа разрезы субрегиона Каспийского моря могут содержать скопления, в которых в разных сочетаниях и количествах присутствуют нефть, газ и конденсат, а на отдельных участках преобладание нефтяной компоненты будет иметь абсолютный характер.

В направлении на запад и северо-запад происходит сокращение площадей, где возможно присутствие в скоплениях нефтяной фазы, их замещение районами ожидаемого развития преимущественно газовых и газоконденсатных скоплений. На представленной схеме (рис. 4) эти районы образуют пояс, окаймляющий южную окраину Восточно-Европейской платформы.

Преобладающим газовым составом будут отличаться скопления Черноморской провинции, на что указывают и открытия последнего времени, сделанные в глубоководных секторах румынского и турецкого районов акватории. В то же время здесь намечаются и вероятные нефтяные тренды, приуроченные к северо-западному и восточному присклоновым районам глубоководной впадины.

С глубоководными впадинами Черного и Каспийского морей связаны также районы развития газогидратов в верхней части осадочного чехла. Наиболее крупные из них предполагаются в западной части Черноморской глубоководной впадины и в Южно-Каспийской впадине (Гулиев и др., 2018; Керимов и др., 2016; Сенин и др., 2020; Сенин и др., 2022).

Таблица 2

Распределение скоплений (месторождений) УВ в продуктивных стратиграфических интервалах осадочного разреза нефтегазоносных провинций и областей* Черноморско-Каспийского региона

| Тектоно-седиментационный цикл | Стратиграфический интервал продуктивности | ЧЕРНОМОРСКИЙ НГР | | | | | | | | ПРИЧЕРНОМОРСКО-СЕВЕРО-КАВКАЗСКО-МАНГЫШЛАКСКАЯ НГП | | | | | | | | | | ПРИКАСПИЙСКАЯ НГП | | | | | ЮЖНО-КАСПИЙСКАЯ НГП | | | | | ВСЕГО | | | | | | | |
|---|---|------------------|----|----|----|----|----|-----|----|---|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------|----|----|----|---|---------------------|---|-----|---|---|-------|---|---|---|---|-----|-----|----|
| | | В1 | В3 | В5 | В6 | В8 | Г1 | Г2 | Г3 | Г4 | Г5 | Г6 | Г7 | Г8 | Г9 | Д1 | Д2 | Е2 | Е3 | Е4 | Е6 | Е7 | Е8 | | | | | | | | | | | | | | |
| Новейший | N ₂ | 7 | - | 1 | 2 | - | - | 67 | 7 | 2 | 7 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 97 |
| | N ₁ -N ₂ | 1 | - | - | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 1 | - | 64 | 15 | 1 | 2 | 13 | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 101 | |
| | P ₃ -N ₁ | 4 | - | - | - | - | 9 | 43 | 6 | 13 | 5 | 7 | - | - | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 94 | |
| Альпийский | P-N (KZ?) | 9 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9 | |
| | P ₁ -P ₂ | 6 | 10 | - | - | 1 | 11 | 10 | 7 | 4 | 2 | 3 | 1 | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 59 | | |
| | K ₂ | 3 | - | - | 1 | - | - | 3 | 4 | - | 19 | 5 | 1 | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 43 | | |
| Климмерийский | K ₁ | 1 | - | - | - | 3 | 3 | 2 | 35 | 5 | 11 | 20 | 26 | 4 | 4 | 4 | 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 129 | |
| | J ₃ | - | - | - | - | - | - | 2 | 6 | - | 5 | 16 | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 40 | | |
| | J ₂ | - | - | - | - | - | - | - | 7 | - | - | 21 | 9 | 1 | - | 3 | 10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 50 | | |
| Герциньский | J ₁ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5 | | |
| | T ₂ -T ₃ | - | - | - | - | - | - | - | 4 | - | 11 | - | - | 1 | - | - | 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 23 | | |
| | (P?) T ₁ -T ₂ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 18 | - | - | 1 | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 21 | | |
| Всего месторождений | D _{2,3} -C | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5 | | |
| | Итого в провинциях (в рамках региона) | 32 | 10 | 1 | 3 | 4 | 23 | 127 | 78 | 34 | 49 | 107 | 41 | 7 | 7 | 10 | 42 | 65 | 17 | 1 | 2 | 13 | 14 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 677 | | |
| Итого и наименования НГО см. на рисунке 2 | | 50 | | | | | | | | | | 463 | | | | | | | | | | 52 | | | | | 112 | | | | | | | | | | |

*Индексы и наименования НГО см. на рисунке 2

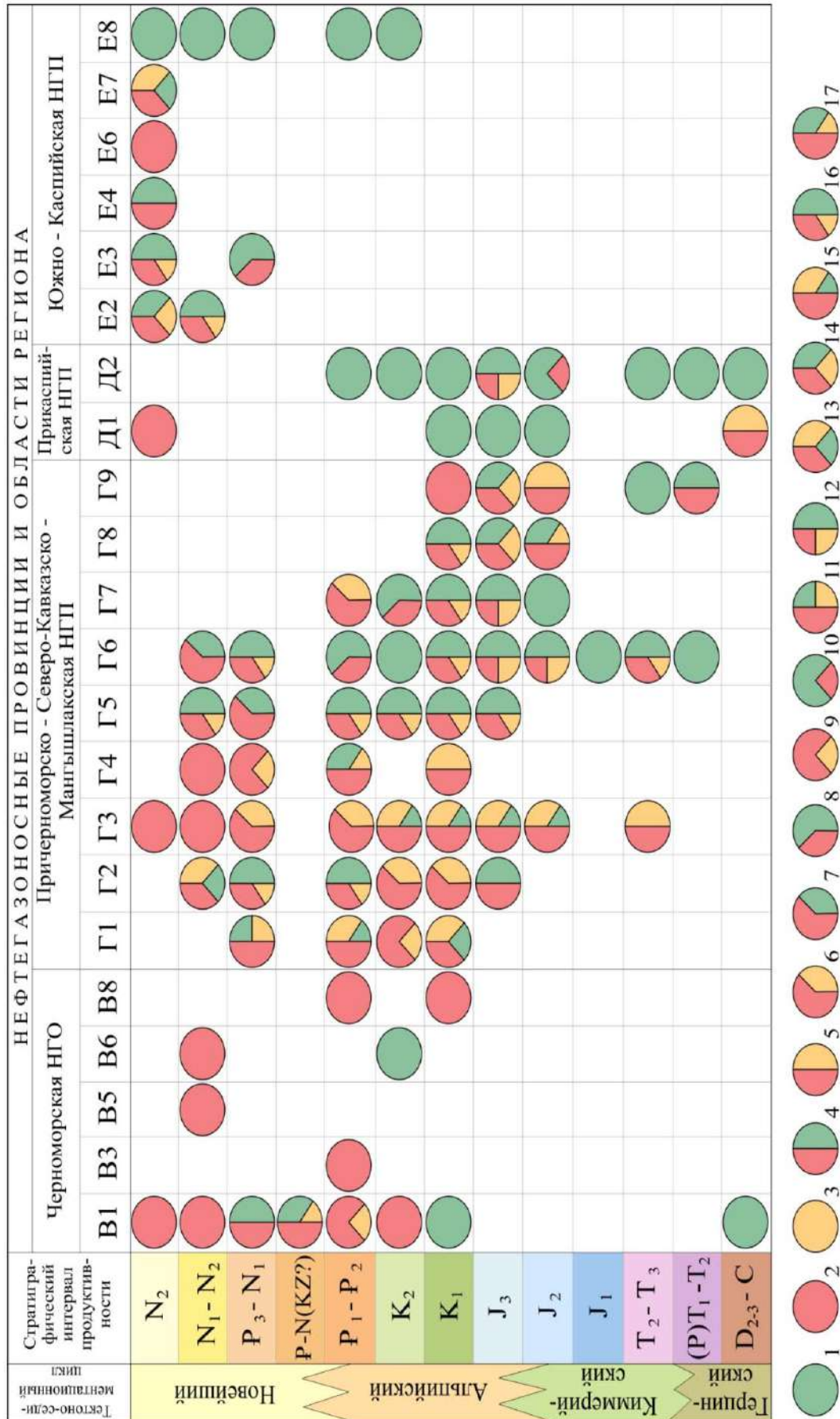


Рис. 3. Соотношения флюидных компонентов в продуктивных стратиграфических интервалах нефтегазоносных областей Черноморско-Каспийского региона
Индексы и наименования НГО см. на рис.2

Условные обозначения к рисунку 3: 1-3 – *однокомпонентные скопления УВ*: 1 – нефть (далее Н); 2 – газ (далее Г); 3 – конденсат (далее К). 4-10 – *двухкомпонентные скопления УВ*. 4 – примерное равенство числа залежей, $N \approx G$; 5 – то же, $G \approx K$; 6 – преобладание числа залежей одной из компонент, $G > K$; 7 – то же, $G > H$; 8 – то же, $H > G$; 9 – существенное (кратное) преобладание числа залежей одного из компонентов, $G \gg K$; 10 – то же, $H \gg G$; 11-17 – *трёхкомпонентные скопления УВ*. 11 – преобладание числа залежей одного из компонентов над двумя другими, примерно с равными по числу залежей компонентами, $G > (H \approx K)$; 12 – то же, $H > (G \approx K)$; 13 – преобладание двух примерно равных по числу залежей компонентов над третьим, меньшим по числу залежей, $(G \approx K) > H$; 14 – то же, $(G \approx H) > K$; 15 – преобладание одного из компонентов над двумя другими, разными по числу залежей, $G > K > H$; 16 – то же, $H > G > K$; 17 – то же, $G > H > K$.

Анализ распределения типов залежей и ловушек в нефтегазоносных провинциях Черноморско-Каспийского региона показывает следующее.

Черноморская нефтегазоносная провинция. По актуализированным по состоянию на 2022 г. данным эта провинция в пределах рассматриваемого региона включает 51 месторождение. Их флюидный состав представлен в основном газом и в существенно меньшей степени – нефтью и конденсатом. Нефтяные залежи выявлены на северо-западе и юго-востоке провинции (см. рис. 2 и 4). Более 82% месторождений сосредоточено в отложениях кайнозоя. При этом их большая часть (около 73%) относится к стратиграфическим интервалам палеоцена-эоцена и майкопа (олигоцен – нижний миоцен). С более молодыми интервалами разреза (верхний миоцен-плиоцен) связано несколько новых открытий (газ), сделанных в последнее время в румынском и турецком районах глубоководной области Черного моря. Около 16% скоплений связано с меловыми отложениями. Одно нефтепроявление установлено в отложениях палеозоя у болгарского побережья Черного моря. Из общего числа месторождений провинции 22 характеризуются залежами, которые по имеющимся данным могут быть отнесены к литологическому, стратиграфическому или литолого-стратиграфическому типам. В то же время залежи этих типов локализируются в границах антиклинальных структур, что диктует необходимость обозначения ловушек, включающих эти месторождения, как комбинированных.

В *Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакской провинции* согласно результатам исследований выявлено 463 месторождения нефти, газа и конденсата в продуктивных интервалах разреза от триаса до плиоцена. Наибольшим количеством скоплений углеводородного сырья характеризуются отложения миоцена, майкопской толщи и нижнего мела, содержащие 60% всех месторождений провинции (миоцен – 18%, майкоп – 18%, нижний мел – 24%). Наименьшую долю от общего числа месторождений (около 1.5%) составляют скопления в плиоцене и нижней юре. Остальные месторождения относительно равномерно (в доле от 7.0 до 8.2%) распределены в стратиграфических интервалах палеоцена-эоцена, верхнего мела, верхней и средней юры и триаса.

Вследствие особенностей территориального распределения толщ в границах провинции, в частности – отсутствия или значительного сокращения мощности отдельных региональных продуктивных комплексов кайнозоя в области кряжа Карпинского и восточной части Среднего Каспия, связанные с ними месторождения или проявления УВ отсутствуют или весьма редки на этих территориях.

Продуктивность нижнемеловых отложений установлена во всех областях провинции. При этом наибольшее число относящихся к ним месторождений сосредоточено в платформенной части провинции и в Терско-Каспийской нефтегазоносной области. Продуктивность средне-верхнеюрских отложений наиболее выражена в восточной части провинции. В её западных, северо-западных и северных районах на всех уровнях разреза преобладают газовые и газоконденсатные скопления.

Индоло-Кубанская нефтегазоносная область (НГО) включает 125 месторождений углеводородов. Из их числа 13 скоплений западной части провинции, расположенных на Керченском и Таманском полуостровах, в южной половине Азовского моря и его юго-восточном побережье образованы залежами литологического и стратиграфического типа, которые локализируются в антиклинальных и реже в брахиантиклинальных ловушках.

В полосе развития приорогенных моноклиналей и антиклинальных зон южного борта Индоло-Кубанского прогиба 46 месторождений образованы залежами литологического типа (литологически ограниченными и/или экранированными), 8 залежами стратиграфически экранированными и одно, Южно-Хадьженское (Клещёв, Шеин, 2010), залежью, связанной с биогенным выступом. При этом залежи в 30 месторождениях локализируются в антиклинальных, брахиантиклинальных и реже в куполовидных структурах, а залежи 25 месторождений, расположенных преимущественно в примайкопском районе, связаны с моноклинойю.

Таким образом, более 24% месторождений этой нефтегазоносной области так или иначе связаны с комбинированными ловушками, в формировании которых в разной мере принимают участие литолого-стратиграфические и структурные факторы.

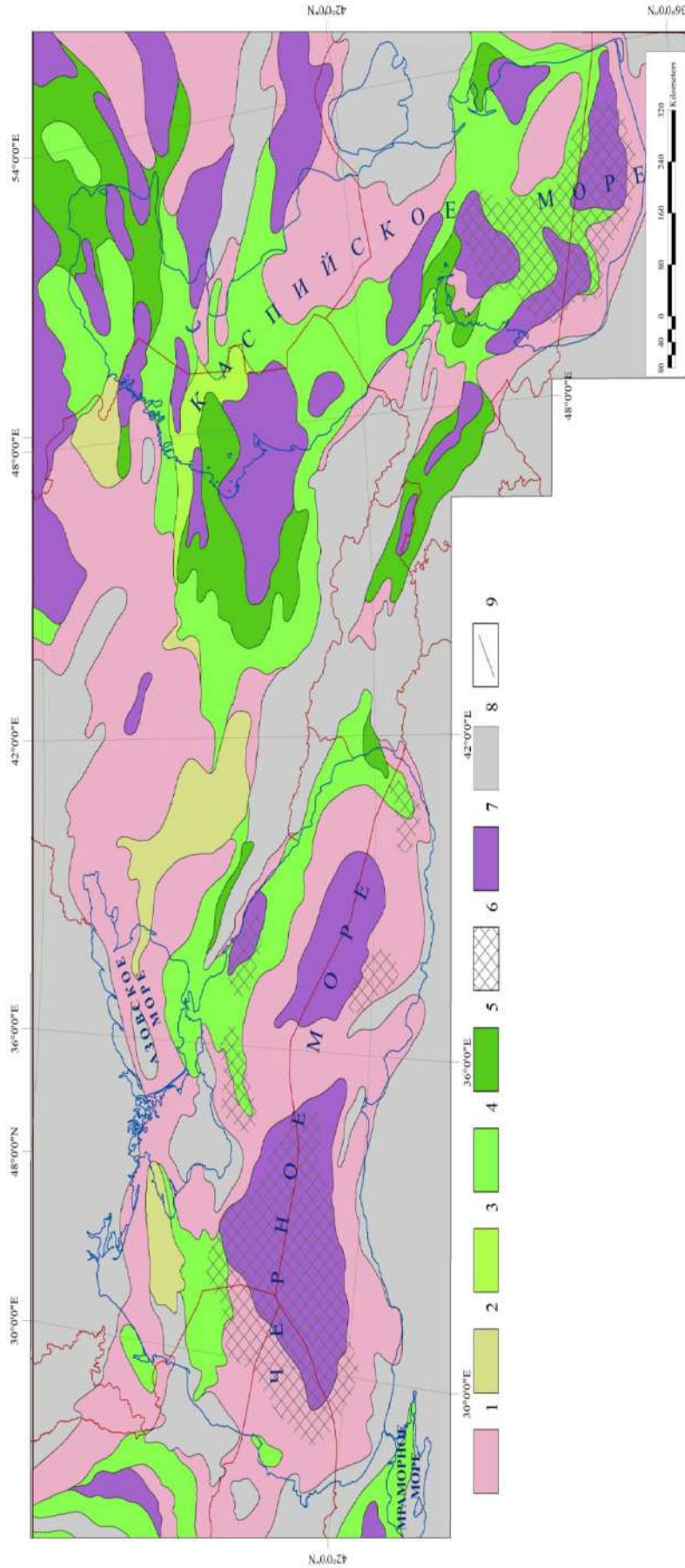


Рис. 4. Схема районирования Черноморско-Каспийского региона по преобладающему фазовому составу УВ в месторождениях и донно-грунтовых пробах акватории
Условные обозначения: 1-6 – преобладающий фазовый состав УВ: 1 – газ, 2 – газ и конденсат, 3 – нефть, газ, конденсат, 4 – нефть и газ, 5 – нефть, 6 – газогидрат, 7 – главные области питания (очаговые области, нефтегазогенерационные бассейны), 8 – неперспективные земли, 9 – границы государств и национальных зон морского недропользования

Ещё 20% ловушек месторождений, приуроченных к моноклиналям, могут быть отнесены к литолого-стратиграфическому типу. Однако структурный фактор (принадлежность к моноклинали) всё же играет известную роль и в их формировании в период постседиментационной истории разреза, определяя: особенности размыва коллекторской толщи при формировании моноклинали; общее и специфическое для каждой ловушки направление миграции генерированных в осадочном бассейне УВ флюидов; объединение отдельных скоплений в зону нефтенакпления, контролируемую моноклиналью.

Западно-Предкавказская НГО включает 76 месторождений, в числе которых 20 образованы залежами литологического типа и 8 – стратиграфического, представленных преимущественно газом и конденсатом. Подавляющее большинство залежей локализуется в контурах антиклинальных и брахиантиклинальных структур и только на двух месторождениях (Зерноградском и Гуляй-Борисовском) они связаны с моноклиналью. В суммарном выражении доля месторождений, ловушки которых могут быть определены как комбинированные, сформированные при участии как литолого-стратиграфического, так и структурного фактора, составляет около 37% от общего числа месторождений этой НГО.

Центрально-Предкавказская НГО представлена 24 месторождениями преимущественно газового и газоконденсатного состава. В их числе 7 месторождений, т.е. немногим более 29%, сформированы залежами литологического типа, которые локализуются в антиклинальных, брахиантиклинальных и куполовидных структурах.

Терско-Каспийская НГО включает 49 месторождений с абсолютным преобладанием нефтяных залежей. Залежи 11 месторождений из этого числа относятся к литологическому типу и одного (Дузлак) – к стратиграфическому (стратиграфически экранированному). Практически все залежи локализуются в антиклинальных или значительно реже в брахиантиклинальных структурах, за исключением Тернаирского месторождения. В последнем одна литологически экранированная залежь в чокракских песчаниках приурочена к моноклинали.

Восточно-Предкавказская НГО насчитывает 105 месторождений, в флюидном составе которых на всех стратиграфических уровнях продуктивности существенно преобладает нефть. Из общего числа месторождений 20 сформировано залежами литологического типа и 2 – стратиграфически экранированными залежами. Абсолютное большинство залежей локализуется в антиклинальных, брахиантиклинальных и значитель-

но реже – в куполовидных структурах, в связи с чем полные конфигурации ловушек, с которыми связаны месторождения, квалифицируются как комбинированные. Исключение составляет Емельяновское нефтяное месторождение в среднеюрских песчаниках и алевролитах, образованное стратиграфически экранированной залежью и связанное с моноклиналью.

НГО Кряжа Карпинского включает 41 месторождение. Скопления представлены нефтью, газом, конденсатом и распределены как непосредственно в системе структур континентальной части кряжа, так и в системе продолжающих его по простиранию валообразных структур северной части Каспийского моря и коррелируемых с ними в структурно-тектоническом и нефтегазогеологическом отношении структур Бузачинского свода (Глумов, и др., 2004). Основные продуктивные интервалы этой НГО образованы отложениями нижнего мела и средней юры. Сравнительно редки залежи в отложениях палеоцена-эоцена и верхней юры. В общем числе месторождений – шесть формируются залежами литологического типа, пять из которых локализуются в антиклинальных структурах. Шестая – литологически экранированная нефтяная залежь в аптских песчаниках месторождения Двойного приурочена к моноклинали.

В прочих нефтегазоносных областях провинции конфигурация месторождений, согласно имеющимся данным, определяется исключительно структурными ловушками.

В целом по Причерноморско–Северо-Кавказско–Мангышлакской провинции суммарная доля литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек в общем числе известных здесь месторождений составляет около 28%. При этом их большая часть представляет собой комбинацию структурной формы и расположенных в её контуре залежей литологического, стратиграфического или литолого-стратиграфического типа. Ловушки собственно литолого-стратиграфического характера, сформированные без явного участия или при ограниченном (моноклиналь) участии структурного фактора составляют до 6% от общего числа ловушек, определяющих конфигурацию месторождения. Наибольшее количество таких ловушек в границах этой провинции связано с восточным предгорным районом Индоло-Кубанской НГО.

Прикаспийская нефтегазоносная провинция в границах рассматриваемого региона включает 52 месторождения, данные о типах залежей и ловушек известны для 51 площади. Во флюидном составе рассмотренных месторождений существенно преобладает нефть, хотя имеются

также месторождения газа и конденсата, среди которых уникальное по объёму запасов Астраханское месторождение. Продуктивные горизонты присутствуют во всех стратиграфических подразделениях мезозоя (от триаса до верхнего мела), в подсолевых карбонатах девона – среднего карбона; редкие скопления УВ связаны также с отложениями палеогена и неогена.

Таким образом, общая доля ловушек литолого-стратиграфического и комбинированного типов в данной области составляет около 17% от общего числа месторождений, а в пределах южной части Прикаспийской провинции, относящейся к Черноморско-Каспийскому региону, – в целом до 14%.

В Южно-Каспийской нефтегазоносной провинции рассмотрено распределение залежей и ловушек 112 месторождений, входящих в её состав и распределённых в шести нефтегазоносных областях. Абсолютное большинство месторождений здесь связано с плиоценовыми отложениями, в составе которых выделены две основные синхронные (средний плиоцен) нефтегазоносные толщи – *продуктивная* в западной части провинции и *красноцветная* в её восточной части. Местами в число продуктивных включаются и более молодые (верхний плиоцен) отложения. Более древние нефтегазопродуктивные интервалы, включающие горизонты от верхнего мела до миоцена, установлены в Гобустано-Куринской НГО.

В числе 65 месторождений Абшероно-Прибалханской НГО выявлено 5 месторождений, залежи которых относятся к литологическому типу, и 2 месторождения со стратиграфически экранированными залежами. Все эти месторождения локализуются в контурах брахиантиклинальных или куполовидных структур.

Из 17 рассмотренных месторождений Восточно-Азербайджанской НГО только одно – Дуваный-суша, связанное с антиклинальной ловушкой, содержит залежи литологического типа.

Аналогичная ситуация характерна для Западно-Туркменской НГО, где в составе газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений лишь одно газоконденсатное – Эрдекли, связанное с брахиантиклинальной ловушкой, содержит пять литологически экранированных залежей в верхнемиоценовых отложениях (акчагыл).

В Гобустано-Куринской НГО 5 из 14 включённых в нее нефтяных скоплений связаны с антиклинальными ловушками, образованы залежами литологического типа (литологически ограниченные или литологически экранированные).

Таким образом, в целом в составе Южно-Каспийской провинции согласно данным справочных источников и прочих публикаций только

12-13% от общего числа открытых здесь месторождений связаны с комбинированными ловушками, образованными при участии литолого-стратиграфического и структурного факторов.

Литологические и палеогеографические условия, определяющие распространение на месторождениях Черноморско-Каспийского региона на литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек, оцененные на основании полученных результатов, представлены на рис. 5. Как следует из приведённой схемы, в границах Черноморской провинции и Южного Каспия их формирование в значительной степени связывается с песчаными и песчано-алевролитовыми комплексами неогеновых и неоген-четвертичных палеодельт и конусов выноса, а также зон развития турбидитов в их внешних зонах.

С устьевыми участками палеоген-неогеновых палеодолин и подгорными молассовыми шлейфами, в формировании которых участвует обломочный материал, выносимый этими долинами, связаны литолого-стратиграфические и комбинированные ловушки в межгорных и предгорных (краевых) прогибах альпийских складчато-орогенных систем и сопряжённых платформенных зон.

В затопляемых приорогенных впадинах платформенной области Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакской провинции и орогенных прогибах альпийских горно-складчатых сооружений образование литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек определяется зонами проградирующих разгрузок юрских, меловых и палеогеновых потоков осадочного материала за бровками внутренних уступов и валообразных поднятий континентального шельфа, зонами мезозойских и кайнозойских молассовых шлейфов и проградационно заполняемых орогенных и прочих впадин складчато-орогенных систем.

Преимущественно в платформенных шельфовых условиях и на локальных участках относительной стабилизации или слабых колебательных движений образование литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек может быть связано с разнообразными аккумулятивными и эрозионно-аккумулятивными формами прибрежных и удалённых от берега обособленных мелководий.

Сводные количественные характеристики типов ловушек в нефтегазоносных провинциях Черноморско-Каспийского региона, а также распределение залежей в литолого-стратиграфических и комбинированных ловушках по стратиграфическим интервалам представлены в табл. 3 и 4.

Из нижеприведённых данных следует, что на долю литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек в составе месторождений региона немного более 25% (рис. 6 и табл. 3).

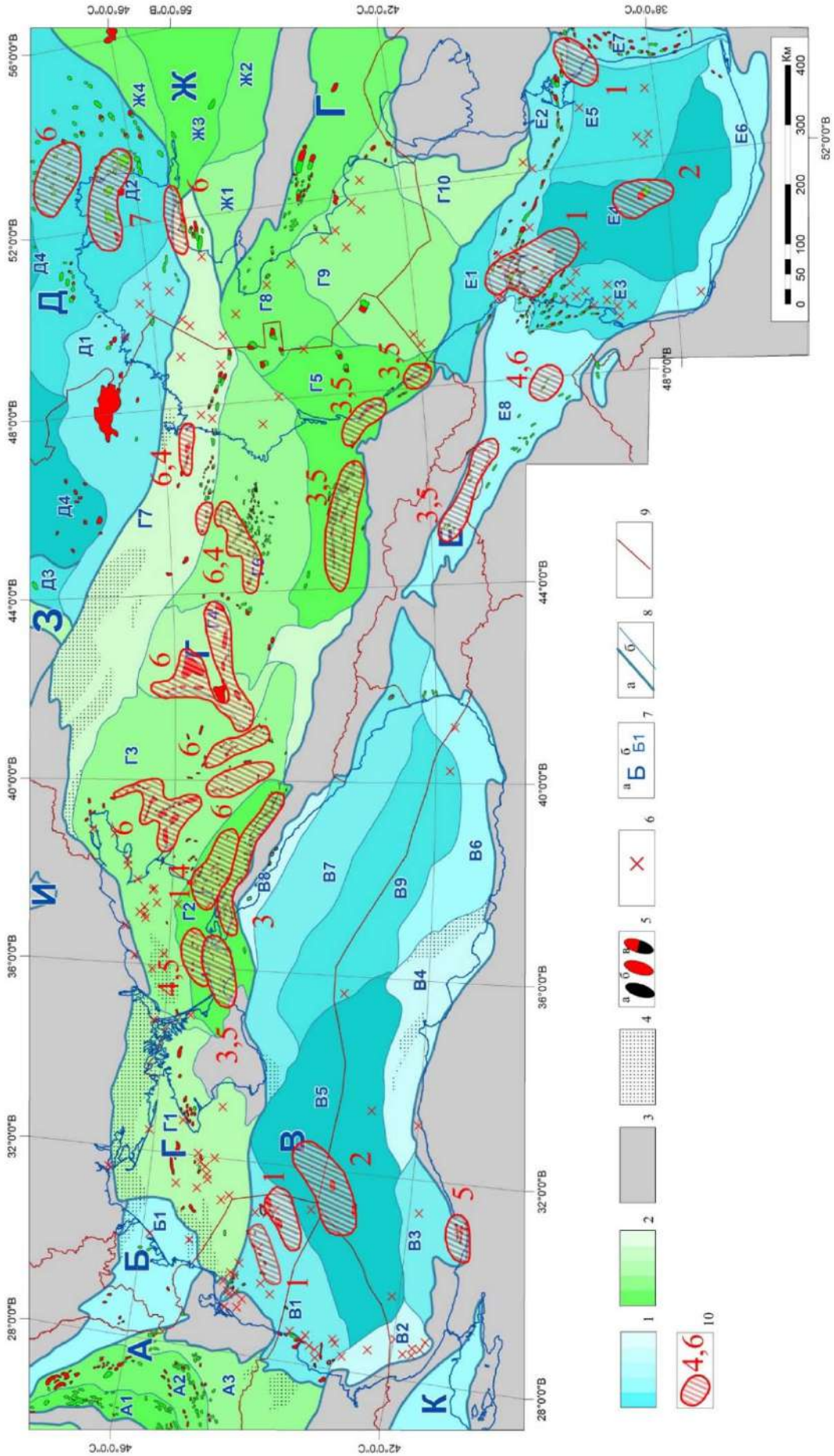


Рис. 5. – Литолого-формационные и палеогеографические условия зон развития литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек и залежей на месторождениях УВ Черноморско-Каспийского региона. Основа: Рис. 1. Нефтегазовые провинции и области Черноморско-Каспийского региона и прилегающих территорий

Условные обозначения к рисунку 5: 1 – нефтегазоносные провинции перикратонных погружений и крупных альпийских впадин; 2 – нефтегазоносные провинции и области подвижных платформ; 3 – неперспективные области за пределами провинций; 4 – перспективные зоны в границах провинций; 5 – месторождения: а – нефти, б – газа и конденсата, в – смешанного состава; 6 – площади, не давшие положительного или коммерчески значимого результата; 7 – индексы: а – нефтегазоносных провинций, б – нефтегазоносных областей; 8 – границы: а – нефтегазоносных провинций, б – нефтегазоносных областей; 9 – границы государств и национальных зон морского недропользования, 10 – контуры зон распространения ловушек и залежей и индексы характерных условий. *Нефтегазоносные провинции и области (индексы на карте):* А – Предкарпатско-Балканская (НГО, ПНГО: А1 – Восточно-Карпатская, А2 – Предкарпатская, А3 – Придунайско-Валахская); Б – Балтийско-Предобруджинская: Б1 – Молдавско-Предобруджинская НГО; В – Черноморская (НГО, ПНГО: В1 – Восточно-Мизийская/Истрия, В2 – Игнеада/Бургасско-Прибалханская, В3 – Западно-Понтийская, В4 – Синопская, В5 – Западно-Черноморская глубоководная, В6 – Восточно-Понтийская, В7 – Крымско-Кавказская континентальная окраина, В8 – Новороссийско-Лазаревская, В9 – Восточно-Черноморская глубоководная); Г – Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская (НГО, ПНГО: Г1 – Причерноморско-Крымская, Г2 – Индоло-Кубанская, Г3 – Западно-Предкавказская, Г4 – Центрально-Предкавказская, Г5 – Терско-Каспийская, Г6 – Восточно-Предкавказская, Г7 – Кряжа Карпинского, Г8 – Южно-Мангышлакская, Г9 – Центрально-Каспийская, Г10 – Западно-Карабогазская); Д – Прикаспийская (НГО, ПНГО: Д1 – Астрахано-Калмыцкая, Д2 – Южно-Эмбенская, Д3 – Волгоградско-Карачаганакская, Д4 – Центрально-Прикаспийская); Е – Южно-Каспийская (НГО, ПНГО: Е1 – Северо-Абшеронская, Е2 – Абшерон-Прибалханская, Е3 – Восточно-Азербайджанская/Западного Борта, Е4 – Южно-Каспийская котловина/глубоководная, Е5 – Туркменская ступень, Е6 – Мазендеранская; Е7 – Западно-Туркменская/Восточного Борта, Е8 – Гобустан-Куринская); Ж – Арало-Устюртская (НГО, ПНГО: Ж1 – Южно-Бузачинская, Ж2 – Яркимбай-Арстановская, Ж3 – Бейнеуская, Ж4 – Мынсуалмасская); 3 – Волго-Уральская; И – Днепровско-Припятская; К – Фракийская. *Индексы литолого-формационных и палеогеографических условий (цифры на схеме):* коллекторы терригенных формаций: 1 – песчаные и песчано-алевритовые комплексы неогеновых и неоген-четвертичных палеodelьт и конусов выноса, 2 – турбидитные песчаные и песчано-алевритовые комплексы внешних (дистальных) зон неогеновых и неоген-четвертичных палеodelьт и конусов выноса, 3 – зоны палеоген-неогеновых устьевых участков палеодолин, подгорных песчано-глинистых молассовых шлейфов ("седиментационных клиньев"), 4 – зоны проградирующей разгрузки юрских, меловых и палеогеновых потоков осадочного материала ниже внутренних уступов, террас, валообразных поднятий континентального шельфа, 5 – зоны мезозойских молассовых шлейфов в проградационно-заполняемых и затопляемых орогенных и приорогенных впадинах и прогибах, 6 – разновозрастные платформенные аккумулятивные и эрозионно-аккумулятивные формы прибрежных мелководий и обособленных отмелей (бары, косы, береговые валы, плитные шлейфы, погребённые долины). Коллекторы карбонатных формаций: 7 – рифовые сооружения (коралловые, мшанковые рифы, ракушняковые банки).

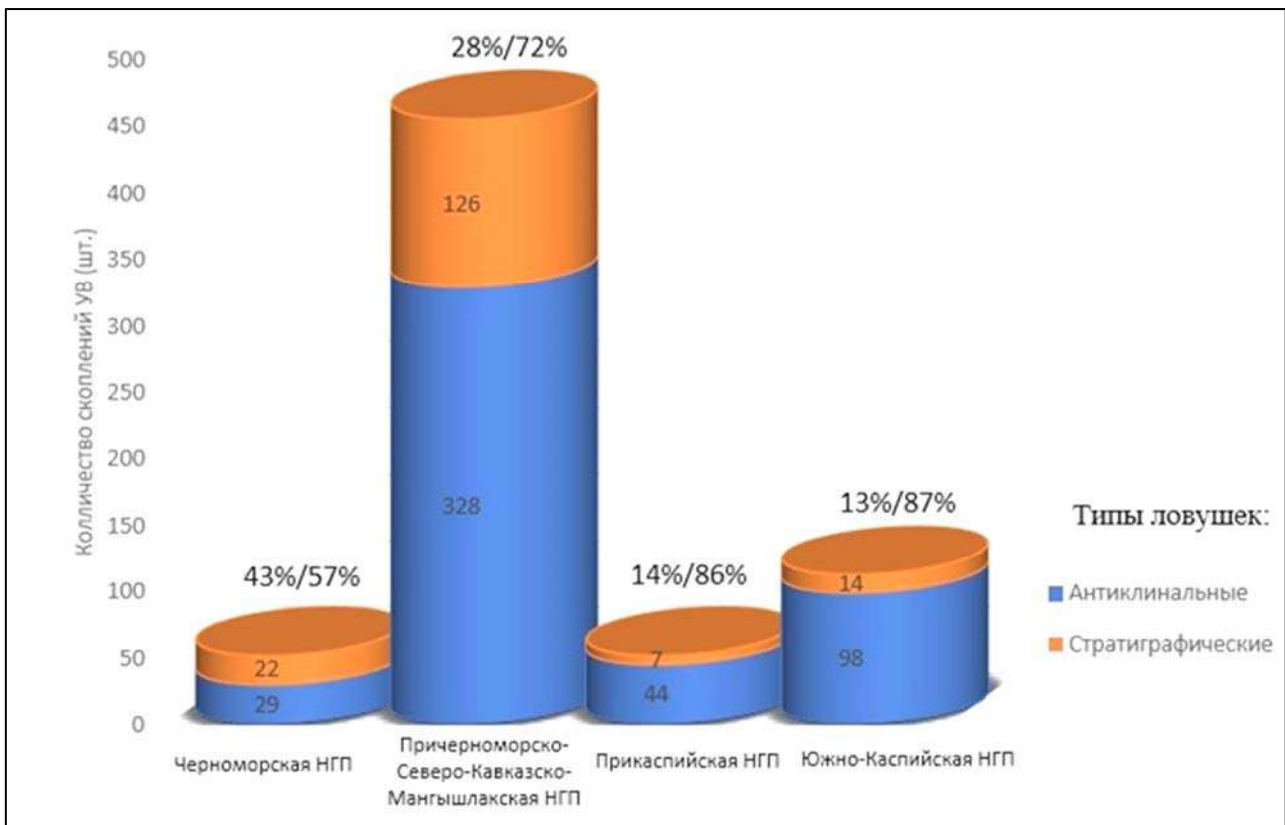


Рис. 6. Сводная характеристика распределения типов ловушек в нефтегазоносных провинциях и областях Черноморско-Каспийского региона

При этом число залежей литологического, стратиграфического, литолого-стратиграфического типов и связанных с биогенными выступами превосходит общее число литолого-стратиграфических и комбинированных ловушек (рис. 7 и табл. 4), определяющих полный контур месторождения, что обусловлено наличием как однозалежных, так и многозалежных скоплений, локализованных в одной объединяющей их ловушке.

Доля собственно "неструктурных" ловушек, образование которых связано с действием седиментационных факторов (литологическое ограничение или экранирование, стратиграфическое экранирование, формирование биогерма – как формы и как резервуара – составляет около 5% от общего числа месторождений региона. Как показывает приведённый анализ, структурный фактор всё же принимает косвенное участие в их формировании, определяя направление миграционных потоков УВ и объединяя отдельные скопления УВ в зоны нефтегазоаккумуляции.

Существенное участие структурного фактора в формировании большинства комбинированных ловушек региона отчасти может объясняться высоким уровнем его тектоно-геодинамической активности в мезозое и кайнозое, о которой было сказано выше. Она обу-

словлена тесным соседством и взаимодействием молодой платформы и области альпийской и новейшей складчатости, с контрастными орогенными движениями и образованием высоких горных систем и глубочайших впадин. Это взаимодействие определяет не только разнообразие условий осадконакопления и формационного состава, размывов и несогласий в прилегающих к орогенным системам областях подвижной платформы, но также движения и структурообразование в этих областях как на уровне блоков и глыб фундамента, так и на уровне осадочного чехла. Надо полагать, что в геодинамически более спокойных, удаленных от зон активной геодинамики и тектогенеза платформенных регионах роль "неструктурных" ловушек, образование которых контролируется преимущественно/или исключительно седиментационными (литологическими, стратиграфическими) факторами в формировании месторождений УВ, может быть более существенной.

Ещё одной причиной относительно небольшой доли "неструктурных" ловушек, определяющих полную конфигурацию скопления УВ в составе месторождений региона, является, очевидно, установившаяся стратегия и тактика поисков УВ, которая ориентируется на поиски "локальных поднятий" в качестве главных объектов, определяющих результативность.

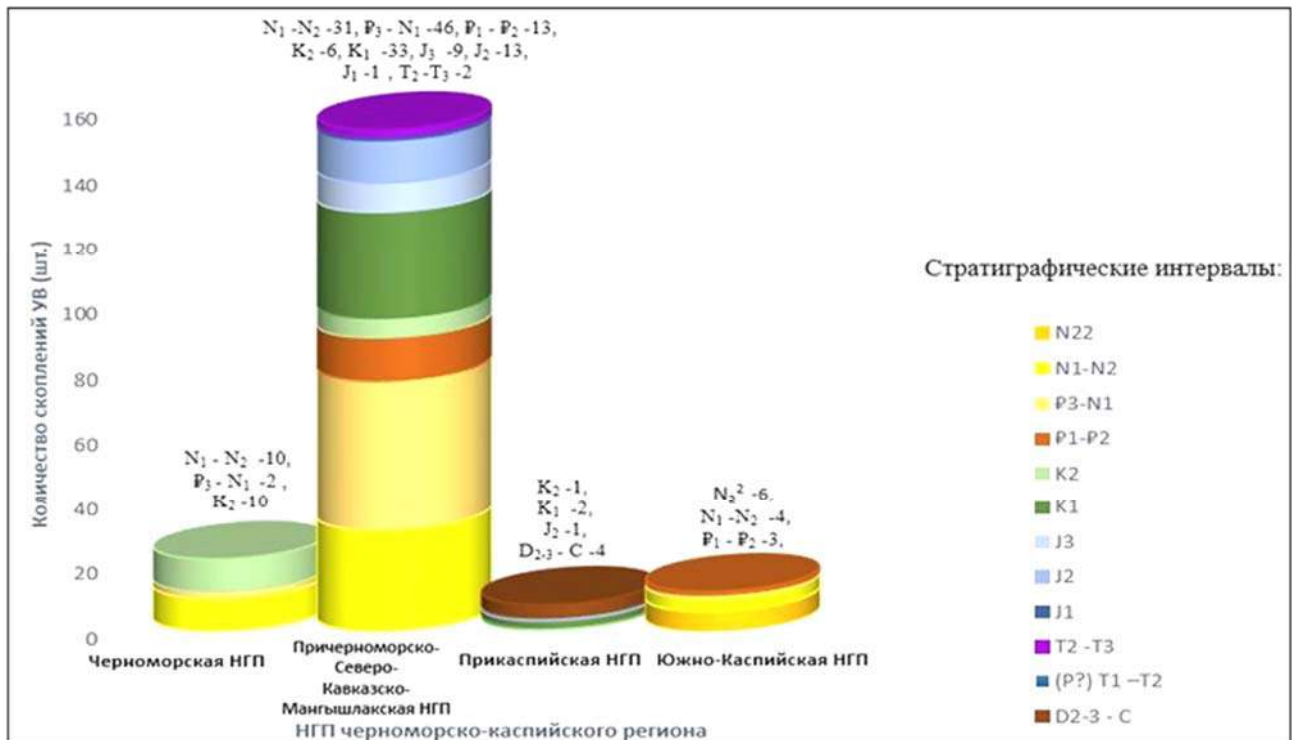


Рис. 7. Распределение залежей в литолого-стратиграфических и комбинированных ловушках по стратиграфическим интервалам и нефтегазоносным областям Черноморско-Каспийского региона

Таблица 3

Сводная характеристика распределения типов ловушек в нефтегазоносных провинциях и областях Черноморско-Каспийского региона

| Типы ловушек | Черноморская НП | | | | | Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская НП | | | | | | | | Прикаспийская НП | | Южно-Каспийская НП | | | | | Всего типов ловушек | в т.ч. ДСК | | |
|--|-----------------|-----------|----------|----------|----------|--|------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----------|------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|----------|----------|---------------------|------------|------------|-----|
| | В1 | В3 | В5 | В6 | В8 | Г1 | Г2 | Г3 | Г4 | Г5 | Г6 | Г7 | Г8 | Г9 | Д1 | Д2 | Е2 | Е3 | Е4 | Е6 | | | Е7 | Е8 |
| Антиклиналь | 32 | 10 | 1 | 3 | 4 | 14 | 68 | 25 | 9 | 43 | 26 | 31 | 6 | 3 | 1 | 5 | 11 | 5 | | | | 13 | 310 | 90 |
| Брахантиклиналь | | | 1 | | | 9 | 28 | 40 | 10 | 5 | 73 | 6 | 1 | | 2 | 3 | 51 | 12 | 1 | 2 | 13 | 1 | 258 | 42 |
| Куполовидная | | | | | | | 5 | 9 | 5 | | 5 | | | 1 | | | | | | | | | 25 | 6 |
| Дицирковая | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 29 | | | | | | | 36 | |
| Моноклиная | | | | | | | 24 | 2 | | 1 | 1 | 4 | | | | | 3 | | | | | | 35 | 27 |
| Рифовая (Блаженный выступ) | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | 4 | 4 |
| ВСЕГО | 32 | 10 | 2 | 3 | 4 | 23 | 125 | 76 | 24 | 49 | 105 | 41 | 7 | 4 | 10 | 41 | 65 | 17 | 1 | 2 | 13 | 14 | 668 | |
| В том числе литолого-стратиграфические и комбинированные (ДСК) | 10 | 10 | 2 | | | | 56 | 24 | 7 | 12 | 23 | 4 | | | | 7 | 7 | 1 | | 1 | 5 | | 169 | 169 |

Таблица 4

Распределение залежей в литолого-стратиграфических и комбинированных ловушках по стратиграфическим интервалам и нефтегазоносным областям Черноморско-Каспийского региона

| | Черноморская НГП | | | | Причерноморско-Северо-Кавказско-Мангышлакская НГП | | | | | | | | | Прикаспийская НГП | | | | | Южно-Каспийская НГП | | | | | Всего по стратиграфическим интервалам |
|---|------------------|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------|----|----|----|----|---------------------|----|----|-----|--|---------------------------------------|
| | B1 | B3 | B5 | B8 | Г1 | Г2 | Г3 | Г4 | Г5 | Г6 | Г7 | Г8 | Г9 | Д1 | Д2 | Е2 | Е3 | Е4 | Е6 | Е7 | Е8 | | | |
| N ₂ ² | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 1 | | | | | 6 | | |
| N ₁ -N ₂ | 8 | | 2 | | | 18 | 1 | 1 | 10 | 1 | | | | | | 1 | | | | | 3 | 45 | | |
| P ₃ -N ₁ | 2 | | | | | 33 | 3 | 5 | | 5 | | | | | | | | | | | 1 | 49 | | |
| P ₁ -P ₂ | | | | | | 8 | 3 | | 2 | | | | | | | | | | | | 1 | 14 | | |
| K ₂ | | 10 | | | | 1 | 3 | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | | 17 | | |
| K ₁ | | | | | | | 12 | 2 | 3 | 12 | 4 | | | | 2 | | | | | | | 35 | | |
| J ₅ | | | | | | | 1 | 2 | | 1 | 5 | | | | | | | | | | | 9 | | |
| J ₂ | | | | | | | 5 | | | 6 | 2 | | | | 1 | | | | | | | 14 | | |
| J ₁ | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| T ₃₋₃ | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | |
| (P?) T ₁ -T ₂ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| D _{2-3-C} | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | 4 | | |
| Всего по НГО | 10 | 10 | 2 | | | 61 | 32 | 8 | 16 | 31 | 6 | | | | 8 | 5 | 1 | | | 1 | 5 | 196 | | |
| Всего по НГП в пределах Черноморско-Каспийского региона | 22 | | | | 154 | | | | | | | | | 8 | | | | | 12 | | | | | 196 |

Совершенствование геофизических методов, технологий сбора и обработки информации уже сегодня позволяющих получать достаточно детальную картину объёмной (3D) структуры

геологического разреза, очевидно, будет способствовать увеличению числа "неструктурных" ловушек в нефтегазоперспективных объектах региона.

ЛИТЕРАТУРА

- Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. Недра-Бизнесцентр. Москва, 2004, 342 с.
- Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Бондарев А.В. Оценка генерационного потенциала сланцевых низкопроницаемых толщ (Майкопская серия Кавказа). Научные труды НИПИ нефтегаз ГНКАР, No. 1, 2018, с. 4-20.
- Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Етирмишли Г.Д., Юсубов Н.П., Мустаев Р.Н., Гусейнова А.Б. Современные геодинамические процессы и их значение в восполнении запасов углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе. Геотектоника, Vol. 55, No. 3, 2021, с. 96-112.
- Ермолкин В.И., Керимов В.Ю. Геология и геохимия нефти и газа. Учебник для вузов. ООО "Издательский дом Недра". Москва, 2012, 460 с.
- Кадилов Ф.А., Сафаров Р.Т. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле, No. 1, 2013, с. 47-55.
- Керимов В.Ю. Моделирование углеводородных систем и месторождений нефти и газа. Издательство Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе. Москва, 2021, 302 с.
- Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н., Хоштария В.Н. Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов. Нефтяное хозяйство, No. 8, 2017, с. 36-41.
- Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н. Литолого-геохимическая характеристика низкопроницаемых сланцевых толщ (на примере хадумской свиты Предкавказья). Горный журнал, No. 7, 2021, с. 28-33.
- Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В. Перспективы поисков скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых толщах Хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство, No. 10, 2015а, с. 50-53.
- Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Серикова У.С., Лавренова Е.А., Круглякова М.В. Генерационно-аккумуляционные углеводородные системы на территории п-ова Крым и прилегающих акваторий Азовского и Черного морей. Нефтяное хозяйство, No. 3, 2015б, с. 56-60.
- Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Монакова А.С. Моделирование углеводородных систем в регионах со сложным геологическим строением. 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. GEOMODEL 2014, pp. 47-51, DOI:10.3997/2214-4609.20142245.
- Керимов В.Ю., Сенин Б.В., Богоявленский В.И., Шилов Г.Я. Геология, поиски и разведка месторождений углеводородов на акваториях Мирового океана. Недра. Москва, 2016а, 411 с.
- Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С. Термобарические условия формирования скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых коллекторах хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство, 2016б, с. 8-11.
- Клещев К.А., Шейн В.С. Нефтяные и газовые месторождения России. Справочник: в 2 кн. ВНИГНИ. Москва, 2010, 1554 с.

REFERENCES

- Ermolkin V.I., Kerimov V.Yu. Geology and geochemistry of oil and gas. Textbook for High Schools. LLC "Publishing house Nedra". 2012, 460 p. (in Russian).
- Glumov I.F., Malovitskiy Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Nedra-Businesscenter, 2004, 342 p. (in Russian).
- Guliev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea – Caspian Region. Geotectonics, Vol. 55, No. 3, 2021, pp. 393-407.
- Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Bondarev A.V. Assessment of the generation potential of low-permeable shale strata (Maikop series of the Caucasus). Nauchnye trudy NIPi neftegaz (SOCAR Proceedings), No. 1, 2018, pp. 4-20 (in Russian).
- Gurbanov V.Sh., Hasanov A.B., Abbasova G.G. The stochastic character of distribution of granulometric content and fractality of porous structure in oil reservoirs. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 2, 2019, pp. 54-60.
- Kadirov F.A., Safarov R.T. Deformation of the Earth's crust of Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements. ANAS Proceedings. The Sciences of Earth, No. 1, 2013, pp. 47-55 (in Russian).
- Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. Iranian Journal of Earth sciences. Vol. 10, No. 1, 2018, pp. 78-89.
- Kerimov V.Yu. Modeling of hydrocarbon systems and oil and gas fields. S. Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University Publishing. Moscow, 2021, 302 p. (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N., Khoshtaria V.N. Assessment of geological risks in the search and exploration of hydrocarbon deposits. Oil Industry, No. 8, 2017, pp. 36-41. (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Mustaev R.N. Lithological and geochemical characteristics of low-permeable shale strata (on the example of the Khadum suite of the Caucasus). Mining Journal, No. 7, 2021, pp. 28-33 (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Bondarev A.V. Evaluation of the organic carbon content in the low-permeability shale formations (as the case of the Khadum suite in the Ciscaucasia region). Oriental Journal of chemistry, Vol. 32, No. 6, 2016а, pp. 3235-3241, DOI: 10.13005/ojc/320648.
- Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Dmitrievsky S.S., Yandarbiev N.Sh., Kozlova E.V. Prospects of searching for hydrocarbon accumulations in shale low-permeable strata of the Khadum formation of the Pre-Caucasus. Oil Industry, No. 10, 2015а, pp. 50-53 (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Serikova U.S., Lavrenova E.A., Kruglyakova M.V. Generation and accumulation hydrocarbon systems on the territory of the Crimea peninsula and adjacent waters of the Azov and Black Seas. Oil Industry, No. 3, 2015б, pp. 56-60 (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Senin B.V., Bogoyavlenskiy V.I., Shilov G.Ya. Geology, prospecting and exploration of hydrocarbons in the oceans. Nedra. Moscow, 2016а, 411 p. (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustayev R.N., Dmitrievskiy S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the low-permeability oil reservoirs of Khadum

- Лapidус А.Л., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Мовсумзаде Э.М., Салихова И.М., Жагфаров Ф.Г. Природные битумы – физико-химические свойства и технологии добычи. Химия твердого топлива, No. 6, 2018, с. 4-15, <http://dx.doi.org/10.1134/s0023117718060087>.
- Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Богоявленский В.И., Леончик М.И., Мустаев Р.Н. Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных акваторий. Книга 2. История и общая характеристика морской периферии России. Нефтегазоносные провинции морей Западной Арктики. Издательский дом Недр. Москва, 2020, 341 с.
- Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Богоявленский В.И., Леончик М.И., Мустаев Р.Н. Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных акваторий. Книга 3. Нефтегазоносные провинции морей Восточной Арктики и Дальнего Востока. Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе. Москва, 2022, 339 с.
- Сенин Б.В., Савченко В.И., Устьянцев В.Л., Шайнуров Р.В. Структура и нефтегазогеология модель морей Черноморско-Каспийского региона по комплексу геолого-геофизических данных. В сб.: Проблемы геологии и освоения недр юга России. Изд-во ЮНЦ РАН. Ростов-на-Дону, 2006, с. 174-176.
- Gurbanov V.Sh., Hasanov A.B., Abbasova G.G. The stochastic character of distribution of granulometric content and fractality of porous structure in oil reservoirs. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 2, 2019, pp. 54-60.
- Kerimov V., Rachinsky M., Mustaeв R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. Iranian Journal of Earth sciences, Vol. 10, No. 1, 2018, pp. 78-89.
- Kerimov V.Yu., Mustaeв R.N., Bondarev A.V. Evaluation of the organic carbon content in the low-permeability shale formations (as the case of the Khadum suite in the Ciscaucasia region). Oriental Journal of chemistry, Vol. 32, No. 6, 2016, pp. 3235-3241, DOI: 10.13005/ojc/320648.
- Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. Wiley-Scrivener Publishing. New Jersey, 2015, 640 p., DOI: 10.1002/9781118999004.
- Senin B.V., Kerimov V.Y., Mustaeв R.N., Aliyeva S.A. Lithological and paleogeographic conditions for the formation and location of sedimentary basins of the Caspian region. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2021, pp. 16-28.
- suite of the Ciscaucasia. Neftyanoe Khozyaystvo, No. 2, 2016, pp. 8-11 (in Russian).
- Kerimov V.Y., Osipov A.V., Mustaeв R.N., Monakova A.S. Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014, pp. 47-51, DOI:10.3997/2214-4609.20142245 (in Russian).
- Kleshchev K.A., Shein V.S. Oil and gas fields of Russia. Reference book: in 2 books. VNIGNI. Moscow, 2010, 1554 с. (in Russian).
- Lapidus A.L., Kerimov V.Y., Mustaeв R.N., Movsumzade E.M., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry, Vol. 52, No. 6, 2018, pp. 344-355, <http://dx.doi.org/10.1134/s0023117718060087> (in Russian).
- Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. Wiley-Scrivener. New Jersey, 2015, 640 p., DOI: 10.1002/9781118999004.
- Senin B.V., Kerimov V.Yu., Bogoyavlensky V.I., Leonchik M.I., Mustaeв R.N. Oil and gas provinces of the seas of Russia and adjacent water areas. In 4 books. Book 2. History and general description of Russia's maritime periphery. Oil and gas provinces of the seas of the Western Arctic. Nedra. Moscow, 2020, 341 p. (in Russian).
- Senin B.V., Kerimov V.Yu., Bogoyavlensky V.I., Leonchik M.I., Mustaeв R.N. Oil and gas provinces of the seas of Russia and adjacent water areas. In 4 books. Book 3. Oil and gas provinces of the seas of the Eastern Arctic and the Far East. S. Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University Publishing. Moscow, 2022, 339 p. (in Russian).
- Senin B.V., Kerimov V.Y., Mustaeв R.N., Aliyeva S.A. Lithological and paleogeographic conditions for the formation and location of sedimentary basins of the Caspian region. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2021, pp. 16-28.
- Senin B.V., Savchenko V.I., Ustyantsev V.L., Shainurov R.V. Structure and oil and gas geological model of the Black Sea-Caspian region Seas based on a complex of geological and geophysical data. In the collection: Problems of geology and development of the subsoil of the South of Russia. Publishing House of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Rostov-on-Don, 2006, pp. 174-176 (in Russian).

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОВУШЕК И ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЧЕРНОМОРСКО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ

Керимов В.Ю.^{1,2}, Сенин Б.В.³, Серикова У.С.², Мустаев Р.Н.², Романов П.А.²

¹Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана, Азербайджан
AZ1000, Баку, ул. Ф. Амирова, д. 9: vagif.kerimov@mail.ru

²Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Россия
117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23: serikovaus@mgri.ru;
mustaevrn@mgri.ru; romanovpa@mgri.ru

³АО «Союзморгео» – АО «Росгеология», научно-аналитический центр, Россия
353461, Геленджик, ул. Крымская, 20: sengri@mail.ru

Резюме. Для оценки условий формирования и распределения различных типов ловушек и залежей УВ в Черноморско-Каспийском регионе были использованы геологические характеристики более 670 морских и континентальных месторождений в России и за рубежом. Отбор и обобщение анализируемых характеристик осуществлялись исходя из представлений о типах ловушек и залежей УВ в целом и применительно к Черноморско-Каспийскому региону. В соответствии с определениями и характеристиками некоторых типов ловушек и залежей, а также данными о месторождениях разного флюидного состава и возраста вмещающих толщ в регионе вся совокупность анализируемых характеристик, отражающих принадлежность месторождения к тому или иному классу, распределена по отношению к двум факторам – структурному и седиментационному (литолого-стратиграфическому). Показано, что наибольшее число месторождений разного состава связано с новейшим (44 %) и альпийским (около 40 %) тектоно-седиментационными циклами и что в месторождениях западной (Черноморской и Причерноморской) половине региона заметно преобладают газовая и конденсатная фазы флюидного состава, а в его восточной (Каспийско-Прикаспийской) – нефтяная. Доля "неструктурных" ловушек, образование которых связано с

действием седиментационных факторов (литологическое ограничение или экранирование, стратиграфическое экранирование, формирование биогерма – как формы и как резервуара) составляет около 5% от общего числа месторождений региона. Как показывает приведенный анализ, структурный фактор всё же принимает косвенное участие в их формировании, определяя направление миграционных потоков УВ и объединяя отдельные скопления УВ в зоны нефтегазоаккумуляции.

Ключевые слова: Черноморско-Каспийский регион, ловушка, залежь, месторождения, нефть, газ, углеводороды, тектоно-седиментационные циклы

QARA DƏNİZ – XƏZƏR REGIONUNDA KARBOHİDROGEN TƏLƏLƏRİN VƏ YATAQLARIN FORMALAŞMA ŞƏRAİTLƏRİNİN VƏ PAYLANMASININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Kərimov V. Y.^{1,2}, Senin B.V.³, Serikova U.S.², Mustayev R.N.², Romanov P.A.²

¹Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Elm və Təhsil Nazirliyinin Neft və Qaz İnstitutu, Azərbaycan AZ1000, Bakı, F.Əmirov küçəsi, 9: vaqif.kerimov@mail.ru

²Sergo Orconikidze adına Rusiya Dövlət Geoloji-Kəşfiyyat Universiteti, Rusiya 117997, Moskva, Mikluxe-Maklay küçəsi, 23: serikovaus@mgri.ru; mustaevrn@mgri.ru; romanovpa@mgri.ru

³AC Soyuzmorgeo-AC Rosgeologiya, Elmi-Analitik Mərkəz, Rusiya 353461, Gəlincik şəh., Krimskaya küçəsi, 20: sengri@mail.ru

Xülasə. Qara dəniz-Xəzər regionunda formalaşma şəraitləri və müxtəlif tipli tələlərin paylanmasını qiymətləndirmək üçün Rusiya və xaricdən 670-dən artıq dəniz kontinental yataqlarının neft-qaz geoloji səciyyəkləndirilməsinə ehtiyac duyuldu. Tələlərin tipləri və KH yataqlarının bütövlükdə və Qara dəniz-Xəzər regionuna nəzərən təsəvvürlərinə söykənərək, təhlil edilən səciyyəklərin seçilməsi və ümumiləşdirilməsi həyata keçirilmişdir.

Tələ və yataqların bəzi tiplərinin təyinatları və səciyyəkləndirilməsinə, regiondakı müxtəlif flüid tərkibli və yerləşdirici süxurların yaşına istinadən yataqlar haqqında məlumatlara müvafiq olaraq, yatağın bu və ya digər sinfə aidliyətini əks etdirən təhlil olunan səciyyəklərin məcmusu əsasında - struktur və sedimentasiya (litoloji-stratigrafik), iki amil ayrılmışdır.

Müxtəlif tipli yataqların ən böyük miqdarı ən yeni (44 %) və alp (40 %-ə qədər) tektonik-sedimentasiya dövrləri ilə əlaqədardır və qərbi Qara dəniz və regionun Qara dənizyanı hissəsində əksəriyyəti flüid tərkibli qaz və kondensat, onun şərqində – Xəzər-Xəzəryanı hissəsində isə neft yataqlarının olması göstərilmişdir.

Sedimentasiya amillərinin (litoloji məhdudiyyət və ya ekranlaşdırma, stratigrafik ekranlaşdırma, biogermin formalaşması - forma və rezervuar kimi) təsiri ilə bağlı olan «quruluşsuz» tələlərin payı regiondakı yataqların ümumi sayının təxminən 5% -ni təşkil edir. Aparılmış təhlillərin göstərdiyi kimi, struktur amil onların formalaşmasında dolayı iştirak edir, karbohidrogenlərin miqrasiya axınlarının istiqamətini müəyyənləşdirir və ayrı-ayrı karbohidrogen yığınlarını neft-qaz yığımı zonalarına birləşdirir.

Açar sözləri: Qara dəniz-Xəzər regionu, tələ, yataq, neft, qaz, karbohidrogen, tektonik-sedimentasiya dövrləri

A STUDY OF CAVES AND THEIR SPELEOTOURISM POTENTIAL IN AZERBAIJAN

Imrani Z.T., Zeynalova K.Z., Hidayatli G.A.

Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Geography named after acad. H.A.Aliyev, Azerbaijan

115, H. Javid Ave., Baku, AZ1143: zaur_imrani@mail.ru

Keywords: natural monument, cave, speleotourism, Azykh, Taghlar, Damjili, Gazma

Summary. The caves used by primitive man as shelters and settlements are one of the places where information about the history of mankind is brought to light. For this reason the geographical and archaeological values of caves are always in the foreground. However, we should not forget the economic importance of caves and their potential for speleotourism, because in our contemporary world the economic importance of caves is very high. From this point of view the paper gives the classification of caves; emphasizes the importance of determining their status; on the basis of archival, stock and research works provide extensive information about the caves of Azerbaijan, which are distinguished by their archaeological, paleontological and stratigraphic value; make proposals for their preservation and use as examples of historical and cultural heritage; present a map of the caves of Azerbaijan.

In addition, the paper explores the use of caves as shelters by primitive people, the creation of legends and myths, the significance of shrines, sanctuaries and temples, their value as a historical and cultural heritage, as well as tourist's attraction, the possibility of using them for sports and recreational purposes.

The use of caves for tourism is one of the main objectives of speleotourism. To this end, we have studied the potential of speleotourism in the caves registered and unregistered by the Government of Azerbaijan and proposed to passport the caves, to determine the possibility of using speleotourism services in the regulation of regional tourism based on scientific and economic research.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The improvement of tourism requires the direct and efficient use of existing opportunities, as well as everlasting enhancement of the continuous operation of the types of tourism. Recently, the dynamic development of tourism in Azerbaijan has defined a fuller and more efficient use of available tourism potential as a priority direction and has achieved the improvement of the different tourism directions such as ecotourism, ethno-tourism, sport and health tourism, treatment and recreation tourism, rural tourism and others. However, the proportion of this sector in the country's economy is rather low, since the tourism opportunities have not been used adequately in the regions.

According to the statistic materials of the 2020 year, the volume of the GDP was 42,6 Billion US dollars in Azerbaijan, and it means 4272,2 billion US dollars per capita. Nevertheless, the percentage of tourism in the GDP was relatively lower accounting for 1.2% of the total share (Azərbaycan rəqəmlərdə..., 2021). The reason underlying the low

proportion of tourism is the inexistence of the hierarchical improvement concept of tourism in the implementing State Programs related to the socio-economic development of regions, as well as in the specialised strategic roadmap. Though, the tourism sector was especially determined as one of the priority directions in the development strategy of the national economy.

Material and methods

During the investigation, geological, geomorphological, geographical, historical, biological, anthropological materials were collected and scrutinised in cameral conditions. The analysis was conducted using a historical-geographical approach, comparative and systematical analysis, interviews, Geographical Information Systems (GIS) and other methods.

Natural monument – caves

Natural monument – is the witness and memory of the natural phenomena occurring in the depth and

on the surface of the Earth at different times having certain aesthetic, scientific and practical significance and attracting attention with its unique and remarkable appearance (Xəlilov, 2020). Natural monuments are factored in unique tourism objects. Nevertheless, not all the objects created by nature are unique natural monuments. Typically, unique natural monuments emerge as a result of internal and external natural processes. One of the essential characteristics of the unique natural monuments is their geological, historical and scientific importance (Равшанов, Усманов, 2021).

Nature creates mountain summits, deep valleys, caves, rivers, waterfalls and others during a long geological period. Undoubtedly, these unique monuments of nature attract tourists' attention constantly and create conditions to make their trip intriguing. In order to use the caves, which are unique among natural monuments and in recent years are in the field of interest of tourists, we must first analyze their physical and geographical features, and then explore ways of involving them in tourism. *Caves* are the underground cavities of different forms and sizes in the layers of karstified limestone, dolomite and gypsum rocks. The caves show up as a consequence of percolating water which passes through the inclined carbonated rock layers and washes them out (Гвоздецкий, 1972). The emergence, formation and development of the caves are tightly related to the karst process. In most cases, the caves are formed as a result of the covering of karstified rocks with insoluble and deposited sediments of the Quaternary age and their isolating of soluble rocks.

Caves compose the basic element of the karst system which interferes with the transformation process on the surface of the physical environment and underground, as well as, the settlement of wildlife (Lobo, Moretti, 2009). However, the deficiency of a unified classification to define existence form, belonging, genesis and other parameters of caves creates some misunderstanding in this direction. Despite the conduction of a series of investigations related to the caves, they make it difficult to get a general result.

Although the karst process develops more or less in mountainous provinces of Azerbaijan, the typical karst landscape spreads in very small areas (only in the areas where carbonated rocks spread). Karst developed in the zone of carbonate rocks of the Greater Caucasus, in the places of the southern slope where Jurassic and Cretaceous limestones outcrop. Karst process is active in the Lesser Caucasus, mainly in Shinikh-Destefur synclinorium, in the places where Jurassic and Cretaceous limestone layers' outcrop, in Agjakend synclinorium, where gypsum layers' outcrop and in Karabagh range where

thick carbonate rocks appear on the surface or lie in the areas or zones at shallow depths. Mesozoic and Paleozoic carbonate rocks, spread (distributed) in Daralayaz range or in its west, refer to karstified rocks in Nakhchivan (Museyibov, 1998). Though caves are not of so gigantic size, they are represented by the forms such as karst, abrasion, erosion, denudation and etc., differing from their genesis (Kəngərli, Babayev, 2013). The caves distinguished by different sedimentary forms (stalactites, stalagmites and etc.) are not so rich. Nonetheless, it is possible to encounter them and other sedimentary forms in more complicated structures in some caves and mines.

Morphological features of caves possess different and intriguing elements. In addition to this, being a shelter and worshipping place for a primitive man increases their attractivity. The caves with these features have great archaeological and historical-cultural values.

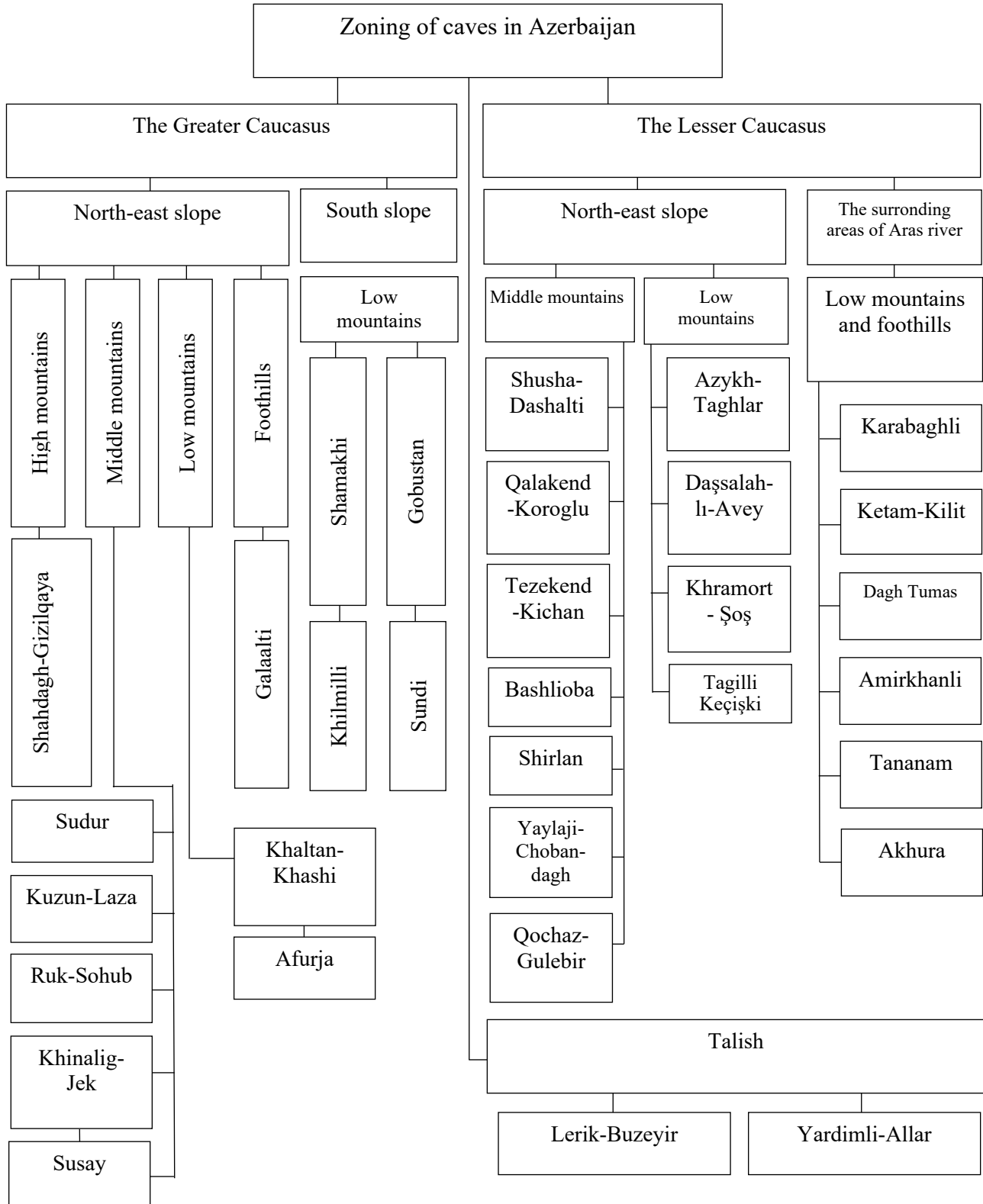
The investigation of caves in Azerbaijan necessitates their zoning (Table 1). The caves are primarily located in the mountainous areas of the Greater and Lesser Caucasus Mountains and a small part covers the Talish highlands. It is feasible to come across several caves in the areas adjacent to the Aras River, especially in the Nakhchivan.

The role of caves is not small in the determination of paleogeographical condition, the development history of relief, as well as, primitive men's shelters and their lifestyle. Unfortunately, not enough attention has been paid to the study of caves in the republic (Əyyubov, 1978). For the first time, during the archaeological exploration conducted in 1953, the remnants of tangible culture of the best scientific importance were discovered in the area known as Yatag, in Damjili cave, in the southwest of Avey Mount, in the Kazakh region (Zamyatnin, 1958). The area of the cave is 360 m², the length is 17 metres, the height from the front side is 4 metres. The entrance part of Damjili cave, which has a semicircular shape, was destroyed. During the archaeological excavations carried out in the cave camp, more than 8 thousand archaeological materials, namely stone cutting tools, sharp-pointed currycomb and knife-shaped tools, plate-shaped splinters, arrowheads, awls and others, more than 2000 bones belonging to different animals were found out. During the archaeological exploration, in the Kazakh region, in the west of Dashsalahly village, a new cave camp belonging to the Stone Age was found in Dashsalahly cave in 1958. The height of the cave is 17 metres, the width is 10 metres, the area is 170 m². A large hearth with a diameter of 2 metres was discovered at the entrance of the cave. It was defined that there existed a cultural layer in the sediments of

Dashsalahly cave's camp. 354 pieces of stone products and nearly 500 pieces of animal bones have been found. Stone tools are referred to the Mousterian period determined by preparation technique, shape and comparison (Alməmmədov və b., 2017). The general length of 12 caves belonging to the Dashsalahly caves group is up to 200 meters

(Əyyubov, 1978). Archaeological and paleontological discoveries found among the sediments of Damjili and Dashsalahly cave camps the proof that primitive men of the Stone Age, inhabited there, made labour tools and engaged in hunting. This, in turn, confirms that the territory of Azerbaijan is one of the most ancient places of accommodation.

Table 1



During the archaeological exploration work conducted in the Guruchay and Kondalanchay valleys of Karabakh and nearby areas in 1960, Azykh and Taghlar Paleolithic camps were recorded on the left bank of the Guruchay river. During the excavations conducted in the Azykh Paleolithic camp, 10 layers were recorded and studied. The general thickness of archaeological camps in the Azykh Paleolithic camp which has the richest stratigraphy in the Near East and Caucasus area is 14 metres (Azərbaycan arxeolojiyası, 2008). Being the largest karst cave of the Caucasus, Azykh cave consists of 5 halls. Its length is 23 metres, the length together with small exits and karst wells comprises 600 metres. At the same time, the cave has an entrance and an exit. Along with the labour tools, the bones of extinct animals were found from the cave (cave bear, wild horse, merka rhinoceros, huge deer, Caucasian deer, Mesopotamian deer, Ekyus hydrintinus, different birds and etc.). The remains of the most ancient hearth found from the Azykh cave is nearly 700 thousand old (Qəniyev, 2019).

Azykh cave occupies a special place in the world archaeology. The discovery of jaw bone belonging to the oldest human-azykhanthrope caused the great scientific revolution in the study of the history of the Caucasus region. The samples of material culture confirm that the first human footprints were found here about 1.5-2 million years ago. The first people who were close to Homo Habilis according to age living in Eastern Africa settled here 2 million years ago (Avşarova, Pirquliyeva, 2010). However, during the excavations carried out in Taghlar camp, 6 layers were recorded. Like Azykh cave, the stratigraphy of Taghlar cave is also rich, the general thickness of layers is 9 metres. Taghlar cave is the only monument with permanent accommodation among the Caucasus and Near East monuments (Azərbaycan arxeolojiyası, 2008). Both caves are of great archaeological and paleontological value as examples of historical cultural heritage. The caves differ from other caves by their natural attraction, remains of stone tools and animal bones (cave bear, cave tiger, Caucasian deer, Mesopotamian deer, mountain goat, bison, cave hyena, sharp-eared owl, brown hare and etc.) as well as by the stratigraphy of great importance. For this reason, the scientists coming to the region take a close interest in Azykh and Taghlar caves.

During the archaeological exploration conducted in 1971 in the mountainous area of Karabakh, the Shusha camp cave, belonging to the Stone Age, was found near Dashalti village, on the left bank of the Dashalti river. The length of the Shusha cave camp is 125 metres, the width is 20 metres and the height is 10 metres. 4 pieces of stone products belonging to

the Paleolithic age were found in the cave camp (Джафаров, 1973). The charm of the Shusha cave camp is not related only to its proximity to Shusha city and its historical-geographical advantages but also to the presence of caves with ancient history such as Shahnazar and Khazina Gala nearby.

According to the implemented geographical, historical, archaeological and paleontological studies, it can be argued that the caves were inhabited by the most ancient settlers of Azerbaijan. The caves were the most ancient accommodation and the first shelter. With population growth, the primitive men created quite a new type of habitations – artificial caves along with natural caves. The artificial caves are underground cavities dug with different tools and carved by people. People used these caves for different purposes such as accommodation, shelter, place of worship, temple, storage, water channel, tunnel and others.

The artificial caves were used since the Neolithic period. Along with expansion their settlements due to these artificial caves, the primitive tribes built a more convenient residence in a form different from the previous one (Очерки по древней истории Азербайджана, 1956).

In the territory of Azerbaijan the artificial caves can be found in the south-eastern foothills of the Greater Caucasus and in the Lesser Caucasus region (Усейнов и др., 1963). For example, 30 artificial caves, belonging to the Paleolithic era, have been found in Avey Mount. One of them is the Aveydag cave. The cave is located in the upper part of Karabulag, between two steep rocks. Aveydag cave is considered one of the primary settlements of primitive man. Tools of labour, belonging to the ancient Stone Age, have been found in the cave. Hand choppers, tools like currycombs and sharp-edged tools occupy an important place among labour tools. Bone fractures of the animals hunted in the cave have been found as well. In addition to these, plenty of interesting findings belonging to the bronze era and middle ages (pieces of pottery, lamps and scrap metals) have been revealed (Alməmmədov və b., 2017). It can be feasible to find this type of artificial cave in different regions of our country.

There are some caves in Azerbaijan that local inhabitants use as pilgrimages and temples. One of these caves is the Ashabi-Kahf cave located in the area between Ilandag and Nahajir mountains in the Babek district of Nakhchivan.

The origin of Ashabi-Kahf is referred to pseudokarst, its entrance is located behind the narrow valley hidden behind rocks. The walls of the cave which is more than 5 meters high look like huge hollows overtaken by both nature and humans (Kəngərli, Babayev, 2013).

According to the legend reflected in Surah Al-Kahf (Cave) of Koran, the young people who believed in God hid in the cave together with their dog in order to escape from pursuits. God made them sleep, woke them up after a few centuries. However, seeing the strange world around them, the young fell asleep again forever. The legend spread in the territory of Nakhchivan has the same content (İnzibatı-ərazi vahidləri, 2020). From this point of view, people, who visit the cave of Ashabi-Kahf, believe this cave to be a miraculous place. According to the local belief, if a drop of water falls on the person's head, sitting in the cave, his dreams will come true.

There is a same-name mineral water spring in the cave-pilgrimage as well. Along with Azerbaijan, visitors-tourists from Turkey and Iran Islamic Republic come to this cave. Taking into account these activities, the mosque was built in the area of the cave.

Gara inek (Black cow) cave located near Amirvan village in Dashkesan region like Ashabi-kahf is visited as a pilgrimage. According to the legend, the cow's milk mixes with water and goes out of the cave in a form of spring. Its water is healing. As the water is enriched with iron, it has therapeutic importance. A relevant condition has been created for ritualistic scarification near the cave of Gara inek, which is used as a pilgrimage.

One of the most developed types of cave tourism has sports and recreational purposes. At the present moment, karst caves and salt mines are widely used for the treatment of bronchial asthma disease in most countries of the world (Italy, Hungary, Poland, Germany, Ukraine, Romania and etc.). Physicians came to such a conclusion that as sodium and chloride ions prevail in salt mines, it affects positively on the treatment pulmonary and bronchial diseases with speleotherapy (Bağırılı, 2013). There is a Duzdag Physiotherapy centre on the basis of salt deposits in Duzdag cave near Boyukduz village of Kengarli region in Nakhchivan. By the "Speleotherapy" method, applied in the centre, bronchial asthma patients are cured. Many tourists coming from different places of the world for this purpose use the wide opportunities of Duzdag in this sphere (Cabbarov, İsayeva, 2013). The majority of tourists visiting Nakhchivan for the purpose of treatment health come here after hearing of the healing features of rock-salt. Duzdag physiotherapy centre makes service of high quality to the guests, patients and tourists who come there. There exists a long tunnel for overnight staying and walking in the centre. To recover their health, bronchial asthma patients take a series of various treatments under doctors' control (Zeynalova et al., 2021). The cave used in the treatment of bronchial asthma diseases has specific humidity and air features.

Generally, it can be concluded that the caves in Azerbaijan have scientific (geological, geomorphological, paleo-morphological, hydrological, hydrogeological, geographical, historical, biological, anthropological), religious, cultural, healing and other features. Along with them, there are great potential opportunities to use caves for tourism purposes. In order to properly and fully use these opportunities, it is necessary to determine the direction of speleotourism development and organize reasonable speleotourist routes.

Speleology and speleotourism

At the end of the XIX century, growing interest in numerous caves (there were more than 3 thousand caves only in Europe), opportunities of studying underground cavities with complicated structures, as well as, geological, paleogeological, archaeological and other findings intended to use them as a tourism object. People are trying to learn the secrets of the underground world, for this reason they explore subsoil with special technical devices, which creates a basis for the formation (establishment) of a novel organization. In 1879 "The Association of Cave Explorers" was formed in Vienna. It set tasks such as studying caves of Austria, broadening knowledge about them and participating in the organization of excursions. E. Rivyer suggested the term "speleology" in 1890. Nevertheless, in 1892 M. de Nussac used the term in the short form "speology," which is still used by some biospecialists. After the speech of E. Martelin at the XII Congress of the "Association for the Support of Scientific Research in France" on August 4, 1893, the term "speleology" became known internationally (Дублянский, 2000).

Regardless of the caves geneses, speleology science is engaged in studying all caves. This term is derived from the Latin word "Spelunga" which means "cave". Caves are underground cavities that can develop in a horizontal, inclined or vertical directions extending from a few meters to several kilometres. According to the definition given by International Speleology Union, the cave is valued (estimated) as a large underground cavity that enables humans to pass through the hole in the rock (Bartın mağaraları hakkında araştırma raporu, 2018).

Speleotourism is a kind of tourism that protects or strengthens the geographical features, environment, heritage, aesthetics, culture of the area and inhabitants' welfare. This means that speleotourism is a form of diversified tourism, which covers natural areas, historical attributes of the area, archaeological excavations, aesthetic landscapes, traditional architecture, as well as local cuisine, music, art and dance. At the same time, speleotourism is able to preserve the environment and enrich the economy of the region (Emeka et al., 2017).

The complexity of underground routes, due to the different forms of cave relief, and high relative humidity (up to 100%) at low temperatures are among the essential features of speleotourism. Speleotourism requires tourists' physical strength, endurance, dexterity, the ability to use all possible means and opportunities for safety under the ground, as well as swimming and climbing skills. Speleotourism route consists of two parts – above-ground and underground. The complexity of the first part of the route, the state and strength of the transition depend on the area of location, the remoteness of settlements and the season of the year. However, the second part of the route is characterized by several categories of complexity, which are determined by the length of the cave, the shape of the relief and climatic conditions. Before starting "speleotour", the routes which show interesting and relevant excursion areas are compiled (İmrani, Ağakişiyeva, 2021). Regardless of the goal, speleotourism has two directions: 1. Sports tourism (in this case scientific research must be carried out necessarily) 2. Scientific research (in sport tourism all requirements must be met on a mandatory basis). The development of speleotourism is possible in two main directions: 1. Mass tourism: the goal is to have fun, relax and sightseeing; 2. Special tourism: hiking (trekking) in small groups (10-12 people) and within a restricted time (3-7 hours) accompanied by a guide and specially equipped. Speleotourism is a complex type of tourism, the complexity of which depends on natural light, high relative humidity, low air temperature, relief forms and crossing roads. Hiking requires the tourist to be cautious and prepared, as well as strength, endurance, agility and the ability to use technical means of insurance. In general, we can say that combining mountain tourism with some features of alpinism, speleotourism is carried out in caves, remote from settlements and inaccessible areas. Nevertheless, the development of speleotourism is more appropriate in areas located near settlements, where a service is prepared for the tourist. Along with the level of service for tourists, the entrance to and around the cave should be cleaned, tourists should be informed about the cave. In turn, speleotourists must pay attention to their behavior and comply with the special requirements for the underground nature. This is due to the extreme fragility of cave ecosystems, the different types of natural formations, minerals and ice crystals that surround them. For example, the broken stalactite can be restored after decades, even a hundred years later. Unfortunately, as a result of studying the caves, numerous mineral compounds are destroyed. It is

necessary to protect caves with valuable, rare and scientifically and ecologically sensitive characteristics and not to take any action in these caves.

Analysis and discussion

The most convenient method to better protect million-year-old caves as part of the promotion and marketing of Azerbaijan's natural and cultural resources should be their use for tourism purposes. The caves in our country have great potential in terms of tourism diversity. Geomorphological elements, exotic and rare forms of relief make the caves attractive as free recreation elements or natural objects.

Attracting attention to the caves in Azerbaijan is carried out in various aspects. They include the following points:

- settlement of primitive man (Azykh, Damjili, Taghlar, Gazma and others);
- a creation of legends and myths (Ashabi-Kahf, Gara inek and others);
- estimation as a place of pilgrimage, temple and worship (Ashabi-Kahf, Gara inek, Damjili, Gaur and others);
- value as historical and cultural heritage (Azykh, Taglar, Shusha, Aveydag and others);
- use for sports and recreational purposes (Duzdag and others).

Caves are widespread in Azerbaijan. They can be found mainly at an altitude of 500-2600 meters above sea level. However, they can be occasionally encountered in the highlands. Their sizes are not so huge. According to the data given by F.D.Ayyubov, we can enunciate that 240 caves were recorded in the territory of our republic. Nearly 40 caves with an extension of 800 meters have been studied among them. Nevertheless, only 30 caves have been confirmed and recorded as historical and cultural monuments in our republic. 4 of them are preserved as world, 18 caves as country monuments and 8 caves as a monument of local importance (Table 2).

Azykh, Taghlar, Damjili and Gazma cave camps of world importance have been studied well scientifically, their potential opportunities have been assessed (Fig. 1). However, the caves of state and local importance have been studied poorly, Shusha and Zar cave camps, Buzeyir, Allar, Nokho, Almammad, Dashgala and other caves which are distinguished by their historical past and where people settled as dwellings have been out of sight (Fig. 2). Along with them, several caves which served as cave-temple in the past can be used for VFR (visiting friends and relatives) tourism purposes.

Table 2

The list of the caves recorded in the Republic of Azerbaijan

| Series number | Title | Location | Period |
|-----------------------------|---------------------------|--|--------------------|
| Of global importance | | | |
| 1 | Azykh cave camp | In Khojavend district, in Guruchay valley, between Azykh and Salahli villages | Paleolithic |
| 2 | Taghlar cave camp | Khojavend district, in the south from Boyuk-Taghlar village | Paleolithic |
| 3 | Damjili cave camp | Qazakh district, near the village of Dash-Salahli, in the territory of Damjili, mount Avey | Paleolithic |
| 4 | Gazma cave camp | Kangarli district, 3 kilometres northeast of Tananam village | Paleolithic |
| Of state importance | | | |
| 1 | Shusha cave camp | Shusha city, on the left bank of Dashalti river, near the village of Dashalti | Stone Age |
| 2 | Taghlar cave | Khojavend district, near the village of Taghlar | Stone Age |
| 3 | Cave | Qazakh district, at a distance of 1.2 kilometres from Dash Salahli village, in the south and west from Avey temple (10 artificial caves) | First middle ages |
| 4 | Buzeyir cave | Lerik district, on the left bank of Zuvandchay, at the top of Delikli-Dash 3 kilometres east of the village of Buzeyir | Middle Paleolithic |
| 5 | Allar cave | Yardimli region, on the left bank of Vileshchay, near the village of Allar | Stone Age |
| 6 | Damjili cave temple | Qazakh district, near the village of Dash Salahli, in mount Avey, on the top part of Damjili spring (artificial cave) | Antique |
| 7 | Kilit cave | Ordubad district, on the left bank of Araz river, near the village of Kilit | Neolithic |
| 8 | Almammad cave | Julfa district, near the village of Jamaldin | Stone Age |
| 9 | Dashgala cave | Babak district, near Sirab village, in the southern slope of Dashgala mountain | Bronze |
| 10 | Nokho cave | Balaken region, on Gubek rock | Iron Age |
| 11 | Hadi Gaib cave | Sharur region, near Akhura village | Stone Age |
| 12 | Shikhlar cave | Jabrayil region, near Shikhlar village | Stone Age |
| 13 | Zar cave camp | Kalbajar region, in the west of Zar village | Paleolithic |
| 14 | Cave temple | Lachin region, near Qochaz village | V century |
| 15 | Cave-place of worship | Gubadli region, near Aliguluushagi village | IV century |
| 16 | Cave-place of worship | Gubadli region, near Gaur valley | |
| 17 | Cave | Baku city, Khazar district, near Dubandi | Early Bronze |
| 18 | Maiden Tower cave | Zagatala district, north of Yukhari Chardaglar village, in the west of Maiden tower mountain | |
| Of local importance | | | |
| 1 | Guyulu caves | Gobustan district, in the south of Sundu village, in Gahla mountain (two caves) | Middle Ages |
| 2 | Caves | Gobustan district, in the south of Sudu village, in Gahla mountain (8 caves) | Middle Ages |
| 3 | Gazanfar caves with wells | Gobustan district, in the south of Gazanfar mountain, in Sundu village (2 caves) | Middle Ages |
| 4 | Caves | Gobustan district, 8 kilometres south of Sundu village (4 caves) | Middle Ages |
| 5 | Cave | Jabrayil region, near Dag-Tumas village | Middle Ages |
| 6 | Cave | Lachin region, near Gulabird village | XV century |
| 7 | Koroglu cave | Gadabay district, 5 kilometres south-west from Novosaratovka village | Middle Ages |
| 8 | Mashanli cave | Gabala district, south-east of Bayramkokhali village | Middle Ages |

Note: Approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Azerbaijan Number 132 dated on the 2nd of August 2001. Baku: 162 p.

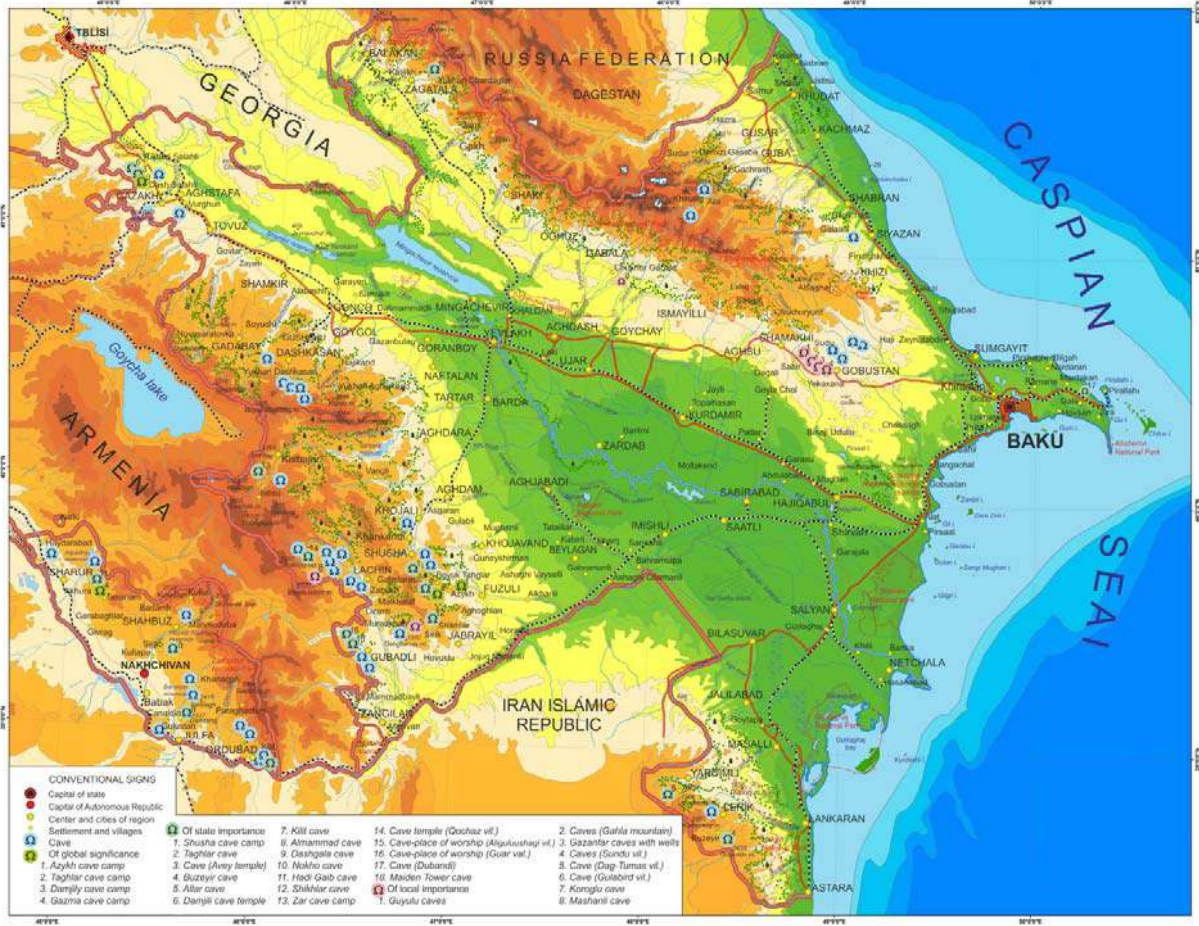


Fig.1. The map of caves of Azerbaijan



Azykh cave (Khojavend district)



Zar cave (Kalbajar district)



Buzeyir cave (Lerik district)



Keshikchidagh cave (Aghstafa district)

Fig. 2. Caves with a speleotourism potential

Along with the above-mentioned caves, there are a number of caves in our republic which are known for their uniqueness, natural charm, historical past and as a dwelling place, as well as which are suitable for speleotourism purposes. These are Shahnazar, Khazina, Gala, Dashsalahli, Khalilli, Zuvandchay, Chakhmag, Maral, Salakhan, Dashgala, Darasham, Dragon, Peygamber (prophet) cave, Kuhuldag, Divlar sarayi, Khramort, Gizilgaya, Nardivan, Goygala, Keshikchidag and others.

The attraction of caves plays a significant role in the development of a special kind of tourism – speleotourism. Potential opportunities for the development of speleotourism are wide. However, at the present day, they are not used for international tourism purposes, only local tourists visit some of the caves and are interested in their geological structure, historical past, and archaeological findings.

No special means are used practically in the horizontal cave passages which are of great interest for the amateurs of speleotourism. Special types of equipment are used as the vertical cave passages are steep and inclined and in the mixed cave passages different obstacles are observed (Квартальнов, 2005). Such excursions should be led by mining engineers and speleologists who have been engaged in organized field research for many years (Черных, 2002). From this point of view, speleotourism is studied in different aspects. A number of researchers investigate the participants who take interest in this type of tourism (pupils, students, nature lovers, sportsmen, scientists, researchers) and the purpose of their visits (aesthetical, sports, pilgrimage, scientific-research, educational and other purposes) in order to define the route map of speleotourism. Because amateurs of aesthetical tourism prefer travelling in order to explore and study the beauty of the underground environment, nature lovers – for charming (authentic) natural areas, visitors – for historically and religiously famous caves, sportsmen – for hard-to-reach caves, scientific-researchers – for relief forms, hydrological features and historical heritage of the caves. Mainly pupils, students and amateur excursions are involved in speleotourism which is organized in a form of group. They prefer educational trips, visiting the caves well provided with road and transportation infrastructure, getting acquainted with the results of archaeological and paleontological research carried out in the cave. Along with the above-mentioned facts, to improve speleotourism, caves should be equipped with a lighting system, at the entrance to them information boards should be installed in Azerbaijani, English and Russian languages, and the interior and surrounding areas of the cave should always be protected and preserved intact, as they constitute a large ecosys-

tem. In order to develop speleotourism, we take into account that it may be more appropriate to draw up action plans for the following areas:

- caves should be studied and explored on a scientific basis in terms of tourism;
- peculiarities of the caves should be presented to the tourists, and booklets should be distributed to them;
- along with natural caves, tourists should be introduced to the archaeological and cultural value of artificial caves formed by ancient people to create shelters;
- it is necessary to improve the road and transport infrastructure going to the caves, to organize service areas and settlement sites near them;
- surrounding areas of the cave should be kept clean, the entrance to the caves must be symbolic, tourists should be provided with guide service.

The above-mentioned directions can be of great help in using the caves for tourism purposes. All this, when taken into account by the relevant institutions, can create a basis for the development of speleotourism and sustainable tourism at the regional level.

Result

1. The use of caves which are rare and unique historical monuments for the speleotourism purpose have great potential in Azerbaijan. To develop speleotourism on the basis of caves in the future it is necessary to organize scientifically based geographical and tourist expeditions, to prepare speleotourist routes, as caves are considered the primary source of human artistic thinking. Therefore, many caves should be supplied for speleotourism purposes, however, in this case, their microclimate, the development of bacteria, fungi and algae must remain intact. The problem of "lamp flora" (the destruction of life forms in caves due to constant lighting), that can occur because of cave infrastructure and lighting, needs to be discussed.

2. Caves are called the cradle of mankind rightly since caves have always been the primary shelter and place of protection for primitive men and played an essential role in their social and cultural development. Although 240 caves have been recorded in the territory of the Republic, only 30 out of them have been approved as historical and cultural monuments by the state. Though speleotourism importance of these caves is highly appreciated, other caves also have the potential. However, due to the fact that they are not scientifically investigated and the features of each of these caves are not identified, it is impossible to explain their archaeological and cultural value for speleotourism.

3. Speleotourism, which has great potential, is practically not developed in our republic compared

to other types of tourism, the use of caves has faded into the background. Nevertheless, as a result of our study it was determined that the development of speleotourism in our republic is associated not only with the dreams of tourists to visit caves with a natural landscape, but also with such advantages

as their great economic importance, environmental education and control over the environment. Because the caves are valued as part of nature, able to attract tourists from all over the world, this natural monument is considered interesting and valuable for tourists.

REFERENCES

- Administrative-territorial units. Presidential Library of the the affairs Office of the President of the Republic of Azerbaijan. Baku, 2020, 256 p. (in Azerbaijani).
- Almammadov Kh.I., Aliyev E.N., Najafov Sh.N. Electronic registration and mapping of archaeological monuments of different ages in the western regions of Azerbaijan. Science Development Fund, Baku, 2017, 352 p. (in Azerbaijani).
- Archaeology of Azerbaijan (Editor-in-chief M.Rahimova). Vol. 1. East-West. Baku, 2008, 448 p. (in Azerbaijani).
- Avsharova I.N., Pirgulyeva G.A. The archaeology of Caucasus. Baku University Press. Baku, 2010, 248 p. (in Azerbaijani).
- Ayubov F.D. Karst caves of Azerbaijan. Az.SSR Knowledge Society. Elm. Baku, 1978, 58 p. (in Azerbaijani).
- Azerbaijan in numbers (statistical summary). Small enterprise No. 9, Baku, 2021, 772 p. (in Azerbaijani).
- Bagirli S. Duzdag physiotherapy center – as a therapeutic tourist destination. IV Republican Scientific and Practical Conference "Azerbaijan Tourism: Today and Tomorrow", 2013, pp. 72-75 (in Azerbaijani).
- Chernykh N.B. Travel technology and organization of customer service. Sovetskiy sport. Moscow, 2002, 319 p. (in Russian).
- Dublyanskiy V.N. Entertaining speleology. Urals LTD. Perm, 2000, 252 p. (in Russian).
- Emeka O., Ezekaka A., Igwemadu M. Cave tourism and its implications to tourism development in Nigeria: A case study of Agu-Owuru Cave in Ezeagu. International Journal of Research in Tourism and Hospitality, Vol. 3, No. 3, 2017, pp. 16-24.
- Essays on the ancient history of Azerbaijan (ed.A.H.Guliyev). Academy of Sciences of Azerbaijan SSR. Baku, 1956, 168 p. (in Russian).
- Ganiyev H.G. History of Azerbaijan (from ancient times to the first decades of the XXI century). Elm ve Tehsil. Baku, 2019, 499 p. (in Azerbaijani).
- Gvozdeskiy N.A. Problems of studying karst and practice. Mysl. Moscow, 1972, 392 p. (in Russian).
- Imrani Z.T., Agakishiyeva G.R. Opportunities for development of speleotourism in Karabakh. Online conference on "Karabakh's biodiversity, land and water reserves: past, present and future". Nauka. Baku, 20-21 May 2021, p. 113 (in Azerbaijani).
- Jabbarov A., Isayeva G. Therapeutic and familiarization tourism opportunities of Duzdag in Nakhchivan: the materials of the symposium. Nakhchivan: an ancient city and Duzdag, 2013, pp. 264-266 (in Azerbaijani).
- Jafarov A.K. Exploration excavations of Shusha cave. Results of field archeological and ethnographic studies in the Azerbaijan SSR in 1972. Abstracts of reports. Elm. Baku, 1973, 21 p. (in Russian).
- Kengerli T.N., Babayev Sh.A. Geological heritage of the Azerbaijan Republic. Nafta-Press. Baku, 2013, 147 p. (in Azerbaijani).
- Khalilov H.A. Geomorphology and environment (Selected works). Europe. Baku, 2020, 448 p. (in Azerbaijani).
- Kvartalnov V.A. Tourism and branch systems. Finansy i statistika. Moscow, 2005, 276 p. (in Russian).
- Lobo H.A., Moretti E.S. Tourism in caves and the conservation of the speleological heritage: The case of Serrada Bodoquena (Mato Grosso Do Sul State, Brazil). Acta Carsologica, No. 38/2-3, 2009, pp. 265-276.
- Museyibov M.A. Physical geography of Azerbaijan. Maarif. Baku, 1998, 400 p. (in Azerbaijani).

ЛИТЕРАТУРА

- Emeka O., Ezekaka A., Igwemadu M. Cave tourism and its implications to tourism development in Nigeria: A case study of Agu-Owuru Cave in Ezeagu. International Journal of Research in Tourism and Hospitality, Vol. 3, No. 3, 2017, pp. 16-24.
- Lobo H.A., Moretti E.S. Tourism in caves and the conservation of the speleological heritage: The case of Serrada Bodoquena (Mato Grosso Do Sul State, Brazil). Acta Carsologica, No. 38/2-3, 2009, pp. 265-276.
- Zeynalova K.Z., Cafarov S.Sh., İmrani Sh.V. Potential opportunities and organizational principles of treatment and health tourism in Azerbaijan. Proceedings of the XVII international scientific symposium "Karabag: a way to victory", Göteborg, 28 august 2021, p. 374-378.
- Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. Мысль. Москва, 1972, 392 с.
- Джафаров А.К. Разведочные раскопки Шушинской пещеры. Итоги полевых археологических и этнографических исследований за 1972 г. в Азербайджанской ССР. Тезисы докладов. Элм. Баку, 1973, 21 с.
- Дублянский В.Н. Занимательная спелеология. Урал LTD. Пермь, 2000, 252 с.
- Замятнин С.Н. Разведка по каменному веку в Азербайджане осенью 1958 г. Труды института истории АН Азербайджанской ССР, Т. 8. Элм. Баку, 1958, с. 5-19.
- Квартальнов В.А. Туризм и отраслевые системы. Финансы и статистика. Москва, 2005, 276 с.
- Очерки по древней истории Азербайджана (под ред. А.Н.Гулиева). Академия наук Азербайджанской ССР. Баку, 1956, 168 с.
- Равшанов А., Усманов М. Природные памятники – уникальные объекты туризма. Материалы международной научно-практической конференции «Обеспечение устойчивого развития в контексте географии, зеленой экономики, экологии и туризма». Актөбе, 9 апреля 2021, с. 180-183.
- Усейнов М., Бретаницкий Л., Саламзаде А. История архитектуры Азербайджана. Госстройиздат. Москва, 1963, 396 с.
- Черных Н.Б. Технология путешествий и организация обслуживания клиентов. Советский спорт. Москва, 2002, 319 с.
- Alməmmədov X.İ., Əliyev E.H., Nəcəfov Ş.N. Azərbaycanın qərb rayonlarında müxtəlif dövr arxeoloji abidələrin elektron qeydiyyatı və xəritələşməsi. Elmin İnkişafı Fondu. Bakı, 2017, 352 s.
- Avşarova İ.N., Pirquliyeva Q.Ə. Qafqaz arxeologiyası. Bakı Universiteti nəşriyyatı. Bakı, 2010, 248 s.
- Azərbaycan arxeologiyası (M.Rəhimova, Baş red.). I cild. Şərq-Qərb. Bakı, 2008, 448 s.
- Azərbaycan rəqəmlərdə (statistik məcmuə). 9 No.-li kiçik müəssisə. Bakı, 2021, 772 s.
- Баğрлі S. Duzdağ fizioterapiya mərkəzi – müalicəvi turizm obyektі kimi. "Azərbaycan turizmi: bu gün və sabah" IV Respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, Aypara 3, 25 may 2013, s. 72-75.
- Cabbarov Ə., İsayeva G. Naxçıvan Duzdağının müalicə və tanışlıq turizm imkanları. "Naxçıvan: ilkin şəhər və Duzdağ" simpoziumun materialları. Əcəmi. Naxçıvan, 2013, s. 264-266.

Ravshanov A., Usmanov M. Natural monuments – unique objects of tourism. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Ensuring Sustainable Development in the Context of Geography, Green Economy, Ecology and Tourism". Aktobe, 9 April, 2021, pp. 180-183 (in Russian).
Research report on Bartın caves. BAKKA. Bartın, 2018, 268 p. (in Turkish).
Useynov M., Bretanitsky L., Salamzade A. History of architecture of Azerbaijan. Gosstroyizdat. Moscow, 1963, 396 p. (in Russian).
Zamyatnin S.N. Exploration of the Stone Age in Azerbaijan in autumn 1958. Proceedings of the Institute of History of the Academy of Sciences of the Azerbaijan SSR, Elm. Vol. 8, 1958, pp. 5-19 (in Russian).
Zeynalova K.Z., Jafarov S.Sh., Imrani Sh.V. Potential opportunities and organizational principles of treatment and health tourism in Azerbaijan. Proceedings of the XVII international scientific symposium "Karabakh: a way to victory", Göteborg, 28 august 2021, pp. 374-378.

Əyyubov F. Azərbaycanın Karst mağaraları. Azərbaycan Bilik Cəmiyyəti. Elm. Bakı, 1978, 58 s.
Xəlilov H.A. Geomorfologiya və ətraf mühit (seçilmiş əsərlər). Avropa. Bakı, 2020, 488 s.
İmrani Z.T., Ağakışiyeva G.R. Qarabağda speleoturizmin inkişaf etdirilməsi imkanları. "Qarabağın biomüxtəlifliyi, torpaq və su ehtiyatları: keçmişi, bugünü və gələcəyi" mövzusunda onlayn konfrans. Elm. Bakı, 20-21 may 2021-ci il, s. 113.
İnzibati-ərazi vahidləri. Azərbaycan Respublikası Prezidentinin işlər idarəsinin Prezident kitabxanası. Bakı, 2020, 256 s.
Kəngərli T.N., Babayev Ş.Ə. Azərbaycan Respublikasının geoloji irsi. Nefta-Press. Bakı, 2013, 147 s.
Qəniyev H.Q. Azərbaycan tarixi (ən qədim zamanlardan – XXI əsrin ilk onilliklərinədək). Elm və Təhsil. Bakı, 2019, 499 s.
Müseyyibov M.A. Azərbaycanın fiziki coğrafiyası. Maarif. Bakı, 1998, 400 s.
Bartın mağaraları haqqında araşdırma raporu. BAKKA. Bartın, 2018, 268 s.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЩЕР В АЗЕРБАЙДЖАНЕ И ИХ ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ СПЕЛЕОТУРИЗМА

İmrani Z.T., Zeynalova K.Z., Hidayətli G.A.

*Министерство науки и образования Азербайджанской Республики,
Институт Географии имени акад. Гасана Алиева, Азербайджан
AZ1143, г.Баку, просп.Г.Джавида, 115: zaur_imrani@mail.ru*

Резюме. Пещеры, используемые первобытными людьми в качестве укрытий и жилищ — одно из мест, где можно найти сведения об истории человечества. По этой причине на первый план всегда выходят географические и археологические ценности пещер. Однако нельзя забывать экономическое значение пещер и их потенциал для спелеотуризма, потому что в нашем современном мире экономическое значение пещер очень велико. С этой точки зрения в статье дана классификация пещер, подчеркнута важность определения их статуса, на основе архивных, фондовых и исследовательских работ приведена обширная информация о пещерах Азербайджана, отличающихся своей археологической, палеонтологической и стратиграфической ценностью, внесены предложения по их сохранению и использованию в качестве образцов историко-культурного наследия, представлена карта пещер Азербайджана. Кроме того, в статье исследуется использование пещер в качестве убежищ первобытными людьми, рассматривается создание легенд и мифов, значение пиров, святилищ и храмов, их ценность в качестве историко-культурного наследия, а также туристической привлекательности, возможности использования их в спортивно-оздоровительных целях.

Использование пещер для туризма – одна из основных задач спелеотуризма. С этой целью мы изучили потенциал спелеотуризма в зарегистрированных и незарегистрированных правительством Азербайджана пещерах и предложили провести паспортизацию пещер, определить возможность использования услуг спелеотуризма в регулировании регионального туризма на основе научных и экономических исследований. Только в этом случае в нашей стране можно будет развивать спелеотуризм, что может повлиять на региональное развитие и повышение социально-экономических показателей местного населения.

Ключевые слова: памятник природы, пещера, спелотуризм, Азых, Таглар, Дамджылы, Газма

AZƏRBAYCANDA MAĞARALARIN TƏDQIQI VƏ ONLARIN SPELEOTURİZM POTENSİALI

İmrani Z.T., Zeynalova K.Z., Hidayətli G.Ə.

*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, akad. H.Ə.Əliyev adına Coğrafiya İnstitutu, Azərbaycan
AZ1143, Bakı şəh., H.Cavid pros. 115: zaur_imrani@mail.ru*

Xülasə. İbtidai insanların mağaralardan sığınacaq və yaşayış yerləri kimi istifadəsi bəşəriyyətin tarixi haqqında məlumatların tapıldığı yerlərdən biridir. Bu səbəbdən mağaraların coğrafi və arxeoloji dəyərləri hər zaman ön plana çıxır. Lakin mağaraların iqtisadi əhəmiyyətini, onların speleoturizm potensialını da unutmamaq olmaz. Çünki müasir dünyamızda mağaraların iqtisadi əhəmiyyəti olduqca böyükdür. Məhz bu baxımdan, məqalədə mağaraların təsnifatı verilmiş, onların statusunun müəyyən olunmasının vacibliyi bildirilmiş, Azərbaycanda öz arxeoloji, paleontoloji və stratigrafiya dəyərləri ilə seçilən mağaralar barədə geniş məlumatlar arxiv, fond və elmi-tədqiqat işlərinə əsaslanmaqla araşdırılmış, onların tarixi mədəni irs nümunəsi kimi qorunması və istifadə imkanları barədə təkliflər verilmiş, Azərbaycanın mağaralar xəritəsi təqdim olunmuşdur. Bunlarla yanaşı, məqalədə mağaralardan ibtidai insanların sığınacaq yerləri, əfsanə və rəvayətlərin yaradılması, pır, ziyarətqah və məbəd kimi dəyərləndirilməsi, tarixi mədəni irs kimi qiymətləndirilməsi, idman-sağlamlıq məqsədilə istifadə və turizm cəlbediciliyi öyrənilmişdir.

Mağaralardan turizm məqsədilə istifadə speleoturizmin əsas vəzifələrindən biridir. Bunun üçün tərəfimizdən Azərbaycan hökuməti tərəfindən qeydə alınmış və qeydə alınmamış mağaraların speleoturizm potensialı araşdırılmış və təklif edilmişdir ki, mağaraların pasportlaşdırılması aparılsın, elmi-iqtisadi tədqiqatlara əsaslanmaqla regional turizmin tənzimlənməsində speleoturizmin xidmətlərindən istifadə imkanları müəyyən edilsin. Yalnız bu halda ölkəmizdə regional inkişafa və yerli əhalinin sosial-iqtisadi göstəricilərinin yüksəldilməsinə təsir edə bilən speleoturizmi inkişaf etdirmək mümkün olacaq.

Açar sözlər: təbiət abidəsi, mağara, speleoturizm, Azyx, Tağlar, Damcılı, Qazma

MÜNDƏRİCAT

| | |
|--|---------|
| Vaxyono S.K., Sireqar S.S., Putri R.A. Sari N., Vianto T., Nasrullox A.V – Xüsusi müqavimət əsasında Cənubi Kalimantanın Tanax Bumbu dairəsinin andezit süxurlarının identifikasiyası və təsnifatı..... | 3-10 |
| Qədirov F.Ə., Klokoçnik Ya., Eppelbaum L.V., Kosteleski Ya., Bezdek A. – Xəzər regionu qravitasiya sahəsinin Buqə reduksiyaşının və peyk qravitasiya məlumatlarının transformasiyalari ilə inteqrasiyası: giriş | 11-16 |
| İskəndərov E.H. – Yevlax-Ağcabədi hövzəsinin kristal təməlinin qravitasiya təsirinin rəqəmsal qiymətləndirilməsi (Orta Kür çökəkliyi, Azərbaycan)..... | 17-24 |
| Bayramova Ş.Ş., Tağiyeva Y.N. – Maykop (Gec Oliyosen-Erkən Miosen) palinoflorası və onun Azərbaycanın stratiqafiyası və paleocoğrafiyasında əhəmiyyəti..... | 25-41 |
| Calalov G.I., Rəsulov M.Ə., Mirzəyeva D.R. – Deformasiya olunan neft yataqlarında termohidrodinamik proseslərin ədədi modelləşdirilməsi | 42-48 |
| Salamov A.M., Məmmədov V.A., Rəşidov T.M., Zamanova A.G., Qasimov E.E. – Lökbatan palçıq vulkanının elektrotomoqrafiyası: daxili quruluş və formalaşma mexanizmi | 49-59 |
| Kərimova K.Ə. – Elektrik karotaj ilə kollektorların neftdoymuluğunun təyini metodikasının təkmilləşdirilməsi | 60-69 |
| Abbasov K.F. – Maqmanın təkamülünün və regionun tektonik quruluşunun öyrənilməsində Gədəbəy intruziv kompleksinin geokimyəvi xüsusiyyətləri (Kiçik Qafqaz, Azərbaycan ərazisi) | 70-80 |
| Kərimov V.Y., Senin B.V., Serikova U.S., Mustayev R.N., Romanov P.A. – Qara Dəniz – Xəzər regionunda karbohidrogen tələlərin və yataqların formalaşma şəraitlərinin və paylanması qiymətləndirilməsi | 81-99 |
| İmrani Z.T., Zeynalova K.Z., Hidayətli G.Ə. – Azərbaycanda mağaraların tədqiqi və onların speleoturizm potensialı | 100-110 |

CONTENTS

| | |
|---|---------|
| Wahyono S.C., Siregar S.S., Putri R.A., Sari N., Wianto T., Nasrulloh A.V. – Identifying and classifying andesite rocks based on resistivity in Tanah Bumbu County, South Kalimantan..... | 3-10 |
| Kadirov F.A., Klokočník J., Eppelbaum L.V., Kostelecký J., Bezděk A. – Bouguer gravity data and satellite gravity transformation integration in the Caspian region: an introduction | 11-16 |
| Isgandarov E.H. – Digital estimation of the gravitational effect of the crystalline basement of the Yevlakh-Agjabadi Basin (Middle-Kur Depression, Azerbaijan)..... | 17-24 |
| Bayramova Sh., Taghieva E.N. – Palynoflora of the Maikop formation (Late Oligocene – Early Miocene) and its significance for stratigraphy and paleogeography of Azerbaijan..... | 25-41 |
| Jalalov G.I., Rasulov M.A., Mirzoyeva D.R. – Numerical modelling of thermohydrodynamic processes in fractured oil reservoir | 42-48 |
| Salamov A.M., Mammadov V.A., Rashidov T.M., Zamanova A.G., Gasimov E.E. – Electrical resistivity tomography of Lokbatan mud volcano: inner structure and formation mechanism | 49-59 |
| Karimova K.A. – Methodological improvement for determining the oil saturation of reservoirs using electrical logging | 60-69 |
| Abbasov K.F. – Geochemical characteristics of the Gadabay intrusion complex in the study of magma evolution and tectonic pattern of the region (Lesser Caucasus, Azerbaijan territory) | 70-80 |
| Kerimov V.Yu., Senin B.V., Serikova U.S., Mustaev R.N., Romanov P.A. – Assessment of the conditions of formation and distribution of structural, lithological, stratigraphic and combined traps in the Black Sea – Caspian Region..... | 81-99 |
| Imrani Z.T., Zeynalova K.Z., Hidayatli G.A. – A study of caves and their speleotourism potential in Azerbaijan..... | 100-110 |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|---------|
| Вахйоно С.К., Сирегар С.С., Путри Р.А., Сари Н., Вианто Т., Насруллох А.В. – Идентификация и классификация андезитовых пород округа Танах Бумбу, Южный Калимантан на основе удельного сопротивления | 3-10 |
| Кадиров Ф.А., Клопочник Я., Эппелбаум Л.В., Костелески Я., Бездек А. – Комплексирование гравиметрических данных в редукции Буге и трансформаций спутниковых гравиметрических данных в Каспийском регионе: введение..... | 11-16 |
| Искандаров Э.Г. – Цифровая оценка гравитационного влияния кристаллического фундамента Евлах-Агджабединского бассейна (Среднекуринская впадина, Азербайджан)..... | 17-24 |
| Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н. – Палинофлора майкопского времени (поздний олигоцен – ранний миоцен) и ее значение для стратиграфии и палеогеографии Азербайджана | 25-41 |
| Джалалов Г.И., Расулов М.А., Мирзоева Д.Р. – Численное моделирование термогидродинамических процессов в деформированном нефтяном пласте..... | 42-48 |
| Саламов А.М., Мамедов, В.А., Рашидов Т.М., Заманова А.Г., Гасымов Э.Э. – Электро-томография грязевого вулкана Локбатан: внутреннее строение и механизм формирования | 49-59 |
| Керимова К.А. – Усовершенствование методики определения нефтенасыщенности коллекторов с помощью электрического каротажа | 60-69 |
| Аббасов К.Ф. – Геохимическая характеристика Гядабейского интрузивного комплекса в изучении эволюции магмы и тектонической обстановки региона (Малый Кавказ, территория Азербайджана)..... | 70-80 |
| Керимов В.Ю., Сенин Б.В., Серикова У.С., Мустаев Р.Н., Романов П.А. – Оценка условий формирования и распределения ловушек и залежей углеводородов в Черноморско-Каспийском регионе | 81-99 |
| Имрани З.Т., Зейналова К.З., Хидаятли Г.А. – Исследование пещер в Азербайджане и их потенциал для спелеотуризма | 100-110 |