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

AZERBAIJAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

ANAS TRANSACTIONS

EARTH SCIENCES



www.journalesgia.com

2019
№2

We are Crossref Member

Crossref

This journal is included and indexed in the *GeoRef* database

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), Əliyeva E.H. (Azərbaycan), Əfəndiyev Q.M. (Azərbaycan), Feyzulayev Ə.Ə. (Azərbaycan), Kəngərli T.N. (Azərbaycan), Quliyev H.H. (Azərbaycan), Məmmədov P.Z. (Azərbaycan), Məmmədov R.M (Azərbaycan), Muxtarov A.Ş. (Azərbaycan), Salmanov A.M. (Azərbaycan), Yetirmişli Q.C. (Azərbaycan).

Allen Mark (Böyük Britaniya), Çelidze T. L. (Gürcüstan), Eppelbaum L.V. (İsrail), İsmail-zadə Ə.T. (Almaniya), Kalafat Doğan (Turkiyə), Kərimov V.Y. (Rusiya), Qliko A.O. (Rusiya), Lavruşin V.Y (Rusiya), Reilinger R. (ABŞ), Şnyukov Y.F. (Ukrayna), Takeşi Sagiya (Yaponiya), Talebian M. (İran), Tibaldi Alessandro (İtaliya), Vişnyakov V.M. (Böyük Britaniya), 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), Guliyev H.H. (Azerbaijan), Kangarli T.N. (Azerbaijan), Mammadov P.Z. (Azerbaijan), Mammadov R.M. (Azerbaijan), Mukhtarov A.Sh. (Azerbaijan), Salmanov A.M. (Azerbaijan), Yetirmishli G.J. (Azerbaijan).

Allen Mark **(**United Kingdom), Chelidze T.L (Georgia), Eppelbaum Lev V. (Israil), Gliko A.O. (Russia), Ismail-zadeh A.T. (Germany), Kalafat Doğan (Turkey), Kerimov V.Y. (Russia), Lavrushin V.Y. (Russia), Reilinger R. (USA), Shnyukov Y.F. (Ukraine), Takeshi Sagiya (Japan), Talebian M. (Iran), Tibaldi Alessandro (Italy), Vishnyakov V.M. **(**United Kingdom), 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), Етирмишли Г.Дж. (Азербайджан), Кенгерли Т.Н. (Азербайджан), Кулиев Г.Г. (Азербайджан), Мамедов П.З. (Азербайджан), Мамедов Р.М. (Азербайджан), Мухтаров А.Ш. (Азербайджан), Салманов А.М. (Азербайджан), Фейзуллаев А.А. (Азербайджан), Эфендиев Г.М. (Азербайджан).

Аллен Марк (Великобритания), Вишняков В.М. (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), Шнюков Е.Ф (Украина), Эппельбаум Л.В. (Израиль).

Buraxılışına məsul: **Hafiz Abıyev**

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

Veb-redaktor: **Tofiq Rəşidov**

Jurnal Azərbaycan MEA Geologiya və Geofizika İnstitutunda yığılmış və səhifələnmişdir

* * *

Responsible for the issue: **Hafiz Abiyev**

Design/Graphycs: **Karim Nabiyev**
Khalil Nabiyev

Web-editor: **Tofig Rashidov**

This journal has been prepead 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, Istiglaliyyat str., Baku, Azerbaijan, AZ1001

Адрес: AZ1001, г. Баку, Истиглалият, 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

ELM NƏŞRİYYATI

Formatı: 60x84$^{1/8}$. Həcmi: 12 ç.v.
Tirajı: 300 nüsxə

© "Elm" nəşriyyatı, 2019

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО БОРТА ЮЖНО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА (ЗАПАДНЫЙ ТУРКМЕНИСТАН)

Гусейнов Д.А., Фейзуллаев А.А.

Институт геологии и геофизики НАНА

AZ1143, г.Баку, просп. Г.Джавида,119: d_huseynov@yahoo.com, fakper@gmail.com

IZOTOPE AND GEOCHEMICAL PROPERTIES OF OILS OF FIELDS OF THE SOUTH CASPIAN BASIN EASTERN FLANK (WESTERN TURKMENISTAN)

Huseynov D.A., Feyzullayev A.A.

Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences

119, H.Javid Ave., Baku, AZ1143, Azerbaijan: d_huseynov@yahoo.com, fakper@gmail.com

Keywords: *oil, organic matter, isotopic-geochemical analysis, biomarkers, maturity, South-Caspian basin, Turkmenian sector*

Summary. The paper deals with results of the performed isotopic-geochemical and chromato-mass-spectrometric analyses of oils from 14 fields located in shelf and onshore of the south flank (Turkmenian sector) of the South-Caspian basin (SCB). These oil fields are corresponded to the anticlinal structures of three tectonic zones: Pribalkhanian zone of uplifts (Jdanov, LAM banks, Cheleken, West Cheleken, Kotur-Tepe, Barsa-Gelmes, Burun, Komsomolskaya, Kumdag), Ki-zilkum trough (Erdekli) and Gograndag-Okarem (Korpeje, S. Kamishlija, Ag-Patlaukh) zones of uplifts. The low prystane-phytane (Pr/Ph) ratios (1.17-1.63 in oils and 1.45-2.08 in condensates), predominance of the low molecular alkanes in the general series of alkanes' distribution (C_{31}:C_{19}=0.08:0.63), the prevalence of the even alkanes over the uneven ones in unweathered oils as well as the clear naphthenic nature of oils (naphthenic index = 1.9-6.7) testify to mainly marine nature of the initial organic matter (OM). The isotopic composition of oil carbon also points to that. The clear tendency of isotopic lightening of oils is observed in the eastern direction, from shelf fields towards the onshore fields. According to the physical-chemical properties, the oils from single fields located in the various structural zones and the production targets within one field differ significantly. Oils and condensates have very low degree of maturity; calculated by biomarker data in vitrinite equivalent (Ro,%) they make 0.55-0.65% and 0.62-0.75% accordingly. The oil generation mainly from diatom organic matter of clayey sediments of marine delta is sub-stantiated. Moreover, the summary contribution of the Middle- and Upper Miocene complex into oil formation is higher than of the Paleogene-Lower Miocene one; the oil and condensate maturity is low. The supply of structures with hydrocarbons in the shelf of the east flank of the SCB took place as from kitchen areas located within the SCB (Kizilkum trough) and from sources in the Middle Caspian (Kelkor trough).

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Южно-Каспийская впадина (ЮКВ) является одной из крупнейших молодых впадин земного шара не только по площади распространения, но и по мощности осадочного выполнения. Мощность осадочной толщи здесь местами достигает 23 км, в том числе плиоцен-четвертичных отложений – 8-9 км. Основным региональным нефтегазоносным комплексом является продуктивная толща (ПТ) нижнего плиоцена Азербайджана и ее аналог – красноцветная толща (КТ) Западной Туркмении. С этим комплексом связаны почти все разведанные запасы нефти и газа этой нефтегазоносной провинции.

Центральная глубокопогруженная часть ЮКВ признается многими исследователями как основной нефтегазопроизводящий очаг, который питал углеводородами (УВ) структуры, расположенные как на ее западном (Азербайджанский сектор), так и восточном (Туркменский сектор) бортах.

При оценке перспектив выявления новых скоплений нефти и газа важным является выяснение условий их формирования. При решении этой задачи широко используются геохимические критерии, в том числе изучение состава УВ и сопоставление геохимических характеристик различных нефтей между собой.

Изучением геохимических особенностей нефтей ЮКВ занимались многие исследователи (Старобинец, 1969; Багир-заде и др., 1974; Камьянов и др., 1974; Солодков и др., 1974; Багир-Заде, Бабаев, 1988 и др.). Однако в последние два десятилетия наряду с изучением физико-химических параметров нефтей традиционными методами были проведены хромато-масс-спектрометрические (биомаркерные) их исследования, которые позволили расширить существующие представления о генетической природе нефтей (Гулиев и др., 2000; Guliyev et al., 2000; Katz et al., 2000; Gurgey, 2003). В основном эти исследования охватывали нефти месторождений западного борта ЮКВ. В этой же статье приводятся результаты изотопно-геохимических и хромато-масс-спектрометрических (биомаркерных) исследований нефтей месторождений восточного борта ЮКВ (Туркменский сектор).

Результаты исследований

Исследованы нефти 14 месторождений восточного борта ЮКВ, расположенных на шельфе и суше Западного Туркменистана. Месторождения приурочены к антиклинальным структурам в пределах трех тектонических зон: Прибалханской зоны поднятий (банка Жданова, банка ЛАМ, Челекен, Западный Челекен, Котур-Тепе, Барса-Гелмес, Бурун, Комсомольская, Кумдаг), Кызылкумского прогиба (Эрдекли) и Гограндаг-Окаремской зоны поднятий (Корпедже, Ю.Камышлыджа, Аг-Патлаух (рис.1).

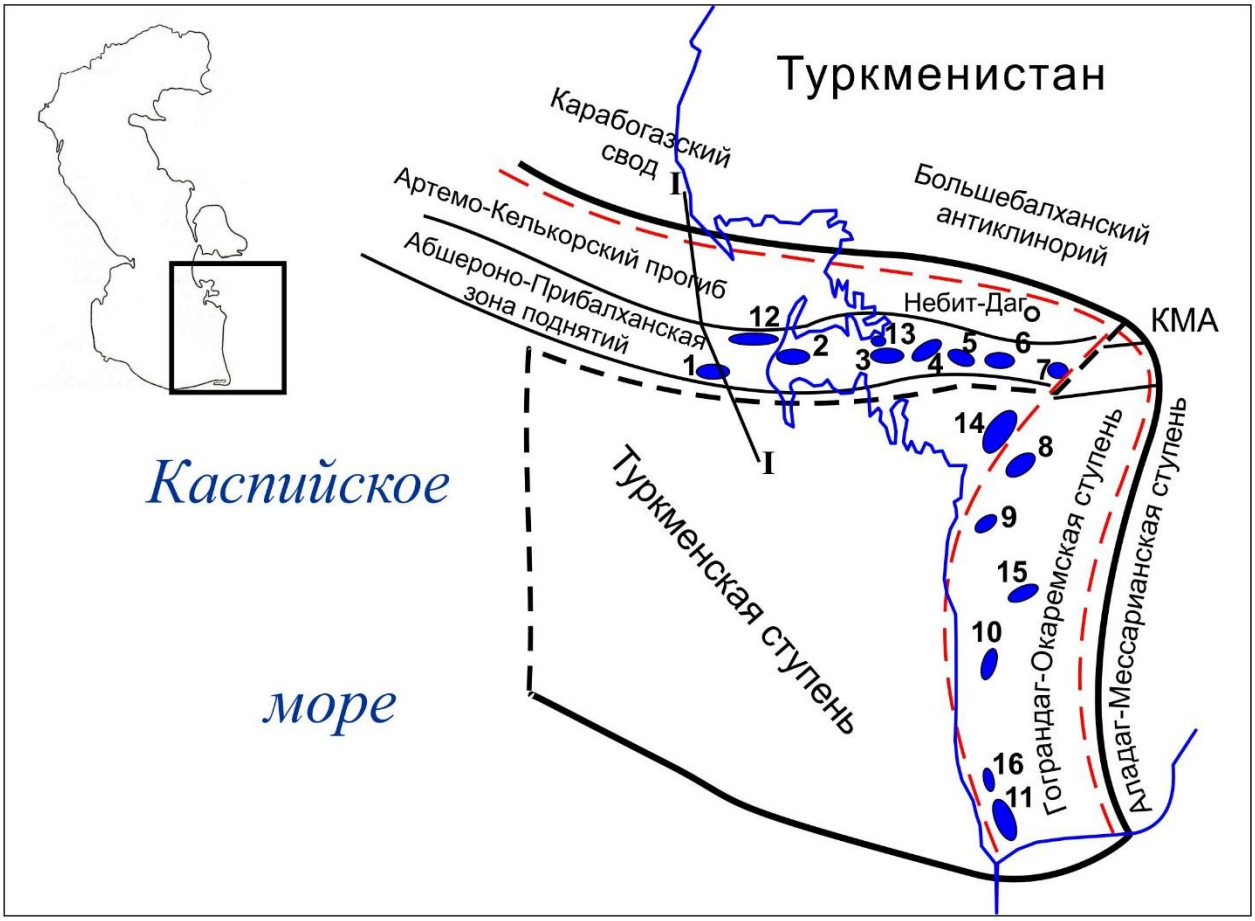


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования Западно-Туркменской нефтегазоносной провинции

Месторождения: 1 – банка ЛАМ, 2 – Челекен, 3 – Котур-Тепе, 4 – Барса-Гелмес, 5 – Бурун, 6 – Небит-Даг, 7 – Кумдаг, 8 – Гогран-Даг, 9 – Камышлыджа, 10 – Окарем, 11 – Чикишляр. 12 – банка Жданова, 13 – Комсомольская, 14 – Эрдекли, 15 – Корпедже, 16 – Аг-Патлаух. КМА – Копетдагский мегантиклинорий, I – I - профиль

Нефти исследованных месторождений по физико-химическим характеристикам значительно разнятся. В частности, по плотности нефтей различаются не только отдельные месторождения, расположенные в разных структурных зонах, но и различные объекты разработки в пределах одного месторождения. По плотности нефти исследованных месторождений относятся к сверхлегким (0.767-0.777 г/см^3), т.е. конденсатам, легким (0.800-0.858 г/см^3), средним (0.860-0.890 г/см^3) и тяжелым (0.893-0.972 г/см^3). Так, например, на месторождении Котур-Тепе присутствуют как конденсаты и легкие нефти, так и средние по плотности нефти, а на месторождении Корпедже – легкие и сверхтяжелые. В соответствии с плотностью изменяется содержание асфальтенов, насыщенных и ароматических УВ, полярных соединений, а также распределение нормальных алканов и изопреноидов. В целом, при явном доминировании насыщенных углеводородов (49-78.7%) содержание ароматических УВ изменяется в широком диапазоне (11.2-28.9%), на долю полярных фракций нефтей приходится 2.4-11.7%. Все изученные нефти характеризуются очень низким содержанием серы (0.04-0.38%), что также характерно и для нефтей западного борта ЮКВ. При этом содержание серы увеличивается прямо пропорционально плотности нефтей. По мере увеличения плотности нефтей в составе алканов наблюдается увеличение содержания высокомолекулярных соединений. Корреляция распределения нормальных и изо-алканов в нефтях с их плотностью дает основание считать, что утяжеление нефтей, а следовательно, увеличение в их составе кислых и полярных компонентов является следствием процессов окисления и биодеградации. Это хорошо видно на рис. 2, где приведены газ-хроматографические кривые нефтей, сгруппированные по величине их плотности. Характер хроматограмм тяжелых нефтей типичен для претерпевших вторичные изменения нефтей, отличающихся потерей низкомолекулярных алканов.

Низкие пристан/фитановые (Pr/Ph) отношения (1.17-1.63 в нефтях и 1.45-2.08 в конденсатах), преобладание низкомолекулярных алканов в общем ряду распределения алканов (C_{31}:C_{19}=0.08:0.63), преобладание в неизмененных нефтях четных алканов над нечетными, а также ярко выраженный нафтеновый характер нефтей (нафтеновый индекс=1.9-6.7) свидетельствуют о преимущественно морской природе исходного органического вещества (ОВ). На это также указывает изотопный состав углерода нефтей, в частности соотношение изотопов углерода их насыщенной (алкановой) и ароматической фракций. На модифицированной диаграмме Софера (Sofer, 1984) (рис. 3) фигуративные точки располагаются в поле морской исходной органики, образуя вытянутый восходящий тренд вдоль линии "континентальный-морской типы ОВ", а также охватывают поле сопряжения двух типов ОВ. Данное обстоятельство указывает на то, что ОВ, формирующее исследуемые нефти резервуаров КТ восточного борта ЮКВ, представлено преимущественно континентальной органикой. Исходя из этого, можно считать, что накопление нефтепродуцирующих отложений и фоссилизация ОВ происходили в мелководных прибрежно-морских условиях. Следует подчеркнуть, что такое соотношение изотопного состава насыщенной и ароматической фракций нефтей в купе с низкими Pr/Ph отношением и содержанием серы (в редких случаях достигающие 1.4 и 0.38% соответственно) характерно для нефтей, формирующихся в условиях морских дельт (Chung et al., 1992).

Частости распределения $\delta^{13}C$ алкановой фракции нефтей показывают, что исследуемые нефти в сравнении с нефтями западного борта ЮКВ характеризуются несколько узким пределом вариаций значений изотопных отношений углерода (рис. 4). Если значения изотопных отношений углерода $\delta^{13}C$ алкановой фракции в нефтях западного борта варьируют в пределах от -29.1‰ до -24.8‰ то в нефтях восточного борта они изменяются от -27.5‰ до -24.9‰. Столь широкий диапазон вариаций значений $\delta^{13}C$ в нефтях разновозрастных резервуаров (верхний мел – нижний плиоцен) западного борта ЮКВ связан с различием флюидогенерирующих источников (Гулиев и др., 1999; 2000; Guliyev et al., 2001). В частности, по мере омоложения резервуаров наблюдается четко выраженное изотопное облегчение нефтей. Аналогичная закономерность установлена для битумоидов и керогена нефтегенерирующих пород (Feyzullayev и др., 2004, Гулиев и др., 2007). Выявлено, что изотопно-легкие нефти генерируются палеогеновыми и олигоцен-нижнемиоценовыми (майкопская свита) отложениями, а наиболее изотопно-тяжелые нефти – верхнемиоценовыми отложениями диатомовой свиты. На основании этого установлен вклад стратиграфически различных нефтегенерирующих комплексов в формирование нефтей плиоценовых резервуаров ПТ, являющейся стратиграфическим аналогом КТ восточного борта бассейна. Исходя из вышеизложенного и анализа графиков на рисунках 2 и 3, можно допустить, что в формировании нефтей резервуаров КТ долевое участие верхнемиоценовых (диатомовых) отложений выше, чем более древних пород-источников.

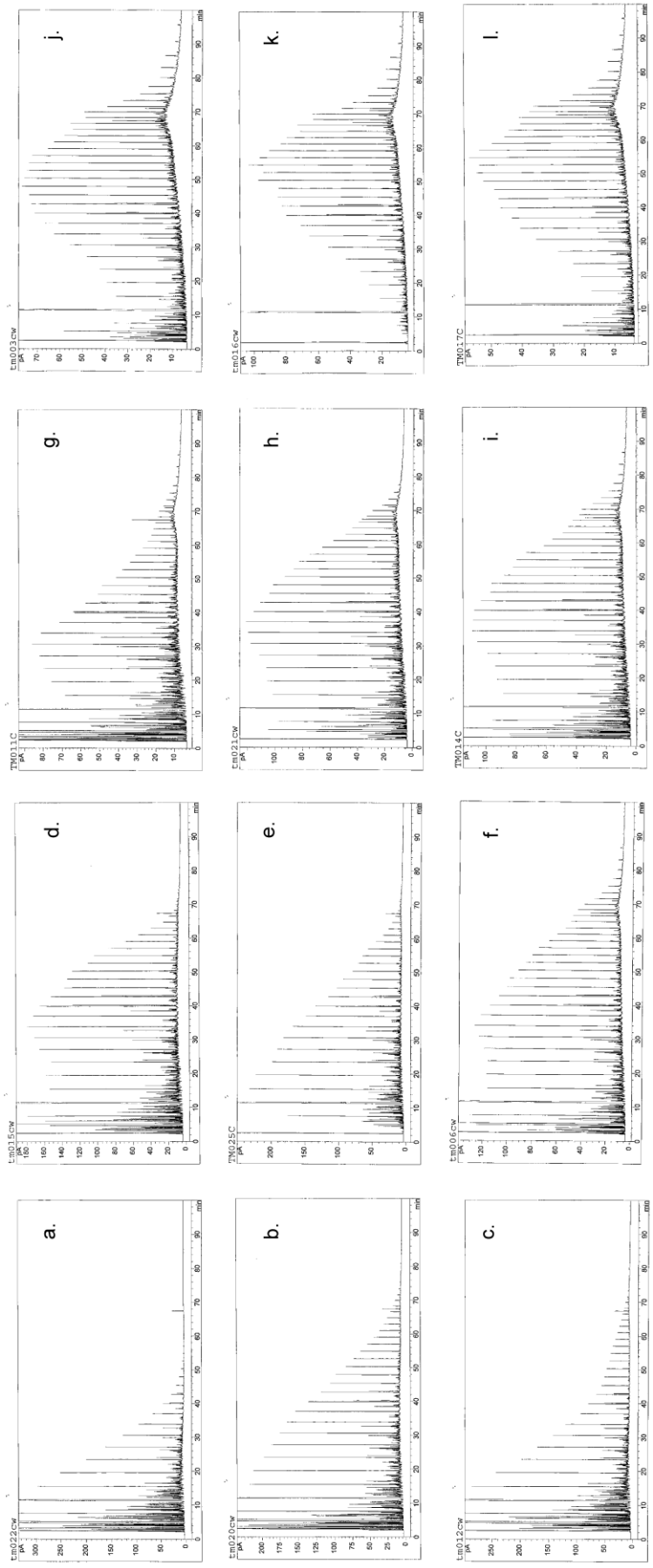


Рис. 2. Распределение алканов в нефтях месторождений Восточного борта ЮКБ (Западная Туркмения): a,b,c – конденсаты (a,b – Котур Тепе , c – Бурун), d,e,f, – легкие нефти (d – Корпедже, e – банка ЛАМ, f – банка Жданова), g,h,i – средние нефти (g – Бурун, h – Котур Тепе, i – Комсомол), j,k,l – тяжелые нефти (j –банка Жданова, k, l – Корпедже).

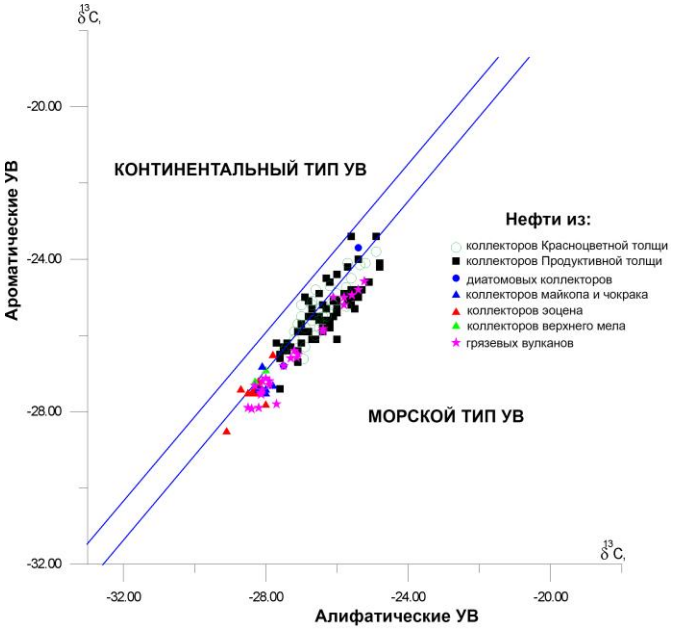


Рис. 3. Соотношения значений изотопных отношений углерода нефтей разновозрастных резервуаров Южно-Каспийской впадины

Сравнительный анализ распределения значений $\delta^{13}C$ нефтей месторождений Прибалханской и Гограндаг-Окаремской антиклинальных зон показывает, что в пределах первой они изменяются в более широком интервале (от -27.5‰ до -24.9‰), чем в пределах второй (-27.0‰ ÷ -26.2 ‰) (рис. 5). При этом в нефтях Прибалханской зоны частости распределения значений $\delta^{13}C$ имеют бимодальный характер с максимумами в интервале -27.5‰ ÷ -27.0‰ и -26.5‰ ÷ -26.0‰, а в нефтях Гограндаг-Окаремской – одномодальный (рис. 5). Из этого можно сделать вывод, что в резервуарах месторождений Гограндаг-Окаремской зоны смешение нефтей из разновозрастных нефтегенерирующих комплексов (верхнемиоценового и палеоген-нижнемиоценового) происходило более динамично. Этому могла способствовать сообщаемость резервуаров посредством тектонических нарушений и наличия единой системы дренирования разновозрастных флюидогенерирующих комплексов. Присутствие в Прибалханской зоне нефтей с типично диатомовой (верхнемиоценовой) и майкопской (олигоцен-нижнемиоценовой) изотопной меткой соответственно в соотношениях 12.5% и 20.83% по меньшей мере свидетельствует об изолированности содержащих эти нефти горизонтов, а также об индивидуальных источнике и пути их подпитки. В этом контексте интересно отметить месторождение банка Жданова, резервуары которого содержат как изотопно-легкие (олигоцен-нижнемиоценовые), так и изотопно-тяжелые (верхнемиоценовые) нефти.

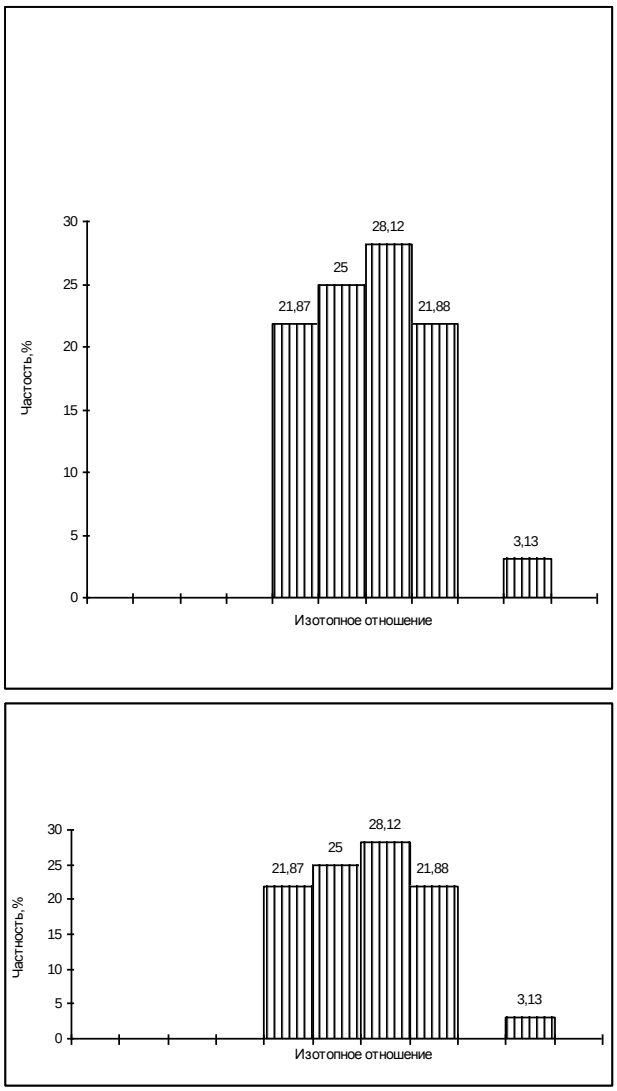


Рис. 4. Частости распределения значений изотопных отношений углерода алкановой фракции нефтей западного и восточного бортов ЮКБ

Наблюдается четко выраженная тенденция изотопного облегчения нефтей в восточном направлении от месторождений, расположенных в шельфовой части к месторождениям суши. Аналогичная закономерность изотопного утяжеления нефтей в сторону шельфа ранее нами выявлена для месторождений западного борта ЮКБ и объяснена увеличением в этом направлении долевого участия в процессах нефтеобразования верхнемиоценовых отложений.

В целом изотопное утяжеление нефтей восточного борта по сравнению с нефтями западного борта, объясняемое нами более широким участием в нефтегенерации верхнемиоценовых отложений, находит свое подтверждение в составе циклических изопреноидов – биомаркеров. В частности, в ряду биомаркеров распределение регулярных стеранов (C_{27},C_{28},C_{29}) характеризуется соотношением C_{27}:C_{28}:C_{29} равным 32:35:33, т.е.

преобладанием C_{28}-стерана. Следует отметить, что диатомовые водоросли как одна из биоценотических доминант морского планктона более чем на 50% состоят из C_{28}-стеролов. Их высокое содержание в нефтях КТ и выдержанное для всей совокупности нефтей соотношение C_{28}/C_{29} более 1.0 также согласуются с утверждением, что они извлечены из морских диатом-содержащих глинистых осадков.

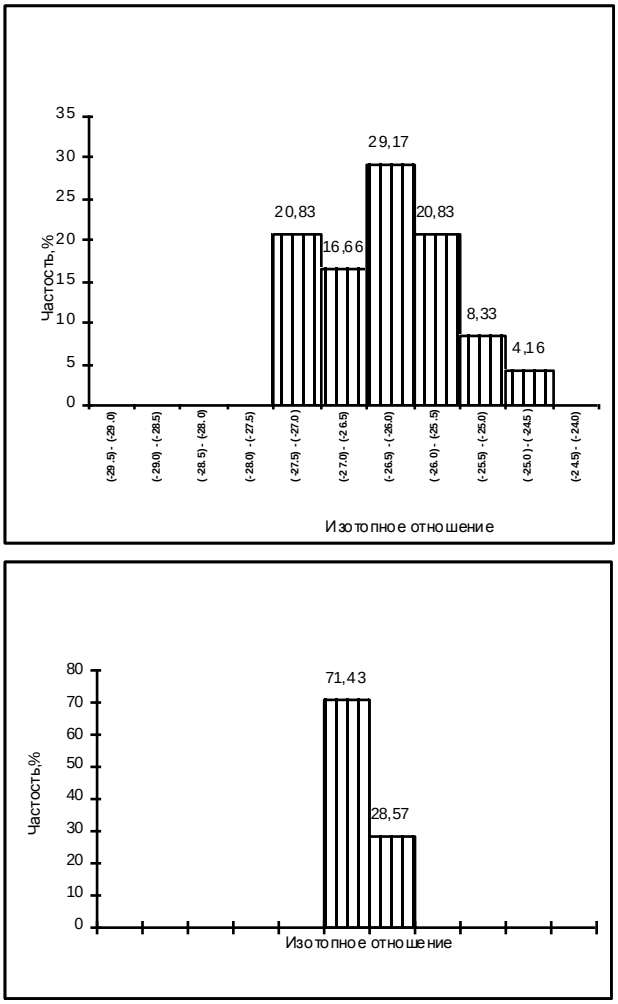


Рис. 5. Частости распределения значений изотопных отношений углерода алкановой фракции нефтей месторождений Прибалханской и Гограндаг-Окаремской антиклинальных зон

С другой стороны, доминирование C_{29}-стерана над C_{27}-стераном с отношением C_{27}/ C_{29} в пределах 0.79-0.9 (среднее 0.85) подтверждает выводы по изотопии углерода о присутствии в составе исходного ОВ континентальной составляющей.

Вместе с тем низкие содержания в составе исследуемых нефтей стерана C_{30} и гаммацерана также указывают на накопление нефтепроизводящих глинистых отложений и ОВ в опресненно-солоноватых водных условиях, очень схожих с обстановками морских дельт.

Присутствие в составе трициклических терпанов (гопанов) олеананового молекулы свидетельствует о третичном возрасте нефтегенерирующих толщ и близком расположении источника сноса осадочного материала.

Следует отметить, что на трехкомпонентной диаграмме, приведенной на рис. 6**,** исследуемые нефти КТ по характеру распределения нормальных стеранов проявляют схожесть с нефтями ПТ западного борта, а расположение фигуративных точек в поле эстуариев и дельт еще раз подтверждает сделанные выводы об обстановках накопления осадочного материала и органического вещества.

Нефти и конденсаты восточного борта ЮКВ, так же как и западного, имеют очень низкую степень зрелости. Согласно данным по изомеризации гомогопана C_{32}(22S/22S+22R), соотношению трисноргопана и триснорнеогопана (Ts/Ts+TM), а также изомеризации нормального стерана C_{29} (20S/20S+20R), степень зрелости нефтей изменяется от 0.55% до 0.65% в витринитовом эквиваленте (Ro,%), а конденсатов – от 0.62% до 0.75%.

Прибалханская и Гограндаг-Окаремская зоны существенно не отличаются по степени зрелости нефтей и величине их вариаций, тогда как конденсаты Кызылкумского прогиба (Ердекли) более преобразованы (0.75% Ro eq.), чем Прибалханской зоны (Котуртепе – 0.62-65% Ro eq.). В общем, наблюдается закономерное уменьшение зрелости нефтей в западном направлении с минимальными значениями в нефтях месторождений на шельфе. Данная тенденция хорошо коррелируется с обратным характером распределения изотопного состава углерода в нефтях, т.е. их утяжелением в сторону моря. Весьма интересным представляется сильный контраст в зрелости нефтей двух сопряженных в пространстве антиклинальных структур в шельфовой части Прибалханской зоны – банки Жданова и параллельно ей расположенной на юго-западе банки ЛАМ. Нефти б. Жданова имеют наименьшую зрелость для восточного борта и являются самыми изотопно-легкими, тогда как нефти б. ЛАМ наиболее зрелые и изотопно-тяжелые. Анализируя тектоническое и геологическое положение этих структур и данной части бассейна, это можно объяснить различием очагов питания таких месторождений. Антиклинальную линию, в пределах которой расположены эти структуры, разграничивают два прогиба – Келькорский на севере и Кызылкумский на юге. Келькорский прогиб приподнят относительно Кызылкумского и имеет меньшие мощность осадочного выполнения (в частности палеоген-миоценовых отложений) и глубину залегания миоценового комплекса (6-6.5 км).

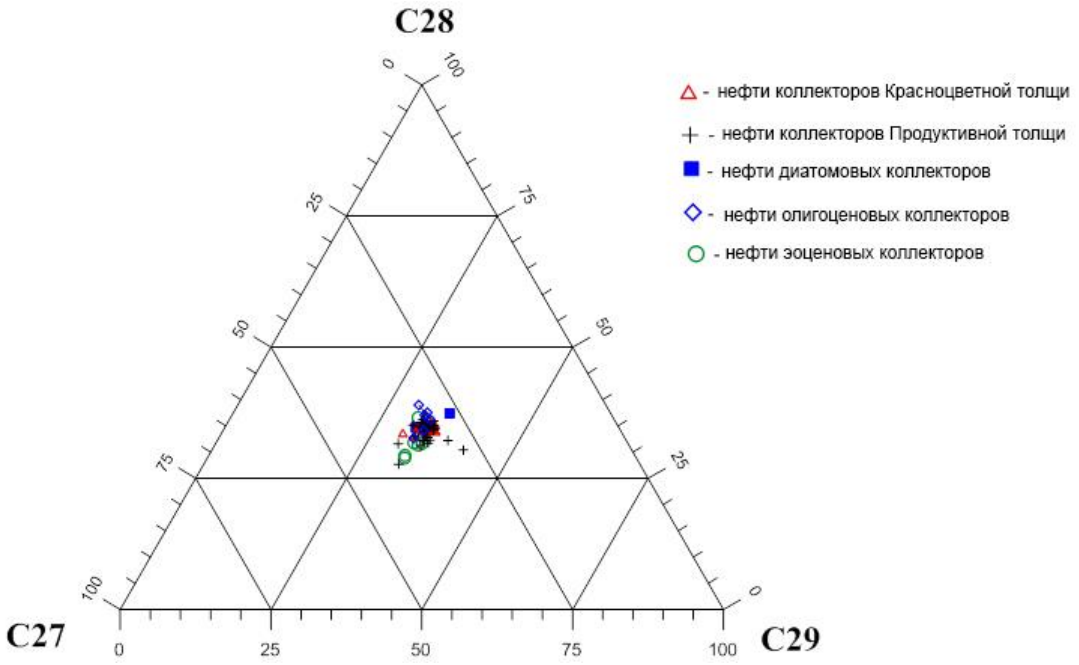


Рис. 6. Соотношение нормальных стеранов в нефтях разновозрастных резервуаров Южно-Каспийской впадины

В Кызылкумском прогибе мезозойский фундамент опущен до 10 км, а мощность и объем палеоген-миоценовых отложений значительно выше. Более того, здесь кровля миоцена опущена гораздо глубже (до 8 км) (рис. 7). Следовательно, можно полагать, что в Кызылкумском прогибе в процесс флюидогенерации вовлечен как палеогеновый, так и миоценовый комплексы, тогда как в Келькорском – палеогеновый и в меньшей мере миоценовый. Это, естественно, находит свое отражение как на изотопной метке, так и зрелости генерируемых в этих прогибах УВ флюидов. Структура б. Жданова, будучи приурочена к южному борту Келькорского прогиба, служила структурным барьером на пути миграции генерируемых здесь преимущественно палеогеновым комплексом низко-зрелых и изотопно-легких нефтей. Расположенная южнее структура банка ЛАМ с севера примыкает к Кызылкумскому прогибу, являющемуся очагом генерации как изотопно-легких, так и изотопно-тяжелых относительно зрелых нефтей. Аналогичная ситуация, но в точности наоборот, нами выявлена и описана для структуры банка Абшеронская, расположенной в западной части этой зоны в пределах Абшеронского порога, питающий очаг которой располагается в Северо-Абшеронском прогибе Средне-Каспийской впадины.

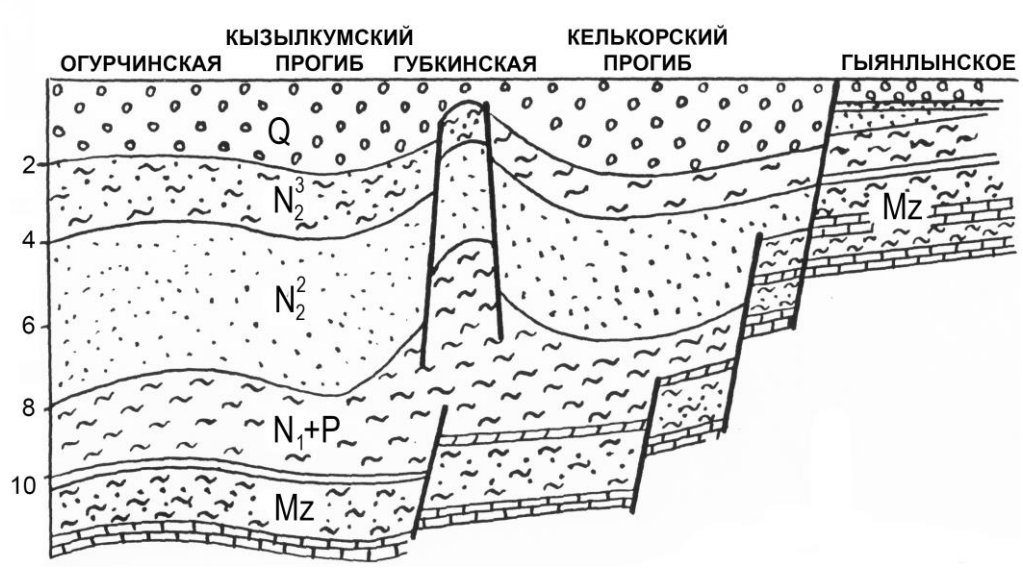


Рис. 7. Схематический геологический профиль I-I (см. рис. 1) восточного борта ЮКБ

Заключение

На основании выполненных изотопно-геохимических исследований нефтей восточного борта ЮКВ (Туркменистанский сектор) можно сделать следующие основные выводы:

- нефти восточного борта ЮКБ генерированы преимущественно диатомовым ОВ глинистых отложений морских дельт;

- суммарный вклад средне-верхнемиоценнового комплекса в нефтеобразование выше, чем палеоген-нижнемиоценового;

- нефти и конденсаты имеют невысокую зрелость;

- питание структур углеводородами на шельфе восточного борта ЮКБ происходило как из очагов генерации, расположенных в пределах Южно-Каспийской впадины (Кызылкумский прогиб), так и из очагов в Среднем Каспии (Келькорский прогиб).

ЛИТЕРАТУРА

Багир-заде Ф.М., Буряковский Л.А., Бабаев Ф.Р. Геохимия нефтей и газов Апшеронско-Прибалханского порога. Недра. Москва, 1974, 285 с.

Багир-Заде Ф.М., Бабаев Ф.Р. Распределение н-алканов и УВ изопреноидного строения в нефтях морских месторождений Азербайджана. Геология нефти и газа, No. 1, 1988, с. 43-45.

Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Гусейнов Д.А. Изотопный состав углерода нефтей Южно-Каспийской мегавпадины. Азербайджанское нефтяное хозяйство, No. 6, 1999, с. 3-13.

Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Гусейнов Д.А. Зрелость нефтей разновозрастных резервуаров в Южно-Каспийской мегадепрессии. Геология нефти и газа, No. 3, 2000, с. 41-50.

Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Гусейнов Д.А. Изотопный состав углерода углеводородных флюидов Южно-Каспийской мегавпадины. Геохимия, No. 3, 2001, с. 271-278.

Камьянов В.Ф., Драгунская В.С., Юрченко А.Н., Солодков В.К. Геохимия нефтей, конденсатов и газов Туркмении. Изв. АН Туркм.ССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук, No. 2, 1974, с. 38-41.

Солодков В.К., Камьянов В.Ф., Драгунская В.С. Изопреноидные углеводороды в недрах и конденсатах Западной Туркмении. Изв. АН Туркм.ССР. Сер. Физ.-техн., хим. и геол. наук, No. 1, 1974, с. 76-88.

Старобинец И.С. Геохимическая характеристика нефтей, газов и битуминозных образований Туркменской ССР в связи с вопросами нефтеносности. Сб.: Перспективы нефтегазоносности и направление геологоразведочных работ в западных районах Средней Азии. Гостоптехиздат. Москва, 1969, с.162-167.

Chung H.U., Rooney M.A., Toon M.B., Claypool G.E. Carbon isotope composition of marine oils. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 76, No. 7, 1992, pp.1000-1007.

Feyzullayev A.A., Huseynov D.A., Tagiyev M.A.F. Oil source rocks and geochemistry of hydrocarbons in South Caspian basin. In book: South Caspian basin: geology, geophysics and gas content. Nafta-Press. Baku, 2004, pp. 286-321.

Guliyev I., Feyzullayev A., Huseynov D. Isotope-geochemical prognosis of the stratigraphic origin of the oil seepage source in the South Caspian Basin. AAPG's Inaugural Regional International Conference, Istanbul, 2000.

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A., Huseynov D.A. Isotope geochemistry of oils from fields and mud volcanoes in the South Caspian Basin, Azerbaijan. Petroleum Geoscience, V. 7, 2001, pp. 201-209.

Gurgey K. Correlation, alteration, and origin of hydrocarbons in the GCA, Bahar, and Gum Adasi fields, western South Caspian Basin: geochemical and multivariate statistical assessments. Marine and Petroleum Geology, V. 20, No.10, 2003, pp. 1119-1139.

REFERENCE

Bagir-zadeh F.M., Burakovski L.A., Babayev F.R. Geochemistry of oils and gases of Absheron-Pribalkhanian trough. Nedra. Moscow, 1974, 285 p. (in Russian).

Bagir-zadeh F.M., Babayev F.R. Distribution of n-alkanes and hydrocarbons of the isoprenoid structure in oils of the offshore fields in Azerbaijan. Oil and gas geology, No. 1, 1988, pp. 43-45 (in Russian).

Chung H.U., Rooney M.A., Toon M.B., Claypool G.E. Carbon isotope composition of marine oils. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 76, No. 7, 1992, pp.1000-1007.

Feyzullayev A.A., Huseynov D.A., Tagiyev M.A.F. Oil source rocks and geochemistry of hydrocarbons in South Caspian basin. In book: South Caspian basin: geology, geophysics and gas content. Nafta-Press. Baku, 2004, pp. 286-321.

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A., Huseynov D.A. Isotopic composition of oil carbon of the South-Caspian megadepression. Azerbaijan Oil Industry, No. 6, 1999, pp. 3-13 (in Russian).

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A., Huseynov D.A. Oil maturity of reservoirs of the different age in the South-Caspian megadepression. Oil and gas geology, No. 3, 2000, pp. 41-50 (in Russian).

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A., Huseynov D.A. Isotopic composition of hydrocarbon fluids' carbon in the South-Caspian megadepression. Geochemistry, No. 3, 2001, pp. 271-278 (in Russian).

Guliyev I., Feyzullayev A., Huseynov D. Isotope-geochemical prognosis of the stratigraphic origin of the oil seepage source in the South, Caspian Basin. AAPG's Inaugural Regional International Conference, Istanbul, 2000.

Guliyev I.S., Feyzullayev, A.A., Huseynov D.A. Isotope geochemistry of oils from fields and mud volcanoes in the South Caspian Basin, Azerbaijan. Petroleum Geoscience, V.7, 2001, pp. 201-209.

Gurgey K. Correlation, alteration, and origin of hydrocarbons in the GCA, Bahar, and Gum Adasi fields, western South Caspian Basin: geochemical and multivariate statistical assessments. Marine and Petroleum Geology, V. 20, No. 10, 2003, pp.1119-1139.

Kamyanov V.F., Dragunskaya V.S., Yurchenko A.N., Solodkov V.K. Geochemistry of oils, condensates and gases in Turkmenia. Proceedings of Academy of Sciences of Turkmenian SSR. Series of physical-technical, chemical and geological sciences, No. 2, 1974, pp. 38-41 (in Russian).

Katz K.J., Richards D., Long D., Lawrence W. A new look at the components of the petroleum system of the South Caspian Basin. Journal of Petroleum Science and Engineering, V. 28, 2000, pp.161-182.

Sofer Z. Stable carbon isotope composition of crude oils: Application to source depositional environments and petroleum alteration. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 68, No. 1, 1984, pp. 31-49.

Katz K.J., Richards D., Long D., Lawrence W. A new look at the components of the petroleum system of the South Caspian Basin. Journal of Petroleum Science and Engineering, V. 28, No. 4, 2000, pp. 161-182.

Sofer Z. Stable carbon isotope composition of crude oils: Application to source depositional environments and petroleum alteration. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 68, No. 1, 1984, pp. 31-49.

Solodkov V.K., Kamyanov V.F., Dragunskaya V.S. Isoprenoid hydrocarbons in depths and condensates of the West Turkmenia. Proceedings of Academy of Sciences of Turkmenian SSR. Series of physical-technical, chemical and geological sciences, No. 1, 1974, pp. 76-88 (in Russian).

Starobinets I.S. Geochemical characteristics of oils, gases and bituminous formations in Turkmenian SSR in connection with issues of oil content. In collection: Prospects of oil-and-gas content and direction of exploration activities in the west regions of the Middle Asia. Gostoptekhizdat. Moscow, 1969, pp. 162-167 (in Russian).

ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО БОРТА ЮЖНО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА (ЗАПАДНЫЙ ТУРКМЕНИСТАН)

Гусейнов Д.А., Фейзуллаев А.А.
Институт геологии и геофизики НАНА
AZ1143, г.Баку, просп.Г.Джавида,119: d_huseynov@yahoo.com, fakper@gmail.com

Резюме. В статье приводятся результаты выполненных изотопно-геохимических и хромато-масс-спектрометрических исследований нефтей 14 месторождений, расположенных на шельфе и суше восточного борта (Туркменистанский сектор) Южно-Каспийской впадины (ЮКВ). Эти месторождения приурочены к антиклинальным структурам трех тектонических зон: Прибалханской зоны поднятий (банка Жданова, банка ЛАМ, Челекен, Западный Челекен, Котур-Тепе, Барса-Гелмес, Бурун, Комсомольская, Кумдаг), Кызылкумского прогиба (Эрдекли) и Гограндаг-Окаремской (Корпедже, Ю. Камышлыджа, Аг-Патлаух) зоны поднятий. Низкие пристан/фитановые (Pr/Ph) отношения (1.17-1.3 в нефтях и 1.45-2.08 в конденсатах), преобладание низкомолекулярных алканов (C_{31}:C_{19}=0.08:0.63), превалирование в нефтях четных алканов над нечетными, а также ярко выраженный нафтеновый характер нефтей (нафтеновый индекс =1.9-6.7) свидетельствуют о преимущественно морской природе исходного органического вещества (ОВ). На это также указывает изотопный состав углерода нефтей. Наблюдается четко выраженная тенденция изотопного облегчения нефтей в восточном направлении от месторождений, расположенных в шельфовой части, к месторождениям суши. По физико-химическим характеристикам нефти как отдельных месторождений, расположенных в разных структурных зонах, так и различные объекты разработки в пределах одного месторождения существенно отличаются. Нефти и конденсаты имеют очень низкую степень зрелости и рассчитанные по биомаркерным данным в витринитовом эквиваленте (Ro,%) составляют соответственно 0.55-0,65% и 0.62-0.75%. Обосновывается генерация нефтей преимущественно из диатомового органического вещества (ОВ) глинистых отложений морских дельт. Причем суммарный вклад средне-верхнемиоценового комплекса в нефтеобразование выше, чем палеоген-нижнемиоценового. Питание структур углеводородами на шельфе восточного борта ЮКВ происходило как из очагов генерации, расположенных в пределах ЮКВ (Кызылкумский прогиб), так и из очагов в Среднем Каспии (Келькорский прогиб).

Ключевые слова*: нефть, органическое вещество, изотопно-геохимический анализ, биомаркеры, зрелость, Южно-Каспийская впадина, Туркменский сектор*

CƏNUBİ XƏZƏR HÖVZƏSİ ŞƏRQ BORTUNUN (QƏRBİ TÜRKMƏNİSTAN) YATAQLARINDA NEFTİN İZOTOP-GEOKİMYƏVİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Hüseynov D.A., Feyzullayev Ə.Ə.
AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu
AZ1143, Bakı şəh., H.Cavid prosp.,119: d_huseynov@yahoo.com, fakper@gmail.com

Xulasə. Məqalədə Cənubi Xəzər çökəkliyinin (CXÇ) şərq yamacında (Türkmənistan sektoru) quruda və dənizdə yerləşən 14 yataqdan olan neftlərin izotop-geokimyəvi və xrom-mass-spektrometrik tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunur. Bu yataqlar üç tektonik zonanın antiklinal strukturlarında yerləşir: Balxanyanı qalxımlar zonası (Jdanov, LAM, Çələkən, Qərbi Çələkən, Qoturtəpə, Barsa-Gəlməz, Burun, Komsomolskaya, Qumdağ), Qızılqum çökəkliyi (Erdekli) və Qoqrandağ-Okarem (Korpıcə, Cənubi Qamışılca, Ağ-Patlaux) qalxılmlar zonası. Pristan /Fitan (Pr/Ph) nisbətinin aşağı qiymətləri (neftlərdə 1.17-1.63 və kondensatlarda 1.45-2.08), aşağı molekulyar çəkili alkanların üstünlük təşkil etməsi (C_{31}: C_{19} = 0.08: 0.63), neftlərdə cüt alkanların tək alkanlardan üstünlüyü, həmçinin neftlərin aşkar naften təbiəti (naften indeksi = 1.9-6.7) üzvi maddənin (ÜM) əsasən dəniz mənşəli olmasını göstərir. Bu, neftlərdə karbonun izotop tərkibi (KİT) ilə də təsdiq olunur. Şərqə doğru, şelf zonasından quruda yerləşən yataqlara tərəf, neftlərin KİT yüngülləşməsi tendensiyası müşahidə edilir. Fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə görə istər müxtəlif struktur zonalarda yerləşən ayrı-ayrı yataqların neftləri, istərsə də eyni sahədəki müxtəlif işlənilmə obyektlərinin neftləri əhəmiyyətli dərəcədə fərqlidir. Neftlər və kondensatlar çox aşağı yetkinlik dərəcəsinə malikdir və biomarker məlumatlarına görə hesablanmış vitrinitin əksetdirmə qabliyyəti ekvivalentinin (Ro,%) qiymətləri müvafiq olaraq 0.55-0.65 % və 0.62-0.75 % -dir. Neftlərin əsasən dəniz deltalarının gil çöküntülərinin diatom ÜM-dən yaranması əsaslandırılır. Bunula belə, neftin əmələ gəlməsində Orta-Üst Miosen kompleksinin payı Paleogen-Alt Miosen kompleksindən daha yüksəkdir. CXÇ şərq yamacı şelfində yerləşən strukturların karbohidrogenlərlə qidalanması həm CXÇ hüdudlarında yerləşən əmələgəlmə mənbələrindən (Qızılqum çökəkliyi), həm də Orta Xəzərdə olan mənbələrdən (Kelkor çökəkliyi) baş vermişrdi.

Açar sözlər*: neft, üzvi maddə, əmələgəlmə mənbəyi, izotop-geokimyəvi analiz, biomarkerlər, yetkinlik, Cənubi Xəzər hövzəsi, Türkmənistan sektoru*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **2 / 2019**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ACCESSORY MINERALS AS INDICATORS OF DEPTH OF MAGMA GENERATION AND ORE GENESIS WITHIN DASHKESAN ORE REGION (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

Ismail-zadeh A.J., Kangarli T.N., Akhmadov A.M., Amirov A.S.

Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H. Javid av., Baku, AZ1143, Azerbaijan: arifismail@mail.ru,
tkangarli@gmail.com, ahmedov.geo@gmail.com

Keywords: *Jurassic magmatism, scoria, native iron, wustite, spinifex structure*

Summary. Wustite (for the first time defined by authors in the territory of Azerbaijan) and native iron are found in the slag-like fragments of rocks (scorias) contained in the river alluvium above flood-plain terraces of Ganjachay and its small tributaries within the eastern periphery of Dashkesan trough (Lok-Garabagh zone of Lesser Caucasus). They represent following two types of burnt, dense and lumpy bubble-rocks: 1 – basaltoids with typical spinifex structure and native iron and magnetite content; 2 – granitoids with impregnations of the different-size fragments of wustites, as well as magnetites, maghemites, etc. First type of the metal-bearing rocks corresponds to low-titanium and komatiite-like ferro-magnesian formations (pyroxene komatiites - ?), while the second type is represented by diorites-quartz diorites. Materials of the conducted research bring us to a conclusion that wustite and other metal-bearing formations are brought to a daylight through the hybrid magma with quartz-diorite composition which have formed through mixing of the palingenic granitoid magma with the serpentized rocks of buried ultrabasic plate. Studied samples represent fragments of a deep magmatic focus – ultrabasic rocks that had been recrystallized into komatiites (?) as well as fragments of the marginal zones of magma generation focus, e.g. melted granitoids with wustite, magnetite, maghemite, etc., ejected by an explosive activity of paleo volcanoes.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The most important process related to an emergence of the ore-metallogenic systems is the identification of genetical basis of their primary sources, including differentiation of parental substance, palingeny, polynchronousness and liquation of melt, which can be strengthened by gas components. These processes used to be most active in the earth crust's deeper horizons, but they also could have occurred in the lower hypsometrical levels of the magmatic pocket location.

Rocks with different composition could have formed because of either assimilation or mixture of two independent melts not connected with each other by a common magmatic pocket. One of these rocks could have a sheet mantle composition, while the other could emerge as a result of palingeny in the lower parts of the granitic layer. This very factor is a key for determining a depth of the ore genesis processes that are typical for the Mediterranean metallogenic province. This statement can be exemplified by the ore-magmatic system of Dashkesan ore field.

In a tectonic scheme of Lesser Caucasus region, most payable types of the ore deposits are concentrated in Lok-Garabagh zone – Jurassic-Cretaceous island arc complex complicated by uplifts and depressions. The zone's typical feature consists in a placement of the copper-sulphide-polymetallic gold ore deposits in Shamkir (Gadabay deposit, etc.) and Aghdam (Gyzylbulag deposit, etc.) uplifts and the iron-ore and cobalt deposits in Dashkesan depression. These ore distribution specifics are undoubtedly related to the geological-tectonic and even more to the geodynamic conditions of their formation. Located in Dashkesan depression, the gabbro-diorite-granodiorite-granite intrusive used to be an ancient paleo-volcano throughout the entire Jurassic and Early Cretaceous periods. The volcano's explosive and lava eruptions characterize it as a polyphase magmatic massif genetically related to the material complexes and iron-ore deposits: 1) Early Bathonian hematite

deposits; 2) Middle Bathonian lapilli tuffs; 3) Callovian-Oxfordian Dashkesan iron-ore deposit and cobalt ores connected with gabbro-diabase dyke phase of the paleo-volcano. Such ratio of the area's iron-ore and gold-copper-sulphide deposits can be explained by possible presence of deeply buried Paleozoic ultrabasite plate within the structure of Dashkesan depression. Anatectic melting of the zone's granitoid formations then led to their interaction with this ultrabasite plate, thus enabling the formation of a hybrid magma with high iron content. Then the latter became subject to a liquation splitting process with emission of silicate and ore (iron-ore) melt. At this depth the high melting point could have favored the formation of high-temperature minerals in a bottom edge of the magma-generation center. Then such minerals could have been teared off by eruption and ejected on surface in the form of a breccia. This assumption is evidenced by the outcomes of research we implemented in the upper river basin of Ganjachay.

Results

On the northeastern slope of Lesser Caucasus mountains, in the eastern part of Dashkesan-Galakend synclinal trough (Lok-Garabagh structural zone), multiple fragments of different-sized (2x3 to 10x12 cm) burnt slaggy rocks (lavas) with typical porous texture and increased specific weight were detected in above flood-plain terraces and channel deposits of the upper reaches of Ganjachay and its minor tributaries. Detected fragments demonstrate miserable roundness, which points at proximity of native provenance areas. Psammitic fraction of the slaggy fragments was also established during area's panning activities, as a result, it was established that the share of such fragments reaches and exceeds 20% in most steam sediment samples.

Concentration areas of the fragments are structurally confined to the southeastern periphery of gentle Dashkesan syncline (central element of Dashkesan-Galakend depression) built by the Upper Jurassic formations traced from Shamkirchay river in the west through Ganjachay river in the east (Fig. 1). The trough is contoured along the bottom of Bathonian structural stage (porphyrites and their tuffs, tuff-conglomerates, tuff-breccias and lava-breccias, interleaved with tuffaceous sandstones and aleurolites), reflecting the changes occurred in the Lok-Garabagh zone's structural plan shortly before the beginning of Bathonian period.

In the bottom of unconformably bedding Bathonian formations, Bajocian volcanic complex has been revealed. Upper Jurassic structural stage fills in the trough's axis and outlines contours of the higher-order uplifts and deflections. The latter are mainly represented by Callovian-Oxfordian carbonates (up to 400 m) unconformably overlapped by a Kimmeridgian volcanic complex built by diabase and andesite porphyrites, their tuffs, tuff-breccias and tuff-conglomerates, interleaved by calcareous sandstones (190-860 m).

In the central part of Dashkesan syncline there is the Late Jurassic gabbro-granite polyphase and polyfacies Dashkesan-Zurnabad intrusive, which had been formed through the following consequent phases (Kashkay, 1965): phase I – gabbro, gabbro-norites, gabbro-diorites, quartz diorites, diorites (up to 20%); phase II – granites, adamellites, tonalites, granodiorites (70%); phase III – aplites, alaskites. In contemporary interpretation the intrusive is classified as a deep part of the volcanic center that used to be active during Middle-Upper Jurassic periods, while surrounding it Middle-Upper Jurassic lavas and pyroclasts are characterized as products of paleo-volcano's ejecta (Ismayil-zadeh, 2012).

The intrusive is surrounded by Middle and Upper Jurassic complexes containing relatively small stockwise bodies of the Upper Jurassic gabbro, gabbro-norites, gabbro-diorites, diorites (partly revealed in the river basin of Ganjachay), which are possibly the roots of parasitic eruptive channels, as well as the coeval dykes of diabases, gabbro-diabases, andesites, andesite porphyrites, diorites, quartz diorites and picrite-porphyrites.

According to the implemented reconstructions (Ismayil-zadeh, 2012), known iron-ore deposits of the Dashkesan ore cluster[1] are interpreted as the ore bodies with volcano sedimentary origin confined to a paleo-volcanic center that used to be active during Middle and Late Jurassic periods together with silicate melt, as well as the ore melts – magnetite lavas, lapilli tuffites and hematite tuffs (Fig. 2).

Discovery of pyrite-porphyrite dykes inside and around the Dashkesan-Zurnabad intrusive allowed relating a genesis of its iron-ore deposits with presence of a buried allochthonous Paleozoic ultrabasite plate at the basement of Dashkesan paleo-volcano. Affected by melted palingenic magma, this plate had favored the formation of a hybrid magma which was then split into the silicate and iron-ore fusions. Presence of the abovementioned plate is confirmed by: a) outcropping of ultrabasites from under the Lower Bajocian basalts and andesibasalts 12-15 km to the southwest of Dashkesan-Zurnabad intrusive (upper reaches of Goshgarchay – Shamkirchay's right tributary); b) drilling in Novosaratovka village's vicinities (part of Shamkirchay uplift to the west of intrusive), which have revealed serpentinites at a depth of

[1] Many authors have previously characterized their genesis as of a skarn-metasomatic type (Kashkay, 1965; Geology of Azerbaijan, 2001)

104-174 m from under the Bathonian deposits; and c) materials of geophysical research implemented in the river basin of Shamkirchay (Hasanov, 1985; Geology… , 2005).

Two trends of differentiation are established according to the A-S diagram (Fig. 3) built following the facial types of formations in Dashkesan-Zurnabad gabbro-diorite-granodiorite-granite intrusive and the dykes with picrite-porphyrite composition. One trend is ultrabasic and the other one is granitoid with formation of hybrid varieties of diorites, gabbro-diorites and quartz gabbro. This all goes to show that hybrid discrete magma could have been possibly formed during magmatic melt formation process, with ultrabasic (FeO* content of up to 15%) and acidic (granitoid) elements contributing to its generation. As stated above, the role of an ultrabasic component was played by the Paleozoic plate buried under the intrusive, which had determined the melting of picrite-porphyrites (Ismayil-zadeh, 2012).

As concluded from the outcomes of petro-geochemical studies and seen from the AFM chart (Fig. 4), Middle Jurassic effusive and Late Jurassic intrusive rocks with gabbro-diorite-granodiorite-granite composition correspond to the different types of the series: 1) granite-granodiorites and leucogranites correspond to high-aluminous calc-alkali gabbro series; 2) gabbro-diorites are closer to tholeitic series, and 3) effusive rocks are mainly closer to high-aluminous tholeitic series.

Outcomes of petro-geochemical research reflect transformation of the calc-alkali formations of intrusive complex into the tholeitic series of volcanic complex during hybridism (fusion with ultrabasic material) process. At the same time presence of large 1-30 m thick deposits of stratal magnetitic bodies in the latter is most probably conditioned by a fact that the magma generation process had been contributed by a differently composed substance with high iron content.

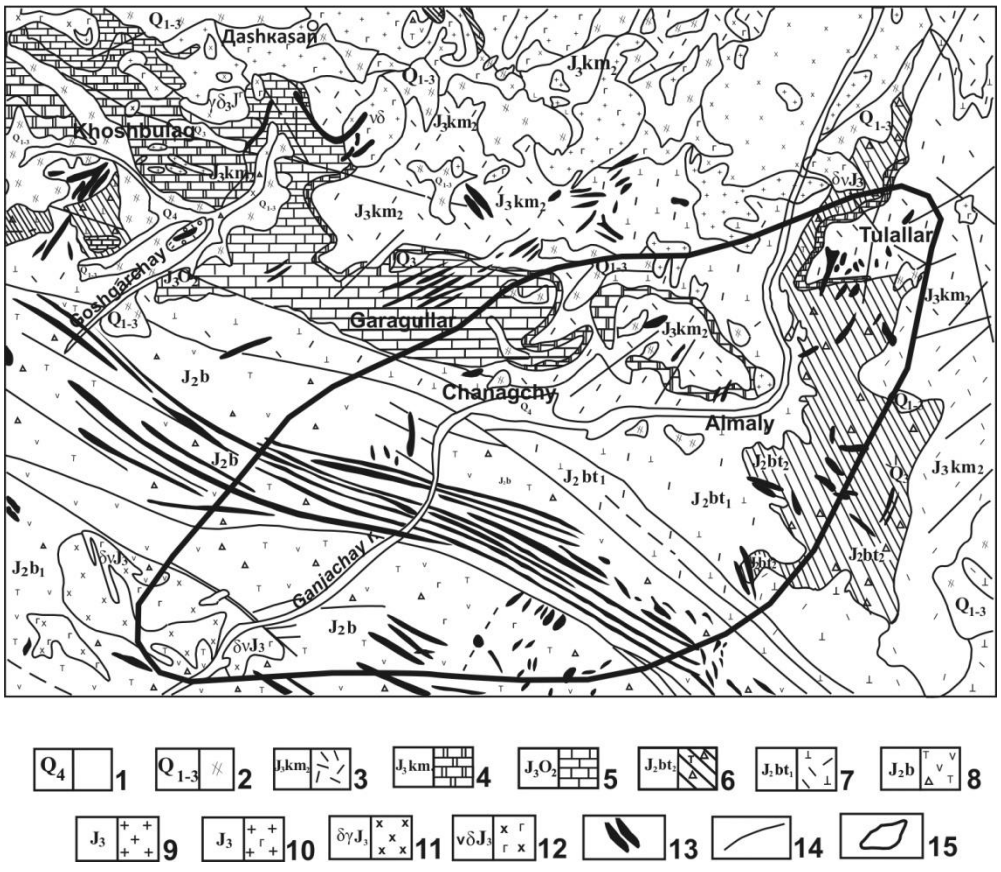


Fig. 1. Geological map o Goshgarchay and Ganjachay rivers interfluves.

1 – recent alluvial deposits; 2 – eluvial-deluvial deposits of the Pleistocene; 3 – the Upper Kimmeridgian: diabasic and andesite porphyrites, their tuffs, tuff breccia and tuff conglomerates, calcareous sandstones; 4 – the Lower Kimmeridgian: marmorized coral limestones; 5 – the Oxfordian: alternation of sandy and fragmental limestones with coral limestones; 6 – the Upper Bathonian: tuffites, tuffs, tuff sandstones, tuff conglomerates, tuff breccia and siltstones; 7 – the Lower Bathonian: porphyrites and their tuffs; tuff conglomerates, tuff breccia and lava breccia, layered by loose tuff sandstones; 8 – the Lower Bajocian: tuffs, tuff conglomerates and tuff breccia of andesites and andesi-dacites; 9-12 – intrusive rocks: 9 – diorites, quartz diorites and gabbro-diorites; 10 – gabbro-diorites; 11 – diorites and quartz diorites; 12 – gabbro and gabbro-diorites; 13 – dykes (diabases and gabbro-diabases, andesites, diorites and quartz diorites, picrite-porphyrites); 14 – faults; 15 – placer sampling area

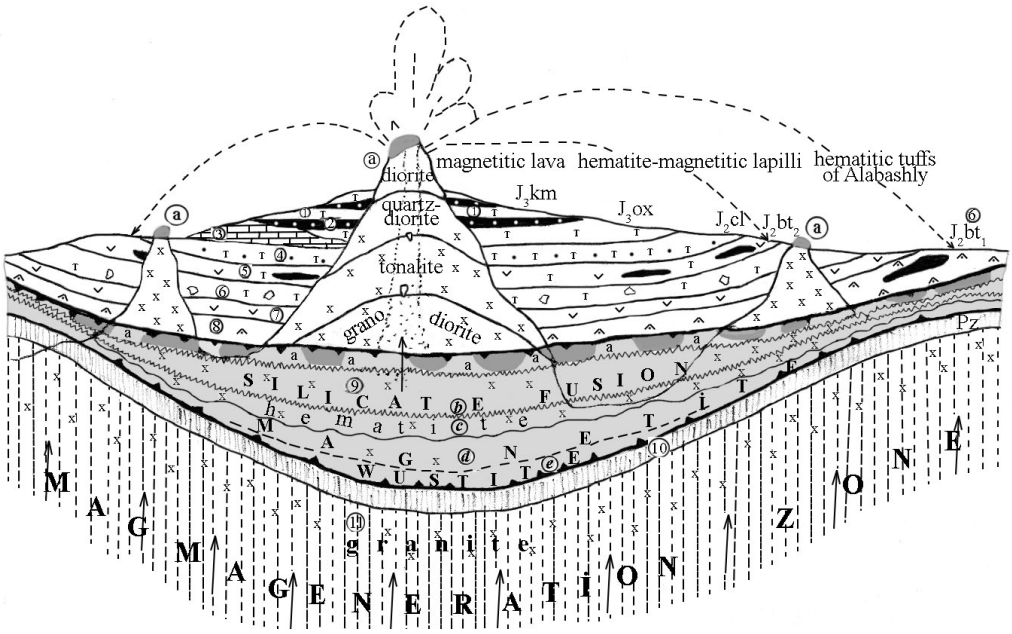


Fig. 2. Occurrence scheme of Dashkesan paleovolcano (dots and dotted lines) and formation of intrusive complexes (lines) during Late Jurassic period.

1 – tuffs and tuff-breccias, J_3km; 2 – magnetite lavas; 3 – sandstones, J_3ox; 4 – argillites and sandstones, J_2cl; 5 – quartz tuffaceous sandstones with lenses of hematite-magnetite lapilli tuffs, J_2bt_2; 6 – psammitic tuffs and tuff-breccias; hematite tuffs J_2bt_1; 7 – quartz porphyries and their tuffs, J_2bj_2; 8 – supposed buried allochthonous Paleozoic ultrabasite plate, liquation split into pieces during its interaction with granitoid magma: a) gabbroid ultrabasite, fragmented and weathered out on the crest of intrusive; b) silicate melt; c) hematite; d) magnetite; e) wustite; 9 – terrigenous-carbonate complex, Pz; 10 – palingenic granitoid

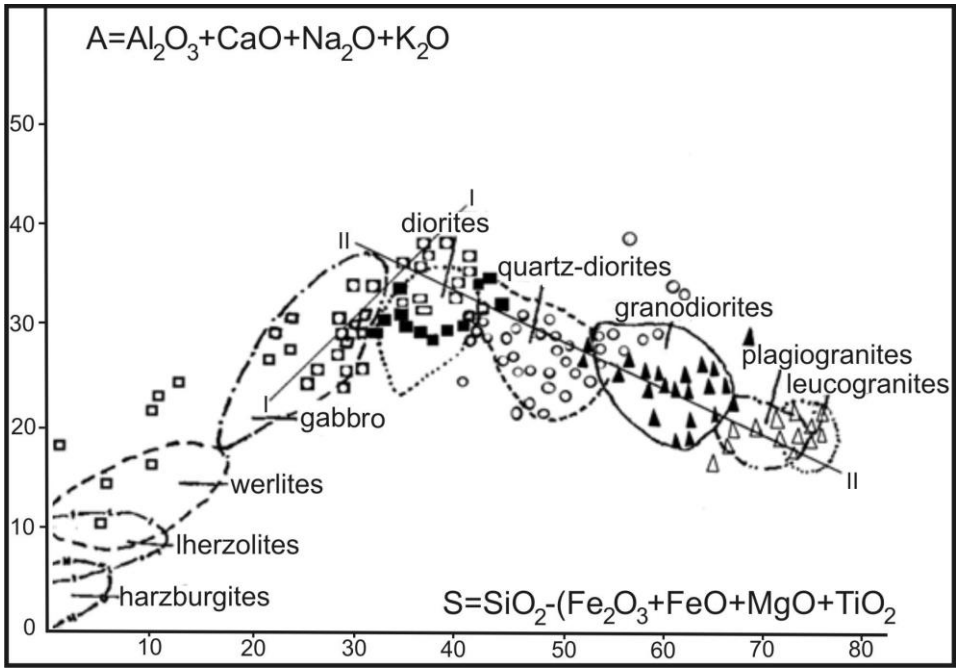


Fig. 3. A-S diagram. Position of Mesozoic granitoid intrusives of the Lesser Caucasus in the fields of statistical distribution of chemical composition of the rock main types

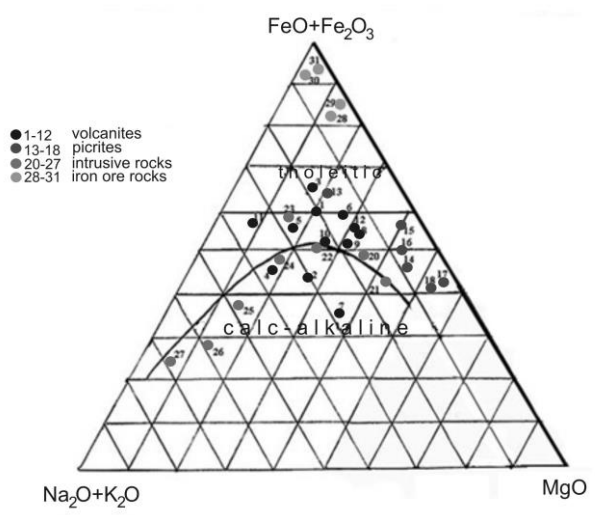


Fig. 4. Petro-geochemical parameters of Jurassic volcanogenic and intrusive complexes on AFM diagram

Such formations could be the subvolcanic bodies of picrite-porphyrites detected among diorites from Dashkesan intrusive and its surroundings. By composition these bodies correspond to the smelts from the ultrabasic formations.

Two types of the slaggy lavas were identified by testing of the selected samples, to include scoria with ***native iron*** and ***wustite*** content. It has been mentioned that it was the first discovery of scoria with wustite content in Azerbaijan (established according to X-ray phase analysis data).

1. Study of the first type of samples under optical (Polam R-312) and scanning electronic microscopes (REMMA-102-02) has shown that the following two types of ultrabasic formations contain native iron and magnetite in their structure: a – rocks with vitrobasalt basis and swells of olivine and pyroxene, and b – rocks with plagioclase basis containing impregnations of olivine.

Rocks of the *first variety* have porous texture; pores have a round ellipsoidal shape often having membranous, cockade welts of hematite ("hydrohematite") along their outer contour. According to their Al_2O_3/TiO_2 ratio such rocks belong to low-titanous picrites – komatiitic formations. Rock's clinopyroxene is represented by the individual tabular grains in the interstices of olivine. The latter forms the formation's groundmass (up to 60%) appearing in the form of elongate to acicular (up to 200 mkm), differently oriented, fan-shaped discharges, looking similar to a structure of "spinifex" (Fig. 5, 6). Olivine interstices also contain fallow transparent glass in the form of strips outstretched along its crystals. This glass has the needles of crystallites that demonstrate poor reaction to a polarized light. Amount of the glass is rather few, not more than a third of the slide's total area. It demonstrates deflection which is considerably higher than that of the Canadian balsam. The spinifex structure was first described in 1982 in Australia (Arndt, Nisbet, 1982), detected among ancient lava flows with ultrabasic composition – komatiites with skeletal plate crystals of olivine and pyroxene detected in their upper segments.

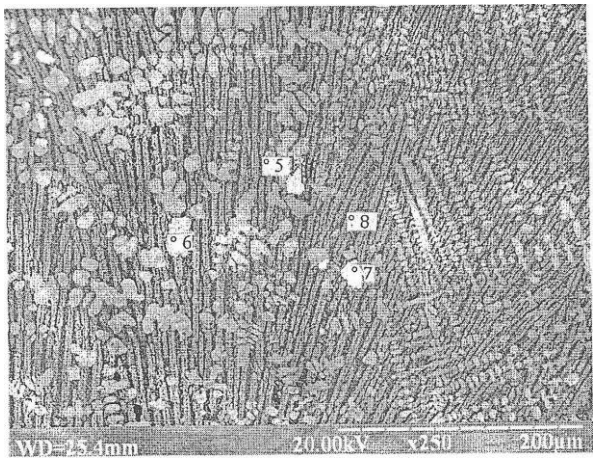


Fig. 5. Low-titanian picrate. Spinifex structure: 5 – clinopyroxene (black), 6 – magnetite (light-grey + "snowflakes"), 7 – native iron (white), 8 – elongated needle-like individuals of olivine (dark-grey)

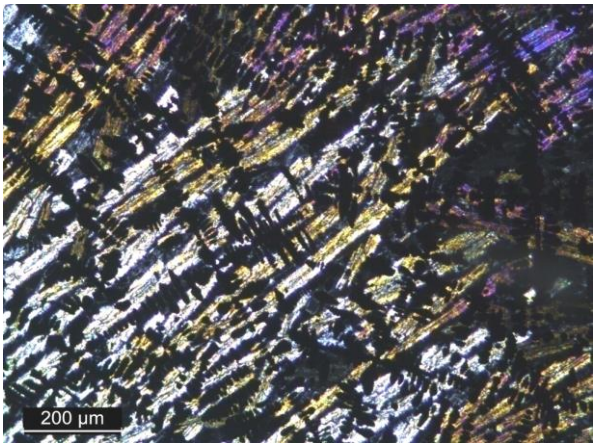


Fig.6. Komatiite-like rock. Spinifex structure: needle-like crystals of olivine (grey interference bodies), almost without interspaces. Image from optical microscope, magnification 45 x

Magnetite forms a complex network of original skeletal crystals (Fig. 7) developed separately from pyroxene, and this makes an impression that one structure is imposed over the other. The growth structure is similar to that of the snowflakes – classical example of skeletal crystals, where the rapid crystallization predominantly favors the formation of apical and costal forms with faces lagging behind in a growth rate (Popov, Shafranovsky, 1972). In our particular case it resulted in the formation of nearly flat, 0.3-0.8, rarely up to 1.6 mm large, quadriradiate skeletal crystals of magnetite. It's typical that the identical magnetite is present in the grains of olivine-hortonolite, detected as product of a solid solution breakdown in many Transvaal deposits (Ramdor, 1962).

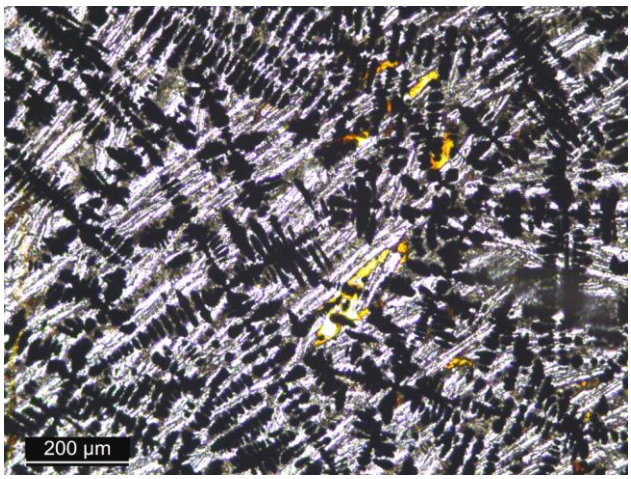
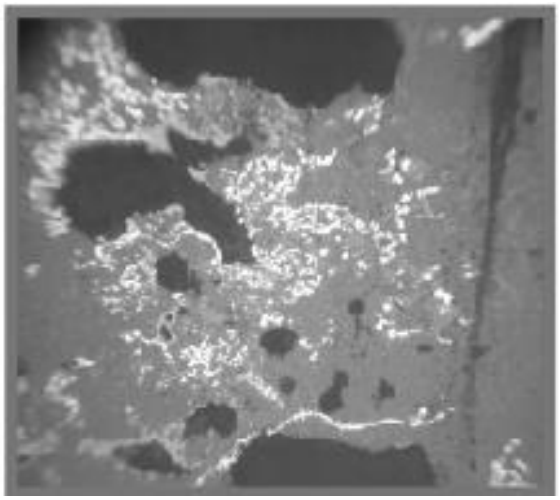
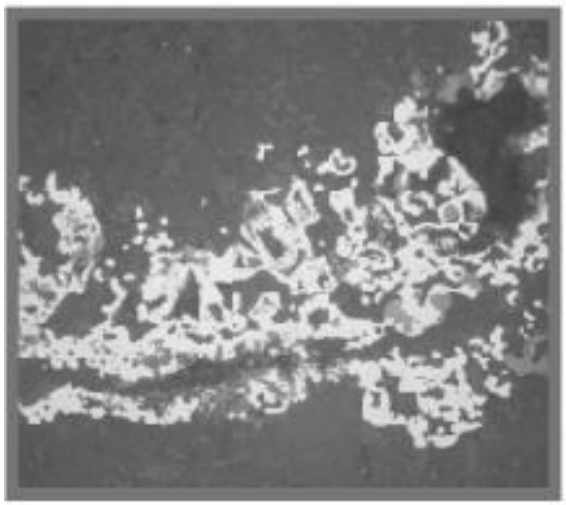


Fig. 7. Spinifex structure: skeletal crystals of magnetite (black "snowflakes") form similarity of net imposed on olivine needles. Image from optical microscope, magnification 45 x



a



b

Fig. 8. Native iron in polished sections: a – rich granular accumulation of native iron (white – emulsion impregnation, black – pores, grey – iron hydroxides); polished sections, magnification 56.7x; b – more massive aggregate of iron intergrowths (white); polished section, magnification 132.3 x

Native iron forms thin (0.005-0.01 mm) and diffused impregnation: rarely detected are its' up to 5-10 mm large isometric isolated "spots" (Fig. 8). In reflected light this metal has a pinkish white with higher reflecting capacity of about 60%, which is higher than that of pyrite. The iron is optically isotropous, magnetic, well-polished and dissoluble in the azotic acid.

Inside the rocks of the *second variety* (Fig. 9), olivine forms the irregularly shaped grains or the elongate needle-shaped individuals inside a mass of plagioclase with average-to-base composition. Magnetite, by which the iron hydroxide develops, is represented by isometric occlusions that equal ≥ 30% of the total rock volume.

By mineral composition these samples correspond to ultrabasic komatiite-like magnesian-ferruginous effusive (pyroxene komatiite - ?), the texture of which bears record to boiling and quick cooldown of the melt.

2. Dark, heavily magnetized, 1.0-1.5 cm thick swells are detected inside the second type rock's dense, grey and porous brecciated mass (macroscopically identified as burnt fragments from a melting center of the ironstones). Following oxides were detected in the wustite-containing sample according to results of X-ray spectrometric analysis (mass.%): FeO – 89.34; SiO_2 – 8.55; Al_2O_3 – 1.34; CaO – 0.77.

As demonstrated by Debye powder diagrams, both samples contain certain amounts of wustite with two major reflexes (*d*, Å – I, %) observed: a) sample 1 - 2.489 – 59 and 2.153 – 100; b) Sample 2 - 2.483 – 85 and 2.148 – 100. These parameters are close to the reference wustite properties accepted as JCPDS–ICDD ## 06-615, 46-1312.

It is known that wustite is formed at high temperatures in a strong reducing environment (Stryubel, Zimmer, 1987). At the same time due to its general instability the stoichiometric wustite is quite rare on our planet, mainly present in meteorites, lunar rocks or the kimberlite pipe diamonds. Some concentrations of this mineral are tellingly present in the deep-water hot brine deposits and iron-manganese concretions. Additionally, wustite is typically detected in the slags of steelmaking facilities (Stryubel, Zimmer, 1987). It was determined that wustite ($Fe_{0.947}O$) decays into ferrous oxide (FeO) and magnetite (Fe_3O_4) when cooled down below 570^0C.

Also the magnetized sample varieties characterized by presence of a number of oxides (magnetite, hematite, maghemite, magnesium oxide and alumna) emerged in an oxidizing environment are detected. Some samples contain extrinsic siderophile elements (cobalt, chrome), manifesting a typomorphic relation with their contributor – iron from an ultrabasic source (Table).

Chemical composition of rocks with wustite polluted by matter of host medium

Образцы / Минералы	1	2	3	4
SiO_2	20.01	20.21	24.13	17.28
TiO_2	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Al_2O_3	7.20	5.89	9.57	8.12
FeO	64.19	63.09	56.55	61.27
MnO	< 0.01	0.50	< 0.01	< 0.01
MgO	1.14	1.83	1.01	0.86
CaO	1.88	6.47	3.13	3.70
Na_2O	2.80	0.96	2.85	3.89
K_2O	0.50	1.04	0.69	0.72
CoO	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.37
Cr_2O_3	1.31	< 0.001	1.10	0.72
п.п.п.	0.97	0.01	0.87	3.07
Сумма:	100.00	100.00	100.00	100.00

In our opinion, studied samples are actually the activity products of deep magmatic chamber with quartz diorite-diorite composition, in which the iron-bearing mass used to melt forming the discovered concentrations of wustite.

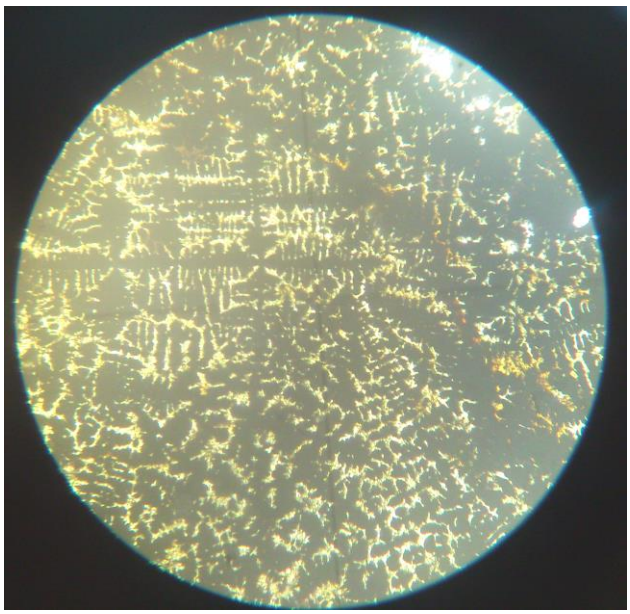


Fig. 10. Microstructure corresponding to the assumed breakdown of a wustite-based solid solution. White – iron oxide FeO; grey – magnetite Fe_3O_4 (magnification: 8x9**)**

Typical solid phase decay of the magnetized samples into FeO and Fe_3O_4 is reflected in wustite's surface microstructure (Fig. 9), where the following two types of decay phenomenons were clearly established: a) radially fibrous decay of a substance in the crystal's central segment; and b) decay in two mutually perpendicular directions possibly related to a cubic structure of wustite.

Study of the provided material brings us to a conclusion that wustite was surfaced by a hybrid magma with quartz diorite-diorite composition formed during the replacement of palingenic granitoid magma with serpentinized rocks of the buried ultrabasic plate.

Formation of scoria with wustite and komatiitic structure can be imagined as follows: at the end of the Paleozoic period an ultrabasic plate – residual of the Paleozoic oceanic crust that used to be buried under Mesozoic volcanosedimentary complex, became obducted on the pre-Alpine substrate of Lok-Garabagh zone during closure of the oceanic basin of Paleotethys (Ismayil-zadeh, 2012). Later in the light of intensive Mesozoic island arc magmatism developed on Mesotethys periphery and accompanied by the formation of palingenic granitoid magma, the latter started to interact with buried allochthonous ultrabasic plate represented by serpentinites and ultrabasites with FeO content of over 15%. Enriched by geochemical elements of the both types of magma, this molten material became subject to a liquation splitting into the silicate and iron-ore fractions. Later the magmas that were saturated with hydrogen-rich fluids (emerged during iron's oxidation), became accumulated in the upper parts of the magmatic chambers together with fluorine and chlorine. Known to be quite intensive in the replacement zone of granitoidal series into the hybrid diorites, this process was accompanied by discharge of the iron-ore fraction within the structure of hydrogen-halogen emanations of a number of siderophile elements (e.g. cobalt, chrome, nickel and platinum that are currently present in the iron-ore structure). Such gas-abundant magma used to be ejected together with tuff-breccias, tuffs and

fragments of deep magma generation chamber containing wustite and spinifex-structured rocks, and then outflew as an essentially magnetite fusion. Influence of the acidic magma upon the ultrabasic (serpentinized) allochthonous plate used to be most intensive in the bottom parts of the plate, and reduced towards the plate's top edge. Emerged hybridism has reached its maximum during development of the dioritic facies which are now detected in the structure of most of the region's intrusives. It is only on the topmost edge of the plate that the gabbroidal varieties of ultrabasites have remained with signs of the initial ultrabasic formation, including skeletal forms of olivine and chrome-spilenites with complexes of secondary minerals – tremolite, talc, prehnite and chlorite.

Conclusions

Therefore, it should be assumed that the studied samples represent fragments of the deep magmatic chamber (melted fragments of granitoids with wustite erupted during paleovolcanic eruptions), i.e. ultrabasic rocks of the allochthonous plate and the margins of magma generation center, which had been re-crystallized into komatiites (?). The fact that there are practically no volcanic slags in the alluvial deposits of Goshgarchay (the river that directly crosses the Dashkesan intrusive and its hosting Upper Jurassic formations), and that there is a large amount of slags in the southeast in the riverbed of Ganjachay and its minor tributaries, speaks for their ejection as a result of Late Kimmeridgian explosion of the parasitic cone(s) of Dashkesan paleovolcano.

The strata of diabase and andesite porphyrites, tuffs and tuff-breccias forms highest elevations of the both riverbanks of Ganjachay and gets ruptured by Tulallar and other minor diorite-quartz diorite and gabbro-diorite intrusives (possibly the roots of parasitic cones). This strata is possibly that very main basis, erosion of which had promoted the removal of volcanic slags with wustite and native iron, and their re-deposition in a contemporary alluvium. However, this question requires more detailed investigations.

REFERENCES

Arndt N.T., Nisbet, E.G. What is komatiits? In: Komatiites. G.Allen and Unwin. London, 1982, pp. 19-28.

Geology of Azerbaijan. V. III. Magmatism (ed. Alizadeh Ak.A.). Nafta-Press. Baku, 2001, 433 p. (in Russian).

Geology of Azerbaijan (ed. Khain V.E., Alizadeh Ak.A.).V. IV. Tectonics. Nafta-Press. Baku, 2005, 505 p. (in Russian).

Hasanov T.A. Ophiolites of the Lesser Caucasus. Nedra. Moscow, 1985, 240 p. (in Russian).

Ismail-zadeh A.D. A new look to the formation of iron ore deposits in the Dashkesan trough of the Lesser Caucasus: Proceedings of ANAS, The sciences of Earth, No. 4, 2012, pp. 33-43 (in Russian).

Kashkay M.A. Petrology and metallogeny of Dashkesan and other iron ore deposits of Azerbaijan. Nedra. Moscow, 1965, 888 p. (in Russian).

Popov G.M., Shafranovsky I.I. Crystallography. Vysshaya shkola, Moscow, 1972, 353 p. (in Russian).

Ramdor P. Ore minerals and their intergrowths. Foreign literature publishing house. Moscow, 1962, 1132 p.

Stryubel G., Zimmer Z.H. Mineralogical dictionary. Nedra. Moscow, 1987, 494 p. (in Russian).

ЛИТЕРАТУРА

Arndt N.T., Nisbet E.G. What is komatiits? In: Komatiites. G.Allen and Unwin. London, 1982. pp. 19-28.

Ramdor P. Ore minerals and their intergrowths. Foreign literature publishing house. Moscow, 1962, 1132 p.

Геология Азербайджана (под ред. Ак.А.Ализаде). Т.III. Магматизм. Nafta-Press. Баку, 2001, 433 с.

Геология Азербайджана (под ред. В.Е.Хаина, Ак.А.Ализаде). Т.IV. Тектоника. Nafta-Press. Баку, 2005, 505 с.

Гасанов Т.Аб. Офиолиты Малого Кавказа. Недра. Москва, 1985, 240 с.

Исмаил-заде А.Д. Новый взгляд на формирование железорудных месторождений Дашкесанского прогиба Малого Кавказа. Известия НАНА, науки о Земле, No. 4, 2012, с. 33-43.

Кашкай М.А. Петрология и минералогия Дашкесана и других железорудных месторождений Азербайджана. Недра. Москва, 1965, 888 с.

Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография. Высшая школа. Моква, 1972, 353 с.

Штрюбель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь. Недра. Москва, 1987, 494 с.

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ГЛУБИННОСТИ МАГМОГЕНЕРАЦИИ И РУДОГЕНЕЗА В ПРЕДЕЛАХ ДАШКЕСАНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

Исмаил-заде А.Д., Кенгерли Т.Н., Ахмедов А.М., Амиров А.С.

Институт геологии и геофизики НАНА

AZ1143, Баку, просп.Г.Джавида, 119 : arifismail@mail.ru, tkangarli@gmail.com, ahmedov.geo@gmail.com

Резюме. Вюстит (на территории Азербайджана впервые установлен авторами публикации) и самородное железо обнаружены в шлакообразных обломках пород (вулканических шлаков) из речного аллювия и надпойменных террас р.Гянджачай и ее мелких притоков на восточной периферии Дашкесанского прогиба Лок-Гарабагской зоны Малого Кавказа. Прогиб располагается в междуречье рр. Шамкирчай (на западе) и Гянджачай (на востоке) и оконтуривается по подошве батского структурного этажа (порфириты и их туфы, туфоконгломераты, туфобрекчии и лавобрекчии, прослоенные туфопесчаниками и алевролитами), отражая изменения структурного плана Лок-Гарабагской зоны в предбатское время. Шлакообразные обломки – это обож-

женные плотные комковатые пузыристые породы двух типов: 1 – базальтоиды со специфичной структурой спинифекс и содержанием самородного железа и магнетита и 2 – гранитоиды с включениями обломков вюстита различного размера, а также магнетита, маггемита и др. В первом случае металлосодержащие породы отвечают низкотитанистым пикритам и коматиитоподобным магнезиально-железистым образованиям (пироксеновым коматиитам -?), во втором – диоритам и кварцевым диоритам. Материалы проведенных исследований приводят к выводу, что вюстит и металлосодержащие породы вынесены на земную поверхность гибридной магмой кварцдиорит-диоритового состава, образовавшейся в процессе смешения палингенной гранитоидной магмы с серпентинизированными породами погребенной ультраосновной пластины. При этом исследованные образцы представляют собой фрагменты глубинного магматического очага – перекристаллизованные в коматииты (?) ультраосновные породы и фрагменты краевых зон очага магмогенерации – оплавленые гранитоиды с вюститом, магнетитом, маггемитом и др., выброшенные в процессе эксплозивной деятельности палеовулканов.

Ключевые слова: *юрский магматизм, вулканический шлак, самородное железо, вюстит, структура спинифекс*

KİÇİK QAFQAZIN DAŞKƏSƏN FİLİZ RAYONUNDA MAQMAGENERASİYA VƏ FİLİZƏMƏLƏGƏLMƏNİN DƏRİNLİK GÖSTƏRİCİSİ OLAN AKSESSOR MİNERALLAR

İsmayıl-zadə A.C., Kəngərli T.N., Əhmədov Ə.M., Əmirov A.S.
Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Geologiya və Geofizika İnstitutu
AZ1143, Bakı, H.Cavid prosp., 119 : arifismail@mail.ru,
tkangarli@gmail.com, ahmedov.geo@gmail.com

Xülasə. Azərbaycan ərazisində müəlliflər tərəfindən ilk dəfə müəyyən edilmiş vüstit, həmçinin sərbəst dəmir Kiçik Qafqazın Lök-Qarabağ zonasına aid Daşkəsən əyilməsinin şərq kənarında Gəncə çayı və onun kiçik qollarının çaylaqüstü terras və çaybasar allüvisindən əldə edilmiş şlakabənzər süxur (vulkanik şlak) qırıntılarında aşkar edilmişdir. . Qərbdə Şəmkirçay və şərqdə Gəncəçayla hüdudlanan əyilmə porfiritlər və onların tufları, tuf-qumdaşı və alevrolit təbəqələri ilə laylanmış tuf-konqlomerat, tuf-brekçiya və lava-brekçiyalardan ibarət bat struktur mərtəbəsinin (porfiritlər və onların tufları, tuf-konqlomeratlar, tuf-qumdaşı və alevrolit təbəqələri ilə laylanmış tuf-brekçiya və lava-brekçiyalar) dabanı üzrə ayrılmaqla Lök-Qarabağ zonasının batönü dövrdə struktur planının dəyişilməsinə dəlalət edir. Bu qırıntılar iki tip yandırılmış, sıx, kəsəkli, qabarıqlı süxurlardan ibarətdir: 1 – spesifik srinifeks strukturuna malik, sərbəst dəmir və maqnetit saxlayan bazaltlar; 2 – müxtəlif ölçülü vüstit qırıntıları, həmçinin maqnetit, maqgemit və s. saxlayan qranitoidlər. Birinçi halda metalsaxlayan süxurlar aztitanlı pikritlərə və komatiitəoxşar maqnezial-dəmir əmələgəlmələrinə (piroksenli komatiitlər və b.) cavab verir, ikincisində isə – diorit və kvarslı dioritlərə uyğun gəlir. Aparılmış tədqiqatların nəticələri göstərir ki, vüstit və metalsaxlayan süxurlar kvarsdiorit-diorit tərkibli hibrid maqması ilə yer səthinə çıxarılmışdır. Guman edilir ki, bu cür maqma palingen qranitoid maqmasının basdırılmış ultraəsasi tərkibli lövhənin serpentinitləri ilə qarışma prosesi nəticəsində əmələ gəlmişdir. Tədqiq edilmiş nümunələr paleovulkanların eksploziv fəaliyyəti prosesində dərinlikdə yerləşən maqma ocağının yer səthinə çıxarılmış fraqmentləri olmaqla, ultraəsasi süxurların yenidən kristallaşması nəticəsində komatiitlərə (?) və maqmagenerasiya ocağının kənar zonasına aid olan, özündə vüstit, maqnetit, maqgemit və s. saxlayan əridilmiş qranitoidlərə cavab verir.

Açar sözlər: *Yura maqmatizmi, vulkanik şlak, sərbəst dəmir, vüstit, spinifeks strukturu*

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ADVANCED ANALYSIS OF SELF-POTENTIAL DATA IN ORE DEPOSITS OF THE SOUTH CAUCASUS

Eppelbaum L.V.

Dept. of Geophysics, School of Earth Sciences, Faculty of Exact Sciences, Tel Aviv University Ramat Aviv, Tel Aviv, 6997801, Israel: levap@tauex.tau.ac.il

Keywords: *self-potential method, disturbances, quantitative analysis, complex physical-geological environments, self-potential moment, ore targets*

Summary. Self-potential (*SP*) method is one of the most non-expensive and unsophisticated geophysical methods. However, its application limits absence of reliable interpreting methodology, first for the complex geological-environmental conditions. The typical disturbances appearing in the SP method and ways for their removing (elimination) are discussed. Some brief review of the available interpretation methods indicates their insufficient effectivity, especially for complex environments. For the magnetic method of geophysical prospecting have been recently developed special quantitative procedures applicable under complicated environments (oblique polarization, rugged relief and unknown level of the normal field). Performed analysis allowed to revealing some essential common peculiarities of magnetic and *SP* fields. These common aspects make it possible to apply the procedures developed in magnetic prospecting to *SP* method. Besides the reliable determination of the depth of anomalous target, these methodologies enable to introduce corrections for the polarization effect and non-horizontal *SP* observations. For classification of *SP*-anomalies is supposed to employ a new parameter – 'self-potential moment'. These procedures (improved modifications of characteristic point and tangent techniques) have been successfully tested both on *SP* models and in real situations in ore deposits in Turkey and Russia. Finally, interpretation procedures have been effectively applied at several ore deposits in the South Caucasus (Filizchai and Katsdag in Azerbaijan and Uchambo in Georgia). An effectiveness of multimodel approach with application of gravity, magnetic and *SP* methods is demonstrated on the generalized physico-geological model of ore body of Filizchai type. The obtained results indicate the high practical importance of the developed methodology.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

1. Introduction

The Self-Potential (SP) method is based on the study of natural electric field (with a period of up to 1 Hz). The term "natural" here means that the field does not create by an external controlled source. Permanent fields arise in the course of redox, filtration, and diffusion-adsorption processes in a geological section. The registration of these fields is the goal of the SP method, and the geological interpretation of the parameters generating this field is the purpose of SP data interpreting. An oxidizing object (e.g., ore body) is a galvanic cell, the occurrence of which requires: (1) the contact of conductors with different types of conductivity (electronic and ionic), and (2) the difference in the redox conditions at different contact points of these conductors. An appearance of these conditions is usually impossible without underground water contact.

In the geological section, the conditions for the formation of a galvanic cell arise on bodies of minerals with electronic conductivity (sulfides, graphite, and coal-anthracite), if these bodies are in water-saturated rocks with ionic conductivity. The change in the redox conditions at the contact of the electronic conductor and the surrounding medium is associated with a decrease in the oxygen content with depth.

Application of SP observations (and all electric methods in geophysics as a whole) began with Fox's (1830) investigations at copper vein deposits in Cornwall (England). SP is prompt and comparatively simple geophysical method. Equipment for the SP method is one of the most non-expensive in the field geophysics (Table 1). Conventional equipment employed in the SP method consists of pair of non-polarized electrodes, microVoltmeter, cable and $CuSO_4$ solution (the latter is necessary for better contact of the electrode with the environment).

Table 1

Averaged prices of equipment for the most applied geophysical potential fields

Method	Gravity	Magnetic	Resistivity	Self-Potential
Price of equipment, US $	65.000-110.000	20.000-25.000	30.000-60.000	150-200

SP measurements are often applied for searching and localization of ore targets (e.g., Logn and Bolviken, 1974; Cowan et al., 1975; Semenov, 1980; Nayak, 1981; Corry, 1985; Babu and Rao, 1988; Lile, 1996; Bhattacharya et al., 2007; Mendonca, 2008; Eppelbaum and Khesin, 2002; Dmitriev, 2012; Alizadeh et al., 2017; Eppelbaum, 2019). The maximal depth of SP investigations under some favorable situations may reach the depth of 150-200 m.

2. Self-potential data analysis: available disturbances and quantitative interpretation

2.1. Different kinds of noise in SP observations

Different disturbances appearing in the SP method are presented in block-scheme in Fig. 1. Some of these disturbances are considered in detail below.

2.1.1. Electrode noise in SP method

A conventional scheme of SP electrode is presented in Fig. 2. Despite the fact that electrode is called as "non-polarized", after some time it receives some polarization effect from the surrounding media. Taking into account that we measure value ΔU ($U_1 - U_2$), it is important to keep equivalent polarization on both electrodes. For checking this equivalent, the following procedure can be applied (of course, measurements in physical laboratory are more precise). Let us for the first electrode we have: $U_1 + e_1$ (U_1 is the first "geological" signal, and e_1 is the noise of accumulated in the first electrode). For second electrode we have correspondingly $U_2 + e_2$ (U_2 is the second "geological" signal, and e_2 is the noise of accumulated in the second electrode). We measure the value (Semenov, 1980)

$$\Delta U_1 = (U_1 + e_1) - (U_2 + e_2). \quad (1)$$

If we will change electrodes by their places, we will receive

$$\Delta U_2 = (U_1 + e_2) - (U_2 + e_1). \quad (2)$$

If we will calculate difference between ΔU_1 and ΔU_2, we will receive

$$\partial U = \Delta U_1 - \Delta U_2 = \\ = [U_1 + e_1 - U_2 - e_2] - [U_1 + e_2 - U_2 - e_1] = 2(e_1 - e_2) \quad (3)$$

or

$$(e_1 - e_2) = \frac{\partial U}{2}. \quad (4)$$

If the value $(e_1 - e_2)$ is significant (> 3 mV), new ones must replace the noised electrodes.

2.1.2. Temporal variations in SP method

Parasnis (1986) has been carried out SP measurements in Akulla region (Sweden) seven times in the period of 1960-1967 years. These measurements show a good repeatability despite of the fact that they were conducted under different climatic conditions.

Accuracy ε of SP measurements may be calculated by use of the following simple formula often employed in applied geophysics

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(\Delta U_{SP}^{conven} - \Delta U_{SP}^{cont}\right)^2}{N}},$$

where N is the total number of SP observations, 'conven' means conventional measurements, and 'cont' means control measurements. If the value of $\varepsilon \geq 5$ mV, these results are usually rejected.

SP studies were carried out over the Chyragdere sulfur deposit (central Azerbaijan) for several years: 1930, 1937 and 1938 (Fig. 3). This figure shows that the mining works in the underground shaft strongly distort the observed SP field at the earth's surface (distance from the observation points to ore target consisted several tens of meters). This testifies to the tight correlation between mining processes and SP anomalies. It would be interesting to compare the volumes and contours of the mined ore with the SP isolines, separately for the abovementioned years, but over the past years, these documents have been lost.

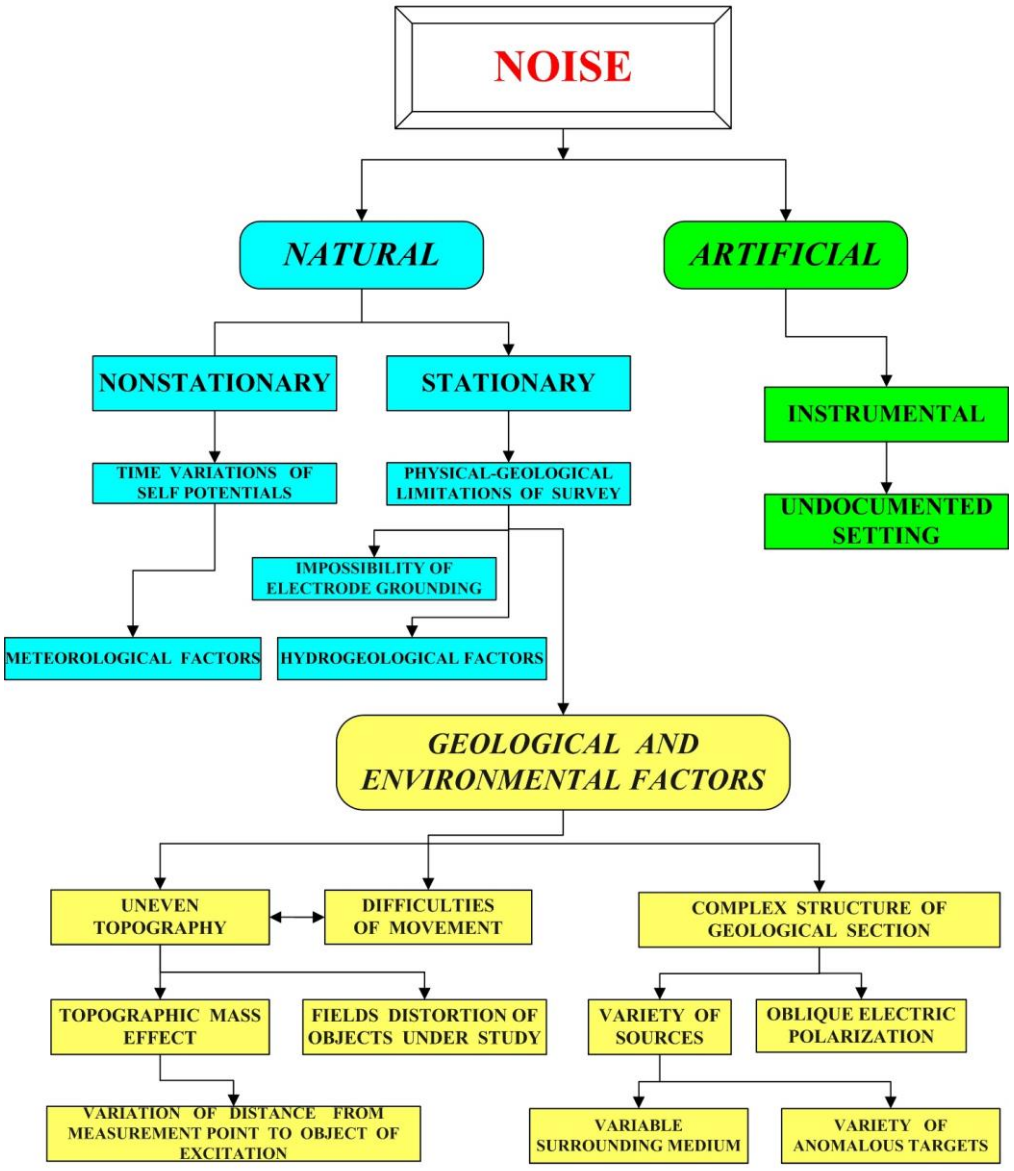


Fig. 1. General scheme of disturbances in SP method

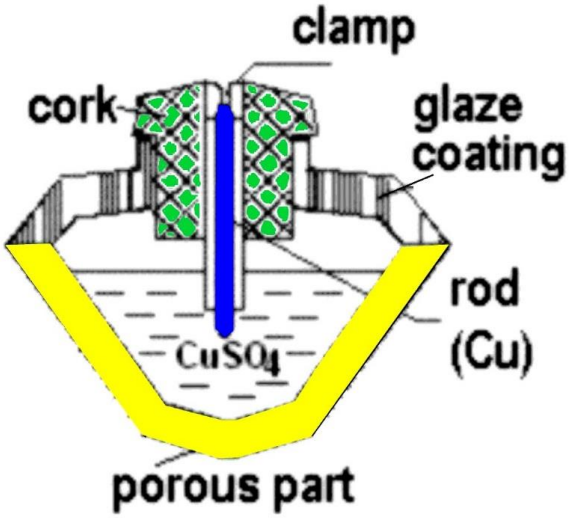


Fig. 2. Scheme of SP non-polarized electrode

2.1.3. Terrain relief correction

In the SP method, relief influence is two-fold. On the one hand, the rugged terrain relief caused by electromotive force can create negative SP anomalies over the positive landforms. Comparison of the SP graphs with topographic data usually makes it possible to identify anomalies of this type by the characteristic mirror image of the terrain in them.

From other side, as follows from the very detailed SP measurements of Ernstson and Schrerer (1986), at the inclined surface the SP field directly increases with relief form heightening (Fig. 3). So, it should take into account that in the field SP practice can occur as single effects and their combinations. In the last case for elimination of terrain relief influence, a correlation method developed in magnetic prospecting (Khesin et al., 1996) and VLF studies (Eppelbaum and Mishne, 2011) can be applied. Es-

sence of the correlation method is following. The method utilizes for removing the terrain effect from the observed field ΔU_{obser} a linear least-squares relation (application of more complex equations of is also possible):

$$\Delta U_{appr} = c + bh,$$

where h is the height of relief, b is the angle coefficient, and c is the free member.

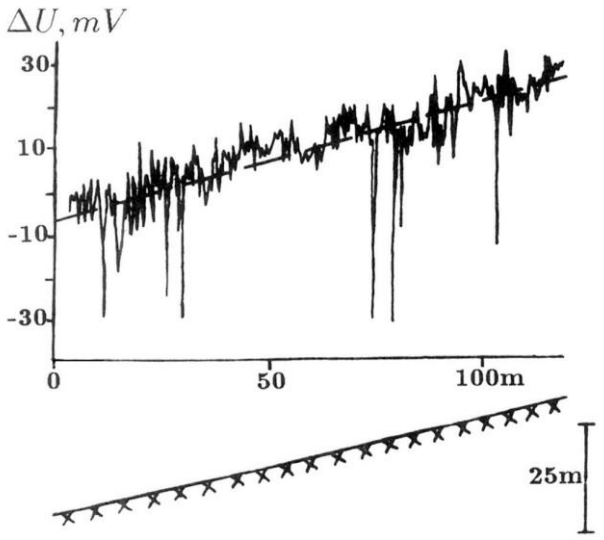


Fig. 3. SP observations at inclined relief (after Ernstson and Schrerer, 1986)

ΔU_{appr} approximates the observed field as a function of elevation h (correlation field usually do not include the anomalous points) and then we receive plot (or calculations only) of the corrected (residual) field:

$$\Delta U_{corr} = \Delta U_{obser} - \Delta U_{appr}.$$

2.1.4. Net justification in areal observations

Net justification of SP data is usually performed by the use of procedure identical to calculation of 'shift zero' in gravity prospecting (e.g., Telford et al., 1990).

2.2. Some short overview of available methods of SP anomaly quantitative analysis

The calculation of theoretical anomalies due to SP has long been based primarily on Petrovsky's (1928) well-known solution derived for a vertically polarized sphere (Zaborovsky, 1963). Later on, solutions for sheet-like bodies and inclined plates were obtained (Semenov, 1980; Tarkhov, 1980). The polarization vector was generally considered to be directed along the ore-body dip (along the longer axis of the conductive body).

To make quantitative interpretation of anomalies due to SP, a body with a simple geometrical shape approximates the anomaly source. Its parameters (i.e. the occurrence depth, the angle between the horizon and the direction of the polarization vector) are usually determined either graphically, using characteristic points of the anomaly plot (Semenov, 1980), or by trial-and-error, by visually comparing the anomaly to the set of master curves (graticules) (Tarkhov, 1980).

In the works of Zaborovsky (1963), Semenov (1980), and Murty and Haricharan (1984) the SP anomaly generated by a plate and recorded along the profile across its strike is calculated by the following formula:

$$U(x) = \frac{j\rho}{2\pi} \ln \frac{r_1^2}{r_2^2}, \qquad (5)$$

where j is the current per unit length, ρ is the host medium resistivity, r_1 and r_2 are the distances from the plate ends to the measurement points.

However, the techniques suggested in the above works require the normal field level to be known. They are also unacceptable for rugged terrain relief.

Fitterman (1984) presented a method to calculate SP anomalies for field sources of an arbitrary shape. The method is based on numerical integration using Green's function. This approach is highly computer intensive and not sufficient accuracy.

There is a number of recent interpretation techniques based on minimizing the difference between an observed anomaly and a theoretical one. The minimization is achieved by sequential optimization of the interpretation parameters through computer-aided iterations. These techniques are also complicated and time consuming.

A series of publications (Abdelrahman and Sharafeldin, 1997; Abdelrahman et al., 1997; El-Araby, 2004; Essa et al., 2008) provided a large number of methodological approaches. However, these approaches have not caused a quantitative jump in this field. Gobashy et al. (2019) proposed a method based on utilizing whale optimization algorithm as an effective heuristic solution to the inverse problem of SP field due to a 2D inclined bed. Realization of this algorithm in complex physical-geological conditions is under question.

Kilty (1984) published a paper which acknowledged the analogy between the current density of SP and magnetic induction. This author suggested interpreting SP anomalies based on conventional methods developed for magnetic prospecting. However, trivial methodologies are not acceptable for complex physical-geological conditions. A similar approach, but with improved interpretation methodology was

proposed later by Khesin et al. (1996). New elaboration of the interpretation process was proposed in Eppelbaum and Khesin (2012). The present work is a final development of this approach.

2.3. Some common aspects of magnetic and SP fields

The magnetic field (for ΔT – when magnetic susceptibility is below 0.1 SI unit) is a potential field (e.g., Khesin et al., 1996) and is expressed as:

$$\mathbf{U}_a = -\,\mathrm{grad}\, V, \qquad (6)$$

where $\mathbf{U_a}$ is the anomalous magnetic field, and V represents the magnetic potential. This field satisfies Poisson's equation.

SP polarization is brought about by the spontaneous manifestation of electric double layers on various geological formation contacts. The electric fields **E** of the electric double layer *l* caused by natural polarization are defined as the gradient of a scalar potential Π_i:

$$\mathbf{E}_{SP} = -\mathrm{grad}\ \Pi_i . \qquad (7)$$

The potential Π_i satisfies Laplace's equation everywhere outside the layer (Zhdanov and Keller, 1994).

Formulas describing potential character of magnetic (eq. (6)) and SP (eq. (7)) fields are identical ones. Let us consider analytical expressions for some interpreting models in magnetic and SP fields (Table 2). The proportionality of analytical expressions (8) and (10), (9) and (11) for magnetic and SP fields in the table is obvious. It allows employing in SP data analysis advanced interpretation methods developed in magnetic prospecting (SP polarization vector is analogue of the vector of magnetization). It is supposed that the majority of interpretation methodologies developed for gravity and magnetic fields is applicable for the SP method. However, application of such procedures as upward and downward continuation for SP method is under question.

2.4. Developed methodologies of advanced quantitative analysis of SP anomalies

The improved methods for SP anomaly analysis include characteristic point, tangent and areal methods (these methods are described in detail in the publications suggested to magnetic anomaly interpretation (e.g., Khesin et al., 1996; Eppelbaum et al., 2000, 2001; Eppelbaum and Mishne, 2011; Eppelbaum and Khesin, 2012; Eppelbaum, 2015). Formulas for interpretation SP anomalies by the use of characteristic point method are presented in Table 3. Fig. 5-7, 9 and 10 display some peculiarities of characteristic point and tangent methods application.

Table 2

Comparison of analytical expressions for magnetic and SP fields

Field	*Analytical expression*	
Magnetic	*Thin bed* (8) $Z_v = 2J2b\dfrac{z}{x^2+z^2}$	*Point source* (*rod*) (9) $Z_v = \dfrac{mz}{\left(x^2+z^2\right)^{3/2}}$
Self-potential	*Horizontal circular cylinder* (10) $\Delta U = 2\dfrac{\rho_1}{\rho_1+\rho_2}U_0 r_0 \dfrac{z}{x^2+z^2}$	*Sphere* (11) $\Delta U = \dfrac{2\rho_1}{2\rho_2+\rho_1}U_0 R^2 \dfrac{z}{\left(x^2+z^2\right)^{3/2}}$

Here Z_v is the vertical magnetic field component at vertical magnetization; J is the magnetization; b is the horizontal semi-thickness of *TB* (thin bed); m is the magnetic mass; ρ_1 is the host medium resistivity; ρ_2 is the anomalous object (*HCC* (horizontal circular cylinder) or sphere) resistivity; U_0 is the potential jump at the source body/host medium interface; r_0 is the polarized cylinder radius; R is the sphere radius; x is the current coordinate; z is the depth of the upper *DTB* edge (*HCC* or sphere center) occurrence.

Table 3

Formulae for quantitative interpretation of magnetic anomalies over anomalous bodies approximated by thin bed and a horizontal circular cylinder using the improved characteristic point method (after Eppelbaum and Mishne (2011), with modifications)

Parameters to be determined	**Parameters used for anomalies resulting from models**		**Formulae to calculate parameters in terms of the anomalies resulting from models**	
	Thin bed	Cylinder	Thin bed	Cylinder
Generalized angle θ	d_1, d_2 d_1, d_5 $d_1 = x_{\min} - x_{\max}$ $d_2 = \left(x_{0.5\Delta U_A}\right)_r - \left(x_{0.5\Delta U_A}\right)_l$ $d_5 = x_r - x_l$ $\Delta U_A = \Delta U_{\max} - \Delta U_{\min}$	d_{1r} d_{1r}, d_5	$\tan(\theta) = d_2 / d_1$ $\sin(\theta/3) = d_5 / \sqrt{3} d_1$	$\cot(\theta/3) = \sqrt{3}\dfrac{(d_{1l} + d_{1r})}{(d_{1l} - d_{1r})}$ $\dfrac{d_5}{d_{1r}} = \dfrac{\sqrt{2}\cos(\theta/2) - 1}{\sqrt{3}\cos(60^0 + \theta/3)}$
Depth h_0, h_c	d_1, d_2, θ d_5, θ	d_{1r}, θ	$h_0 = \sqrt{d_1 d_2} \Big/ k_{1,2}$, where $k_{1,2}$ $= \dfrac{2}{\sqrt{\sin\theta\cos\theta}}$ $k_5 = 2\sqrt{3}\dfrac{\sin(\theta/3)}{\sin\theta}$	$h_c = d_{1r} \Big/ k_{1r}$, where k_{1r} $= 2\sqrt{3}\dfrac{\cos(60^0 + \theta/3)}{\cos\theta}$ $h_c = \dfrac{d_{1r}}{d_{1r} - d_{1r}(\Delta h)}\Delta h$ $h = d_5 / k_5$, where $k_5 = 2\sqrt{2}\dfrac{\cos(\theta/2) - 1}{\cos\theta}$
Horizontal displacement x_0, x_c	h, θ, $x_{\max}$, $x_{\min,r}$ $\left(x_{0.5\Delta U_A}\right)_r$, $\left(x_{0.5\Delta U_A}\right)_l$		$x_0 = 0.5(x_{\max} + x_{\min,r}) - h\cot\theta$ $x_0 = h\tan\left(\dfrac{\theta}{2}\right)$	$x_c = 0.5\left(x_{\max} + x_{\min,r}\right) - h_c\dfrac{\sin(60^0 + \theta/3)}{\cos\theta} + h_c\tan\theta$ $x_c = 0.5(x_r + x_l) + h_c\tan\theta - \sqrt{2}h_c\dfrac{\sin(\theta/2)}{\cos\theta}$
Normal background ΔU_{backgr}	$\Delta U_{\min}$, ΔU_A, θ		$\Delta U_{\text{backr}} = \Delta U_{\min} + \Delta U_A\dfrac{k_0}{1 + k_0}$, where $k_0 = \dfrac{1 - \cos\theta}{1 + \cos\theta}$,	$k_0 = \dfrac{\cos^3(60^0 + \theta/3)}{\cos^3(\theta/3)}$
Indices "o" and "c" designate the thin seam and horizontal circular cylinder (*HCC*) models, respectively. Values h_0 and h_c are the depths to upper edge of thin seam and center of the *HCC*, respectively. Parameter Δh designates measurements of magnetic field at different levels over the earth's surface				

When anomalies are observed on an inclined profile, the obtained parameters characterize a fictitious body. The transition from fictitious body parameters to those of the real body is done by applying the following expressions (the subscript "*r*" stands for a parameter of the real body):

$$\left.\begin{aligned} h_r &= h + x_{\text{o}}\tan\omega_{\text{o}} \\ x_r &= -h\tan\omega_{\text{o}} + x_{\text{o}} \end{aligned}\right\}, \qquad (12)$$

where h is the depth of the body upper edge occurrence (or HCC center), x_{o} is the shifting of the anomaly maximum from the projection of the center of the disturbing body to the earth's surface (caused by oblique magnetization), and ω_{o} is the angle of the terrain relief inclination.

Table 4

Nomenclature of variables applied for quantitative analysis of SP anomalies due to model of thin bed and horizontal circular cylinder (see Table 3)

Variable	Description
θ	Generalized angle reflecting the degree of SP anomaly asymmetry as a function relation of an anomalous body depth of occurrence, geometric form, value of polarization
x_0	Horizontal displacement of projection of the middle of the upper edge of thin bed to the earth's surface due to oblique polarization
x_c	Horizontal displacement of projection of the center of the *HCC* to the earth's surface due to oblique polarization
h_0	Depth to the upper edge of thin bed
h_c	Depth to the center of *HCC*
ΔU_{max}	Maximum value of SP anomaly
ΔU_{min}	Minimum value of SP anomaly
ΔU_A	Total amplitude of SP anomaly
d_1	Difference of extremum abscissae for thin bed
d_{1r}	Difference of extremum abscissae for *HCC*
d_2	Difference of semiamplitude point abscissae
d_5	Difference of inflection point abscissae
x_r	Right inflection abscissae point
x_l	Left inflection abscissae point
ΔU_{backr}	Normal background level of SP anomaly

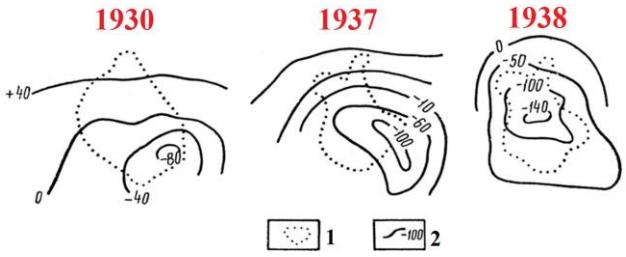


Fig. 4. Displacement of self-potential isolines during exploitation of the new shaft of Chiragdere sulfur deposit (Lesser Caucasus) (after Eppelbaum and Khesin, 2012, wirh modifications). (1) stock contour, (2) isolines of self-potential field (in milliVolts)

The inclination angle of the natural polarization vector ϕ_p is calculated from the expression

$$\phi_p = 90^0 - \theta, \tag{13}$$

on an inclined relief

$$\phi_p, s = 90^0 - \theta + \omega_0, \tag{14}$$

where ω_0 is the inclination angle of the observation profile ($\omega_0 > 0$ when the inclination is toward the positive direction of the *x*-axis).

Besides the geometric parameters of an object, for example, the self-potential moment for thin bed model can be also determined:

$$M_{\Delta U} = \frac{1}{2}\Delta U_a h_0, \tag{14}$$

where ΔU_a is the amplitude of SP anomaly (in mV), h_0 is the occurrence depth of the anomalous target (in meters). The self-potential moment, by analogy with the magnetic field analysis, can be used to classify SP anomalies.

For observation in inclined profile it is possible to switch to the real source parameters as follows:

$$M_{\Delta U,r} = M_{\Delta Ua} \cos\omega_0, \tag{15}$$

where "r" means "real" and "f" – "fictitious" parameter.

3. Quantitative analysis of SP anomalies in ore deposits

Thus, the developed interpretation system in the SP method is applicable for the complex physical-geological conditions: oblique polarization, inclined relief and unknown level of the SP normal field. First of all these methods were successfully tested on the SP anomaly models from Semenov (1980) and Göktürkler and Balkaya (2012). After this, these methods were applied on SP data observed in real ore targets.

3.1. Some examples of SP quantitative analysis in ore deposits

3.1.1. Quantitative interpretation of SP anomaly over pyrite-sulphide body in the Sariyer area (near Istanbul, Turkey)

Yüngül (1954) published the results of the survey in the Sariyer area (Istanbul). Since this time many authors reproduced this example in the various reviews and books, however without any quantitative interpretation (e.g., Parasnis, 1986). The performed interpretation indicates that the obtained position of *HCC* center is in the line with geometrical and physical parameters of the sulphide-pyrite ore body (Fig. 5). Here and in some other figures displayed parameters d_3 and d_4 relate to the improved tangent method (this method is described in detail, for instance, in Eppelbaum et al. (2001)).

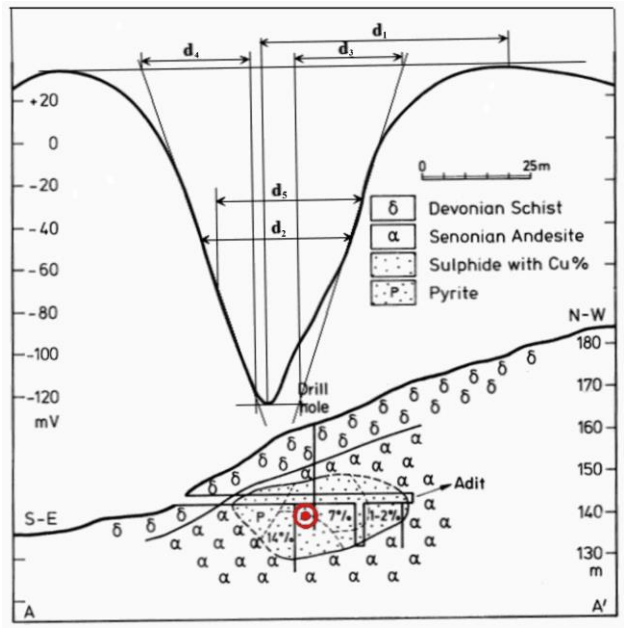


Fig. 5. Quantitative interpretation of *SP* anomaly by the characteristic point and tangent methods in the Sariyer area, Turkey. The "⊙" symbol marks the obtained position of the ore body center (approximated by a HCC). Observed SP curve and geological section are taken from Yüngül (1954) (interpretation after Eppelbaum and Khesin, 2002)

3.1.2. Quantitative interpretation of SP anomaly over polymetallic body (Russia)

Figure 6 displays results of SP anomaly quantitative interpretation using characteristic points and tangent methods. The interpretation results, as can easily see from Fig. 6, have a good agreement with location of ore body. Self-potential moment here is

$$M_{\Delta U} = \frac{1}{2} 60\,\text{mV} \cdot 6.5\,\text{m} = 195\,\text{mV} \cdot \text{m}.$$

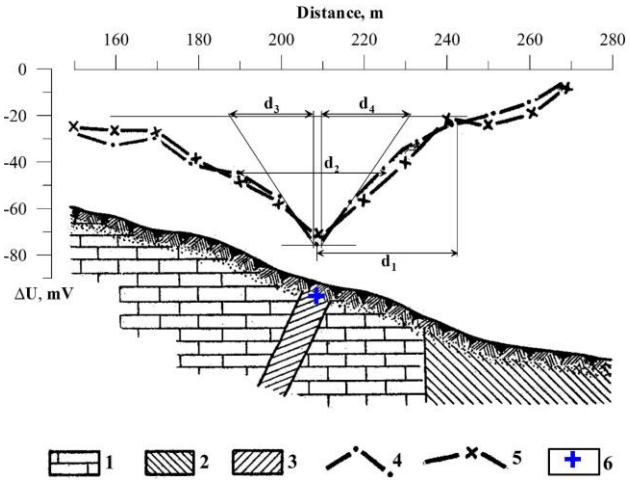


Fig. 6. Quantitative interpretation of *SP* anomaly over polymetallic body. Observed SP curve and geological section are taken from Zaborovsky (1963)

3.2. Ore deposits of the southern slope of the Greater Caucasus

Copper-polymetallic deposits of the southern slope of the Greater Caucasus usually are favorable targets for SP method application (Eppelbaum and Khesin, 2002). However, in the Katekh polymetallic deposit (which is situated nearly the Filizchai and Katsdag deposits) SP observations oscillate about zero and could not provide useful information about the buried targets. This can be explained by the peculiarities of mineralogical composition of ores: a fairly large lead content impedes the normal course of oxidation-reduction reaction necessary for triggering intense SP anomalies (Eppelbaum and Khesin, 2004).

3.2.1. Area of Filizchai polymetallic deposit

A very intensive SP anomaly (almost 500 mV) was observed in the Filizchai copper-polymetallic field (southern slope of the Greater Caucasus, Azerbaijan) under conditions of very complex terrain relief (Fig. 7). Results of interpretation show significant difference of position of the upper edge of anomalous body calculated without influence of rugged terrain relief (blue circle) and after this influence calculation (red circle). Calculated SP moment

consists $M_{\Delta U} = \frac{1}{2} 440\,\text{mV} \cdot 90\,\text{m} = 19800\,\text{mV} \cdot \text{m}$. Interestingly to note that this SP moment exceeds SP moment calculated for the polymetallic body from the previous example by more than 100 times. This fact indicates a large capacity of studied ore target in the Filizchai deposit.

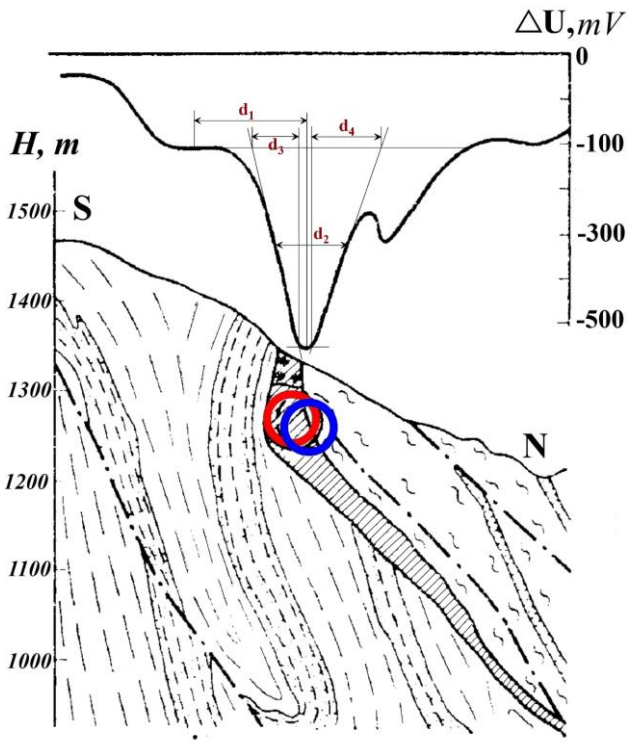


Fig. 7. Results of quantitative interpretation of *SP* anomalies in the area of Filizchay copper-polymetallic deposit on the southern slope of the Greater Caucasus (Azerbaijan) (modified after Eppelbaum and Khesin (2012)). See captions in Figure 8.

3.2.2. Area of Katsdag polymetallic deposit

Three SP anomalies were successfully interpreted in the Katsdag copper-polymetallic deposit (southern slope of the Greater Caucasus, Azerbaijan) under conditions of rugged terrain relief (Fig. 8). Anomaly 1 and 2 are intensive, but anomaly 3 is comparatively small. Here also is essential difference between the quantitative results of SP anomalies analysis calculated without and with calculation for rugged relief influence. The SP moment calculated for anomaly 1 is $M_{\Delta U} = \frac{1}{2} 180\,\text{mV} \cdot 20\,\text{m} = 3600\,\text{mV} \cdot \text{m}$.

3.3. Ore deposits of the Lesser Caucasus

Unfortunately, many SP observations in ore deposits of the Lesser Caucasus were lost or undocumented. Earlier temporal variations of SP data over the Chyragdere sulfur deposit (Lesser Caucasus, Azerbaijan), as function of the deposit exploitation were considered (see Fig. 4). Below is presented an example of quantitative analysis of SP measurements over polymetallic body in the Lesser Caucasus (southern Georgia).

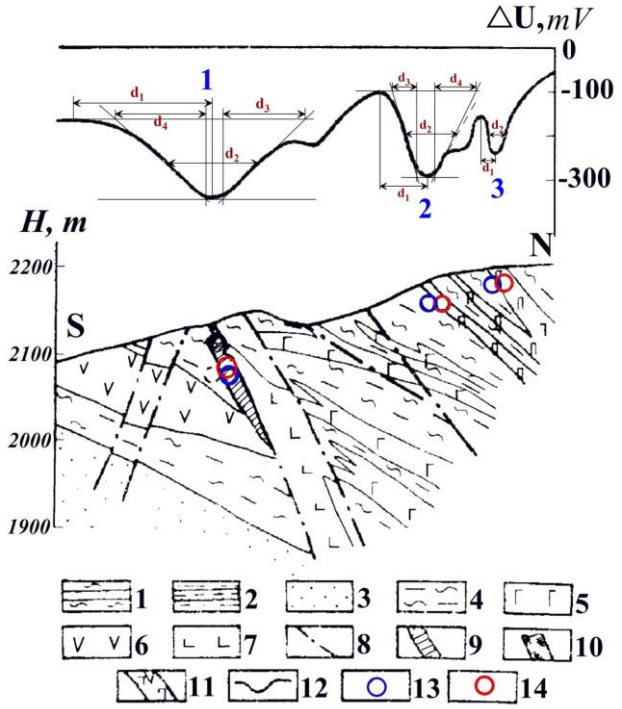


Fig. 8. Results of quantitative interpretation of *SP* anomalies in the area of Katsdagh copper-polymetallic deposits on the southern slope of the Greater Caucasus (Azerbaijan).
(1) interbedding of sands and clay schists, (2) clay schists with the flysh packages, (3) clay sandstone; (4) sand-clay schists; (5) diabases, gabbro-diabases and diabasic porphyrites; (6) andesites and andesite-porphyrites; (7) dacitic porphyrites; (8) faults; (9) massive ore of pyrite-polymetallic composition; (10) oxidized ore; (11) zones of brecciation, crush and boudinage with lean pyrite-polymetallic ore; (12) *SP* curves; location of anomalous source: (13) without calculation of inclined relief influence, (14) after introducing correction for relief

3.3.1. Uchambo ore field (Georgia)

Fig. 9 depicts the position of the *HCC* center (characteristic point method was applied), which evidently fixes the undrilled edge of a flat-lying orebody in the Uchambo polymetallic deposit (southern Georgia).

3.4. SP as a component of multimodel approach

Multimodel approach to geophysical data analysis may be illustrated on example of quantitative analysis of different geophysical data. Quantitative interpretation is traditionally oriented to a single model for buried objects identification. In the case of the existence of several hypotheses relating to the parameters of the body causing the disturbance (i.e., the buried object) usually only one model was selected roughly presenting the object in the domain

$\mathfrak{R}_x$ of *k*-dimensional space of the physical-geological factors. At the same time, many geological features are strongly disturbed by various geological processes (erosion, tectonic-geodynamic activity, metamorphism, etc.).

Additional noise affecting interpretation includes rugged terrain relief, anisotropy (polarization) of geological objects and heterogeneous host medium. As a consequence, response function Ψ_i – geophysical field – may ambiguously represent the studied targets. Therefore, domain $\mathfrak{R}_x$ may be divided into several subdomains $\mathfrak{R}_1$, $\mathfrak{R}_2$, ..., $\mathfrak{R}_m$ and in each of them a single model will dominate (Eppelbaum, 1987). In such way we could develop *m* physical-geological models of the same target, each corrected for separate subdomains $\mathfrak{R}_1$, $\mathfrak{R}_2$, ..., $\mathfrak{R}_m$.

The multimodel approach can also be applied at varying levels of geophysical field observations. Hence, different explanatory models may be used in the process of quantitative interpretation. Integrating several response functions Γ_i, yields a more accurate and reliable physical-geological model of the buried target.

Rapid methods of quantitative interpretation make it possible to determine the following parameters: position of the mass center of the anomaly-forming body by the plot of Δg (Fig. 10a); position of the upper edge by the plot of ΔZ (Fig. 10b); position of the horizontal circular cylinder's center in the upper portion of the ore-body at the ground water level by the plot of self-potential (Fig. 10c). The specific models thus obtained reflect the contrasting character of the physical properties of the target and the host medium. They allow a fairly exhaustive description of the geometric parameters of the target. Combining these three models (we have two response functions Γ_1, Γ_2 and Γ_3 from the subdomains $\mathfrak{R}_1$, $\mathfrak{R}_2$ and $\mathfrak{R}_3$), yields a combined model of the anomalous body (Figure 10d), which is in a good agreement with the initial (prescribed) model.

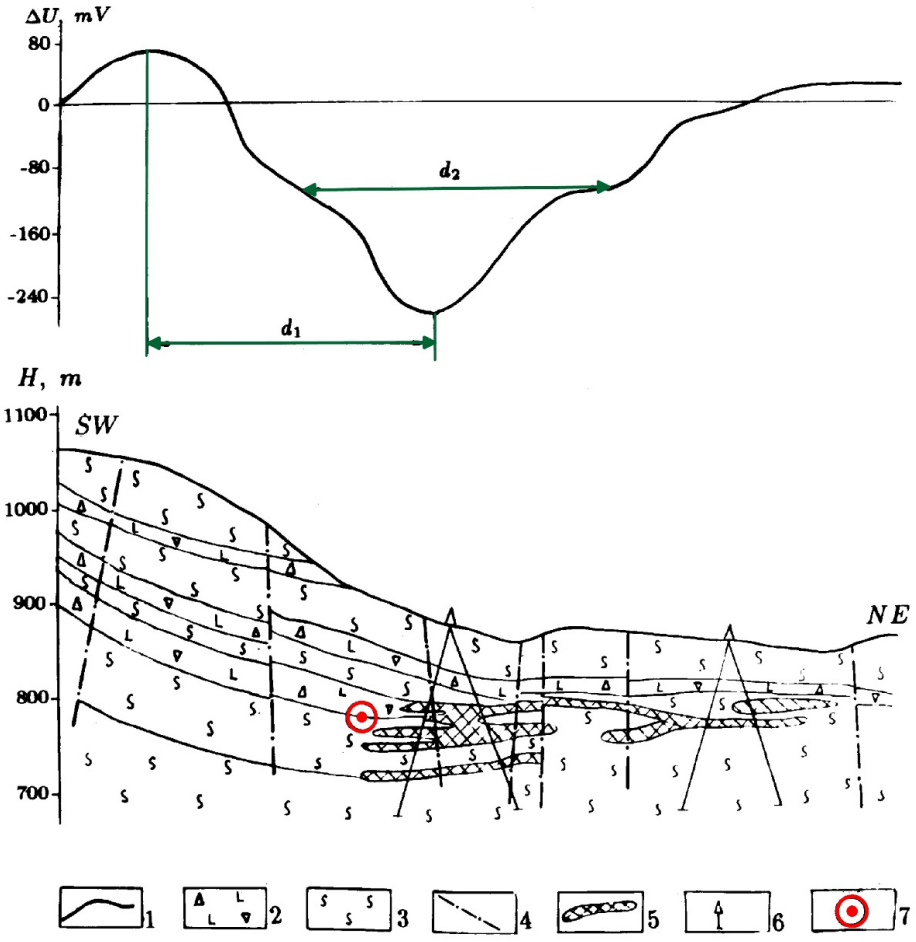


Fig. 9. Interpretation of SP anomaly by the method of characteristic points in the area of the Uchambo ore field of the Adjar group of copper-polymetallic deposits (Georgia, Lesser Caucasus)
(1) SP observed values; (2) heteroclastic tuff breccia and their tuffs; (3) cover trachyandesite-basalts with pyroclastic interbeds; (4) disjunctive dislocations; (5) zones of increased mineralization; (6) drilled wells; (7) location of HCC center according to the interpretation results ((1-6) from from Bukhnikashvili et al. (1974), (7) after Eppelbaum and Khesin (2002), with modifications

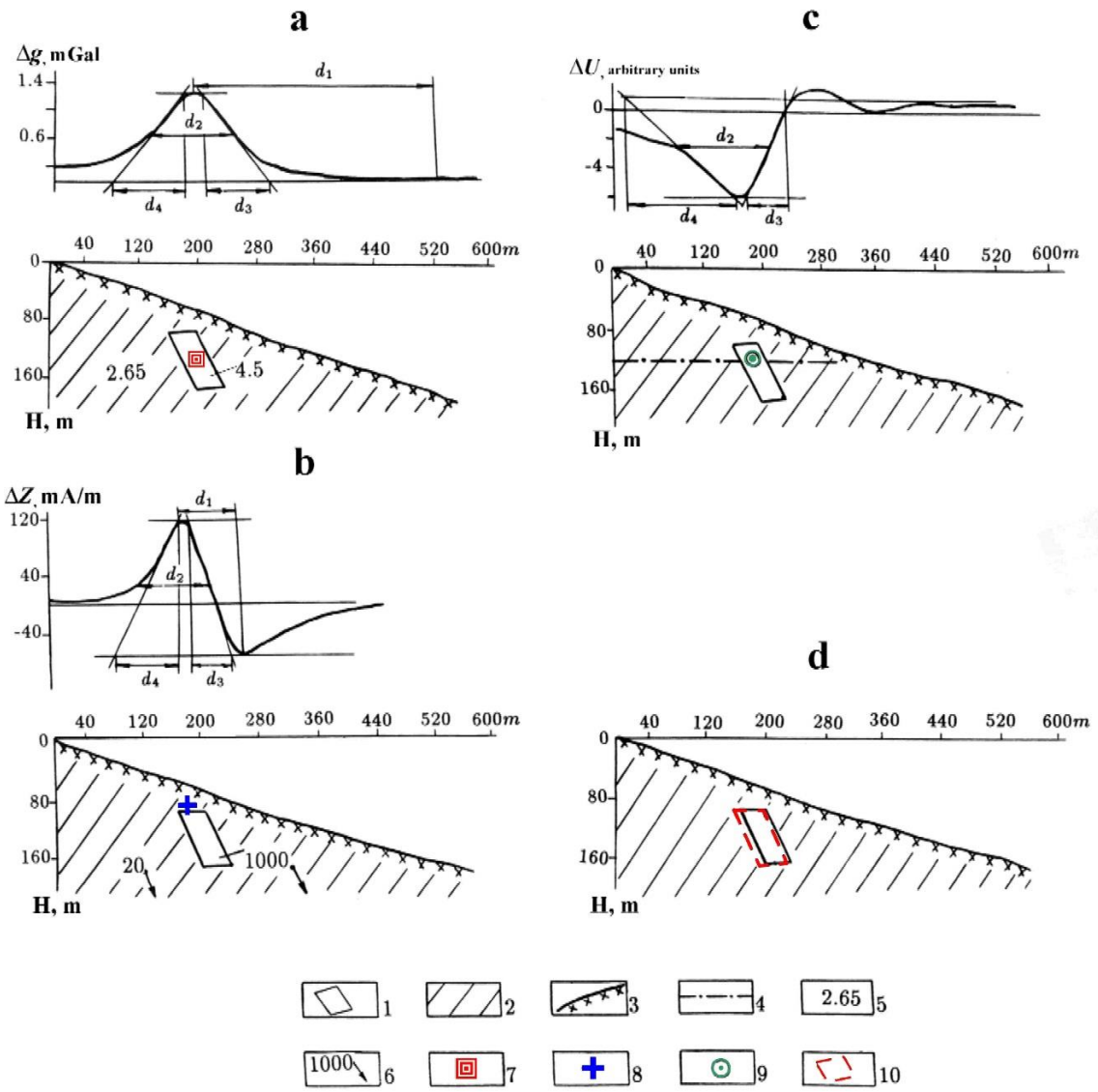


Fig. 10. Combined interpretation of the model fields Δg, ΔZ and ΔU_{SP} due to deposits of the Filizchai type under different approximation of the anomalous body: (**a**, **b**, **c**) results of the model fields rapid interpretation, (**d**) anomalous object according to the integrated interpretation results.
(1) anomalous body; (2) host medium; (3) topography; (4) position of the ground water level; physical properties: (5) density (g/cm^3), (6) magnetization (mA/m); (7) mass center (of a circular horizontal cylinder) by Δg plot; (8) mid-point of the upper edge of an inclined thin bed by ΔZ plot; (9) position of the center of HCC inscribed into the upper portion of the anomalous body at the ground water level by ΔU_{SP} plot; (10) contour of the anomalous body obtained from the results of integrated quantitative interpretation

4. Other possible applications of SP method in Azerbaijan and Caucasus

SP method can be effectively applied for searching and localization of numerous archaeological targets (some examples of such SP investigations are given in Eppelbaum et al., 2001, 2003; Drahor, 2004; Shevnin et al., 2014; Eppelbaum, 2019). Other SP application is revealing some dangerous environmental phenomena (karst cavities, faults, rockslides) (e.g., Quarto and Schiavone, 1996; Eppelbaum, 2007; Jardani et al., 2007; Oliveti and Cardarelli, 2019) and localization of corrosion in buried oil, gas and water pipes (e.g., Castermant el., 2008; Rittgers et al., 2013; Oliveti and Kardarelli, 2019). Finally, SP studies often successfully employed for revealing underground water infiltration (e.g., Semenov, 1980; Birch, 1998; Shevnin, 2018).

Conclusions

The disturbances complicated SP observations in ore targets are analyzed in detail. The proved common aspects between the magnetic and self-potential fields enable to apply for interpretation of SP anomalies the modern interpreting procedures

developed for complicated environments in magnetic prospecting (oblique magnetization (polarization), inclined topography and an unknown level of the normal field). The improved characteristic point method of quantitative interpretation is described in detail. Testing these procedures on the well-studied ore objects (Turkey and Russia) and in ore deposits in the South Caucasus confirms an effectiveness of this technology. This interpretation methodology can also be employed for searching archaeological targets, localization of hidden karst cavities, detecting corrosion in buried metallic pipes and solving other problems of near-surface geophysics.

Acknowledgements

The author thanks the anonymous reviewer for useful comments that made it possible to improve the article presentation.

REFERENCES

Abdelrahman E.M., El-Araby T.M., Ammar A.A., Hassanein H.I. A least-squares approach to shape determination from selfpotential anomalies. Pure and Applied Geophysics, V. 150, 1997, pp. 121-128. DOI: 10.1007/s000240050067.

Abdelrahman E.M., Sharafeldin S.M. A least squares approach to depth determination from residual self-potential anomalies caused by horizontal cylinders and spheres. Geophysics, V. 62, 1997, pp. 44-48.

Alizadeh A.M., 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.

Babu R.H.V., Rao A.D. Inversion of self-potential anomalies in mineral exploration. Computers & Geosciences, V. 14, No. 3, 1988, pp. 377-387.

Birch F. Imaging the water table by filtering self-potential profiles. Ground Water, V. 36, No. 5, 1998, pp. 779-782.

Bhattacharya B.B., Shalivakhan J.A., Bera A. Three-dimensional probability tomography of self-potential anomalies of graphite and sulphide mineralization in Orissa and Rajasthan, India. First Break, V. 5, 2007, pp. 223-230.

Bukhnikashvili A.V., Kebuladze V.V., Tabagua G.G., Dzhashi G.G., Gugunava G.E., Tatishvili O.V., Gogua R.A. Geophysical Exploration of Adjar Group of Copper-Polymetallic Deposits. Metsniereba. Tbilisi, 1974, 199 p. (in Russian).

Castermant J., Mendonca C., Revil A., Trolard F., Bourrie G., Linde N. Redox potential distribution inferred from self-potential measurements associated with the corrosion of a burden metallic body. Geophysical Prospecting, V. 56, No. 2, 2008, pp. 269-282.

Corry C.E. Spontaneous polarization associated with porphyry sulfide mineralization. Geophysics, V. 50, No. 6, 1985, pp. 1020-1034.

Cowan D.R., Allchurch P.D., Omnes G. An integrated geoelectrical survey on the Nangaroo copper-zinc prospect, near Leonora, Western Australia. Geoexploration, V. 13, 1975, pp. 77-98.

Dmitriev A.N. Direct and inverse SP modeling on the basis of exact model of self-potential field nature. Geology and Gephysics, V. 53, No. 6, 2012, pp. 797-812.

Drahor M.G. Application of the self-potential method to archaeological prospection: some case histories. Archaeological Prospection, V. 11, 2004, pp. 77-105.

El-Araby H.M. A new method for complete quantitative interpretation of self-potential anomalies. Journal of Applied Geophysics, V. 55, 2004, pp. 211-224.

Eppelbaum L.V. Multimodel approach to the study of geophysical targets. Deposited by VINITI, USSR Academy of Sciences, No. 7842-87, 1987, pp. 1-10 (in Russian).

Eppelbaum L.V. Revealing of subterranean karst using modern analysis of potential and quasi-potential fields. Proceedings

ЛИТЕРАТУРА

Abdelrahman E.M., El-Araby T.M., Ammar A.A., Hassanein H.I. A least-squares approach to shape determination from selfpotential anomalies. Pure and Applied Geophysics, V. 150, 1997, pp. 121-128. DOI: 10.1007/s000240050067.

Abdelrahman E.M., Sharafeldin S.M. A least squares approach to depth determination from residual self-potential anomalies caused by horizontal cylinders and spheres. Geophysics, V. 62, 1997, pp. 44-48.

Alizadeh A.M., 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.

Babu R.H.V., Rao A.D. Inversion of self-potential anomalies in mineral exploration. Computers & Geosciences, V. 14, No. 3, 1988, pp. 377-387.

Birch F. Imaging the water table by filtering self-potential profiles. Ground Water, V. 36, No. 5, 1998, pp. 779-782.

Bhattacharya B.B., Shalivakhan J.A., Bera A. Three-dimensional probability tomography of self-potential anomalies of graphite and sulphide mineralization in Orissa and Rajasthan, India. First Break, V. 5, 2007, pp. 223-230.

Castermant J., Mendonca C., Revil A., Trolard F., Bourrie G., Linde N. Redox potential distribution inferred from self-potential measurements associated with the corrosion of a burden metallic body. Geophysical Prospecting, V. 56, No. 2, 2008, pp. 269-282.

Corry C.E. Spontaneous polarization associated with porphyry sulfide mineralization. Geophysics, V. 50, No. 6, 1985, pp. 1020-1034.

Cowan D.R., Allchurch P.D., Omnes G. An integrated geoelectrical survey on the Nangaroo copper-zinc prospect, near Leonora, Western Australia. Geoexploration, V. 13, 1975, pp. 77-98.

Dmitriev A.N. Direct and inverse SP modeling on the basis of exact model of self-potential field nature. Geology and Gephysics, V. 53, No. 6, 2012, pp. 797-812.

Drahor M.G. Application of the self-potential method to archaeological prospection: some case histories. Archaeological Prospection, V. 11, 2004, pp. 77-105.

El-Araby H.M. A new method for complete quantitative interpretation of self-potential anomalies. Journal of Applied Geophysics, V. 55, 2004, pp. 211-224.

Eppelbaum L.V. Revealing of subterranean karst using modern analysis of potential and quasi-potential fields. Proceedings of the 2007 SAGEEP Conference, V. 20, Denver, USA, 2007, pp. 797-810.

Eppelbaum L.V. Quantitative interpretation of magnetic anomalies from bodies approximated by thick bed models in complex environments. Environmental Earth Sciences, V. 74, 2015, pp. 5971-5988.

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

of the 2007 SAGEEP Conference, V. 20, Denver, USA, 2007, pp. 797-810.

Eppelbaum L.V. Quantitative interpretation of magnetic anomalies from bodies approximated by thick bed models in complex environments. Environmental Earth Sciences, V. 74, 2015, pp. 5971-5988.

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

Eppelbaum L., Ben-Avraham Z., Itkis S. Ancient Roman remains in Israel provide a challenge for physical-archaeological modeling techniques. First Break, V. 21, No. 2, 2003, pp. 51-61.

Eppelbaum L., Ben-Avraham Z., Itkis S., Kouznetsov S. First results of self-potential method application at archaeological sites in Israel. Transactions of the XI EUG International Symposium. Strasbourg, France, 2001, pp. 657.

Eppelbaum L.V., Itkis S.E., Khesin B.E. Optimization of magnetic investigations in the archaeological sites in Israel. In: Special Issue of Prospezioni Archeologiche "Filtering, Modeling and Interpretation of Geophysical Fields at Archaeological Objects", 2000, pp. 65-92.

Eppelbaum L.V. and Khesin B.E. Some common aspects of magnetic, induced polarization and self-potential anomalies interpretation: implication for ore target localization. Collection of Selected Papers of the IV Intern. Symp. on Problems of Eastern Mediterranean Geology, 2002, pp. 279-293.

Eppelbaum L.V., Khesin B.E. Advanced 3-D modelling of gravity field unmasks reserves of a pyrite-polymetallic deposit: A case study from the Greater Caucasus. First Break, V. 22, No. 11, 2004, pp. 53-56.

Eppelbaum L.V., Khesin B.E. Geophysical studies in the Caucasus. Springer. Heidelberg – N.Y., 2012, 411 p.

Eppelbaum L.V., Khesin B.E., Itkis S.E. Prompt magnetic investigations of archaeological remains in areas of infrastructure development: Israeli experience. Archaeological Prospection, V. 8, No. 3, 2001, pp. 163-185.

Eppelbaum L.V., Mishne A.R. Unmanned airborne magnetic and VLF investigations: effective geophysical methodology of the near future. Positioning, V. 2, No. 3, 2011, pp. 112-133.

Ernstson K., Scherer V. Self-potential variations with time and their relation to hydrogeologic and meteorological parameters. Geophysics, V. 51, No. 10, 1986, pp. 1967-1977.

Essa K., Mehanee S., Smith P.D. A new inversion algorithm for estimating the best fitting parameters of some geometrically simple body to measured self-potential anomalies. Exploration Geophysics, V. 39, No. 3, 2008, pp. 155-163.

Fitterman D.V. Calculation of self-potential anomalies near vertical contacts. Geophysics, V. 44, No. 2, 1979, pp. 195-205.

Fox R.W. On the electromagnetic properties of metalliferous veins in the mines of Cornwall. Royal Society, London, Philosophical Transactions, 1830, pp. 399-414.

Gobashy M., Abdelazeem M., Abdrabou M., Khalil M.H. Estimating model parameters from self-potential anomaly of 2D inclined sheet using whale optimization algorithm: Applications to mineral exploration and tracing shear zones. Natural Resources Research, https://DOI.org/10.1007/s11053-019-09526-0, 2019, pp.1-21.

Göktürkler G., Balkaya Ç. Inversion of self-potential anomalies caused by simple-geometry bodies using global optimization algorithms. Journal of Geophysics and Engineering, V. 10, No. 5, 2012, pp. 498-507.

Jardani A., Revil A., Santos F., Fauchard C., Dupont J. Detection of preferential infiltration pathways in sinkholes using joint inversion of self-potential and EM-34 conductivity data. Geophysical Prospecting, V. 55, No. 5, 2007, pp. 749-760.

Khesin B.E., Alexeyev V.V., Eppelbaum L.V. Interpretation of Geophysical Fields in Complicated Environments. Kluwer

Eppelbaum L., Ben-Avraham Z., Itkis S. Ancient Roman remains in Israel provide a challenge for physical-archaeological modeling techniques. First Break, V. 21, No. 2, 2003, pp. 51-61.

Eppelbaum L., Ben-Avraham Z., Itkis S., Kouznetsov S. First results of self-potential method application at archaeological sites in Israel. Transactions of the XI EUG International Symposium. Strasbourg, France, 2001, pp. 657.

Eppelbaum L.V., Itkis S.E., Khesin B.E. Optimization of magnetic investigations in the archaeological sites in Israel. In: Special Issue of Prospezioni Archeologiche "Filtering, Modeling and Interpretation of Geophysical Fields at Archaeological Objects", 2000, pp. 65-92.

Eppelbaum L.V. and Khesin B.E. Some common aspects of magnetic, induced polarization and self-potential anomalies interpretation: implication for ore target localization. Collection of Selected Papers of the IV Intern. Symp. on Problems of Eastern Mediterranean Geology, 2002, pp. 279-293.

Eppelbaum L.V., Khesin B.E. Advanced 3-D modelling of gravity field unmasks reserves of a pyrite-polymetallic deposit: A case study from the Greater Caucasus. First Break, V. 22, No. 11, 2004, pp. 53-56.

Eppelbaum L.V., Khesin B.E. Geophysical studies in the Caucasus. Springer. Heidelberg – N.Y., 2012, 411 p.

Eppelbaum L.V., Khesin B.E., Itkis S.E. Prompt magnetic investigations of archaeological remains in areas of infrastructure development: Israeli experience. Archaeological Prospection, V. 8, No. 3, 2001, pp. 163-185.

Eppelbaum L.V., Mishne A.R. Unmanned airborne magnetic and VLF investigations: effective geophysical methodology of the near future. Positioning, V. 2, No. 3, 2011, pp. 112-133.

Ernstson K., Scherer V. Self-potential variations with time and their relation to hydrogeologic and meteorological parameters. Geophysics, V. 51, No. 10, 1986, pp. 1967-1977.

Essa K., Mehanee S., Smith P.D. A new inversion algorithm for estimating the best fitting parameters of some geometrically simple body to measured self-potential anomalies. Exploration Geophysics, V. 39, No. 3, 2008, pp. 155-163.

Fitterman D.V. Calculation of self-potential anomalies near vertical contacts. Geophysics, V. 44, No. 2, 1979, pp. 195-205.

Fox R.W. On the electromagnetic properties of metalliferous veins in the mines of Cornwall. Royal Society, London, Philosophical Transactions, 1830, pp. 399-414.

Gobashy M., Abdelazeem M., Abdrabou M., Khalil M.H. Estimating model parameters from self-potential anomaly of 2D inclined sheet using whale optimization algorithm: Applications to mineral exploration and tracing shear zones. Natural Resources Research, https://DOI.org/10.1007/s11053-019-09526-0, 2019, pp.1-21.

Göktürkler G., Balkaya Ç. Inversion of self-potential anomalies caused by simple-geometry bodies using global optimization algorithms. Journal of Geophysics and Engineering, V. 10, No. 5, 2012, pp. 498-507.

Jardani A., Revil A., Santos F., Fauchard C., Dupont J. Detection of preferential infiltration pathways in sinkholes using joint inversion of self-potential and EM-34 conductivity data. Geophysical Prospecting, V. 55, No. 5, 2007, pp. 749-760.

Khesin B.E., Alexeyev V.V., Eppelbaum L.V. Interpretation of Geophysical Fields in Complicated Environments. Kluwer Academic Publishers (Springer). Ser.: Modern Approaches in Geophysics, Boston – Dordrecht – London, 1996, 368 p.

Kilty K.T. On the origin and interpretation of self-potential anomalies. Geophysical Prospecting, V. 32, No.1, 1984, pp. 51-62.

Lile O.B. Self potential anomaly over a sulphide conductor tested for use as a current source. Journal of Applied Geophysics, V. 36, No. 2-3, 1996, pp. 97-104.

Academic Publishers (Springer). Ser.: Modern Approaches in Geophysics, Boston – Dordrecht – London, 1996, 368 p.
Kilty K.T. On the origin and interpretation of self-potential anomalies. Geophysical Prospecting, V. 32, No.1, 1984, pp. 51-62.
Lile O.B. Self potential anomaly over a sulphide conductor tested for use as a current source. Journal of Applied Geophysics, V. 36, No. 2-3, 1996, pp. 97-104.
Logn O., Bolviken B. Self potentials at the Joma pyrite deposit, Norway. Geoexploration, V. 12, 1974, pp. 11-28.
Mendonca C.A. Forward and inverse self-potential modeling in mineral exploration. Geophysics, V. 73, No. 1, 2008, pp. F33-F43.
Murty B.V., Haricharan P. A simple approach toward interpretation SP anomaly due to 2-D sheet model of short dipole length. Geophysical Research Bulletin, V. 22, No. 4, 1984, pp. 213-218.
Nayak P.N. Electromechanical potential in surveys for sulphide. Geoexploration, V. 18, 1981, pp. 311-320.
Oliveti I., Cardarelli E. Self-Potential Data inversion for environmental and hydrogeological investigations. Pure and Applied Geophysics, V. 176, No. 8, 2019, pp. 3607-3628.
Parasnis D.S. Principles of Applied Geophysics. 4th ed., revised and supplemented. Chapman & Hall. London, 1986, 402 p.
Petrovsky A. The problem of a hidden polarized sphere. Philosophical Magazine, Ser. 7, V. 5, 1928, pp. 334-353, 914-933.
Rittgers J.B., Revil A., Karaoulis M., Mooney M.A., Slater L.D., Atekwana E.A. Self-potential signals generated by the corrosion of buried metallic objects with application to contaminant plumes. Geophysics, V. 78, No. 5, 2013, pp. EN65-EN82.
Quarto R., Schiavone D. Detection of cavities by the self-potential method. First Break, V. 14, No. 11, 1996, pp. 419-430.
Semenov A.S. Electric Prospecting by Self-Potential Method, 4st ed., revised and supplemented. Nedra. Leningrad, 1980, 446 p. (in Russian).
Shevnin V.A. Identification of self-potential anomalies of a diffusion-absorption origin. Moscow University Geology Bulletin, V. 73, No. 3, 2018, pp. 306-311 (in Russian).
Shevnin V.A., Bobachev A.A., Ivanova S.V., Baranchuk K.I. Joint analysis of self potential and electrical resistivity tomography data for studying Alexandrovsky settlement. Transactions of the 20th Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Athens, Greece, Mo PA2 04, 2014, pp. 1-5.
Tarkhov A.G. (Ed.). Electrical Prospecting. Geophysicist's Manual. Nedra. Moscow, 1980, 520 p. (in Russian).
Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. Applied Geophysics, 2nd edition. Cambridge University Press. Cambridge, 1990, 770 p.
Yüngül S. Spontaneous-potential survey of a copper deposit at Sariyer, Turkey. Geophysics, V. 19, No. 3, 1954, pp. 455-458.
Zaborovsky A.I. Electric Prospecting. Gostoptekhizdat. Moscow, 1963, 432 p. (in Russian).
Zhdanov M.S., Keller G.V. The Geoelectrical Methods in Geophysical Exploration. Elsevier. Amsterdam, 1994, 873 p.
Logn O., Bolviken B. Self potentials at the Joma pyrite deposit, Norway. Geoexploration, V. 12, 1974, pp. 11-28.
Mendonca C.A. Forward and inverse self-potential modeling in mineral exploration. Geophysics, V. 73, No. 1, 2008, pp. F33-F43.
Murty B.V., Haricharan P. A simple approach toward interpretation SP anomaly due to 2-D sheet model of short dipole length. Geophysical Research Bulletin, V. 22, No. 4, 1984, pp. 213-218.
Nayak P.N. Electromechanical potential in surveys for sulphide. Geoexploration, V. 18, 1981, pp. 311-320.
Oliveti I., Cardarelli E. Self-Potential Data inversion for environmental and hydrogeological investigations. Pure and Applied Geophysics, V. 176, No. 8, 2019, pp. 3607-3628.
Parasnis D.S. Principles of Applied Geophysics. 4th ed., revised and supplemented. Chapman & Hall. London, 1986, 402 p.
Petrovsky A. The problem of a hidden polarized sphere. Philosophical Magazine, Ser. 7, V. 5, 1928, pp. 334-353, 914-933.
Rittgers J.B., Revil A., Karaoulis M., Mooney M.A., Slater L.D., Atekwana E.A. Self-potential signals generated by the corrosion of buried metallic objects with application to contaminant plumes. Geophysics, V. 78, No. 5, 2013, pp. EN65-EN82.
Quarto R., Schiavone D. Detection of cavities by the self-potential method. First Break, V. 14, No. 11, 1996, pp. 419-430.
Shevnin V.A., Bobachev A.A., Ivanova S.V., Baranchuk K.I. Joint analysis of self potential and electrical resistivity tomography data for studying Alexandrovsky settlement. Transactions of the 20th Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Athens, Greece, Mo PA2 04, 2014, pp. 1-5.
Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E. Applied Geophysics, 2nd edition. Cambridge University Press. Cambridge, 1990, 770 p.
Yüngül S. Spontaneous-potential survey of a copper deposit at Sariyer, Turkey. Geophysics, V. 19, No. 3, 1954, pp. 455-458.
Zhdanov M.S., Keller G.V. The Geoelectrical Methods in Geophysical Exploration. Elsevier. Amsterdam, 1994, 873 p.
Бухникашвили А.В., Кебуладзе В.В., Табагуа Г.Г., Джаши Г.Г., Гугунава Г.Е., Татишвили О.В., Гогуа Р.А. Геофизическая разведка Аджарской группы медно-полиметаллических месторождений. Мецниереба. Тбилиси, 1974, 199 с.
Заборовский А.И. Электроразведка. Гостоптехиздат. Москва, 1963, 432 с.
Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Недра. Ленинград, 1980, 446 с.
Тархов А.Г. (Ред.). Электроразведка. Справочник геофизика. Недра. Москва, 1980, 520 с.
Шевнин В.А. Выявление естественных электрических аномалий диффузионно-абсорбционного происхождения. Геологический Бюлл. МГУ, Т. 73, No. 3, 2018, с. 306-311.
Эппельбаум Л.В. Многомодельный подход к исследованию геофизических объектов. Депонировано в ВИНИТИ, Академия Наук СССР, No. 7842-87, 1987, с. 1-10.

УЛУЧШЕННЫЙ АНАЛИЗ АНОМАЛИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЮЖНОГО КАВКАЗА

Эппельбаум Л.В.
Кафедра геофизики, Отделение наук о Земле, Факультет точных наук,
Тель-Авивский Университет,
6997801, Рамат Авив, Тель-авив, Израиль: levap@post.tau.ac.il

Резюме. Метод естественного электрического поля (ЕЭП) – один из самых недорогих и технически несложных геофизических методов. Однако его применение ограничивает отсутствие надежной методологии интерпретации, в первую очередь для сложных геолого-геофизических условий. Обсуждены типичные помехи, возникающие в методе ЕЭП и пути их устранения. Краткий обзор имеющихся методов интерпретации свидетельствует об их недостаточной эффективности, особенно для сложных физико-геологических условий. Специальные количественные процедуры были разработаны для маг-

нитного метода геофизической разведки в сложных условиях (наклонное намагничение, неровный рельеф местности и неизвестный уровень нормального поля). Проведенный анализ позволил выявить существенные общие особенности магнитного поля и ЕЭП. Эти общие аспекты позволяют применять к ЕЭП передовые методы интерпретации, разработанные в магниторазведке. Помимо надежного определения глубины аномального источника, эти методы позволяют внести поправки за наклонный поляризационный эффект и негоризонтальность линии наблюдений. Для классификации аномалий ЕЭП предложено рассчитывать новый параметр – 'естественный электрический момент'. Эти процедуры (улучшенные модификации методов особых точек и касательных) были успешно протестированы как на моделях ЕЭП, так и в реальных ситуациях на рудных месторождениях Турции и России. Наконец, разработанные интерпретационные процедуры были эффективно применены к нескольким рудным объектам Южного Кавказа (Филизчай и Кацдаг в Азербайджане и Учамбо в Грузии). Эффективность многомодельного подхода (с использованием гравитационного, магнитного и естественного электрического полей) продемонстрирована на обобщенной физико-геологической модели рудного объекта филизчайского типа. Полученные результаты указывают на большую практическую значимость разработанной методологии.

***Ключевые слова**: метод ЕЭП, помехи, количественный анализ, сложные физико-геологические условия, естественный электрический момент, рудные объекты*

CƏNUBİ QAFQAZIN FİLİZ YATAQLARININ QUYU POTENSİALI ÜZRƏ MƏLUMATLARIN TƏKMİLLƏŞDİRİLMİŞ ANALİZİ

Eppelbaum L.V.
Geofizika kafedrası,Yer elmləri bölməsi, Dəqiq Elmlər fakültəsi, Tel Aviv Universiteti
6997801, Ramat Aviv, Tel Aviv, Israel: levap@post.tau.ac.il

Xülasə. Təbii elektrik sahəsi (TES) üsulu – ən ucuz və texniki cəhətdən qeyri-mürəkkəb geofiziki üsullardan biridir. Lakin onun tətbiqini etibarlı interpretasiya metodologiyasının, ilk növbədə mürəkkəb geoloji-geofiziki şərait üçün, olmaması məhdudlaşdırır. TES üsulunda yaranan tipik əngəllər və onların aradan qaldırılma yolları müzakirə edilmişdir. Mövcud interpretasiya üsullarının qısa xülasəsi onların, xüsusilə mürəkkəb fiziki-geoloji şərait üçün, kafi olmayan effektivliyini göstərir. Çətin şəraitdə (maili maqnitləşmə, ərazinin qeyri-düzgün relyefi və normal sahənin qeyri-məlum səviyyəsi) geofiziki kəşfiyyatın maqnit üsulu üçün xüsusi miqdari qayda işlənilmişdir. Aparılan təhlil maqnit sahəsi və TES-in mühüm ümumi xüsusiyyətlərini aşkar etməyə imkan vermişdir. Bu ümumi aspektlər maqnit kəşfiyyatında işlənib hazırlanmış qabaqcıl interpretasiya üsullarını TES-ə tətbiq etməyə imkan verir. Anomal mənbənin dərinliyinin etibarlı təyinindən əlavə, bu üsullar polyarizasiya effektinə və müşahidə xətlərinin qeyri-horizontallığına düzəlişlər verməyə inkan verir. TES-in anomaliyalarının təsnifatı üçün yeni parametrin – təbii elektrik momenti – hesablanması təklif edilmişdir. Bu qaydalar (xüsusi nöqtələr və toxunanlar üsullarının yaxşılaşdırılmış modifikasiyaları) həm TES modellərində, həm də Türkiyə və Rusiyanın filiz yataqlarında real situasiyalarda müvəffəqiyyətlə sınaqdan keçirilmişdir. Nəhayyət, işlənib hazırlanmış interpretasiya qaydaları Cənubi Qafqazın bir neçə filiz obyektlərində (Azərbaycanda Filizçay və Kaşdağ və Gürcüstanda Uçambo) effektiv tətbiq olunmuşdur. Çoxmodelli yanaşmanın effektivliyi (qravitasiya, maqnit və təbii elektrik sahələrindən istifadə etməklə) Filizçay tipli filiz obyektinin ümumiləşdirilmiş fiziki-geoloji modelində nümayiş etdirilmişdir. Alınan nəticələr işlənib hazırlanmış metodologiyanın böyük praktiki əhəmiyyətini göstərir.

***Açar sözlər:** TES üsulu, maneələr, miqdari analiz, mürəkkəb fiziki-geoloji şərait, təbii elektrik momenti, filiz obyektləri*

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ДАГКЕСАМАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КАВКАЗ)

Ахмедов А.З., Китачаев Ш.М., Шибаева А.А., Ахмедов А.М., Алиева Т.М.
Национальная Геологоразведочная Служба МЭПР Азербайджана
AZ1073, Баку, ул. Б.Агаева, 100(А): alikahmedov@mail.ru

MATERIAL COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ORES OF DAGKESAMAN GOLD FIELD (LESSER CAUCASUS)

Akhmedov A.Z., Kitachayev Sh.M., Shibayeva A.A., Akhmedov A.M., Aliyeva T.M.
National Geological Exploration Service of MENR of Azerbaijan
100(A), B.Agayev str., Baku, AZ1073: alikahmedov@mail.ru

Keywords: *Lesser Caucasus, gold ore, material composition, refining technology, gravity, flotation, hydrometallurgy, cyanidation*

Summary. On the example of technological ore samples (~ 150 kg) taken from ores of the upper horizons of the deposit, the material composition (chemical and mineralogical), as well as textural and structural forms of the connection of gold with various minerals that make up the ore, the composition and degree of oxidation of ore minerals, technological (metallurgical) features of this gold ore minerals have been described in the paper. The main industrialized valuable component in the test is the gold ore, which is characterized by native form. Varieties, as well as the main dimensions of the present particles of native gold, a significant number of which is characterized by small forms (0.005-0.01mm) have been identified and considered. The ore minerals are mostly supergene forms of iron compounds, and the host rocks are characterized by basalts porphyry structure modified by autometasomatosis. It has been established that gold in the ore under study using such methods as gravity, flotation and hydrometallurgy (cyanidation) is characterized by relatively easy recoverability while degree of material grinding reaches 80-85% <0.075 mm. According to the results of the experiments performed, the corresponding mode of the most effective combined technological scheme was developed and recommended. The latter is based on the preliminary gravity of ore crushed to a certain size in the corresponding hydrocyclone and the subsequent agitation method of cyanidation obtained by the rough gravity concentrate. The recommended technology, confirmed by relevant laboratory experiments, provides the possibility of extracting up to 94.5% of gold from ore to the leach solution for subsequent use in the production of Dore alloy ingots.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

В последние годы азербайджанская часть Малого Кавказа становится крупным золоторудным регионом Республики. В настоящее время здесь осваиваются Гядабейское и Човдарское (Дашкесанский административный район) золоторудные месторождения. Кроме того, в данном регионе по результатам предварительной стадии геологоразведочных работ, выполненных в 1966-1974 годах, было разведано весьма перспективное Дагкесаманское золоторудное месторождение, расположенное в Акстафинском районе (Абдуллаев и др., 1975).

Согласно материалам геологоразведочных работ, месторождение было изучено многочисленными буровыми скважинами и горными выработками от поверхности до глубины 300 м. Специально для разведки основных рудоносных зон нижних горизонтов (горизонт 400 м) была пройдена шахта глубиной 114 м с системой штреков, квершлагов и ортов.

На месторождении развиты в основном сульфидоносные жилы переменного состава. В результате гипергенного изменения широкое развитие на оцениваемой площади получили зоны окисления и вторичного сульфидного обога-

щения, в которых сосредоточены основные запасы золота месторождения. Отмечается, что золото-серебряное оруденение с глубиной переходит в полиметаллические руды.

По кондиционным лимитам, рассчитанным в 1975 г., на месторождении установлены запасы золота в количестве 3.8 тонн при среднем содержании Au – 5.3 г/т и Ag – 28 г/т. В указанные относительно небольшие запасы того времени вошли только зоны с богатым оруденением золота и частично отдельные участки рудовмещающих жил. Однако необходимо отметить, что согласно геолого-экономическим исследованиям, выполненным в НИИМР Национальной геологоразведочной службы, пересчёт кондиций по новым современным мировым ценам золота может обеспечить возможность увеличения запасов золота месторождения почти в 10 раз за счёт снижения бортового и соответственно среднего содержания этого металла до 2.0-2.5 г/т (Şirinov, Hüseynov, 2015).

В этой связи представляется актуальным детально изучить вещественный состав и технологические (металлургические) особенности руд, характеризующие основные запасы месторождения с относительно невысоким содержанием золота (2.0-3.0 г/т) в них, а также разработать и экспериментально оценить для этого минерального сырья рациональную технологическую схему его переработки.

Отметим, что ранее (1979 г.) Институтом «Армниипроцветмет» (г. Ереван) по заданию Министерства цветной металлургии бывшего Советского Союза были произведены лабораторные минералого-технологические исследования на материале технологической пробы весьма богатой руды (Au – 9.4 г/т, Ag – 67 г/т), отобранной из поверхности (канава и шурф) зоны № 4 месторождения (Акмаева и др., 1979).

Дагкесаманское месторождение рассматривалось в этот период времени как сырьевой источник для Араратской ЗИФ (Армения). В этой связи технологическая оценка материала указанной пробы была выполнена по довольно сложной комбинированной технологической схеме (гравитация – флотация – цианирование хвостов флотации), осуществляемой в то время на названной ЗИФ. При этом исследования были проведены в упрощенном варианте и весьма поверхностно. В этой связи предложенная рекомендация технологической схемы не соответствовала технологическим особенностям оцениваемого материала руды.

Рассматриваемые в данной статье исследования выполнены на материале технологической пробы руды весом 150 кг, отобранной в 2016 г. из стенок основного ствола ранее пройденной разведочной штольни № 3, расположенной на относительно высоких горизонтах Дагкесаманского месторождения.

В процессе этих исследований были детально изучены вещественный состав (химический, минералогический, текстурно-структурная форма связи золота с различными минералами) и технологические – металлургические особенности материала этой пробы. С учётом выявленных факторов экспериментально оценены различные методы переработки исследуемого материала руды, осуществляемые в промышленной практике переработки золоторудного минерального сырья.

Вещественный состав материала объекта исследований

Химический состав материала технологической пробы, установленный по результатам химического, пробирного (на Au, Ag) и приближенно-количественного рентгенофлуоресцентного (XRF) анализов (табл.1), свидетельствует, что основным промышленно значимым элементом в нём является только золото с содержанием в пределах 2.6–2.8 г/т. Серебро представлено промышленно незначимым содержанием (1.0-1.4 г/т). Положительным фактором для рассматриваемого золоторудного минерального сырья является незначительное присутствие в нём вредных для металлургии элементов-примесей (As и Sb).

Рассматривая состояние основных рудообразующих элементов (Fe, S) и их химических соединений, отметим относительно повышенное содержание оксида железа (6.57%) по сравнению с серным ангидридом (2.9%) и соответственно количеством общей серы (1.16%). Данный фактор при наличии в рассматриваемом материале весьма незначительных количеств различных цветных металлов (Cu, Pb, Zn и др.) свидетельствует, что значительная часть железа в этой пробе руды представлена его оксидными – гипергенными минералами. Количество же серосодержащих – сульфидных форм железа, в том числе пирита, в руде незначительно.

Для оценки количественного соотношения основных форм минералов железа в руде был выполнен специальный гидрохимический фазовый анализ (Филиппова, 1963). Результаты этого анализа (табл.2) подтвердили отмеченное выше состояние названных минералов. Более 89% железа в руде представлено его оксидами (в т.ч. гидроксидами) и частично пирротином. Количество же первичной сульфидной его формы – пирита составляет всего около 9%.

Таблица 1

Химический состав технологической пробы руды

№ п/п	Элементы	Содержание: %, г/т	№ п/п	Соединения	Содержание, %
1	Au*	2.6-2.8 г/т	1	SiO_2	71.15
2	Ag*	1.0-1.4 г/т	2	Al_2O_3	6.29
3	Zn	0.10	3	Fe_2O_3, В т.ч. Fe вал.	6.57 4.60
4	Cu	0.028			
5	Pb	0.035	4	SO_3, В т.ч. S общ.	2.90 1.16
6	As**	0.0055			
7	Sb**	0.002	5	CaO	1.15
8	Co**	0.006	6	MgO	0.01
9	Te**	0.0001	7	Na_2O	2.75
10	Se**	0.0001	8	K_2O	4.54
11	Cd**	0.0019	9	TiO_2	0.01
12	Ni**	0.013	10	MnO	0.35
13	Mo**	0.006	11	P_2O_5	0.10
14	Cl**	0.076	12	ППП	3.10
15	Hg**	0.0001		**Итого**	**98.92**
16	V**	0.0001			
17	Cr**	0.015			
	Итого	**0.289**			

Примечание: * - пробирный анализ; ** - XRF анализ

Таблица 2

Результаты гидрохимического фазового анализа минералов железа в руде

Формы минералов железа	Содержание Fe, %	Распределение, %
Оксиды и пирротин	4.02	89.1
Сульфиды – пирит.	0.39	8.7
Другие – труднорастворимые	0.10	2.2
Руда по балансу	4.51	100

Породообразующие химические соединения в руде (табл.1) представлены в основном оксидом кремния (71.15%). Кроме того, в рассматриваемой пробе руды выявлены относительно повышенные содержания оксида алюминия (6.3%), а также оксидов калия (4.5%) и натрия (2.75%), свидетельствующие о наличии в исследуемом материале достаточно значимых количеств минералов глин. Последние, как известно, оказывают отрицательное влияние на технологические процессы переработки золотосодержащих руд.

Положительным фактором для технологии переработки данного минерального сырья является незначительное присутствие в нём карбонатообразующих оксидов кальция (1.15%) и магния (0.01%).

Формы нахождения самородного золота, его крупность и текстурно-структурные ассоциации с различными минералами являются одним из основных факторов, определяющих технологические особенности золоторудного минерального сырья. Для количественной оценки названных форм на материале данной пробы руды, измельчённой до крупности 80% <0.075 мм, был выполнен диагностический гидрохимический рациональный (фазовый) анализ по соответствующей методике (Зеленов, 1989).

Результатами этих исследований (табл.3) установлено, что при указанной крупности материала более 75% содержащихся в нём зерен самородного золота полностью освобождаются от сростков с другими минералами. Эти относительно крупные самородные частицы названного металла характеризуются обычно как технологически легко извлекаемые. Ещё около 21% частиц золота находится в сростках с различными минералами, однако поверхность этих золотин открыта, что обеспечивает возможность доступа к ним соответствующего реагента-растворителя (цианида). Эта форма золотин также характеризуется как легко извлекаемая.

Таблица 3

Результаты диагностического фазового анализа руды крупностью 80% - 0,075 мм

№ п/п	Формы нахождения золота	Абсолютное содержание Au, г/т	Распределение форм Au, %
1	Свободное с чистой поверхностью (амальгамируемое ртутью) – легко извлекаемое	2.19	75.5
2	В минеральных сростках с открытой поверхностью (цианируемое) – легко извлекаемое	0.60	20.7
3	Тонкодисперсное, покрытое оксидами железа – трудно вскрываемое	0.07	2.4
4	Тонкодисперсное, заключенное в сульфидах и кварце – трудно вскрываемое	0.04	1 1.4
Итого в руде по балансу		**2.90**	**100**

В целом по результатам рассматриваемого анализа 96% золота в исследуемой пробе руды представлено легко извлекаемыми формами. Количество трудно извлекаемых – тонкодисперсных форм, заключенных (покрытых) в оксидах железа, а также в сульфидах и кварце, составляет всего около 4%.

Для оценки форм свободных золотин, выделенных ртутной амальгамацией, последние после отмывки их от ртути были подвергнуты просмотру под бинокулярным микроскопом (рис.1). В результате установлено, что основное количество этих золотин характеризуется мелкими зернами (от 0.03 до 0.1 мм) с отличающимися по цвету и соответственно пробности металла разновидностями: от ярко-желтого, светло-желтого (с относительно высокой пробностью) до коричневатого с красноватым оттенком. Различие цвета золотин, наряду с изменением пробности, вероятно, связано с окислением их поверхности в экзогенных условиях.

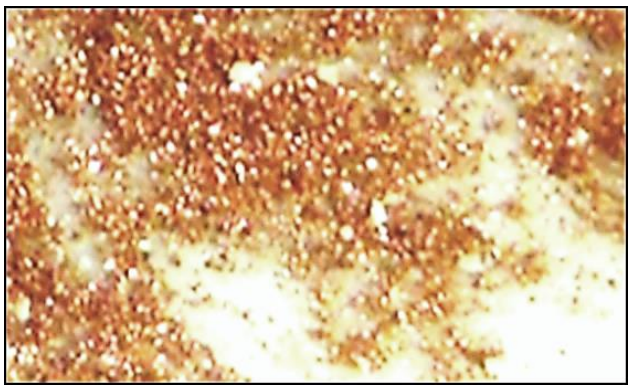


Рис. 1. Свободное самородное золото, выделенное из руды амальгамацией. Общий вид; бинокуляр, увеличение 25×

Минералогический состав материала исследуемой руды был оценен посредством изучения под микроскопом нескольких прозрачных и полированных шлифов, изготовленных из наиболее представительных обломков каменного материала этой пробы.

По результатам изучения *прозрачных шлифов* установлено, что рудовмещающие породы представлены базальтами порфировой структуры, измененными автометасоматозом. На измененный автометасоматозом базальт накладывается рудная минерализация в виде рассеянной вкрапленности пирита, редко тончайших волосовидных (0.1-0.2 мм) прожилков. Альбитизация, хлоритизация, пиритизация, замещение магнетита сфеном предшествовали развитию золотоносных альбит-кварцевых, кварцевых прожилков с убого сульфидной минерализацией. Оценка текстуры кварца позволяет предполагать возможность отнесения его к эпитермальному (близповерхностному) типу, частично измененному бластезом.

В одном из прозрачных шлифов при просмотре рудных минералов в боковом свете были выявлены зерна самородного золота в количестве **26** знаков, приуроченных к кварцу. Включения расположены примерно параллельно зальбанду, отчетливо обособляясь от пирита, образуя с последним случайные сростки. Размер золотин составляет 0.04-0.17 мм. Форма их полностью подчинена пустоткам в кварце и межзерновым стыкам. При большом увеличении по границам зерен золотин видны «корни» (рис. 2), проникающие вглубь кварцевых зерен.

Оценка рудной минерализации была произведена по результатам изучения под микроскопом ряда *аншлифов,* изготовленных как из преобладающих измененных рудовмещающих базальтов, так и из редких кварцевых прожилков.

Измененные рудовмещающие базальты характеризуются мономинеральным составом, где

единственным рудным минералом является *пирит*, образующий равномерную рассеянную вкрапленность в количестве 5-7% от объёма породы. Вкрапленники пирита имеют размеры 0.1-0.2, редко 0.5 мм, иногда сгруппированы по 3-4 штуки и нередко сопровождаются роем более мелких индивидов. Особенностью вкрапленников является часто встречаемая кубическая форма, иногда переходящая в неправильную из-за коррозии метакристаллов. В пирите часто наблюдаются обильные включения нерудной массы резко угловатой формы. Эту форму вкрапленников метасоматического пирита можно характеризовать как первая генерация.

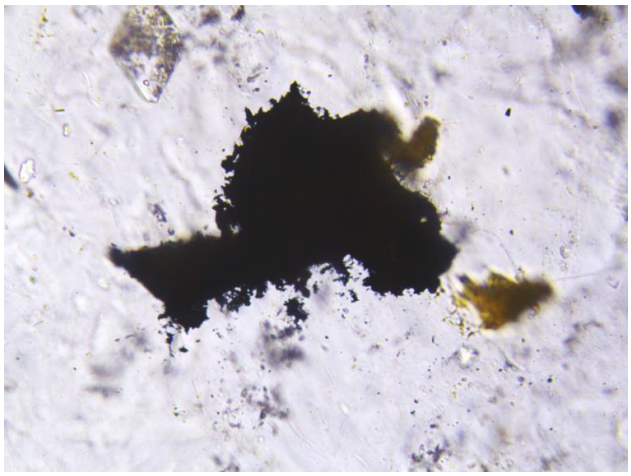


Рис. 2. Зерно самородного золота с «корнями». Прозрачный шлиф, проходящий свет. Увеличение 130×

Аншлифы из кварцевых прожилков характеризуются полиминеральной рудной минерализацией, включающей пирит, халькопирит, редко сфалерит и самородное золото. При этом текстура золотоносного кварца массивная с пустотками (3-5 мм), инкрустированными кристаллами. В виде включений данный кварц содержит тонкие полоски светло-зелёного хлорита. Цвет кварца меняется закономерно от молочно-белого с массой тонких включений глинистого минерала до просвечивающегося и полупрозрачного вблизи пустот. Трещиноватость ориентирована вдоль зальбандов и перпендикулярно к последним. Наиболее крупные скопления рудных минералов приурочены к границам пустот. В единичных случаях отмечаются кристаллы пирита, проникшие в пустотку.

Пирит образует разрозненные или сближенные включения в кварце размером от 0.01 до 1.0, редко 5 мм. Он характеризуется зёрнами неправильной формы и кубическими кристаллами массивного сложения с чистой гладкой поверхностью. В виде микровключений часто содержит халькопирит неправильной формы.

Халькопирит и в ещё меньшей степени *сфалерит* распространены значительно реже пирита. Они образуют изометричные и неправильные формы зёрна размером обычно 0.1-0.2 мм, а вблизи кварцевых пустот достигают иногда 5-7 мм. Халькопирит нередко содержит сеть трещин, заполненных *ковеллином.* Сфалерит часто содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита.

Золото самородное, многочисленные знаки (81 шт.) которого обнаружены в одном из кварцевых аншлифов, приурочено в основном к призальбандовой полосе кварца. Оно обычно проявляет тенденцию к обособлению, и лишь в некоторых случаях зафиксированы срастания с пиритом. Цвет золотин в основном густой ярко-жёлтый (высокая пробность металла), но встречаются и более светлые зёрна жёлтого цвета. Форма золотин полностью зависит от заполненных ими участков трещин и мелких пор. В целом характерны угловатые зерна. Отмечаются также искаженные квадраты в сечениях.

Для отмеченных выше 81 знака золотин была произведена их статистическая оценка по крупности и по формам нахождения. По крупности золотины были подразделены на 3 класса, мм: 0.001-0.01 (очень мелкие); 0.01-0.1 (мелкие); 0.1-1.0 (относительно крупные). Результаты этого анализа (рис.3) показали, что основное количество (81.5%) самородного золота, выявленного в аншлифе, характеризуется мелкими (0.01-0.1 мм) зернами. Кроме того, до 14% золотин в этом аншлифе представлено очень мелкими (0.001-0.01 мм) формами, а количество относительно крупных (0.1-1.0 мм) – гравитационно извлекаемых золотин в руде весьма незначительно (~5%).

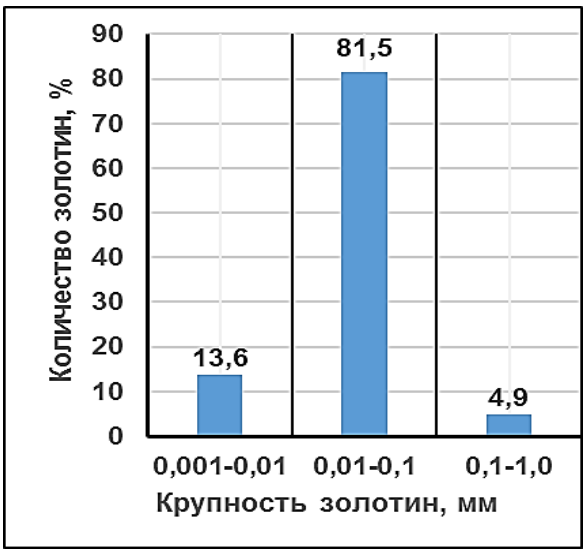


Рис. 3. Распределение по крупности золотин, выявленных в аншлифе

Для статистической оценки форм нахождения золота были использованы следующие факторы его нахождения: в пустотках кварца (рис.4); в трещинках кварца (рис.5); в массивном кварце (рис.6); в срастании с пиритом в кварце (рис.7).

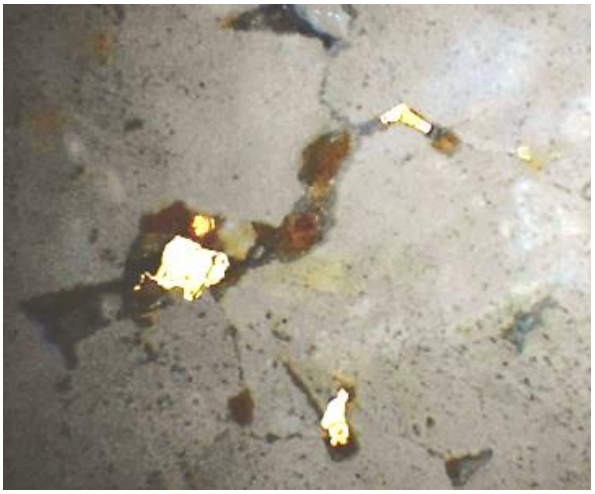


Рис. 4. Золото в пустотках кварца. Аншлиф, увеличение 130×

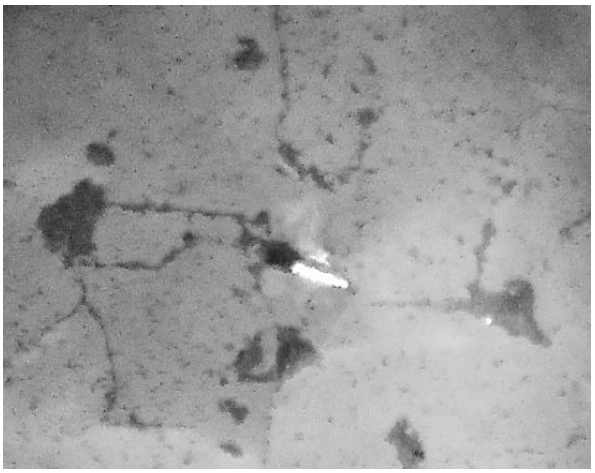


Рис. 5. Золото в трещинках кварца. Аншлиф, увеличение 130×

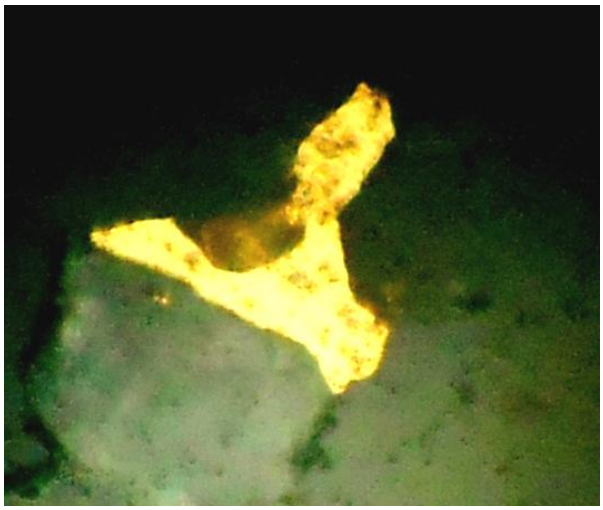


Рис. 6. Золото в массивном кварце. Аншлиф, увеличение 130×

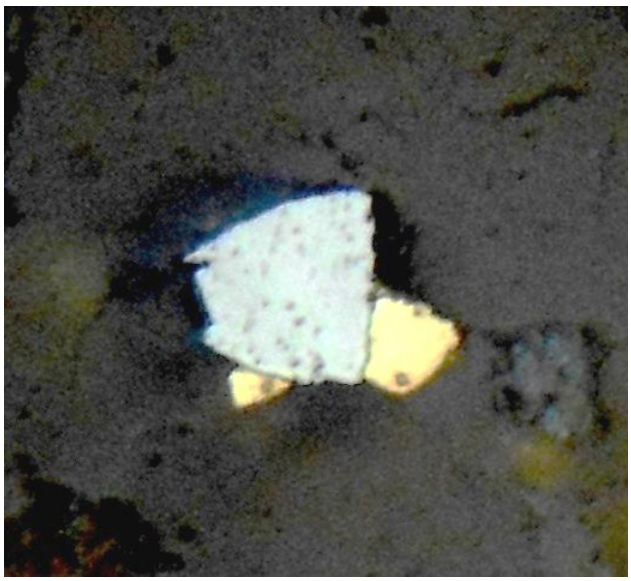


Рис.7. Золото в срастании с пиритом в кварце. Аншлиф, увеличение 130×

Результатами этого анализа (табл.4), включая оценку пределов крупности выявленных золотин, установлено, что до 80% золота в рассматриваемом аншлифе (вероятно, и в руде) представлено в основном относительно мелкими (0.005-0.1 мм) свободными зернами, расположенными в пустотках и трещинках кварца, в том числе 21% из них (17 знаков) характеризуются очень мелкими (0.005-0.045 мм) зёрнами. Количество золотин в сростках с пиритом незначительно (~11%), при этом они характеризуются более крупными (0.01-0.06 мм) зёрнами.

В целом, результаты минералогических исследований свидетельствуют, что основное количество золота в рассматриваемой руде, хотя и представлено мелкими зёрнами, однако при этом они характеризуются относительно легко доступными формами, находящимися в пустотах и межзерновых стыках кварца. Данный фактор, подтверждённый ранее представленными результатами диагностического фазового анализа (табл.3), может обеспечить эффективное высвобождение золотин в процессе тонкого измельчения руды.

Кроме того, положительным технологическим фактором является наличие в руде двух разновидностей вмещающих пород: обогащенные рудной минерализацией, в т.ч. золотом; менее обогащенные с редкой рудной минерализацией. В этой связи представляется возможным выделение определённого количества относительно обеззолоченных фракций последних посредством экономически наиболее дешёвого гравитационного метода обогащения.

Таблица 4

Результаты статистической оценки форм нахождения зёрен золота, выявленных в аншлифе

№ п/п	Формы нахождения золота	Пределы крупности золотин, мм	Количество знаков, шт.	Распределение, %
1	В пустотках кварца, рис.4	0.005 – 0.1	48	59.3.
2	В трещинках кварца, рис.5	0.005 – 0.045	17	21.0
3	В массивном кварце, рис.6	0.02 – 0.1	7	8.6
4	Сростки с пиритом, рис.7	0.01 – 0.06	9	11.1
	Итого	0.005 – 0.1	81	100

Технологическая характеристика материала руды

Для оценки технологических (металлургических) особенностей материала рассматриваемой пробы руды были экспериментально испытаны различные технологические процессы, применяемые в промышленной практике переработки подобного золоторудного минерального сырья, в том числе: гравитация, флотация и гидрометаллургия.

Опыты по *гравитационной технологии*, используемой обычно для выделения относительно крупного свободного золота в кондиционный гравиоконцентрат, как и предполагалось, не обеспечили положительных результатов. Эксперименты были выполнены на различном лабораторном гравитационном оборудовании, включая малогабаритную двухкамерную отсадочную машину, сотрясательный концентрационный стол, а также гидроциклонную установку с короткоконусным и длинноконусным гидроциклонами центробежного действия.

Относительно низкие показатели гравитационного обогащения золота обусловлены рассмотренными выше минералогическими исследованиями, свидетельствующими, что золото в исследуемой руде представлено в основном трудно извлекаемыми гравитацией мелкими (0.005-0.01 мм) формами.

Вместе с тем в процессе этих экспериментов выявлена весьма важная положительная технологическая особенность материала данной руды. Обработка руды, измельченной до определенной крупности (80-85% <0.075 мм), в длинноконусном гидроциклоне с соотношением диаметров песковой и шламовой насадок, равными соответственно 4 и 12 мм (1:3), обеспечивает возможность выделения из неё до 33-37% практически обеззолоченного материала пустой породы. При этом в песковую фракцию гидроциклона (черновой Au концентрат) извлекается более 96% золота с содержаниями, в 1.5 раза превышающими исходное содержание данного металла в руде. Потери золота в шламовой фракции гидроциклона (отвальный продукт) составляют всего 3.8-3.9% с содержаниями данного металла 0.3-0.25 г/т.

Оценивая результаты испытаний в длинноконусном гидроциклоне, отметим весьма важное их технико-экономическое значение. Так, уже при первой основной операции переработки руды – измельчении, обеспечивается возможность довольно простым и дешёвым способом выделить из неё значительное количество пустой, практически обеззолоченной породы.

В последующих экспериментах по изысканию наиболее рациональной технологии переработки исследуемой руды были использованы как флотационный, так и гидрометаллургический методы. При этом названные эксперименты были выполнены как непосредственно на измельченном материале исходной руды, так и на отмеченном выше измельченном материале, предварительно подвергнутом гравитационной классификации в длинноконусном гидроциклоне.

Оценка эффективности *гидрометаллургического метода* была осуществлена посредством агитационного – чанового способа выщелачивания золота слабыми щелочными растворами цианистой соли. В этих исследованиях наряду с экспериментами, выполненными на тонко измельченном (70-90% <0.075 мм) материале, дополнительно была изучена возможность использования названного способа выщелачивания для относительно крупно раздробленного (100% <5 и <10 мм) материала руды. Опыты на последних позволяют оценить целесообразность применения к рассматриваемой руде кучного способа выщелачивания, характеризуемого в промышленной практике относительно низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

Представленные в табл. 5 технологические показатели экспериментов, полученные в оптимальных режимах обработки руды по всем испытанным технологическим схемам, свидетельствуют, что:

– *гравитационная обработка руды* крупностью 80% <0.075 мм в длинноконусном гидроцик-

лоне с использованием указанного выше технологического режима этой операции обеспечивает возможность выделения из руды до *32.4%* практически обеззолоченной пустой – отвальной породы;

– *флотационная схема,* испытанная в условиях замкнутого цикла лабораторных опытов по соответствующему разработанному режиму этого процесса, обеспечивает возможность выделения из руды, измельченной до крупности 87% <0.075 мм, кондиционного золотосодержащего флотоконцентрата (*Au = 34.9 г/т*) при извлечении в него из руды *90.9%* названного металла;

– *агитационное выщелачивание* (цианирование) непосредственно тонко измельченной руды (85% <0.075 мм) обеспечивает возможность выделения в цианистый раствор до *97.8%* содержащегося в ней *золота* при продолжительности процесса 8 часов и расходах: KCN – 1.1, CaO – 4.6 на кг/т руды.

– *агитационное выщелачивание* (цианирование) непосредственно относительно крупных классов дробленной руды (100% <5 и <10 мм) не обеспечивает удовлетворительных показателей растворимости золота. Степень растворимости названного металла по классу крупности *-5 мм* составило всего *50.3%*, а по классу *-10 мм – 29.1%,* при продолжительности процесса 24 часа. Данные показатели, обусловленные присутствием в крупном материале руды в основном мелких – тонко вкрапленных форм самородного золота, указывают на нецелесообразность применения к данному минеральному сырью кучного способа выщелачивания, осуществляемого в статических – менее эффективных по сравнению с агитацией условиях;

– *комбинированная схема, включающая предварительную флотацию руды крупностью 85% <0.075 мм с последующим агитационным цианированием полученного золотосодержащего флотоконцентрата,* обеспечивает возможность сквозного извлечения из руды в цианистый раствор до *90.2%* содержащегося в ней *золота* при продолжительности процесса выщелачивания 8 часов и расходах: KCN – 0.3, CaO – 0.5 на кг/т исходной руды.

– комбинированная схема, включающая предварительную гравитационную классификацию руды крупностью 85% <0.075 мм с последующим агитационным выщелачиванием (цианированием) концентрата гравитации (песков длинноконусного гидроциклона), обеспечивает возможность сквозного извлечения из руды в цианистый раствор до *94.5%* содержащегося в ней *золота* при продолжительности процесса выщелачивания 8 час. и расходах: KCN – 0.8, CaO – 1.85 на кг/т исходной руды.

В целом результаты представленных технологических (металлургических) исследований (табл.5) свидетельствуют, что материал рассматриваемой относительно бедной по золоту (2.6-2.8 г/т) руды зоны окисления Дагкесаманского месторождения представляет собой легко обогатимое (по золоту) минеральное сырьё. Наиболее высокая степень извлечения золота (97.8%) наблюдается при применении технологии агитационного цианирования непосредственно руды крупностью *80% <0.075 мм.*

Однако для переработки данного минерального сырья рекомендуется технически и экономически более целесообразная комбинированная технология, включающая предварительную гравитацию измельчённого материала руды в гидроциклоне с последующим агитационным цианированием полученного чернового золотосодержащего гравиоконцентрата. Данная технология, принципиальная рекомендуемая схема и разработанный технологический режим которой представлены на рис. 8, обеспечивает возможность выделения из руды в выщелачивающий раствор до 94.5% золота. Указанный раствор в последующем рекомендуется направлять на хорошо освоенное золоторудной промышленностью производство золотосодержащих слитков сплава Доре.

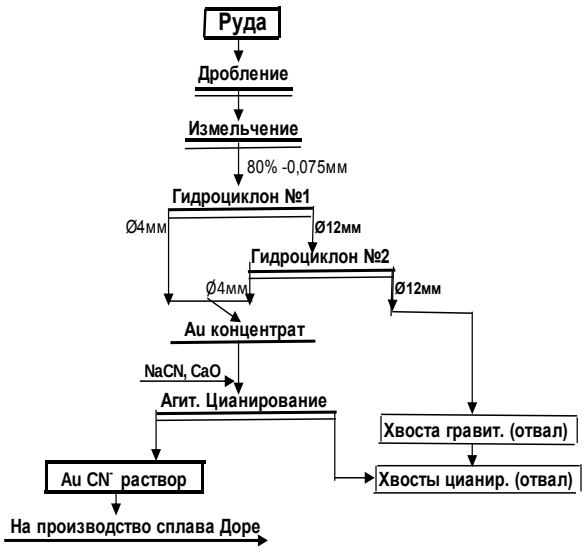


Рис. 8. Рекомендуемая принципиальная технологическая схема переработки руд Дагкесаманского месторождения

Заключение

Детально рассмотрен вещественный состав (химический и минералогический) и технологические (металлургические) особенности относительно убогой по золоту (2,5-2,7г/т) пробы руды (150 кг), отобранной из верхних горизонтов Даг-

кесаманского золоторудного месторождения, в которых сосредоточены основные его запасы. Установлены и описаны формы текстурно-структурных ассоциаций самородного золота с различными минералами, составляющими эту руду. Кроме того, выявлены разновидности и основные размеры присутствующих золотин, значительное количество которых характеризуются мелкими формами (0,005-0,01мм).

Для изыскания рациональной технологии переработки этого минерального сырья экспериментально испытаны и оценены различные технологические (металлургические) процессы, используемые в промышленной практике переработки подобных руд, в т.ч. методы гравитации, флотации и гидрометаллургии (цианирование). В целом, золото в исследуемой руде характеризуется относительно лёгкой извлекаемостью названными методами, при сравнительно тонкой степени измельчения (80-85% <0,075мм) материала.

По результатам выполненных экспериментов для переработки рассматриваемых руд месторождения разработана и рекомендована комбинированная технологическая схема, включающая предварительную гравитацию измельченной руды в гидроциклоне с последующим агитационным цианированием полученного чернового золотосодержащего гравиоконцентрата. Эта технологическая схема и рекомендуемые в ней режимы используемых операций обеспечивают возможность выделения из исследуемой руды в соответствующий выщелачивающий раствор до 94,5% золота, направляемого далее на производство золотосодержащих слитков сплава Доре.

Таблица 5

Показатели переработки руды по различным испытанным технологиям

Технология и схема переработки руды	Крупность руды	Наименование продуктов переработки	Выход твердого, %	Абсолютное содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
Гравитация в длинноконусном гидроциклоне	80% <0.075мм	Пески гидроциклона (концентрат)	**67.64**	**3.68**	**96.2**
		Шламы гидроциклона (отвал)	32.36	0.30	3.8
		Руда по балансу	**100**	**2.58**	**100**
Флотационная схема	87% <0.075мм	Au концентрат флотации	**7.90**	**34.93**	**90.9**
		Хвосты флотации (отвал)	92.1	0.30	9.1
		Руда по балансу	**100**	**3.03**	**100**
Агитационное цианирование тонко измельченной руды	80% <0.075мм	Au раствор CN^-	**0.8**	**326.3**	**97.8**
		Хвосты цианирования	99.2	0.06	2.2
		Руда по балансу	**100**	**2.67**	**100**
Агитационное цианирование крупных классов руды	<5мм	Au раствор CN^-	**1.0**	**148.5**	**50.3**
		Хвосты цианирования	99.0	1.48	49.7
		Руда по балансу	**100**	**2.95**	**100**
	<10мм	Au раствор CN^-	**1.1**	**85.0**	**29.1**
		Хвосты цианирования	98.9	2.30	70.9
		Руда по балансу	**100**	**3.21**	**100**
Комбинированная схема: флотация – цианирование концентрата флотации	85% <0.075мм	Au раствор CN^-	**0.07**	**3902.6**	**90.2**
		Хвосты цианирования (отвал)	7.83	0.25	0.7
		Хвосты флотации (отвал)	92.1	0.30	9.1
		∑Отходы технол. схемы	99.93	0.296	9.8
		Руда по балансу	**100**	**3.03**	**100**
Комбинированная схема: Гравитация – цианирование концентрата гравитации (рис. 8)	85% <0.075мм	Au раствор CN^-	**0.80**	**291.7**	**94.5**
		Хвосты цианирования (отвал)	60.92	0.06	1.5
		Хвосты гравитации (отвал)	38.28	0.26	4.0
		∑Отходы технол. схемы	99.20	0.137	5.5
		Руда по балансу	**100**	**2.47**	**100**

В итоге отметим, что результаты рассматриваемых исследований свидетельствуют о принципиальной технологической (металлургической) возможности рентабельной отработки руд зоны окисления Дагкесаманского месторождения при среднем содержании золота в них 2.0-2.5 г/т. Данный фактор, а также современная весьма высокая стоимость золота позволяют, по нашему мнению, пересчитать кондиции и значительно увеличить запасы этого металла месторождения по сравнению с ранее утвержденными (1975 г., 3.8 тонн) при среднем содержании данного металла – 5.3 г/т. В этой связи отмеченные выше результаты геолого-экономических исследований НИИМР Национальной Геологоразведочной Службы (Şirinov, Hüseynov, 2015), указывающие на возможность увеличения запасов золота рассматриваемого месторождения почти в 10 раз за счет переоценки соответствующих кондиций, представляется вполне реальными.

ЛИТЕРАТУРА

Абдуллаев Ф.Ш., Казимов К.Г., Рамазанов Ю.А. Отчет о результатах поисковых работ и предварительной разведки Дагкесаманского золото-полиметаллического месторождения за 1966-1974гг. ГИА Фонды МЭПР Азербайджана, Баку, 1975, 123 с.

Акмаева С.С. и др. Минералого-технологическое исследование пробы Дагкесаманского месторождения. Отчет Армниипроцветмета (Ереван), ГИА Фонды МЭПР Азербайджана, Баку,1979, 49 с.

Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. Недра. Москва, 1989, 302 с.

Филиппова Н.Ф. Фазовый анализ руд цветных металлов и продуктов их переработки. Металлургиздат. Москва, 1963, 212 с.

Şirinov Y.R., Hüseynov Q.S. Filiz yataqların ehtiyatlarının hesablanması və ekspert qiymətləndirilməsi üçün elmi-metodik əsasların hazırlanması. MXETİ-un hesabatı, DİAF Azərbaycanın ETSN, Bakı, 2015, 144 c.

REFERENCES

Abdullayev F.Sh., Kazimov K.G., Ramazanov Yu.A. Report on the results of prospecting and preliminary exploration of the Dagkesaman gold-polymetallic deposit for 1966-1974. GIA Funds of the MENR of Azerbaijan, Baku, 1975, 123 p. (in Russian).

Akmayeva S.S. et al. Mineralogical and technological research of a sample from the Dagkesaman field. Report Armniiprotsvetmet (Yerevan), GIA Funds of the MENR of Azerbaijan, Baku,1979, 49 p. (in Russian).

Filippova N.F. Phase analysis of non-ferrous metals ores and refinery products. Metallurgizdat. Moscow, 1963, 212 p. (in Russian).

Shirinov Y.R., Huseynov G.S. The preparation of scientific and methodological basis for calculation and expert assessment of ore bed reserves. Report of Scientific Research Institute of Mineral Resources. GIA Funds of the MENR of Azerbaijan, Baku, 2015, 144 p. (in Azerbaijani).

Zelenov V.I. Research methodology for gold and silver ores. Nedra. Moscow, 1989, 302 p. (in Russian).

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ДАГКЕСАМАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КАВКАЗ)

Ахмедов А.З., Китачаев Ш.М., Шибаева А.А., Ахмедов А.М., Алиева Т.М.
Национальная Геологоразведочная Служба МЭПР Азербайджана
AZ1073, Баку, ул. В.Агаева, 100(А): alikahmedov@mail.ru

Резюме. На примере технологической пробы руды (~150 кг), отобранной из руд верхних горизонтов месторождения, детально рассмотрены вещественный состав (химический и минералогический), текстурно-структурные формы связи золота с различными минералами, составляющими руду, состав и степень окисленности рудных минералов, а также технологические (металлургические) особенности этого золоторудного минерального сырья. Основным промышленно ценным компонентом в исследуемой руде является золото, характеризуемое самородной формой. Выявлены и рассмотрены разновидности, а также основные размеры присутствующих частиц самородного золота, значительное количество которых характеризуется мелкими формами (0.005-0.01 мм). Рудные минералы представлены в основном гипергенными формами соединений железа, а рудовмещающие породы характеризуются базальтами порфировой структуры, измененными автометасоматозом. С учетом вещественного состава и выявленных технологических особенностей исследуемого материала руды экспериментально оценены различные технологические (металлургические) методы, осуществляемые в промышленной практике переработки подобного минерального сырья, в том числе: гравитация, флотация и гидрометаллургия (цианирование). В целом золото в исследуемой руде характеризуется относительно лёгкой извлекаемостью названными методами при сравнительно тонкой степени измельчения (80-85% <0.075 мм) материала. По результатам выполненных экспериментов разработан и рекомендован соответствующий режим наиболее эффективной комбинированной технологической схемы. Последняя основана на предварительной гравитации измельчённой до определённой крупности руды в соответствующем гидроциклоне и последующем агитационном способе цианирования полученного чернового гравиоконцентрата. Рекомендуемая технология, подтверждённая соответствующими лабораторными экспериментами, обеспечивает возможность выделения из руды в выщелачивающий раствор до 94,5% золота для последующего его использования в производстве слитков сплава Доре.

Ключевые слова: *Малый Кавказ, Дагкесаман, золото, руда, вещественный состав, технология переработки, гравитация, флотация, гидрометаллургия, цианирование*

DAĞKƏSƏMƏN QIZILLI FİLİZ YATAĞI FİLİZLƏRİNİN MADDİ TƏRKİBİ VƏ TEXNOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ (KİÇİK QAFQAZ)

Əhmədov Ə.Z., Kitaçayev Ş.M., Şibayeva A.A., Əhmədov Ə.M., Əliyeva T.M.
Azərbaycan ETSN Milli Geoloji Kəşfiyyat Xidməti
AZ 1073, Bakı şəh., B.Ağayev küç., 100(A:) alikahmedov@mail.ru

Xülasə. Məqalədə yatağın üst horizontlarını təmsil edən filizlərdən götürülmüş texnoloji filiz sınağının (çəkisi 150 kq) dəqiq maddi tərkibi (kimyəvi və mineraloji), qızılın müxtəlif minerallarla tekstur-struktur əlaqəsi, filiz minerallarının oksidləşmə dərəcəsi və müxtəlif texnoloji (metallurji) əlamətləri bu qızıllı mineral xammal üçün aparılmış təcrübələrlə təqdim edilir. Tədqiq edilən filizdə əsas sənaye dəyərli komponent sərbəst formada olan qızıldır. Sərbəst qızıl dənələrinin növləri və əsas ölçüləri təyin edilmiş və nəzərdən keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qızıl dənələrinin əksər hissəsi kiçik formalarla (0.005-0.01mm) təmsil olunur. Filiz mineralları əsasən dəmir birləşmələrinin hipergen formaları ilə, filizdaşıyıcı süxurlar isə avtometasomatoz ilə modifikasiya edilmiş porfir strukturlu bazaltlar ilə xarakterizə olunur. Filiz sınağında aşkar edilmiş mineraloji və texnoloji əlamətləri nəzərə alaraq, onun əldə edilməsi üçün qızıllı mineral xammal sənayesində istifadə olunan zənginləşdirmə (qravitasiya, flotasiya) və hidrometallurgiya (sianidlı aşındırma) texnologiyalarının əsas üsulları aparılmış təcrübələrlə araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan filiz nisbətən kiçik ölçü dərəcəsində (80-85% <0,075mm) üyüdülən təqdirdə, qızılın əksər hissəsi nəzərdən keçirilmiş üsullarla asan ayrılır. Aparılmış təcrübələrlə tədqiq olunan filizin emalı üçün ən səmərəli kombinə edilmiş qravitasiya – hidrometallurgiya (sianlaşdırma) üsullarına əsaslanan texnoloji sxem və texnoloji şərait işlənilib hazırlanmışdır. Adlanan texnoloji sxemlə əvvəlcə müəyyən ölçü dərəcəsinə qədər üyüdülmüş filiz müvafiq hidrosiklonla qravitasiya əməliyyatına yönəldilir, sonradan alınmış qaralama qızıllı qravitasiya konsentratın üzərində sianlaşma təşviq (mexaniki qarışdırma) prosesi aparılır. tövsiyə edilən sxem üzrə yerinə yetirilmiş təcrübələrlə çox sadə rejimlə filizin tərkibində olan qızılın 94,5 %-nin birbaşa aşındırıcı məhlula ayrılmasını təmin edir. Alınmış məhlul sənayedə yaxşı mənimsənilmiş qızıllı Dore xəlitəli külçələrin istehsalında istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: *Kiçik Qafqaz, Dağkəsəmən, qızıl, filiz, maddi tərkib, emal texnologiyası, qravitasiya, flotasiya, hidrometallurgiya, sianlaşdırma*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **2 / 2019**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

DYNAMIC TRIGGERING OF MUD VOLCANOS IN AZERBAIJAN BY CASPIAN EARTHQUAKES

Babayev G.[1], Kadirov F.[1], Tibaldi A.[2], Bonali F.[2], Aliyev Y.[1]

[1]Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H. Javid Ave., Baku, AZ1143, Azerbaijan: babayev74@gmail.com
[2] University of Milan Bicocca,
4, Piazza della Scienza, Milan, 20126, Italy

Keywords: *earthquake, triggering mechanism, mud volcano, dynamic stress, Azerbaijan*

Summary. There are several viewpoints about the relationship of mud volcano eruptions with earthquakes, or earthquake occurrences with mud volcano eruptions. This paper demonstrates evaluation of dynamic strains triggered by Caspian earthquakes which occurred on the 25th of November, 2000, south of Baku city with M_w 6.1 and 6.2. Consequently, we researched the relationship between seismic regime and mud volcano eruptions in Azerbaijan located in Shamakhi-Gobustan-Absheron. We investigated over 30 mud volcanoes with over 100 km distance from near epicentres of Caspian earthquakes in terms of time within five years before and after Caspian earthquakes in 2000. As a result of computation, dynamic strain demonstrates that all the volcanoes in the study area are affected mostly by Caspian earthquake-induced transient strain. A larger number of mud eruptions occurred at a distance greater than 50-60 km from the 2000 Caspian epicentres. Mud volcanoes were erupted within 2-3 years at the range of 40 and 110 km from the epicentres. After three years from earthquake occurrence in Caspian Sea, mud volcanoes were erupted at the distance more than 70 km. The largest number of eruptions occurred within two years from the earthquakes, in particular the highest frequency is within six months. In particular, several eruptions occurred within 8 months from the shock, after this period the number of eruption for months is more scattered and discontinuous The comparison made us conclude that dynamic stresses are predominantly interlinked with triggering demonstrating higher magnitude, and consequently eruptions are favored up to 1-2 years following the earthquakes.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The relationship between mud volcano eruptions and earthquake occurrences has been studied for years. Researches demonstrate that mud volcanoes erupt quickly or periodically after earthquakes occur with the epicenters locating closely (Manga et al., 2009). Many studies were done researching the triggering mechanism of magma eruptions by earthquake (Linde and Sacks, 1998; Nostro et al., 1998; Walter and Amelung, 2007; Eggert and Walter, 2009; Walter et al., 2009; Watt et al., 2009; Bonali et al., 2013) and this effect was observed also in terms of mud volcanos in recent years (Mellors et al., 2007).

Azerbaijan is well-known worldwide with 190 mud volcanoes on land, a few tens of kilometers from the capital Baku, and other 150 offshore in the Caspian Sea (Guliyev and Feyzullayev, 1997; Kadirov, Mukhtarov, 2004; Aliyev et.al., 2009; Feyzullayev, 2012; Babayev et.al., 2014; Aliyev et. al., 2015). Azerbaijan mud volcanoes are preserved as natural phenomenon in line with representing a threat to the infrastructure in Baku, small villages nearby Baku city, roads, critical objects (e.g., pipelines) and buildings. Mud volcanoes have been considered to be linked to the ongoing tectonics for what concerns both fault activity which may guide the rate of mud extrusion (Kopf, 2008) and the state of stress that dictates the volcano shape and vent distribution (Bonini and Mazzarini, 2010; Bonini, 2012). Theoretically mud volcanoes are mostly located in compressional belts, have several morphological and structural similarities with lava volcanoes and thus represent a good proxy to analyze the feeding systems under contractional tectonics (Guliyev and Feyzullayev, 1997; Kadirov, Mukhtarov,

2004; Aliyev et.al., 2009; Feyzullayev, 2012; Babayev et.al., 2014; Aliyev et. al., 2015). For all these reasons the study of the relationships between tectonics and mud volcanism is an important recent task of research and more work is still necessary to unravel the complex picture (Tibaldi, 2008; Tibaldi et al., 2010).

The principal aim of the present study was to research the relationship between seismic regime and mud volcano eruptions in Azerbaijan located in Shamakhi-Gobustan-Absheron, following two earthquakes with M_w 6.1 and 6.2 occurred in the Caspian Sea on November 25, 2000, south of Baku city (Fig. 1). For that we applied the influential mechanism of dynamic strain changes triggered by those Caspian earthquakes on the activity of volcanos close to the earthquake epicenters.

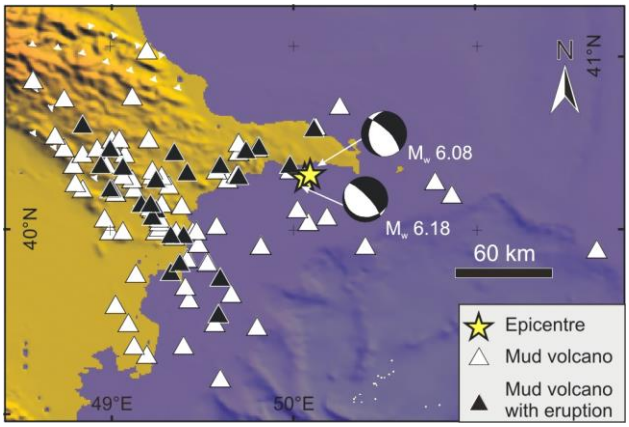


Fig. 1. Study area with distribution of mud volcanoes and location of the studied earthquakes of November 25, 2000

Seismicity

The study area Shamakhi-Gobustan-Absheron is close to the epicentres of Caspian earthquakes. Greater and Lesser Caucasus is the main orogen (Alizadeh et. al., 2017) of the Azerbaijan earthquake-prone country. Azerbaijan itself is situated in the active continent collision of the Arabian-Eurasian plates and involved in dynamics of lithospheric structural units of those plates. The Arabian-Eurasian collision continues to be accommodated by lithospheric shortening and lateral displacement of lithosphere out of the collision zone along the right-lateral strike-slip faults (Reilinger et. al., 2006; Kadirov et. al., 2012; Alizadeh et. al., 2017). These regional tectonic processes give rise to earthquakes that have devastated the Caucasus region (Babayev et.al., 2014). Since earthquakes result from stress concentrations at zones of weakness, one approach to advance the level of hazard assessment is to perform geodynamic numerical models to compute stress concentrations within the crust.The ongoing regional tectonic processes and lithosphere deformations produced earthquakes that have devastated the Caucasus region also during recent historic times (e.g. the 1902 Shamakhi earthquake; Veber, 1904). The Absheron peninsula together with its offshore part (the Azerbaijan sector of the Caspian Sea) is located in the south-eastern extremity of the Greater Caucasus, where the orogenic active processes still occur (Babayev et.al., 2014). Earthquakes in the region migrate along the Alpine-Himalayan seismic belt (Ismail-Zadeh, 1996) and are associated with the fault zones located in the Absheron peninsula (Fig. 1). Whereas the Gobustan zone can be considered even aseismic based on the available data, the Absheron peninsula is affected by low-magnitude but frequent earthquakes (Telesca et. al., 2012). The larger potential threat to the Absheron peninsula comes from the earthquakes originating under the Caspian Sea. The Caspian Sea in fact is another seismically-active zone of Azerbaijan; the seismicity is mostly crustal (depths typically <30 km), although events as deep as 80 km have been reported and may represent incipient subduction across the mid-Caspian (Jackson et al., 2002). November 25, 2000 earthquakes of M_w 6.2 band 6.081, which occurred in the Caspian Sea close to Baku city (Fig. 1), were characterized by focal depths of 40 and 33 km respectively (Jackson et al., 2002).

Eruptions following the November 25, 2000 earthquakes

After the two earthquakes of 2000, 33 eruptions occurred at 24 different mud volcanoes within a maximum distance of 108 km from the epicentres (Fig. 2).

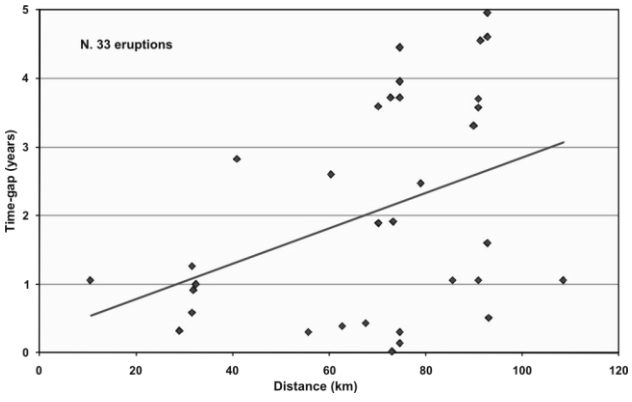


Fig. 2. Eruptions occurred in the five years following the studied earthquakes: time-gap versus averaged distance from the 2000 earthquake epicentres

A larger number of mud eruptions occurred at a distance greater than 50-60 km from the epicentres (Fig. 3A). The largest number of eruptions occurred within two years from the earthquakes, in particular the highest frequency is within six months (Fig. 3B).

It is also possible to see that 6 eruptions occurred within 1.5 year from the earthquake at a distance <40 km (Fig. 2). Eruptions within 2-3 years occurred at a distance between 40 and 110 km from the epicentres, on the contrary eruptions after 3 years occurred only at a distance greater than 70 km (Babayev et al., 2014). In particular, several eruptions occurred within 8 months from the shock, after this period the number of eruption for months is more scattered and discontinuous (Fig. 4).

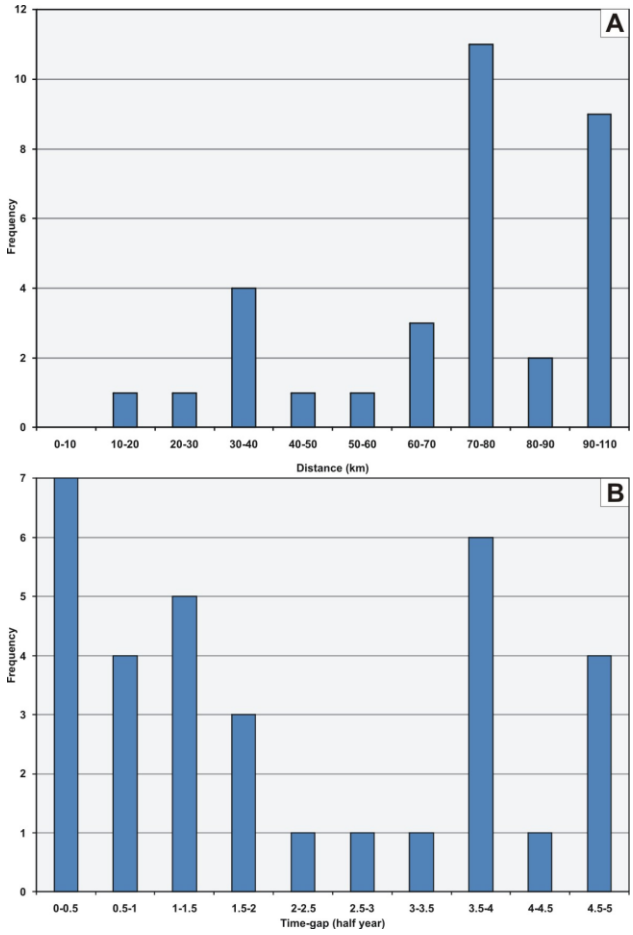


Fig. 3. Frequency of eruptions occurred in the five years following the studied earthquakes plotted versus (A) distance from the epicentres and (B) time-gap. The data have been classified in 10 classes

Method for dynamic strain

An earthquake generates also dynamic perturbations (Hill et al., 2002; Manga and Brodsky, 2006). Seismic waves travel at great distances without losing much of their energy (Hill et al., 2002) and dynamic stress change decreases more slowly than static stress change (Hill and Prejean, 2007). We estimated the peak transient strain applying the formula $\varepsilon = PGV / V_s$, where ε is strain amplitude and V_s is the shear wave velocity (Manga et al., 2009) assumed equal to 2500 m/s (Kanno et al., 2006) and PGV is the Peak Ground Velocity, although we are aware of some uncertainty of this method because it does not account for the earthquake focal mechanism (Babayev et al., 2014) or the effect of directivity and approximates rupture location by the hypocenter (Manga et al., 2009).

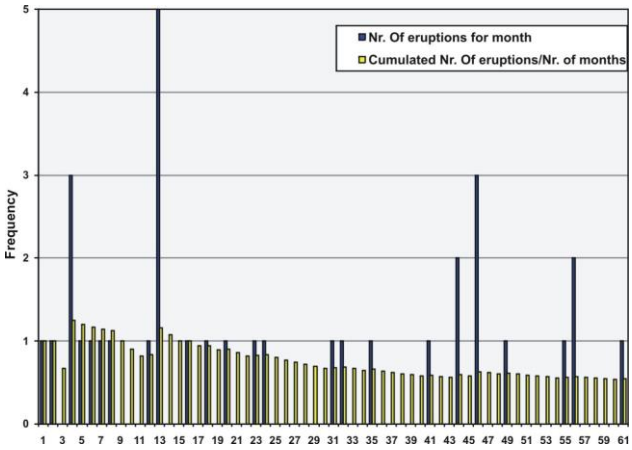


Fig. 4. Eruptions occurred in the five years following the studied earthquakes: it is reported the number of eruptions per month (blue) and the cumulative number per month/number of months (yellow)

The PGV values for the studied mud volcano region have been estimated using the relationship between moment magnitude of the events (M_w6.1 and M_w6.2) and the epicentral distance R (in km). The equation by Akkar and Bommer (2010) was derived from the data of Europe, Mediterranean and Middle East. The selected equation for PGV is well-suited for our study area with soft to hard bedrocks, typical for the site conditions of the Shamakhi-Gobustan-Absheron region of Azerbaijan (Babayev et. al., 2010). Using the PGV values at bedrock as the seismic input motion parameters, all dynamic parameters of both subsurface soil and the surface PGA (Peak Ground Acceleration) can be determined (Babayev et al., 2010). Site effects, detailed surface geology, the amplification factor and the seismic response of subsurface soils have been analyzed to illustrate the influence of the site-effects terms and determine the surface motion velocity for the mud volcanoes in the study area (Babayev et al., 2014).

Results

Computation of dynamic strain demonstrates that all the volcanoes in the researched area are affected by Caspian earthquake-induced transient strain (Fig. 5). The magnitude of dynamic effects decreases with distance from the epicenters (Fig. 5A), while the time-gap increases with a decrease in earthquake-induced dynamic strains (Fig. 5B).

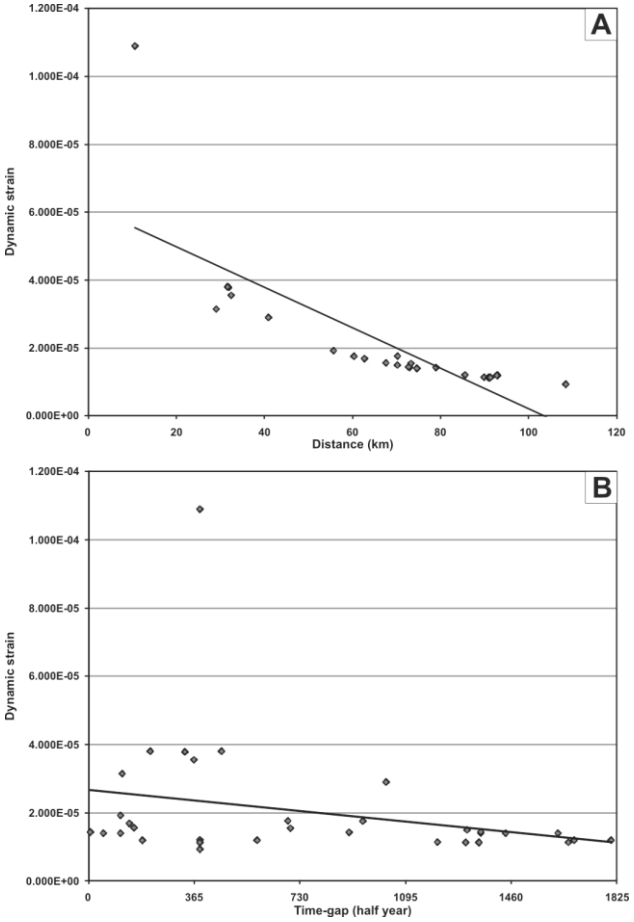


Fig. 5. Cumulated dynamic strain demonstrating the dependency of the distance from the epicentres (a) and the time delay (b). The dots represent mud volcanoes in the study area

Discussion

Theoretically dynamic stress changes also decrease more slowly with distance making them a more effective triggering agent at long distances (Mellors et al., 2007). Mud volcanoes are commonly thought to be sourced from deep, highly overpressured shales (e.g., diapirs), liquefaction of clays, or shallow overpressured gas, hydrate, or water-rich sequences (Brown, 1990; Galli, 2000; Kopf, 2002). A trigger effect is the final step that precedes the manifestation or the initiation of an eruption (Mazzini et al., 2009). Based on our results, in the 5 years following the two 2000 Azerbaijan earthquakes, 33 eruptions occurred at a maximum distance of about 108 km from these seismic events. The first eruption occurred after 6 days and 19 eruptions occurred within 2 years (Babayev et al., 2014). Out of 33 mud volcano eruptions researching in the current study 26 mud volcanoes are implied to be dynamically-triggered by Caspian earthquakes, and the rest seven eruptions are triggered not only by dynamic stress change.

Conclusion

In conclusion it can be stated that after two earthquakes of 2000, 33 eruptions occurred at 24 different mud volcanoes within a maximum distance of over 100 km from the epicentres, while a significant number of mud eruptions occurred at a distance larger than 50-60 km from the epicentres. In addition, the largest number of eruptions occurred within two years from the earthquakes, in particular within six months. After this period the number of eruption for months is scattered and discontinuous, although a large number of eruptions occurred 13 months after the earthquake. Dynamic strain is observed in all researched eruptions. Besides, the analysis of the research revealed that the eruption was intensified within five years after the Caspian earthquake occurrences in 2000. This time delay might happen due to the complexity and various mechanisms that are manifested in the substratum at the plumbing system in the mud volcano.

REFERENCES

Akkar S., Bommer J. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East. Seismological Research Letters, V. 81, No. 2, 2010, pp. 195-206.

Aliyev A., Guliyev I., Dadashov F., Rahmanov R. Atlas of the world mud volcanoes. Nafta-Press. Sandro Teti Editor. 2015, 322 p.

Aliyev A.A., Guliyev I.S., Rakhmanov R.R. Catalogue of mud volcano eruptions of Azerbaijan (1810-2001 yrs). Nafta-Press. 2009, 110 p.

Alizadeh A., Guliyev I., Kadirov F., Eppelbaum L. Geosciences of Azerbaijan. Volume II: Economic geology and applied geophysics. Springer International Publishing. Switzerland, 2017, 348 p. DOI: 10.1007/978-3-319-40493-6.

Babayev G., Ismail-Zadeh A., Le Moüel J.-L. Scenario-based earthquake hazard and risk assessment for Baku (Azerbaijan). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., V. 10, 2010, pp. 2697-2712.

Babayev G., Tibaldi A., Bonali F., Kadirov F. Evaluation of earthquake-induced strain in promoting mud eruptions: the

ЛИТЕРАТУРА

Akkar S., Bommer J. Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East. Seismological Research Letters, V. 81, No. 2, 2010, pp. 195-206.

Aliyev A., Guliyev I., Dadashov F., Rahmanov R. Atlas of the world mud volcanoes. Nafta-Press. Sandro Teti Editor. 2015, 322 p.

Aliyev A.A., Guliyev I.S., Rakhmanov R.R. Catalogue of mud volcano eruptions of Azerbaijan (1810-2001 yrs). Nafta-Press. 2009, 110 p.

Alizadeh A., Guliyev I., Kadirov F., Eppelbaum L. Geosciences of Azerbaijan. Volume II: Economic geology and applied geophysics. Springer International Publishing. Switzerland, 2017, 348 p. DOI: 10.1007/978-3-319-40493-6.

Babayev G., Ismail-Zadeh A., Le Moüel J.-L. Scenario-based earthquake hazard and risk assessment for Baku (Azerbaijan). Nat. Hazards Earth Syst. Sci., V. 10, 2010, pp. 2697-2712.

Babayev G., Tibaldi A., Bonali F., Kadirov F. Evaluation of earthquake-induced strain in promoting mud eruptions: the

case of Shamakhi-Gobustan-Absheron areas, Azerbaijan. Natural hazards, V. 72, No. 2, 2014, pp. 789-808.

Bonali F.L., Tibaldi A., Corazzato C., Tormey D.R., Lara L.E. Quantifying the effect of large earthquakes in promoting eruptions due to stress changes on magma pathway: The Chile case. Tectonophysics, V. 583, 2013, pp. 54-67.

Bonini M. Mud volcanoes: Indicators of stress orientation and tectonic controls. Earth-Science Reviews, V. 115, No. 3, 2012, pp. 121-152.

Bonini M., Mazzarini F. Mud volcanoes as potential indicators of regional stress and pressurized layer depth. Tectonophysics, V. 494, 2010, pp. 32-47.

Brown K.M. The nature and hydrogeologic significance of mud diapirs and diatremes for accretionary systems. Journal of Geophysical Research, V. 95, No. B6, 1990, pp. 8969-8982.

Eggert S., Walter T.R. Volcanic activity before and after large tectonic earthquakes: Observations and statistical significance. Tectonophysics, V. 471, No.1-2, 2009, pp. 14-26, DOI:10.1016/j.tecto.2008.10.003.

Feyzullayev A.A. Mud volcanoes in the South Caspian basin: Nature and estimated depth of its products. Natural Science, V. 4, No. 7, 2012, pp. 445-453, DOI:10.4236/ns.2012.4706.

Galli P. New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction: Tectonophysics, V. 324, No. 3, 2000, pp. 169-187.

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A. All about mud volcanoes. Nafta Press. Baku, 1997, 52 p.

Hill D.P., Pollitz F., Newhall C. Earthquake-volcano interactions. Physics Today, V. 55, No. 11, 2002, pp. 41-47.

Hill D.P., Prejean S. Dynamic triggering. In: Earthquake Seismology (ed. H.Kanamori), V. 4, 2007, pp. 258-288. Treatise on Geophysics (ed. in chief G.Schubert), Elsevier. Amsterdam.

Ismail-Zadeh A. Migration of seismic activity in the Caspian Sea. In: Computational seismology and geodynamics (ed. Chowdhury D.K.). V. 3. American Geophysical Union, Washington D.C. 1996, pp. 125-129.

Jackson J., Priestley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin. Geophys. J. Int., V. 148, No. 2, 2002, pp. 214-245.

Kadirov F.A., Mukhtarov A.Sh. Deep structure and dynamics of the Lokbatan mud volcano. Izvestiya, Physics of the Solid Earth (Fizika zemli), V. 40, No. 4, 2004, pp. 327-333.

Kadirov F.A., Floyd M.A., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R.E., Kuleli S., King R.W., Toksoz M.N. Kinematics of the Caucasus near Baku, Azerbaijan, J. Nat. Hazards, V. 63, 2012, pp. 997-1006, DOI: 10.1007/s11069-012-0199-0.

Kanno T., Narita A., Morikawa N., Fujiwara H., Fukushima Y. A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data. Bulletin of the Seismological Society of America, V. 96, No. 3, 2006, pp. 879-897.

Kopf A.J. Significance of mud volcanism. Reviews of Geophysics, V. 40, No. 2, 2002, pp. 2.1-2.52, DOI: 10.1029/2000RG000093.

Kopf A.J. Making calderas from mud. Nature Geoscience, V. 1, 2008, pp. 500-501.

Linde A.T., Sacks I.S. Triggering of volcanic eruptions. Nature, V. 395, 1998, pp. 888-890.

Manga M., Brumm M., Rudolph M.L. Earthquake triggering of mud volcanoes. Marine and Petroleum Geology, V. 26, No. 9, 2009, pp. 1785-1798.

Manga M., Brodsky E. Seismic triggering of eruptions in the far field: Volcanoes and geysers: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, V. 34, No. 1, 2006, pp. 263-291, DOI: 10.1146/annurev.earth.34.031405.125125.

Mazzini A., Nermoen A., Krotkiewski M., Podladchikov Y., Planke S., Svensen H. Strike-slip faulting as a trigger mechanism for overpressure release through piercement structures. Implications for the Lusi mud volcano, Indo-

case of Shamakhi-Gobustan-Absheron areas, Azerbaijan. Natural hazards, V. 72, No.2, 2014, pp. 789-808.

Bonali F.L., Tibaldi A., Corazzato C., Tormey D.R., Lara L.E. Quantifying the effect of large earthquakes in promoting eruptions due to stress changes on magma pathway: The Chile case. Tectonophysics, V. 583, 2013, pp. 54-67.

Bonini M. Mud volcanoes: Indicators of stress orientation and tectonic controls. Earth-Science Reviews, V. 115, No. 3, 2012, pp. 121-152.

Bonini M., Mazzarini F. Mud volcanoes as potential indicators of regional stress and pressurized layer depth. Tectonophysics, V. 494, 2010, pp. 32-47.

Brown K.M. The nature and hydrogeologic significance of mud diapirs and diatremes for accretionary systems. Journal of Geophysical Research, V. 95, No. B6, 1990, pp. 8969-8982.

Eggert S., Walter T.R. Volcanic activity before and after large tectonic earthquakes: Observations and statistical significance. Tectonophysics, V. 471, No.1-2, 2009, pp. 14-26, DOI:10.1016/j.tecto.2008.10.003.

Feyzullayev A.A. Mud volcanoes in the South Caspian basin: Nature and estimated depth of its products. Natural Science, V. 4, No. 7, 2012, pp. 445-453, DOI:10.4236/ns.2012.4706.

Galli P. New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction: Tectonophysics, V. 324, No. 3, 2000, pp. 169-187.

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A. All about mud volcanoes. Nafta Press. Baku, 1997, 52 p.

Hill D.P., Pollitz F., Newhall C. Earthquake-volcano interactions. Physics Today, V. 55, No. 11, 2002, pp. 41-47.

Hill D.P., Prejean S. Dynamic triggering. In: Earthquake Seismology (ed. H.Kanamori), V. 4, 2007, pp. 258-288. Treatise on Geophysics (ed. in chief G.Schubert), Elsevier. Amsterdam.

Ismail-Zadeh A. Migration of seismic activity in the Caspian Sea. In: Computational seismology and geodynamics (ed. Chowdhury D.K.). V. 3. American Geophysical Union, Washington D.C. 1996, pp. 125-129.

Jackson J., Priestley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin. Geophys. J. Int., V. 148, No. 2, 2002, pp. 214-245.

Kadirov F.A., Mukhtarov A.Sh. Deep structure and dynamics of the Lokbatan mud volcano. Izvestiya, Physics of the Solid Earth (Fizika zemli), V. 40, No. 4, 2004, pp. 327-333.

Kadirov F.A., Floyd M.A., Alizadeh A., Guliev I., Reilinger R.E., Kuleli S., King R.W., Toksoz M.N. Kinematics of the Caucasus near Baku, Azerbaijan, J. Nat. Hazards, V. 63, 2012, pp. 997-1006, DOI: 10.1007/s11069-012-0199-0.

Kanno T., Narita A., Morikawa N., Fujiwara H., Fukushima Y. A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data. Bulletin of the Seismological Society of America, V. 96, No. 3, 2006, pp. 879-897.

Kopf A.J. Significance of mud volcanism. Reviews of Geophysics, V. 40, No. 2, 2002, pp. 2.1-2.52, DOI: 10.1029/2000RG000093.

Kopf A.J. Making calderas from mud. Nature Geoscience, V. 1, 2008, pp. 500-501.

Linde A.T., Sacks I.S. Triggering of volcanic eruptions. Nature, V. 395, 1998, pp. 888-890.

Manga M., Brumm M., Rudolph M.L. Earthquake triggering of mud volcanoes. Marine and Petroleum Geology, V. 26, No. 9, 2009, pp. 1785-1798.

Manga M., Brodsky E. Seismic triggering of eruptions in the far field: Volcanoes and geysers: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, V. 34, No. 1, 2006, pp. 263-291, DOI: 10.1146/annurev.earth.34.031405.125125.

Mazzini A., Nermoen A., Krotkiewski M., Podladchikov Y., Planke S., Svensen H. Strike-slip faulting as a trigger mechanism for overpressure release through piercement structures. Implications for the Lusi mud volcano, Indo-

nesia. Marine and Petroleum Geology, V. 26, No. 9, 2009, pp. 1751-1765.
Mellors R., Kilb D., Aliyev A., Gasanov G., Yetirmishli G. Correlations between earthquakes and large mud volcano eruptions: Journal of Geophysical Research, V. 112, No. B04304, 2007, DOI: 10.1029/2006JB00448.
Nostro C., Stein R.S., Cocco M., Belardinelli M.E., Marzocchi W. Two-way coupling between Vesuvius eruptions and southern Apennine earthquakes, Italy, by elastic stress transfer. Journal of Geophysical Research, V. 103, No. B10, 1998, pp. 24,487-24,504.
Reilinger R.E., McClusky S.C., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanian R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Arrajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmirotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, V. 111, No. B5, 2006, DOI: 10.1029/2005JB004051.
Telesca L., Babayev G., Kadirov F. Temporal clustering of the seismicity of the Absheron-Prebalkhan region in the Caspian Sea area. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., V. 12, No. 11, 2012, pp. 3279-3285, DOI:10.5194/nhess-12-3279-2012.
Tibaldi A. Contractional tectonics and magma paths in volcanoes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, V. 176, No. 2, 2008, pp. 291-301.
Tibaldi A., Pasquarè F.A., Tormey D. Volcanism in reverse and strike-slip fault settings. In: New Frontiers in Integrated Solid Earth Sciences (ed. S. Cloetingh, J. Negendank), Springer-Verlag. 2010, pp. 315-348, DOI: 10.1007/978-90-481-2737-5.
Veber M.V. Recherches preliminaries sur le tremblement de terre a Chamakha, Comptes Rendue des Seances, Tome I, Academie Imperiale des Sciences, St.-Petersbourg, 1904, pp. 238-241.
Walter T.R., Amelung F. Volcanic eruptions following M≥9 megathrust earthquakes: Implications for the Sumatra-Andaman volcanoes. Geology, V. 35, No. 6, 2007, pp. 539-542.
Walter T.R., Wang R, Acocella V., Neri M., Grosser H., Zschau J. Simultaneous magma and gas eruptions at three volcanoes in southern Italy: An earthquake trigger? Geology, V. 37, No. 3, 2009, pp. 251-254.
Watt S.F.L., Pyle D.M., Mather T.A. The influence of great earthquakes on volcanic eruption rate along the Chilean subduction zone. Earth Planetary Science Letters, V. 277, No. 3-4, 2009, pp. 399-407.

nesia. Marine and Petroleum Geology, V. 26, No. 9, 2009, pp. 1751-1765.
Mellors R., Kilb D., Aliyev A., Gasanov G., Yetirmishli G. Correlations between earthquakes and large mud volcano eruptions: Journal of Geophysical Research, V. 112, No. B04304, 2007, DOI: 10.1029/2006JB00448.
Nostro C., Stein R.S., Cocco M., Belardinelli M.E., Marzocchi W. Two-way coupling between Vesuvius eruptions and southern Apennine earthquakes, Italy, by elastic stress transfer. Journal of Geophysical Research, V. 103, No. B10, 1998, pp. 24,487-24,504.
Reilinger R.E., McClusky S.C., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanian R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., Arrajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmirotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, V. 111, No. B5, 2006, DOI: 10.1029/2005JB004051.
Telesca, L. Babayev, G. Kadirov F. Temporal clustering of the seismicity of the Absheron-Prebalkhan region in the Caspian Sea area. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., V. 12, No. 11, 2012, pp. 3279-3285, DOI:10.5194/nhess-12-3279-2012.
Tibaldi A. Contractional tectonics and magma paths in volcanoes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, V. 176, No. 2, 2008, pp. 291-301.
Tibaldi A., Pasquarè F.A., Tormey D. Volcanism in reverse and strike-slip fault settings. In: New Frontiers in Integrated Solid Earth Sciences (ed. S. Cloetingh, J. Negendank), Springer-Verlag. 2010, pp. 315-348, DOI: 10.1007/978-90-481-2737-5.
Veber M.V. Recherches preliminaries sur le tremblement de terre a Chamakha, Comptes Rendue des Seances, Tome I, Academie Imperiale des Sciences, St.-Petersbourg, 1904, pp. 238-241.
Walter T.R., Amelung F. Volcanic eruptions following M≥9 megathrust earthquakes: Implications for the Sumatra-Andaman volcanoes. Geology, V. 35, No. 6, 2007, pp. 539-542.
Walter T.R., Wang R, Acocella V., Neri M., Grosser H., Zschau J. Simultaneous magma and gas eruptions at three volcanoes in southern Italy: An earthquake trigger? Geology, V. 37, No. 3, 2009, pp. 251-254.
Watt S.F.L., Pyle D.M., Mather T.A. The influence of great earthquakes on volcanic eruption rate along the Chilean subduction zone. Earth Planetary Science Letters, V. 277, No. 3-4, 2009, pp. 399-407.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ТРИГГЕРНЫЙ ЭФФЕКТ ПРОЯВЛЕНИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ АЗЕРБАЙДЖАНА, ВЫЗВАННЫЙ КАСПИЙСКИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Бабаев Г.[1], Кадиров Ф.[1], Тибальди А.[2], Бонали Ф.[2], Алиев Я.[1]
[1]Институт геологии и геофизики Национальной Академии наук Азербайджана
AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г. Джавида, 119: babayev74@gmail.com
[2]Университет Милан-Бикокка
4, Пиацца делла Сиенза, Милан, 20126, Италия

Резюме. Существует несколько точек зрения о связи извержений грязевых вулканов с землетрясениями или проявлений землетрясений с извержениями грязевых вулканов. Статья посвящена оценке динамических напряжений, вызванных землетрясениями на Каспии, которые произошли 25 ноября 2000 года к югу от города Баку с магнитудами M_w 6.1 и 6.2. Мы исследовали связь между сейсмическим режимом и извержениями грязевых вулканов в Азербайджане, расположенных в зоне Шамахы-Гобустан-Абшерон. Также провели анализ динамики извержения более 30 грязевых вулканов на расстоянии более 100 км от ближних эпицентров Каспийских землетрясений во временном интервале – в течение пяти лет до и после таковых 2000 года. Расчеты динамической деформации показывают, что извержения всех вулканов в исследуемой зоне произошли в основном в результате триггерного эффекта Каспийского землетрясения. Большее количество извержений грязевых вулканов произошло на расстоянии более 50-60 км от эпицентров Каспийского землетрясения 2000 года. В течение 2-3 лет грязе-

вые вулканы извергались на расстоянии 40 и 110 км от эпицентров. Через три года после проявления землетрясения на Каспии грязевые вулканы извергались на расстоянии более 70 км. Наибольшее количество извержений произошло в течение двух лет после землетрясения с наибольшей частотой проявления в шесть месяцев. Особенно надо отметить, что несколько извержений произошли в течение 8 месяцев от триггерного эффекта; после этого периода количество извержений в течение ряда месяцев имеет рассеянную и непериодичную частоту. Сравнение позволило сделать вывод, что динамические напряжения преимущественно связаны с триггерным эффектом, создающим условия для проявления событий с более высокой магнитудой, и, следовательно, извержения наблюдаются в течение 1-2 лет после землетрясений.

Ключевые слова: *землетрясение, триггерный эффект, грязевой вулкан, динамическое напряжение, Азербайджан*

XƏZƏR DƏNİZİ ZƏLZƏLƏLƏRDƏN ƏMƏLƏ GƏLƏN AZƏRBAYCANIN PALÇIQ VULKANLARI TƏZAHÜRÜNÜN DİNAMİK TRİGGER EFFEKTİ

Babayev Q.[1], Qədirov F.[1], Tibaldi A.[2], Bonali F.[2], Əliyev Y.[1]
[1]Geologiya və geofizika İnstitutu, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası
AZ1143, Bakı, Azərbaycan, H. Cavid prosp. 119: babayev74@gmail.com
[2]Milan-Bikokka Uuniversiteti
4, Piazza della Scienza, Milan, 20126, İtaliya

Xülasə. Palçıq vulkanlarının püskürməsinin zəlzələ ilə əlaqəsi və ya zəlzələlərin baş verməsinin palçıq vulkanlarının püskürməsi ilə bağlılığı barəsində bir neçə nəzər nöqtəsi mövcuddur. Məqalə, Bakı şəhərinin cənubunda 25 noyabr 2000-ci ildə Xəzər dənizində baş vermiş M_w 6.1 və 6.2 maqnitudalı zəlzələlərin yaratdığı dinamik gərginliyin qiymətləndirilməsinə həsr olunub. Bu baxımdan, seysmik rejimlə Azərbaycanın Şamaxı-Qobustan-Abşeron ərazisində yerləşən palçıq vulkanlarının püskürməsi arasında olan əlaqənin tədqiqatını apardıq. 2000-ci ildə baş vermiş Xəzər zəlzələlərindən əvvəl və sonrakı beş il müddət ərzində həmin zəlzələlərin epimərkəzlərindən 100 km məsafədə olan 30-dan artıq palçıq vulkanının püskürmə dinamikası təhlil olunmuşdu. Dinamik deformasiyaların hesablamaları göstərdi ki, tədqiqat ərazisində olan bütün vulkanların püskürməsi, əsasən, Xəzər zəlzələlərinin trigger effekti nəticəsində baş vermişdi. Palçıq vulkanlarının daha çox püskürməsi 2000-ci il Xəzər zəlzələsin epimərkəzindən 50-60 km-dən artıq məsafədə müşahidə olunub. Palçıq vulkanlar epimərkəzdən 40 və 110 km məsafədə 2-3 il ərzində püskürürdü. Xəzər dənizində baş vermiş zəlzələdən üç il sonra isə, 70 km-dən artıq məsafədə palçıq vulkanlarının püskürməsi qeydə alınmışdı. Ən çox püskürmə zəlzələdən sonra iki il ərzində, ən yüksək tezliklə – altı ay ərzində baş vermişdi. Xüsusilə,geyd etmək lazımdır ki, triger effekti nəticəsində bir neçə püskürmə 8 ay ərzində baş vermişdir, və bu müddətdən sonra püskürmə sayı bir neçə ay ərzində daha dağınıq və qeyri-periodik xüsusiyyət daşıyırdı. Müqayisəli təhlil nəticəsində belə gənaətə gəlmək olar ki, dinamik gərginliklər trigger effekti ilə əlaqədardır. Bu da öz növbəsində seysmik hadisələrin yüksək maqnituda ilə baş verməsi üçün şərait yaradır və püskürmələr zəlzələlərdən sonra 1-2 il ərzində müşahidə edilir.

Açar sözlər*: zəlzələ, trigger effekti, palçıq vulkan, dinamik gərginlik, Azərbaycan*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **2 / 2019**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

THE STOCHASTIC CHARACTER OF DISTRIBUTION OF GRANULOMETRIC CONTENT AND FRACTALITY OF POROUS STRUCTURE IN OIL RESERVOIRS

Gurbanov V.Sh.[1], Hasanov A.B.[2], Abbasova G.G.[2]

[1]Institute of Oil and Gas, Azerbaijan National Academy of Science
9, F.Amirov str., Baku, Azerbaijan, AZ1000,
[2]Azerbaijan State Oil and Industry University
35, Azadlig ave., Baku, AZ1010, Azerbaijan: adalathasanov@yahoo.com

Keywords: *intergranular porosity, terrigenous reservoirs, grain packing, fractality index, particle size analysis, dominant fractions*

Summary. It is known that main oil reservoirs are allocated in terrigenous sedimentary rocks representing a structured matrix with texturally organized pore space. In turn, the typical structured matrix is composed of mineral grains of various sizes that look like chaotic systems. This paper describes detailed analytical review of cores grain-size analysis results from wells of one of the well-known oil deposits in Azerbaijan. The studies covered the most typical for the region productive reservoirs containing pelitic, aleuritic, fine-grained sand and medium-grained sand fractions. Results of fractions content variation depending on depth are presented in the form of circular diagrams of porosity changes according to the fractional composition and mechanical compaction of sediments. The calculation of the pairwise correlation coefficient between the fractions and the parameters averaging the particle size distribution and reflecting the sorting of the rocks showed that they are independent and unrelated by any functions. At the same time, the influence of individual fractions, and most importantly their ratio on the value of intergranular porosity, is not equal. Detailing of the modeling process of multimodal distribution has shown that the use of fractal concepts is more efficient in this issue. To assess reservoir characteristics of the oil rocks, alternatively the dependence between fractality index and oil saturation was calculated.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

In recent years, new views on the formation of oil and gas fields through the migration and accumulation of hydrocarbons in the upper crust have been actively discussed in the scientific literature. Moreover, the determining condition in this process is the structure of the pore space and the presence of deep permeable drainage systems. It is believed that in general the natural potential of the productive capacity of terrigenous reservoirs is largely determined by their intergranular porosity and nature of the grains packing. However in addition the shape of the grains as well as the ratio of the content and various size grains distribution in the rock volume also have a great influence on the porosity of the reservoirs. Attempts to simulate the common effect of influencing factors on the multimodal distribution of intergranular porosity are widely known. In this paper, for comparison with real data, detailed analytical generalizations of the actual results of the particle-size analysis of cores from wells of one of the well-known and long-exploiting oil and gas fields in Azerbaijan are described.

The most typical for the region pelitic, aleuritic, fine-grained sandy and medium-grained sandy fractions were analyzed, and the results of the distribution of fractions were presented in the form of circular diagrams.

Main tasks

The numerous experimental practice in the process of mechanical compaction of porous media usually describes the compaction of sedimentary material on the example of well-sorted sand (Fig. 1). As follows from this figure, at the initial stage of sedimentation (depth 0-2 km) the well-sorted sand remains free, but can still be significantly compacted. In other words compaction of loose sand with an initial porosity of 40-42% at stresses of 20-30 MPa, depending on grain strength and grain size, leads to a decrease in porosity to 35-25%, which corresponds to -3 km of depth (for rocks under ordinary geosta-

tic pressure). Moreover, well-sorted coarse sand is more compressible than fine sand (Lade, 2005; Bjorlykke, 1998). So, when pressure increases with depth the porosity may remain constant due to a decrease in mechanical compaction. At the same time the porosity caused by mechanical compaction can vary greatly, depending on the texture and mineralogical composition. The influence of the latter is estimated by the data of fractional (granulometric) analysis.

At the same time fine-grained matter (with pore sizes up to 0.1 nm) can be described as systems with a fractal structure that corresponds to the stochastic distribution of porosity, capillaries and fracture channels (Marcussen et al., 2009; Mollema, Antonellini, 1996; Muir Wood, 1990; Mondol et al., 2007). The application of fractal concepts in the development of hydrocarbon fields simplifies the analysis of the turbulent motion of liquid and gas in the pore space of reservoirs.

The studies, implemented and described in this articles, devote to clarify regularities of compaction of the pore space of oil reservoirs and determination of presence of correlation between the specific surface area and oil saturation. These studies include an analytical generalizations of data (Romanovsky, 1968) in one of the well-known and long-exploited oil and gas fields of Azerbaijan (Table 1).

At the same time, it is known that the specific surface area of the pore space in terrigenous sediments is determined by the fractional composition of the rock matrix.

Therefore, to calculate the specific surface of productive reservoirs first of all it was necessary to analyze the data of granulometric composition of the core material and establish the degree of influence of individual fractions, including the dominant ones, on the porosity (Fig. 2).

For these purposes the studied samples were divided into four groups according to the names of the rocks: clay-aleuritic sand, clay-sandy siltstones, sandy-clayey siltstones (aleurolite) and clayey sandy loam.

The separation according to the fractional content was conducted according to the grains size (fractions) and included: pelitic fraction (0.01 mm or less), silt (0.055 mm), fine sand (0.175 mm) and medium sand (0.25 mm). Selected gradation of granular sizes of rock-forming grains are quite common in most deposits in the region (Hasanov et al., 2017; Holcomb et al., 2007; Issen, Challa, 2008) and reflected in Fig. 3.

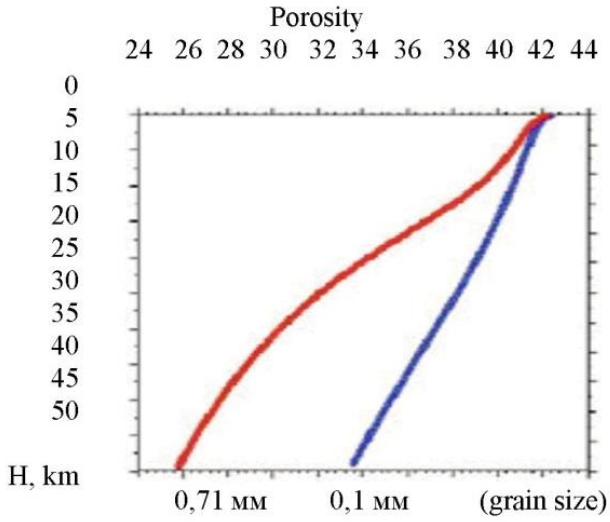


Fig. 1. The process of depth mechanical compaction for well-sorted sand (Levchuk, Bukreeva, 1976)

The results of our studies of the fractions distribution in accordance with the selected groups of rocks in the form of circular diagrams are presented in Fig. 3, which shows that the first group of rocks (clay-aleuritic sands) is dominated by a fraction with a grain size of 0.175 mm. The other two fractions with a grain size of 0.055 and 0.01 mm occupy approximately the same volume, and finally the fraction of coarse grains (0.25 mm) is an insignificant part of the volume and may not be taken into account. Table 2 shows the results of assessments of the effect on the porosity of the studied rocks of both dominant and minor fractions.

Table 1

The average values of fractional composition's data, porosity, specific surface area of the pore space and oil saturation in the studied groups of rocks

Rock's groups (number of tests)	**Fractions, мм %**				**Porosity**	**Specific surface**	**Oil satu-ra-tion**
	0.25	**0.175**	**0.055**	**0.01**			
Clay-aleuritic sands (14)	2.44	54.13	28.01	15.31	25.62	1266	15.2
Clay-sandy siltstones (6)	0.39	27.49	55.54	16.58	25.04	1725	16.74
Sandy-clayey siltstone (3)	0.37	12.43	60.41	26.90	23.07	1851	15.18
Clayey sandy loam (5)	0.68	39.38	43.91	16.59	24.56	1611	17.53

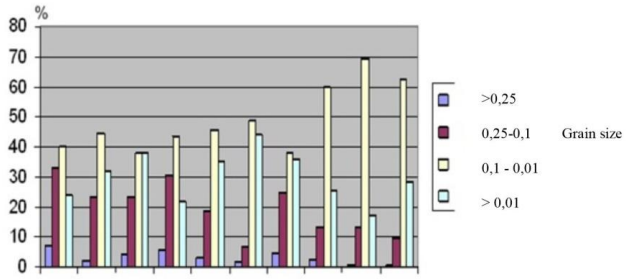


Fig. 2. Variations of the fractional composition of terrigenous reservoirs of some oil and gas deposits in Azerbaijan

As follows from these data, an increase in the content of the dominant fraction (0.175 mm) in the rocks of the first group (clay-aleuritic sands) leads to an increase in porosity, while an increase in the content of the fraction with a grain size of 0.055 mm reduces the porosity of this group of rocks. For the remaining 3 groups of rocks the dominant fraction is a fraction with a grain size of 0.055 mm with a different ratio of fractions of 0.175 and 0.01mm. Here just as in the first group of rocks the fraction of coarse grains (0.25 mm) makes up an insignificant part of the volume and may not be taken into account.

In particular, for the rocks of the clay-aleuritic sands group the influence on the porosity of the dominant fraction (0.055 mm) and fractions with a grain size of 0.175 mm was established. From the data of table 2 it follows that an increase in the content of both, the dominant fraction and the fraction of 0.175 mm, in clay-sandy siltstones leads to an increase in porosity.

In contrast to the group of clay-aleuritic sands in the group of clay-sandy siltstones the effect on the porosity of the dominant fraction (0.055 mm) and the coarser fraction (0.25 mm) are negative. Finally in the last group, in clayey sandy loam sediments the influence on the porosity of the dominant (fine 0.055 mm) and minor fraction (coarser 0.175 mm), as in the group of clay-aleuritic sands, also has the negative character.

Thus, an increase in the content of the fine (dominant – 0.055 mm) fraction in clayey sandy sediments leads to a decrease in porosity, while an increase in the content of the coarser fraction (0.175 mm) increases the porosity of clayey sandy deposits (Table 2).

The established patterns of changes in porosity depending on the fractional composition and mechanical compaction of sediments are very indicative, but at the same time as noted above the porosity can vary greatly, depending on the textural and mineralogical composition of the rocks. This is well illustrated by studies (Levchuk, Bukreeva, 1976; Romanovsky, 1968), in which to identify the dependence of porosity on mechanical compaction, were also used parameters averaging the particle size distribution of the rocks (Md – the grain size of the rocks) and the coefficients reflecting the sortness of the sediments (Ksort, Hr and the maximum content of any fraction Mf). The performed pair correlation between fractions and parameters averaging the particle size distribution and reflecting the sorting of rocks is given in Table 3. As follows from these data the average grain size, on the one hand, and sorting of the rocks, on the other hand, are independent and not related with any functional dependencies. At the same time there is a close correlation relationship between defined indicators (for example, Md).

Naturally in real rocks there is usually present a continuous spectrum of grain sizes, and this leads to a rather complicated scenario where fractal concepts become useful mostly. There are several examples of the application of fractal theory in assessing the reservoir properties of oil-bearing rocks (Zapivalov et al., 2009), one of which is to establish the relationship between the fractality index and oil saturation.

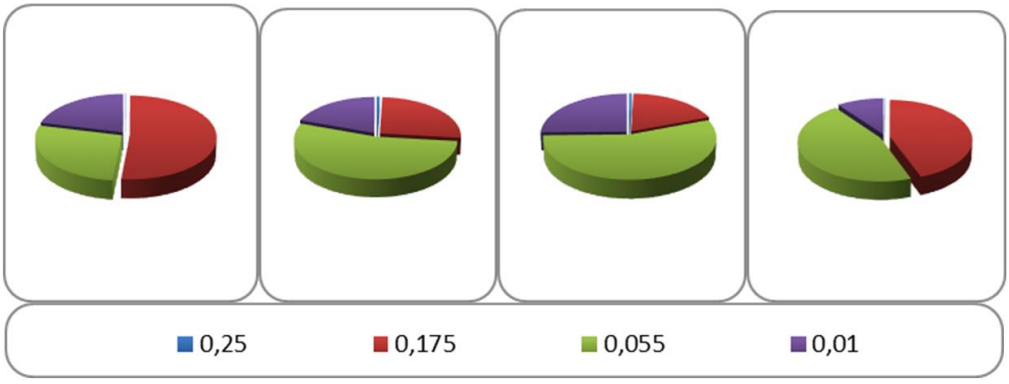
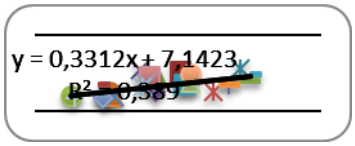
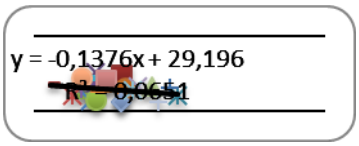
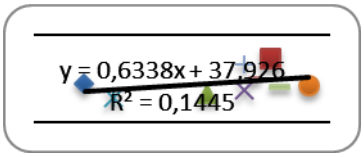
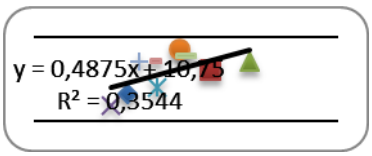
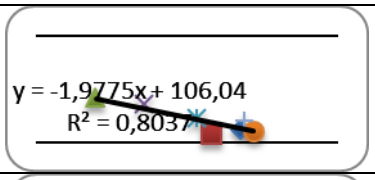
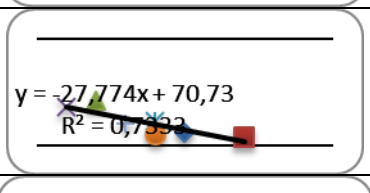
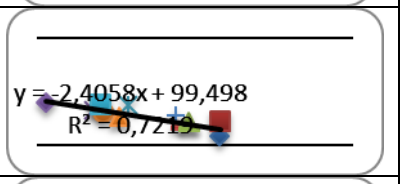
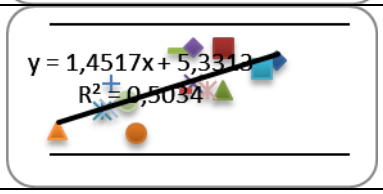


Fig. 3. Distribution of fractions in groups of rocks (from left to right): clay-aleuritic sand, clay-sandy siltstones, sandy-clayey siltstone and clayey sandy loam

Table 2

The effect of fractional content on the porosity in various types of rocks

Rock groups	Size of grains, мм	Dependency of porosity on fractions content	Graf forms of dependency
Clay-aleuritic sands	0.175	Y=0.3312X+7.14	
	0.055	Y=-0.1376X+29.196	
Clay-sandy siltstones	0.055	Y=0.6338X+37.926	
	0.175	Y=0.4875X+10.75	
Sandy-clayey siltstone	0.055	Y=-1.9775X+106.04	
	0.25	Y=-27.774X+70.73	
Clayey sandy loam	0.055	Y=0.3312X+7.14	
	0.175	Y=0.3312X+7.14	

We also tried to calculate the average particle diameters and fractality indices for the above-described rock groups using the formula:

$$\frac{1}{d_{cp}} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{d_{n1}} + \frac{1}{d_{n2}}\right)$$

where d_{cp} – the average grains diameter; d_{n1} – diameter n1 grains; d_{n2} – n2 grains diameter.

The results of the calculations are shown in Fig. 4 which reflects the effect of the fractality index on oil saturation and the correlation equation describing this effect. The rather high correlation coefficient (R>0.8) of the obtained power dependence indicates the confidence level of the closeness of the relationship between oil saturation and the fractality index.

Table 3

Paired correlation coefficients between fractions and parameters that average the grain size distribution and reflect the sorting of rocks (title of the parameters, see the text)

Parameters		Grain size, мм						Indicators					
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	Md	B3II	Ksorт	So	Hr	Mf
		1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	< 0.01						
Indicators	**Mf**	-0.07	-0.17	-0.32	-0.67	-0.27	-0.85	-0.5	0.56	0.22	0.27	-0.93	
	Hr	0.15	0.27	0.47	0.71	0.03	0.86	0.58	0.7	-0.7	-0.24		
	So	0.07	0.06	-0.48	-0.46	0.09	0.61	-0.73	-0.54	0.97			
	Ksorт	0.08	0.07	-0.35	-0.38	0.007	0.5	-0.61	-0.41				
	B3II	0.24	0.3	0.91	0.51	-0.39	-0.81	0.93					
	Md	-0.007	0.08	0.9	0.53	-0.35	-0.83						
Grain size, мм	(F6) < 0.01	-0.03	-0.12	-0.62	-0.75	-0.05							
	(F5) 0.05-0.01	0.008	-0.04	-0.49	-0.22								
	(F4) 0.1-0.05	-0.04	0.02	0.25									
	(F3) 0.25-0.1	-0.009	0.09										
	(F2) 0.5-0.25	0.57											
	(F1) 1-0.5												

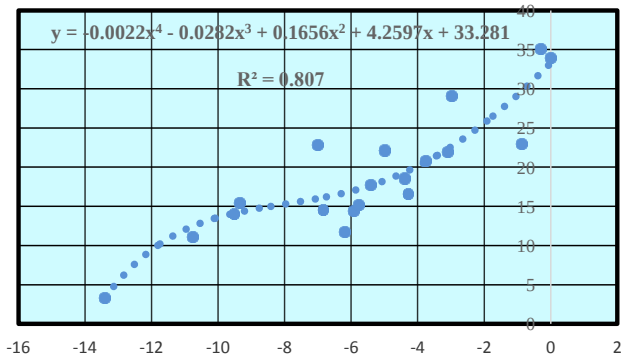


Fig. 4. Dependence of oil saturation of reservoirs on the fractality index

Conclusions

As a result of generalization of statistical estimates of the degree of influence of individual fractions (including the dominant ones) on the level of porosity in various types of reservoir rocks the following was established:

1. In clay-aleuritic sands an increase in the content of the dominant fraction (0.175 mm) leads to an increase in porosity, while an increase in the content of the fraction with a grain size of 0.055 mm reduces the porosity in this group of rocks. For the remaining selected groups of rocks (clay-sandy siltstone, sandy-clayey siltstone and clayey sandy loam) the fraction with a grain size of 0.055 mm was dominant with a different ratio of fractions of 0.175 and 0.01 mm. Here just as in the first group of rocks the fraction of coarse grains (0.25 mm) makes up an insignificant part of the volume and was not taken into account.

2. In clay-sandy siltstone an increase in the content of both, the dominant fraction and the fraction of 0.175 mm, leads to an increase in porosity, and in the group of sandy-clayey siltstone has negative character.

3. In clayey sandy loams the influence on the porosity of the dominant (fine grains 0.055 mm) and subordinate fraction (coarser grains 0.175 mm) as in the group of clay-aleuritic sands has the opposite character. Thus, an increase in the content of the fine (dominant 0.055 mm) fraction in clayey sandy loams leads to a decrease in porosity, while an increase in the content of the coarser fraction (0.175 mm) increases the porosity.

4. As a result of calculations the relationship between the fractality index and oil saturation was determined, a functional relationship between oil saturation and the fractality index was also obtained. This function can be used in planning work related to the additional processing of deposits that are in the final stage of exploitation.

REFERENCES

Bjorlykke K. Clay mineral diagenesis in sedimentary basins; a key to the prediction of rock properties. Examples from the North Sea Basin. Clay Minerals, V. 33, No.1, 1998, pp. 15-34.

Hasanov A.B., Mamedova D.N., Abbasov E.Y. Geological and geophysical study of the PT section of the South Caspian depression (some issues of the predictive assessment of the sedimentary complex). Lambert Academic Publishing. Moscow, 2017, 109 p. (in Russian).

Holcomb D., Rudnicki J.W., Issen K.A., Sternlof K. Compaction localization in the Earth and laboratory: State of the research and research directions. Acta geotechnica, 2007, V. 1, No. 2, pp.1-15.

Issen K.A., Challa V. Influence of the intermediate principal stress on the strain localization mode in porous sandstone. J. Geophysical Research, V. 113, 2008, B02103, DOI:10.1029/2005JB004008.

Lade P.V. Overview of constitutive models for soils. In: Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, and Calibration (ed. by J.A. Yamamuro, V.N. Kalaikin). ASCE Geotech. Spec. Publ., V. 128, 2005, pp. 1-34.

Levchuk M.A., Bukreeva G.F. On the sorting of terrigenous sediments and values averaging the particle size distribution. Geocyclicity. IGiG. Novosibirsk, 1976, 215 p. (in Russian).

Marcussen O., Thyberg B.I., Peltonen C., Jahren J., Bjorlykke K., Faleide J.I. Physical properties of Cenozoic mudstones from the northern North Sea: Impact of clay mineralogy on compaction trends. AAPG Bulletin, V. 93, 2009, pp. 127-150.

Mollema O.N., Antonellini M.A. Compaction bands: A structural analog for anti-mode I cracks in aeolian sandstone. Tectonophysics, V. 267, 1996, pp. 209-228.

Mondol N.H., Bjorlykke K., Jahren J., Hoeg K. Experimental mechanical compaction of clay mineral aggregates – changes in physical properties of mudstones during burial. Marine and Petroleum Geology, V. 24, No. 5, 2007, pp. 289-311.

Muir Wood D. Soil behaviour and critical state soil mechanics. Cambridge: Cambridge University Press. 1991, 488 p.

Romanovsky S.I. Application of information theory to solve some problems of lithology. Mathematical methods in geology. Leningrad, VSEGEI, 1968, pp. 75-92 (in Russian).

Zapivalov N.P., Smirnov G.I., Kharitonov V.I. Fractals and nanostructures in oil and gas geology and geophysics. Geo. Novosibirsk, 2009, 130 p. (in Russian).

ЛИТЕРАТУРА

Bjorlykke K. Clay mineral diagenesis in sedimentary basins; a key to the prediction of rock properties. Examples from the North Sea Basin. Clay Minerals, V. 33, No. 1, 1998, pp. 15-34.

Holcomb D., Rudnicki J.W., Issen K.A., Sternlof K. Compaction localization in the Earth and laboratory: State of the research and research directions. Acta geotechnica, 2007, V. 1, No. 2, pp.1-15.

Issen K.A., Challa V. Influence of the intermediate principal stress on the strain localization mode in porous sandstone. J. Geophysical Research, V. 113, 2008, B02103, DOI:10.1029/2005JB004008.

Lade P.V. Overview of constitutive models for soils. In: Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, and Calibration (ed. by J.A. Yamamuro, V.N. Kalaikin). ASCE Geotech. Spec. Publ., V. 128, 2005, pp. 1-34.

Marcussen O., Thyberg B.I., Peltonen C., Jahren J., Bjorlykke K., Faleide J.I. Physical properties of Cenozoic mudstones from the northern North Sea: Impact of clay mineralogy on compaction trends. AAPG Bulletin, V. 93, 2009, pp. 127-150.

Mollema O.N., Antonellini M.A. Compaction bands: A structural analog for anti-mode I cracks in aeolian sandstone. Tectonophysics, V. 267, 1996, pp. 209-228.

Mondol N.H., Bjorlykke K., Jahren J., Hoeg K. Experimental mechanical compaction of clay mineral aggregates – changes in physical properties of mudstones during burial. Marine and Petroleum Geology, V. 24, No. 5, 2007, pp. 289-311.

Muir Wood D. Soil behaviour and critical state soil mechanics. Cambridge: Cambridge University Press. 1991, 488 p.

Гасанов А.Б., Мамедова Д.Н., Аббасов Э.Ю. Геолого-геофизическая изученность разреза ПТ Южно-Каспийской впадины (некоторые вопросы прогнозной оценки осадочного комплекса). Lambert Academic Publishing. Москва, 2017, 109 с.

Запивалов Н.П., Смирнов Г.И., Харитонов В.И. Фракталы и наноструктуры в нефтегазовой геологии и геофизике. Гео. Новосибирск, 2009,130 с.

Левчук М.А., Букреева Г.Ф. О сортированности терригенных осадков и величинах, усредняющих гранулометрический состав. Геоцикличность. ИГиГ. Новосибирск, 1976, 215 с.

Романовский С.И. Применение теории информации для решения некоторых задач литологии. Математические методы в геологии. Ленинград, ВСЕГЕИ. 1968, с. 75-92.

СТОХАСТИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА И ФРАКТАЛЬНОСТЬ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ НЕФТЕНОСНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Гурбанов В.Ш.[1], Гасанов А.Б.[2], Аббасова Г.Г.[2]
[1]Институт нефти и газа, Национальная Академия Наук Азербайджана
AZ1000, Азербайджан, г. Баку, ул. Ф.Амирова, 9
[2]Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
AZ1010, Азербайджан, г. Баку, пр. Азадлыг, 20
adalathasanov@yahoo.com

Резюме. Известно, что основные нефтяные пласты расположены в терригенных осадочных породах, представляющих собой структурированную матрицу с текстурно организованным поровым пространством. В свою очередь, типичная структурированная матрица состоит из минеральных зерен различных размеров, которые выглядят как хаотические системы. В данной статье дан подробный аналитический обзор результатов анализа размеров зерен керна из скважин одного из известных нефтяных месторождений в Азербайджане. Исследования охватывали наиболее типичные для региона продуктивные горизонты, содержащие пелитовые, алевритовые, мелкозернистые и среднезернистые песчаные фракции. Результаты изменения содержания фракций в зависимости от глубины представлены в виде круговых диаграмм и графиков изменения пористости в зависимости от фракционного состава и механического уплотнения осадков. Расчет парного коэффициента корреляции между фракциями и параметрами, усредняющими распределение частиц по размерам и отражающими сортировку горных пород, показал, что они независимы и не связаны какими-либо функциями.

В то же время влияние отдельных фракций, а главное их соотношения, на величину межзерновой пористости неравномерно. Детализация процесса моделирования мультимодального распределения показала, что при этом более эффективно использование фрактальных концепций. В связи с этим для оценки коллекторских свойств нефтеносных пород альтернативно была рассчитана зависимость между индексом фрактальности и нефтенасыщенностью.

Ключевые слова: *межзерновая пористость, терригенные коллекторы, упаковка зерен, показатель фрактальности, гранулометрический анализ, доминирующие фракции*

NEFT TUTUMLU KOLLEKTORLARIN MƏCAMƏLİ STRUKTURUNUN FRAKTALLIĞI VƏ QRANULOMETRİK TƏRKİBİNİN STOXASTİK PAYLANMASI XARAKTERİ

Qurbanov V.Ş.[1], Həsənov A.B.[2], Abbasova G.G.[2]
[1]Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Neft və Qaz İnstitutu
AZ1000, Azərbaycan, Bakı ş., F.Amirov küç., 9
[2]Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Azərbaycan, Bakı ş., Azadlıq prosp., 20

Xülasə. Məlum olduğu kimi, əsas neftli laylar məsaməli boşluğa malik strukturlaşdırılmış matrisli terrigen çökmə süxurlarında təsadüf edir. Öz növbəsində, tipik quruluşlu matris, xaotik sistemlərə bənzəyən müxtəlif ölçülü mineral dənələrdən ibarətdir. Təqdim olunmuş məqalədə Azərbaycanın tanınmış neft yataqlarından birinin quyularından alınmış kern nümünələrinin qranulometrik analizi nəticələrinin ətraflı analitik icmalı təsvir edilmişdir. Tədqiqatlar bölgə üçün ən tipik məhsuldar horizontların, pelitli, alevritli, incə - və ortadənəli qum fraksiyalarını əhatə etmişdir. Dərinliyə görə fraksiyaların tərkibinin dəyişkənliyinin nəticələri dairəvi diaqramlar və çöküntülərin fraksiya tərkibindən və mexaniki sıxılmasından asılı olaraq məsaməliyin dəyişikliklərinin qrafiklər şəklində təqdim olunur. Dənələrin ölçülərinin paylanması və süxurların çeşidlənməsini əks etdirən fraksiyalar və parametrlər arasındakı cüt korrelyasiya əmsalının hesablanması müstəqil olduqlarını və heç bir funksiya ilə əlaqəli olmadığını göstərdi.

Eyni zamanda fərdi fraksiyaların təsiri və ən əsası dənələrarası məsaməliyin pay nisbətinin qeyri-bərabər olduğu müəyyən edildimişdir. Multimodal paylanma modelləşdirmə prosesi ətraflı şəkildə göstərdi ki, bu məsələdə fraktal anlayışların istifadəsi daha səmərəlidir. Bu baxımdan, neft tutumlu kollektorların xüsusiyyətlərini qiymətləndirmək üçün, alternativ olaraq, fraktal göstəricisi və neft doyumluğu arasındakı asılılıq funksiyası hesablanmışdır.

Açar sözlər: *interqranular məsaməlik, terrigen kollektorlar, dənələrin qablaşdırılması, fraktallıq göstəricisi, dənələrin ölçüsünün təhlili, dominant fraksiyalar*

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ASSESSMENT OF GEODYNAMIC RISK OF MINGACHEVIR WATER RESERVOIR

Islamova Sh.K., Kazimova S.E., Ismailova S.S.

Republican Seismic Survey Center, Azerbaijan National Academy of Sciences

9, N.Rafibeily str., Baku, AZ1001, Azerbaijan: shirin.i@inbox.ru, sabina.k@mail.ru

***Keywords**: Mingachevir reservoir, seismic activity, earthquake, landslides*

Summary. The paper presents the results of the analysis of seismicity, tectonics and the manifestations of induced seismicity in the area of the Mingachevir reservoir for the period 2008-2017. Local earthquakes that occur when the Mingachevir reservoir is filled have insignificant magnitudes – less than 2-2.5, tremors with a magnitude of 3.5 are less common. Epicenters are located mainly at a distance of no more than 5-10 km. Data analysis showed that seismic activity increases when the pressure reaches 78 m or more. Based on the mechanisms of the earthquake source, maps of the distribution of compressive and extension stresses in the horizontal plane and in depth were constructed. It was found that the northwestern part of the study area is characterized by extension and compression in the south and southeast. Analysis of seismic activity observation data showed the dependence of the rate of change of the water level in the reservoir with the seismic activity of weak earthquakes, which is non-linear. The rise in water level lasts 5 months, from March to June. In August the water level at the beginning drops gradually and then sharply (from 80-78 m to 74-73 m). As a result of the drop in water level in this area the induced seismicity increased. In 2010 the water level in the Mingachevir reservoir increased from 78-79 meters in March to 82-83 meters in May, caused an increase in the water level in the Kura River and attracted flooding. An analysis of seismicity for this period showed that in February, March, April, July and August 21 earthquakes with magnitudes of 1.2-3.0 occurred in this region

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

As it is known the territory of Azerbaijan is under influence of natural disasters which occur occasionally, they are: landslides, earthquakes, mudflows, floods, etc., the most dangerous and unpredictable among them are earthquakes.

Water is an efficient instrument in man's impact on seismicity and seismic conditions in seismic active regions. The construction of large reservoirs and other hydraulic structures causes an increase of seismic activity.

Filling large dams could change the stress state of active seismic regions, causing the occurrence of earthquakes. This problem is urgent for our republic as the country is one of the active seismic regions in the Caucasus.

Several water reservoirs are functioning in the Azerbaijan territory including Mingachevir water reservoir and they are able to change seismic conditions of region.

Study of earthquake prone factors of Mingachevir water reservoir is of practical and theoretic importance, it allows studying both tectonic structure and seismicity of region in details. Moreover research of these factors permits to withstand undesirable consequences during natural disasters and optimally exploit hydrotechnical constructions.

This article mainly focuses on studying earthquake-prone factors in the territory of Mingachevir water reservoir, definition of connection between seismicity and water conditions in reservoir and determination of hydrostatic impact nature on landslide activization within studied region.

General description of Mingachevir water reservoir

Mingachevir water reservoir is located in natural tectonic mouldlike depression of Kura valley passing into thick anticlinal uplifts framing Bozdag ridges in the south and Kojashen in the north (Fig. 1).

Water reservoir extends from NW to SE along Kura r. valley approximately 75 km including partially Alazani r. valley. The area of water reservoir aquatorium is about 625 km^2, and average width is 6-8 km. Length of coastline is 215 km. Volume of water reservoir is 16 km^3. Mingachevir water reser-

voir surrounded by high ridges is located in favorable conditions and represents natural tectonic bowl having the same morphological surface. Khanabad valley is the only low area where saddle connects Bozdag and Kojashen ridges with the higher mark (Islamov, 1963).

Mingachevir water reservoir was filled in 1953 when Mingachevir hydraulic complex appeared covering Kura r. in area of Mingachevir throat.

Relief of Mingachevir water reservoir area can be characterized by complexity and diversity. The main geomorphological structure of studied region is Bozdag ridge represented by anticlinal fold of flat-topper type. Bozdag consists chiefly of Absheron sandy-clayey rocks and only in the crystalline part akchagyl dark-grey, almostly black clays can be found as sports (Suleimanov, 1961).

This main geomorphological structure is added by inclined piedmont foreslopes overlapping two large erosion steps.

North-eastern slope of Bozdag ridge is of typical landslide structure.

North-eastern slope of Bozdag coinciding with arc part of anticline gradually passes into the area of hilly relief development on flattened Bozdag top. South-western slope of Bozdag ridge is represented by bush relief area.

Relief is formed in relatively dry climate. Sea transgressions from south-east abraded south slopes of Bozdag and eliminated southern slope of the main fold.

Mingachervir water reservoir silting

Building of Mingachevir dam and construction of large water reservoir provided the change of Kura r. rate regime. This disturbed recorded regime of sediments movement and created conditions for their bedding in water reservoir. In practice of hydraulic structures there were situations when newly built water reservoirs became silty fast. So, study of conditions of sediments accumulation and definition of silting duration of Mingachevir water reservoir is of great importance.

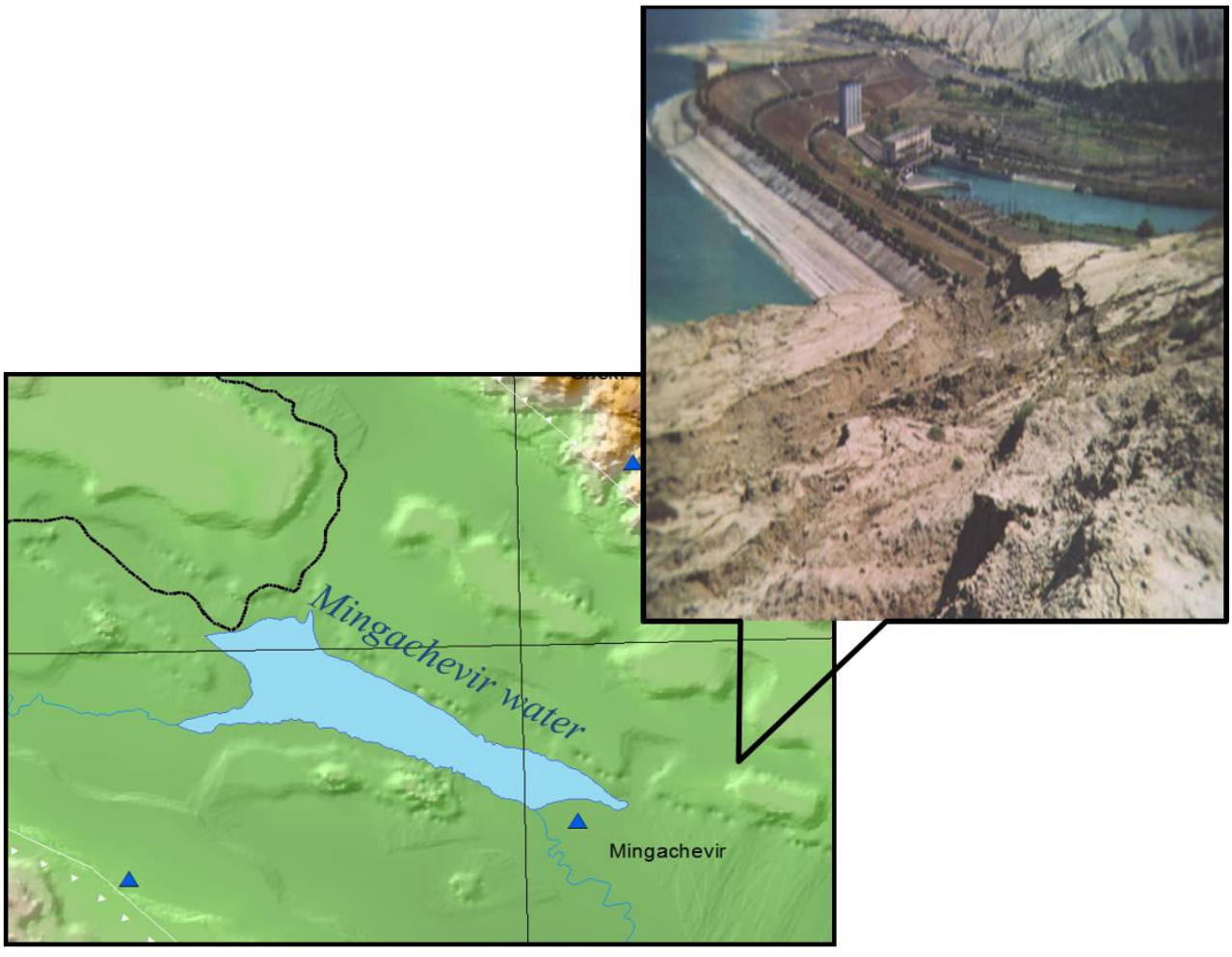


Fig 1. Schematic map of Mingachevir water reservoir region

Within water reservoir one can determine morphologically the area of piedmonts and mountains of surrounded ridges, average height of which is 200-250 m. The higher water levels in water reservoir can be found in summer months and this is connected with hydrometeorological phenomena in area of water reservoir. Increase of water level in water reservoir continues usually 5 months – from March till July and maximum intensity is in May-June. In August fall of water occurs; at the beginning – slowly and then – rapidly. In January-March level fluctuations are insignificant. Spring and summer increase of water level is caused both by water coming from Kura, Iori and Alazan rivers and by sediments in water reservoir. Reduction of water level in water reservoir during autumn-winter period is caused on the one hand – by drought type of supply, and on the other hand – by regime of water reservoir work on energetic schedule.

Spring overflow in Mingachevir water reservoir is the consequence of two factors relationship – melting of snow gathered in mountains and spring sediments. Gradual coming of spring water starts in March. Average duration of overflow is from 2.5 till 3 months. Start and finish terms of overflow on three rivers coincide. Moreover, artificial distribution of water irrigation influences greatly on flow regime. Correspondingly expenditure of suspended sediments depends on change of water expenditure.

Ground waters of Absheron and Akchagyl deposits are confined to root sandstones but as a result of strong and deep erosion of ridges components they are heavily drained and aquifers of Absheron – more drained.

Seismicity of studied region

At present RCSS of ANAS includes 35 seismotelemetric stations, seven of which are located in the territory of Middle Kura depression.

Owing to improvement of monitoring system now it is possible to register earthquakes with ml>0.1 without interruption. According to map of earthquakes epicenters for three periods 427-1953, 1954-2017 and 2003-2017 yrs. the Mingachevir focal area can be defined as zone with 6-7 M (Fig. 2, 3) (Report on the work of the experimental batch processing, 1981-2007).

These periods were chosen because the exploitation of the reservoir was started in 1954, and it was interesting to see how the seismic situation in this region changed. The period from 2003 to 2017 was shown in order to understand whether the impact of new open digital stations in Azerbaijan affected the number of recorded earthquakes in the Mingachevir reservoir area. An increase in the network of digital stations made it possible to record weaker seismic events. But despite this, it can be concluded that seismic activity in this region has increased compared to the period when the reservoir was not built, i.e. induced seismicity appeared.

On the basis of the macroseismic and instrumental data analysis collected in the Azerbaijan territory for the period of the last 400 years, it has been determined that the strong and weak earthquakes foci in Azerbaijan are mainly situated within the crust and correspond to 10-30 km depths. Thereby relatively small amount of these events is connected with deep depths (Fig. 4) (Geology of Azerbaijan, 1951).

On the basis of the macroseismic and instrumental data analysis it was determined that both strong and weak earthquakes occurred in Mingachevir water reservoir. But small earthquakes happen most often. In spite of this there is a necessity for seismicity monitoring in this territory because these small earthquakes eventually form small fractures in Mingachevir water reservoir. This can not only cause strong earthquakes but also lead to environmental hazards of Mingachevir water reservoir (Javakhishvili, 2002).

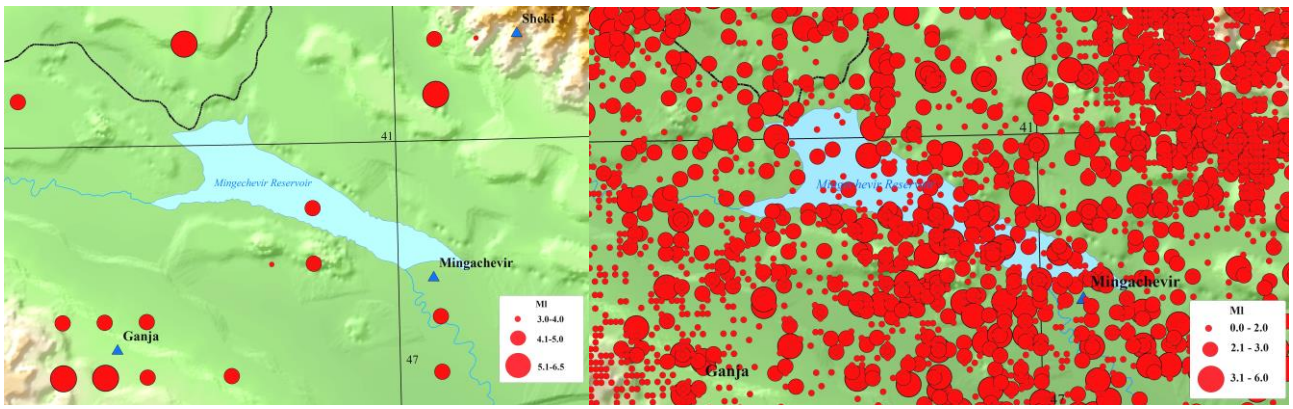


Fig. 2. Map of Mingachevir region epicenters and adjacent areas for the period 427-1953 and 1954-2017 yrs.

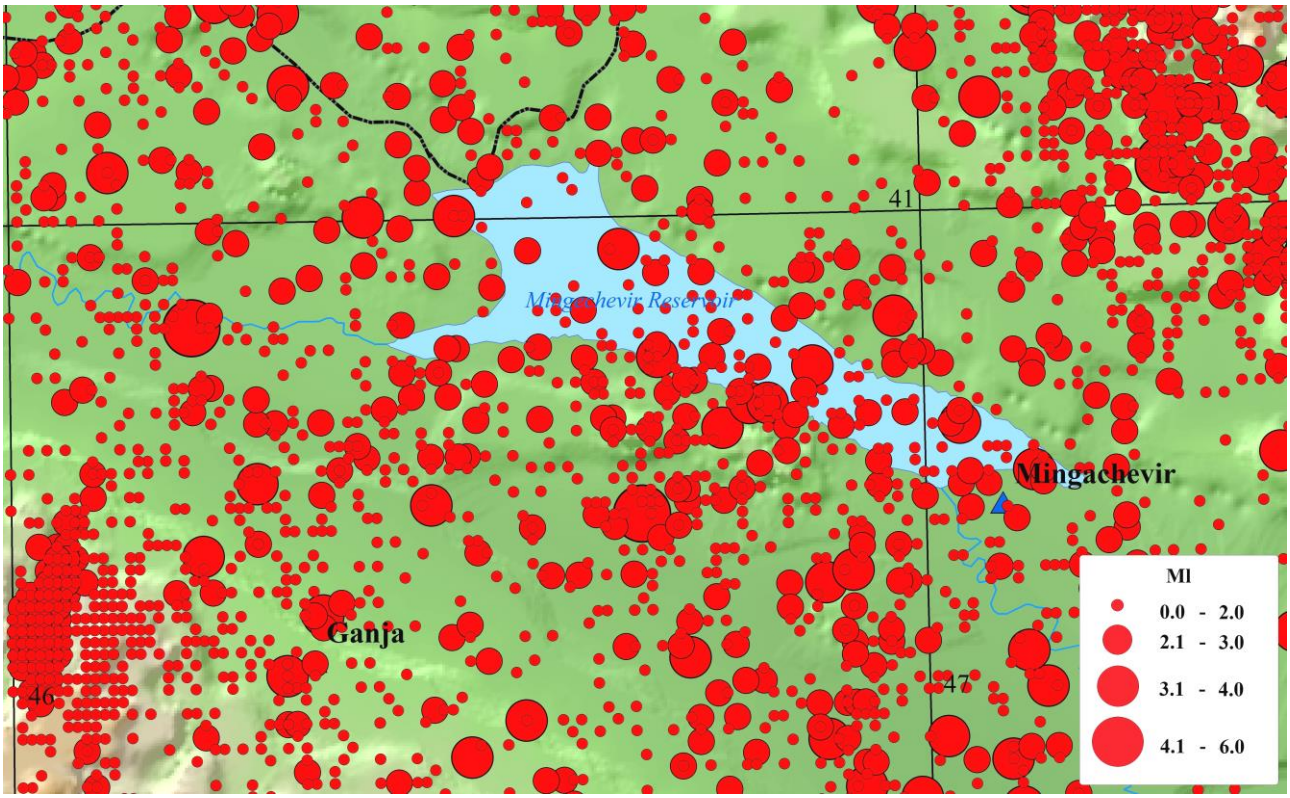


Fig. 3. Map of Mingachevir region epicenters and adjacent areas for the period 2003-2017 yrs

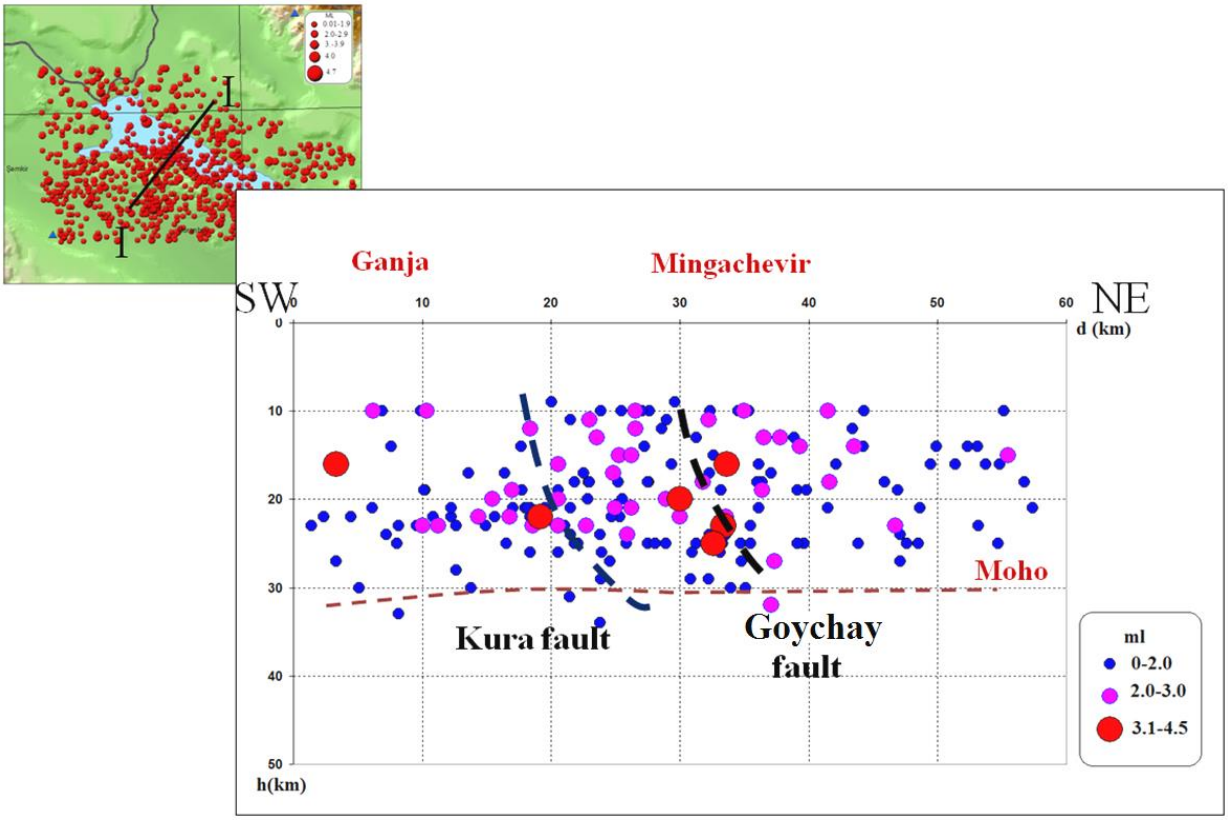


Fig. 4. Depth section of earthquakes hypocenters in Mingachevir water reservoir zone

Based on these data it can be concluded either about supposed fault or about existence of medium inhomogeneity of stress fields at this depth and that earthquakes of this focal area can be coincided with them.

Scientists investigating the seismicity of this focal zone made a conclusion that both shallow earthquakes connected with the sedimentary cover and enough deep ones related to the "basaltic" layer and even to the transient formations from crust to mantle are characteristic of Mingachevir focal area.

The hypocentres distribution within investigated area for the period of 1980-2010 indicates an increase of seismic activity in 1980-1986, 1999-2004.

The studies show that the seismic activity has associated with the water reservoir level change. Maximum seismic activity and a large number of shocks occurred in 1982. The earthquake with M = 6 magnitude happened on 3 May of the same year. Time shift between the water level peaks and seismic activity was several months.

The great repetition frequency of local earthquakes in Mingachevir region and its geological conditions taking into account modern tectonic movements create a real threat for construction sites.

A comparative analysis of reservoir water level changes against the energy released during earthquakes has been conducted by us for background seismicity research and seismic hazard determination.

The graphics for the period of 2008-2017 are presented as an example (Fig. 5).

Observational data analysis for seismic activity showed in the water reservoir existence of water level dependence on the seismic activity of small earthquakes which is non-linear. Seismic energy increase is observed in the interval of 1-3 months after reaching of maximum water level.

The seismic activity increase can also be connected with other influencing factors: additional load, tectonic faults existence, flooding, pore pressure change and etc. (Veliyev, 2001).

Earthquakes area influence on Mingachevir water reservoir zone was estimated according to the happened earthquakes magnitude within investigated region.

Stress orientation distribution by Lode-Nadai method

Methods of analysis of seismological data about earthquake source mechanisms and geological information of orientation of slip fault sets are well-known in inverse problem of tectonophysics. These methods of stress inverse problem make it possible to calculate four out six components of tectonic stress tensor based on data on discontinuous dislocation: orientation of three principal stress axis (σ_k, k=1,2,3), determined by three Euler's angles and Lode-Nadai or ratio coefficient characterizing shape of stress tensor. A high value of the Lode-Nadai μ_σ coefficient indicates tension, a low value indicates compression. The Lode-Nadai μ_σ coefficient within the study area almost everywhere corresponds to a stress tensor of pure shearing (deviatoric stresses of maximum compression and tension have almost equal absolute values). In the transition zone from Kur basin toward NE zone of Greater Caucasus the stress tensor type corresponds to uniaxial compression (absolute value of deviatoric compression is two times larger than the other two principal stresses, which have almost the same value) (fig 6.).

Physical and geological conditions on the Mingachevir reservoir banks

Periodically horizons fluctuations of the Mingachevir reservoir while in service create the conditions for the change of existing physical-geological conditions of the water reservoir bowl slopes.

The wave-cut processes, storm flows having argillaceous karst on the slopes contribute to the slopes dissection intensification of the water reservoir basin bowl, which in its turn causes the landslides during periodic fluctuations of water line (Yetirmişli, 2006).

The numerous wave-cut notches of different sizes are formed under the waves slaps in the basis of coastal cliffs. These wave-cut notches in large quantities are observed above the dam on the south slope of the water reservoir. During high water level these positions are injected by water forming small inlets with vertical walls.

As a result of conducted surveys the following banks types are distinguished in the coastal zone of Mingachevir water reservoir: 1) accumulative areas; 2) abrasion bank: a) abrasion-collapse bank; b) abrasion-landslide bank, c) low level flood bank (Suleimanov, 1961).

Accumulative areas are essentially developed in the piedmont plain region**,** between ridge branches, downward to the water reservoir. In particular, they are occurred in the south-eastern and south-western areas.

Abrasion-collapse bank type is typical for the south-south-eastern bank of the water reservoir where the branch tips of the Bozdagh ridge, jutting out deeply into the sea**,** are exposed to the intense undercutting and caving.

Abrasion-landslide bank type is developed on the south bank of the water reservoir, directly at the HPS neck.

In the studied region the collapses play role of constant factor of the slopes formation. In addition, the ridges slopes, bordering the water reservoir, are covered by landslides. Landslides represented a complex phenomenon, conditioned by cohesion forces change.

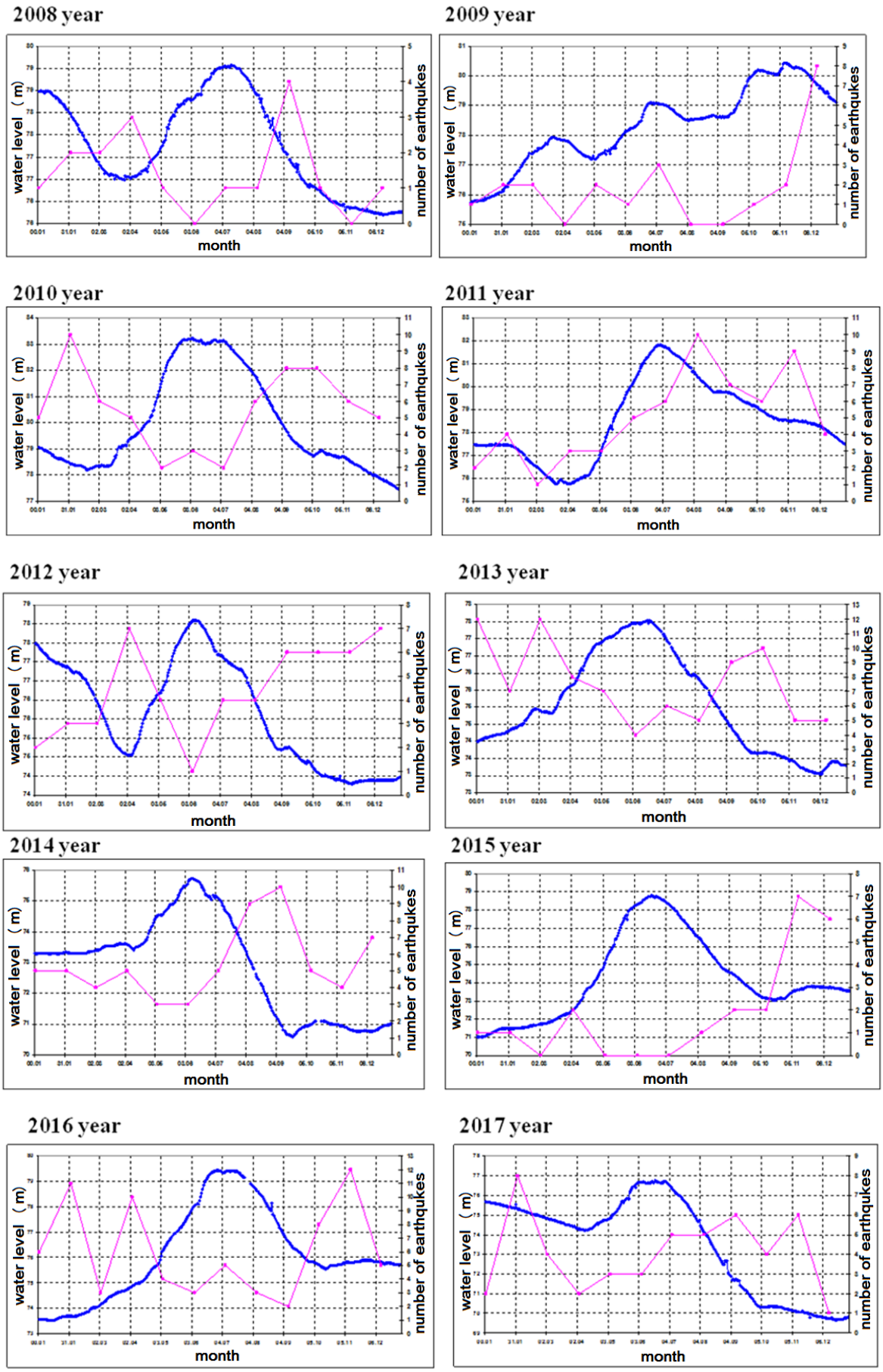


Fig. 5. Graphic of the reservoir water level change against energy released during earthquakes in 2008-2017

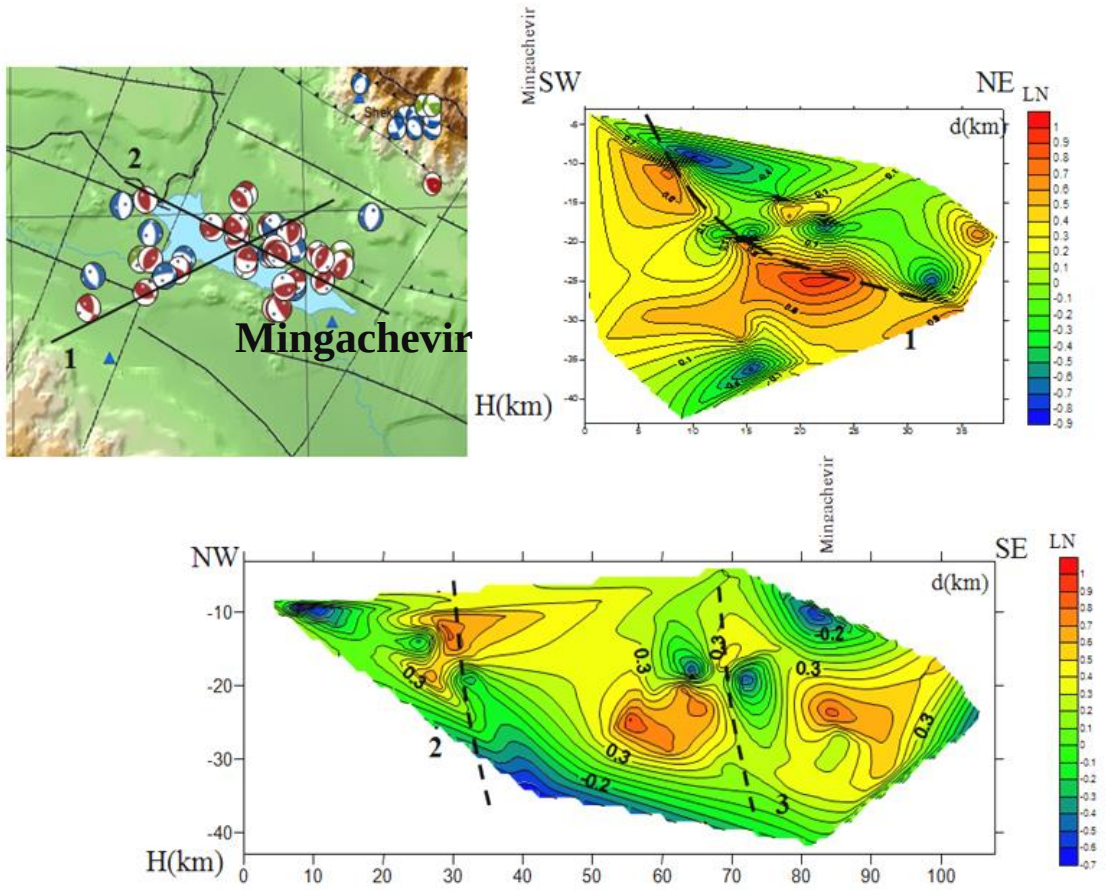


Fig. 6. Stress orientation by Lode-Nadai coefficient for the Mingachevir reservoir

It is known that the landslides occurred on the right bank of Mingachevir water reservoir, within Bozdag ridge in 1985, 1987, 1989, 1996, 2000, 2006 and 2012.

In order to study the hydrostatic impact effect on landslides activation within the studied region we have been conducted a comparative analysis of water level changes in water reservoir with the energy released during earthquakes and landslides processes in 1985, 1989, 1996, 2000 and 2006 (Fig. 7, 8).

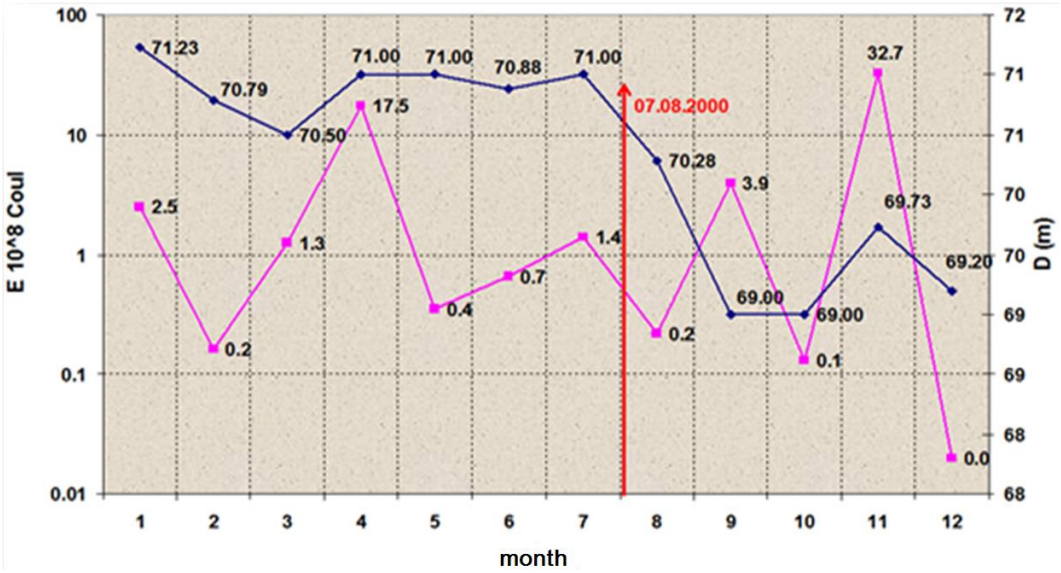


Fig. 7. Dependence diagram of the water level change of water reservoir with energy released during earthquakes by landslides activation for 2000

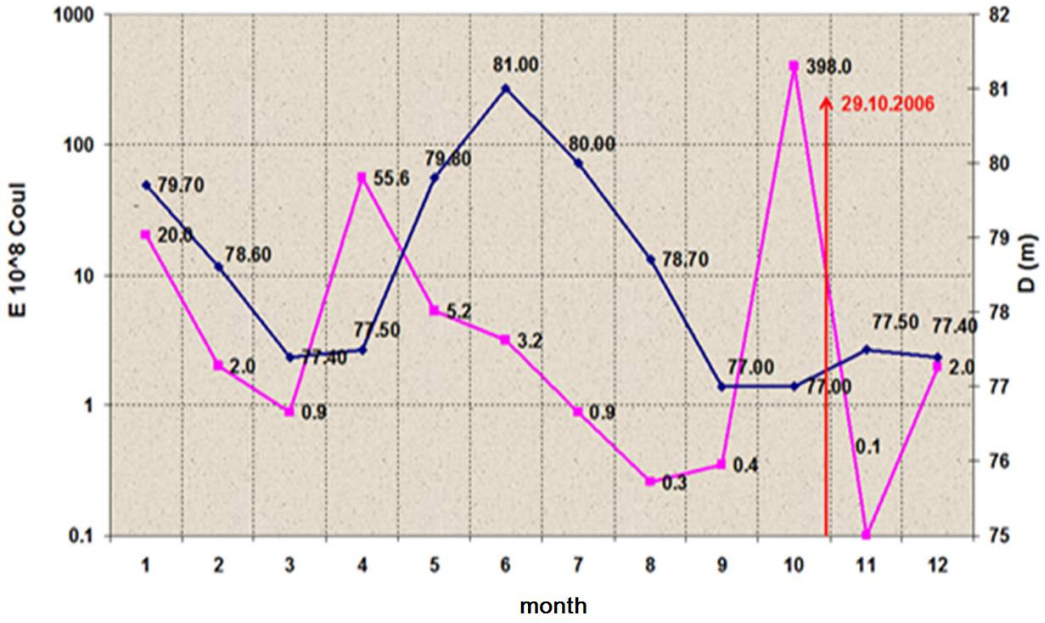


Fig. 8. Dependence diagram of the water level change of water reservoir with energy released during earthquakes by landslides activation for 2006

Seismic energy was calculated by the empirical method through the magnitude of earthquakes (1, 2):

$$K=4.58+1.46ml \quad r=0.8871,\ n=1149 \qquad (1)$$

$$E_{(enrg)}=10^{K} \qquad (2)$$

The analysis showed that the landslides occurred mainly in summer-time during the fall in water level on 5-10 m, which is associated with the hydrostatic pressure decrease, change of argillaceous rocks plasticity, heavy rains and water seepage through water reservoir cracks.

Conclusion

Reservoir filling influences the small earthquakes appearance directly in the Mingachevir water reservoir region and in the adjacent territories. During plain flooding the underground waters level rises in the soil foundation that induces the landslides formation. Moreover the right bank of water reservoir is the most probable place where one would expect the landslide phenomena. In addition, it should be noted that the high terraces in the cliffs areas and on the mountain slopes will collapse and adapt to the new conditions, which will cause the local origin drifts accumulation in the water reservoir.

REFERENCES

Geology of Azerbaijan. V. 1. AN Azerb. SSR, 1952, pp. 214-359 (in Russian).

Islamov K.Sh. Instrumental studies of the Mingechaur-Kirovabad zone (report for 1962-1963). The Fund of the Institute of Geology of the Academy of Sciences of Azerbaijan SSR, 1963, 152 p. (in Russian).

Javakhishvili Z.Sh. Seismic hazard and seismicity of the Inguri HES territory. İn: Geodynamic studies of large dams. Tbilisi, 2002, pp. 88-96 (in Russian).

Report on the work of the experimental batch processing and interpretation of seismological materials on the seismicity of Azerbaijan for 1980-2006. ANAS RSSC, Baku, 1981-2007, 118 p. (in Russian).

Suleimanov D.M. Issues of physical and geological phenomena on the banks of the Mingachaur reservoir. AS of Az.SSR. Baku, 1961, 89 p. (in Russian).

Veliyev H.N. Methods for the discovery of oil and gas objects neglected by the effects of geodynamic-geotextonic tension

ЛИТЕРАТУРА

Геология Азербайджана. Т. 1. Изд. АН Азерб. ССР, 1952, с. 214-359.

Джавахишвили З.Ш. Сейсмическая опасность и сейсмичность территории Ингури ГЭС. Геодинамические исследования больших плотин, Тбилиси, 2002, с. 88-96.

Исламов К.Ш. Инструментальные исследования Мингечаур-Кировабадской зоны (отчет за 1962-1963 гг.). Фонды Института Геологии АН Азерб. ССР 1963, 152 с.

Отчет о работе опытно-методической партии обработки и интерпретации сейсмологических материалов по сейсмичности Азербайджана за 1980-2006 гг. РЦСС НАНА, Баку, 1981-2007, 118 с.

Сулейманов Д.М. Вопросы физико-геологических явлений на берегах Мингечаурского водохранилища. Изд.АН Аз.ССР. Баку, 1961, 89 с.

Vəliyev H. Neft yataqlarında geodinamik-geotektonik gərginliyin təsirindən nəzərdən yayınmiş neft-qazlı obyektlərin aş-

on oil fields. Publishing of Azerbaijan National Encyclopedia. Baku, 2001, pp. 57-62 (in Azerbaijani).
Yetirmishli G.J. Methods of considering tension-deformation factors in seismic zoning of the territory of Azerbaijan. Elm. Baku, 2006, pp. 88-93 (in Azerbaijani).
kar olunması metodikası. Azərbaycan milli ensiklopediyası nəşriyyatı. Bakı, 2001, c. 57-62.
Yetirmişli Q.C. Azərbaycan ərazisinin seysmik rayonlasdırılmasında gərginlik-deformasiya amillərinin nəzərə alınması metodikası. Elm. Bakı, 2006, cc. 88-93.

ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РИСКА МИНГЯЧЕВИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Исламова Ш.К., Казымова С.Э., Исмаилова С.С.
Республиканский Центр Сейсмологической Службы НАН Азербайджана
AZ1001, г. Баку, ул. Н. Рафибейли, 25: shirin.i@inbox.ru, sabina.k@mail.ru

Резюме. В работе приводятся результаты анализа сейсмичности, тектоники и проявления наведенной сейсмичности в районе Мингячевирского водохранилища за период 2008-2017 гг. Локальные землетрясения, возникающие при заполнении Мингячевирского водохранилища, имеют незначительные магнитуды – менее 2-2.5, реже проявляются толчки с магнитудой 3.5. Эпицентры располагаются в основном на расстоянии не более 5-10 км. Анализ данных показал, что сейсмическая активность возрастает при достижении напора 78 м и более.

На основании данных механизмов очагов землетрясений были построены карты распределения напряжений сжатия и растяжения в пространстве и по глубине. Было установлено, что северо-западная часть исследуемого района характеризуется растяжением и сжатием на юге и юго-востоке.

Анализ данных наблюдений за сейсмической активностью показал наличие зависимости скорости изменения уровня воды в водохранилище от сейсмической активности слабых землетрясений, которая имеет нелинейный характер. Повышение уровня воды длится 5 месяцев, начиная с марта по июнь. В августе месяце уровень воды сначала постепенно, а затем резко падает (с 80-78 м до 74-73 м). В результате падения уровня воды в этом районе увеличилась наведенная сейсмичность.

В 2010 году уровень воды в Мингячевирском водохранилище повысился с 78-79 метров в марте до 82-83 метров в мае, что вызвало повышение уровня воды в реке Куре и повлекло за собой наводнение. Анализ сейсмичности за этот период показал, что в феврале, марте, апреле, июле и августе месяцах в данном регионе произошло 21 землетрясение с магнитудой 1.2-3.0.

Ключевые слова: *Мингячевирское водохранилище, сейсмическая активность, землетрясения, оползни*

MİNGƏÇEVİR SU HÖVZƏSİNİN GEODİNAMİK RİSKİNİN QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

İslamova Ş.K., Kazımova S.E., İsmayılova S.S.
AMEA nəzlində Respublika Seysmoloji Xidmət Mərkəzi
AZ1001, Bakı, N.Rafibeyli, 25: shirin.i@inbox.ru, sabina.k@mail.ru

Xülasə. Məqalədə Mingəçevir su anbarı ərazisində 2008-2017-ci illər üçün meydana gələn seysmikliyin, tektonikanın təhlili və suni zəlzələlərin əmələ gəlməsi prosesi analiz olunur. Mingəçevir su anbarı doldurulduqda baş verən yerli zəlzələlərin maqnitudaları əsasən 2.0-2.5 aralıqda dəyişir, 3.5 bal gücündə zəlzələlərə isə daha az rast gəlinir. Episentrlər əsasən 5-10 km dərinliklərdə yerləşir. Məlumatların təhlili göstərdi ki, suyun səviyyəsi 78 m və ya daha çox olduqda seysmik aktivlik artır.

Zəlzələ ocaq mexanizmlərinin alınmış məlumatlar əsasında sıxılma və gərilmə zonalarının sxemi və dərinliyə görə kəsilişlər qurulmuşdur. Müəyyən olunub ki, tədqiq olunan ərazinin şimal-qərb hissəsi gərilmə ilə səciyələnir, orta hissələrində horizontal yerdəyişmə, cənub və cənub-şərq hissələrində isə sıxılma müşahidə olunur. Su anbarının doldurulması birbaşa Mingəçevir su anbarı rayonunda və bitişik ərazilərdə zəif zəlzələlərin meydana gəlməsinə təsir göstərir.

Su anbarında suyun səviyyəsinin qalxması adətən 5 ay – mart ayından iyul ayına qədər davam edir. Avqustda suyun səviyyəsinin düşməsi başlayır: əvvəlcə yavaş-yavaş, sonra isə daha sürətlə (80-78 m-dən 74-73m-ə qədər). Yanvar-mart aylarında suyun səviyyəsinin dalğalanması az miqdarda olur.

2010-cu ildə Mingəçevir su hövzəsində suyun səviyyəsi mart ayında 78-79 m-dən may ayında 82-83 m-ə qədər yüksəlmişdir ki, bu da Kür çayında suyun səviyyəsinin artmasına və daşqına səbəb olmuşdur. Həmin vaxt ərzində seysmikliyin analizi göstərdi ki, fevral, mart, aprel, iyul və avqust aylarında bu bölgədə 1.2-3.0 bal gücündə 21 zəlzələ baş vermişdi.

Açar sözlər*: Mingəçevir su anbarı, seysmik aktivlik, zəlzələ, sürüşmə*

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Theory and practice of oil and gas fields development

http://www.journalesgia.com

СИМУЛЯЦИЯ ПОТОКА ФЛЮИДОВ В ПЛАСТАХ С ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ПОЛОСАМИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕФТЕОТДАЧИ И ЕЁ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛОС ПЕСЧАНИКА ЯСАМАЛЬСКОЙ ДОЛИНЫ

Алхаслы Ш.Б.

Университет Хазар

AZ1096, Баку, Ул. М. Гянджеви, 11: hniknafs@khazar.org

SIMULATION OF FLUIDS' FLOW IN BEDS WITH DEFORMATION BANDS TO ESTIMATE THE RECOVERY FACTOR AND ITS DEPENDENCE UPON THE NETWORK'S TOPOLOGICAL PROPERTIES OF THE SANDSTONE'S DEFORMATIONAL BANDS IN YASAMAL VALLEY

Alkhasli Sh.B.

Khazar University

11, M. Ganjavi Rd., Baku, AZ1096, Azerbaijan: hniknafs@khazar.org

Keywords: *deformational bands, Yasamal Valley, fluid flow simulation in beds with deformational bands, topology of deformational bands*

Summary. The main objective of the work is to estimate recovery factor of deformational bands rich bed of Yasamal Valley and to investigate its dependence upon topological properties of deformational bands network. Balakhany and Sabuncu suites of Yasamal anticline's eastern limb are subject of the study. Fifty geological realizations were created with different scenarios of deformational bands permeabilities. Inputs for generation of these realizations are derived from the digitized bed of Yasamal Valley with abundance of deformational bands. Results of waterflooding simulations show that presence of deformational bands can significantly reduce the final recovery factor. Fifty realizations allow to provide a range of recovery factors to consider the average, less and most likelihood of recovery factor values. The study reveals that reduction of deformational bands permeability to 0, $2 \bullet 10^{-6}$, $2 \bullet 10^{-5}$, $2 \bullet 10^{-4}$ mDarcy has a significant effect on oil recovery factor, while impact with reduction to $2 \bullet 10^{-3}$ mDarcy is minimal. The same tendency remains in dependence between oil recovery factor and topological parameters. It has been observed, that relationship between final recovery and topological parameters exists. The current study, which is based on the data from Yasamal Valley, provides the methodology for estimating effect of deformational bands on final oil recovery and reveals its dependence upon topological properties (degree of intersections and intensity of deformational bands) of geological models.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Целью данной работы является определение нефтеотдачи пластов с деформационными полосами (ДП) а также выявление зависимости конечной нефтеотдачи от топологических параметров сетки деформационных полос. ДП, впервые описанные Aydin и др. (1967), являются тонкими трещинами, заполненными раздробленными зернами породы, приводящими к уменьшению пористости и проницаемости. Данное исследование было проведено на основе песчаника Ясамальской долины (рис. 1а), выбранной в связи с наличием обширных обнажений верхней продуктивной толщи (Alizadeh и др., 1966) и пластов с большим углом падения и деформационными полосами. Fossen et al. (2017) обобщили результаты обширного анализа деформационных полос, изученных на обнажениях по всему миру. Исследованные стратиграфические свиты Ясамальской долины включают Балаханы и Сабунчи. Для выполнения поставленных целей был выбран песчаник с наличием деформационных полос (рис. 1б, 1в, 1г). Истинная стратиграфическая толщина данного пласта составляет 2.5 метра, угол падения – 87 градусов, и расположен он на восточном крыле Ясамальской долины (рис. 1). Простирание основной видимой части пласта составляет 28 на 6 метров (рис. 1г). Пласт

является неконсолидированным мелкозернистым песчаником без ярко выраженных осадочных структур (рис. 2).

В литературе имеется малое количество работ, в которых рассматривается поток флюидов в пластах с деформационными полосами. Одним из примеров является работа Zuluaga и др. (2016), в которой авторы изучили моноклиналь Сан Рафаэль (штат Юта, США) для исследования взаимосвязи между количеством деформационных полос и углом падения пласта. Деформационные полосы были сгруппированы на основе их ориентации в пространстве. Основной вывод исследования состоял в том, что низкопроницаемые деформационные полосы, расположенные между нагнетающими и добывающими скважинами, приводят к изменению направления потока воды, смывающей нефть. Поскольку поток воды пытается найти пути с наименьшим сопротивлением (т.е. более проницаемые регионы без ДП), снижение проницаемости ДП ведет к задержке времени прорыва воды. Это также позволяет воде смывать больше участков пласта, прежде чем она достигнет добывающих скважин, что приводит к увеличению нефтеотдачи.

Rotevatn и др. (2016) использовали небольшую (1 x 1 м) область обнажения Maghlaq на Мальте с анастомозирующей сеткой деформационных полос для исследования потока флюидов. Поскольку такой размер не является подходящим для моделирования потока жидкости, модель была искусственно увеличена до размера 1 км x 1 км, с двумя добывающими и двумя нагнетательными скважинами, расположенными по углам модели. Исследование показало, что чем меньше проницаемость исходной породы, тем сильнее воздействие деформационных полос на поток флюидов.

Выводы, касающиеся времени прорыва воды и нефтеотдачи нефти, которые были получены в этих исследованиях, не отражают всей сложности проблемы, поскольку деформационные полосы не были представлены детально и были смоделированы косвенно. При построении же модели Ясамальского пласта деформационные полосы были смоделированы явным образом для большей реалистичности симуляции потока флюидов и оценки нефтеотдачи.

Для симуляции потока флюидов в изучаемом пласте были оцифрованы все деформационные полосы пласта, что позволило создать геологическую модель. Это было реализовано посредством сканирования фотографий и последующей обработки всего Ясамальского пласта. Изображения были взяты крупным планом и скомпонованы при помощи программного обеспечения. Стоит отметить, что полевые заметки, в том числе эскизы расположения деформационных полос, были также взяты для валидации цифровых деформационных полос.

Методология

Следующим этапом является характеристика сети деформационных полос. В данном исследовании были применены два топологических параметра: степень пересечения сети деформа-ционных полос, C_B и интенсивность деформа-ционных полос P_{21}. Для подсчета этих параметров сеть была охарактеризована различными типами пересечений деформационных полос с учетом начала и конца ДП. Таким образом, мы имеем три типа узлов, являющихся: I – началом или концом ДП, X – пересечением одной ДП с другой, Y – присоединением одной ДП к другой (рис. 3). Отделениями называются секции между узлами. После подсчета количества всех узлов и отделений степень пересечения сети ДП вычисляется по формуле:

$$C_B = \frac{3N_Y+4N_X}{N_B};$$

$$N_B = \frac{N_I+3N_Y+4N_X}{2};$$

где N_X, N_Y, N_I, и N_B показывают количество X, Y, I узлов и отделений соответственно. Интенсивность ДП вычисляется по следующей формуле:

$$P_{21} = \frac{\sum L}{A},$$

где $\sum L$, A являются суммой длин ДП и площадью изучения соответственно.

Некоторые части исследуемого пласта были либо недоступны для исследования, либо не обнажены для качественного оцифрования. Следовательно, было реализовано контролируемое стохастическое моделирование на основе статистических параметров ДП, таких как длина, ориентация в пространстве (т.е. угол отклонения от севера), а также количество ДП на квадратный метр. Таким образом, было создано 50 реализаций геологических моделей. Важно отметить, что стохастические ДП были только в пустых зонах, а исходные ДП не были видоизменены каким либо образом ни в одной из реализаций.

Одним из ключевых параметров для симуляции потока флюидов является пористость и проницаемость самой деформационной полосы. Неопределенность значений заключается в том, что экспериментальное измерение петрофизических свойств ДП не представляется возможным в связи с физическими размерами. Следовательно, данные параметры измеряются косвенным путем. Согласно данным, собранным по всему миру, (Fossen et al., 2017), уменьшение проницаемости варьируется от 0 до 6 порядков и зависит как от множества параметров самой породы, так и внешних факторов.

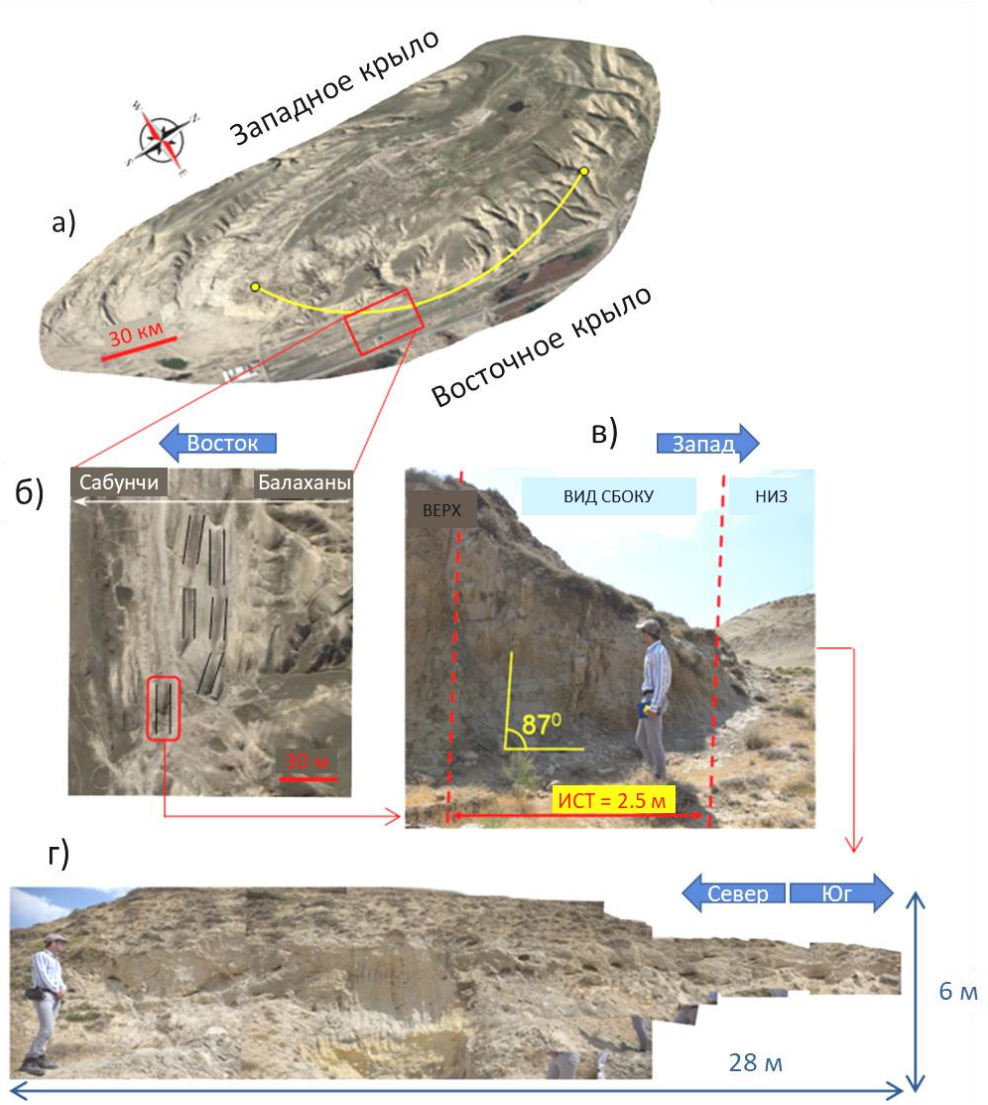


Рис. 1. а) Спутниковое изображение Ясамальской антиклинали, с исследуемыми участками, обведенными желтым; б) Увеличенный сегмент, показывающий последовательность слоев Балаханы-Сабунчи; в) Вид сбоку оцифрованного пласта; г) Вид спереди поверхности оцифрованного пласта

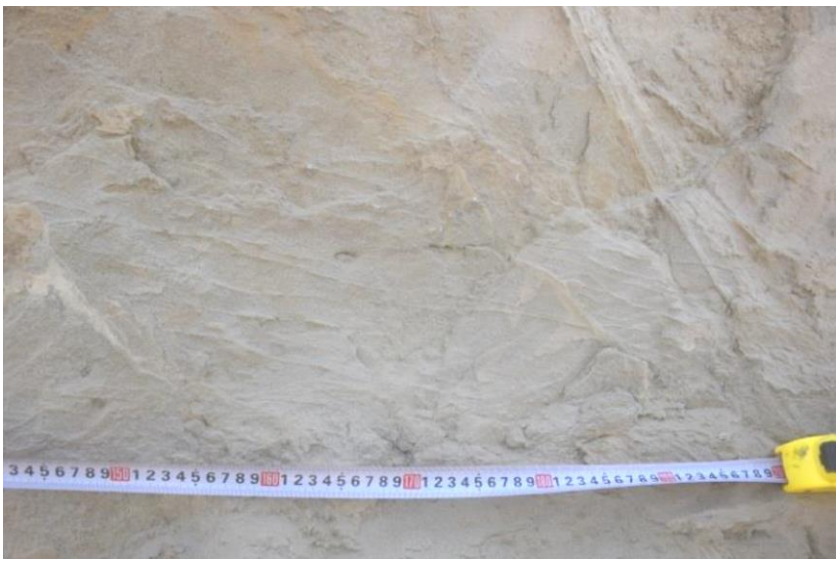


Рис. 2. Фрагмент оцифрованного пласта – неконсолидированный песчаник. Тонкие горизонтальные линии являются деформационными полосами

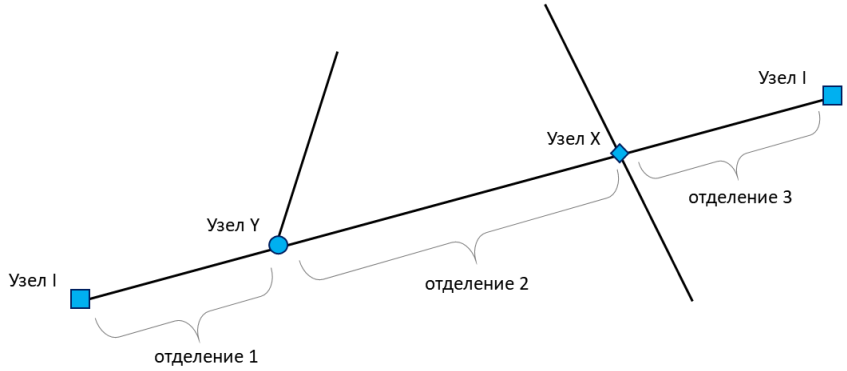


Рис. 3. Схематическое представление топологии пересеченных деформационных полос с I, X, Y узлами (квадраты, круг и ромб соответственно) и отделениями

Ниже приведены некоторые характеристики двухмерных моделей Ясамальского пласта для симуляции потока флюидов:

- количество ячеек в модели: 67200 (560x120x1);
- размеры ячеек: 5x5x5 см;
- проницаемость в ячейке без деформационной полосы: 200 мДарси;
- проницаемость в ячейке с деформационной полосой (каждое значение соответствует одному сценарию той же реализации): 0, 0.0002, 0.002, 0.02, 0.2 мДарси.

Нагнетающая воду скважина находится внизу, в то время как добыча флюидов происходит в верхнем ряду ячеек (рис. 4). Режимы работы скважин во всех симуляциях одинаковы и контролируются забойными давлениями 4500 и 8000 фунтов на дюйм для добывающей и нагнетающей скважин соответственно. При давлении насыщения 4400 фунтов на дюйм выделения газа в пласте не происходит.

Результаты

Рис. 4 предоставляет пример распределения водонасыщенности в конце симуляций различных сценариев проницаемости деформационных полос, происходящего 83 года. В первую очередь стоит отметить наличие регионов с малоэффективным вытеснением нефти, приводящим к большим значениям остаточной нефти, а следовательно – к понижению нефтеотдачи. Чем больше проницаемость деформационных полос, тем больше конечная нефтеотдача, подтвержденная сравнением сценариев на рис. 4 (сверху-вниз проницаемость ДП растет, вытеснение нефти водой и нефтеотдача также). Следует также отметить, что при сравнении сценариев основной характер распределения воды на качественном уровне остается одинаковым.

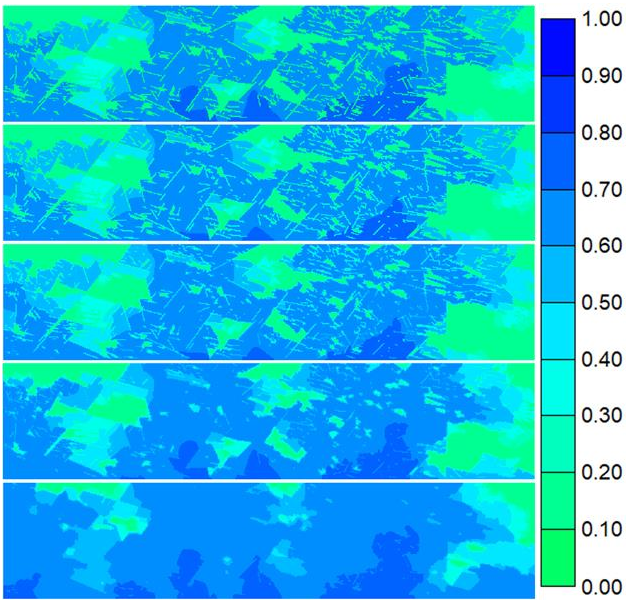


Рис. 4. Распределение водонасыщенности в конце периода симуляции водонагнетания. Сверху-вниз предоставлены сценарии по значению проницаемости в деформационных полосах: ноль, уменьшение на 6 порядков, на 5 порядков, на 4 порядка и на 3 порядка соответственно. Вода нагнетается скважиной снизу, добыча происходит скважиной сверху

Стоит упомянуть, что было создано 50 реализаций моделей для симуляции на основе оцифрованного пласта Ясамальской долины. Конечная нефтеотдача после 83 лет водонагнетания варьируется между 31-54, 32-57, 37-60, 48-65 и 65-74 процентов соответственно сценарию проницаемости ДП. Рис. 5 представляет распределение конечной нефтеотдачи каждого сценария. Таблица приводит подсчет трех процентилей для всех сценариев: P10, P50, P90. Как видно из значений P50, сценарии с проницаемостью деформационных полос, равных 0, 0.0002 и 0.002, очень близки, и разница от одного результата к другому составляет около двух процентов. Разница значений P50 растет при сравнении сценариев между уменьшением на 5 и 4 порядков, а также на 4 и 3 порядка.

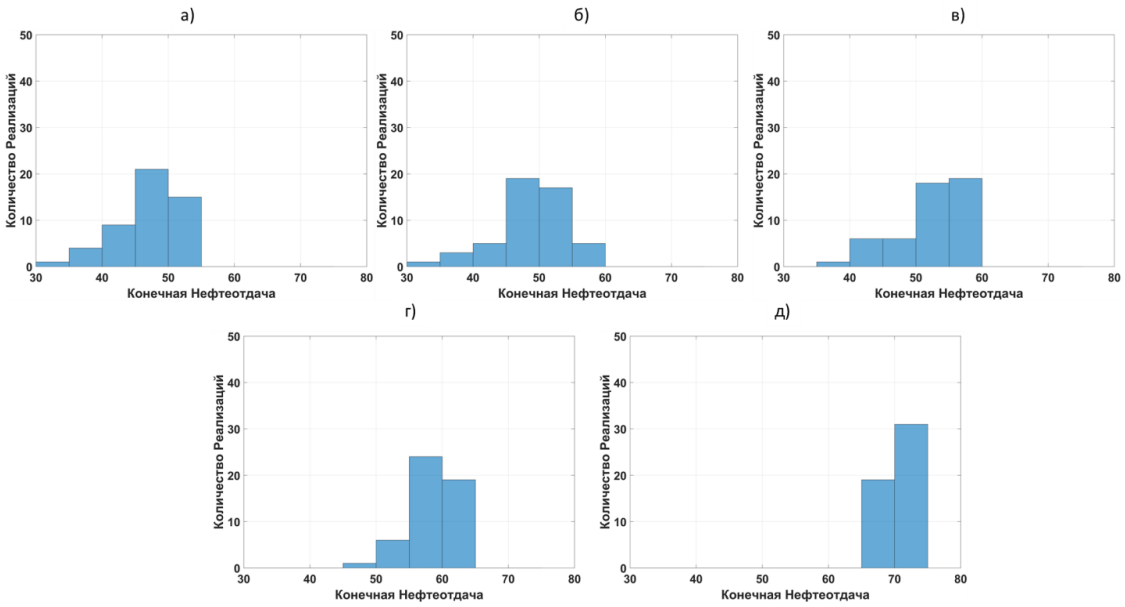


Рис. 5. Распределение конечной нефтеотдачи пласта при различных проницаемостях деформационных полос: а) равной нулю; б) уменьшенной на 6 порядков; в) уменьшенной на 5 порядков; г) уменьшенной на 4 порядка; д) уменьшенной на 3 порядка.

Значения процентилей по конечной нефтеотдаче соответствующих сценариев

Сценарий	P10	P50	P90
Ноль проницаемость	**39.8**	**47.4**	**52.47**
Умен. на 6 порядков	**41.51**	**49.49**	**54.99**
Умен. на 5 порядков	**43.7**	**52.3**	**57.94**
Умен. на 4 порядка	**52.07**	**58.46**	**63.11**
Умен. на 3 порядка	**67.59**	**71.13**	**72.96**

Для определения зависимости нефтеотдачи от изменения проницаемости деформационных полос было исследовано влияние увеличения проницаемости ДП на увеличение конечной нефтеотдачи (рис. 6). Было избрано семь реализаций, в том числе реализации с минимальным и максимальным значением конечной нефтеотдачи. Анализ значений на рис. 6 показывает, что с уменьшением разницы порядка уменьшения проницаемости ДП, разница конечной нефтеотдачи возрастает.

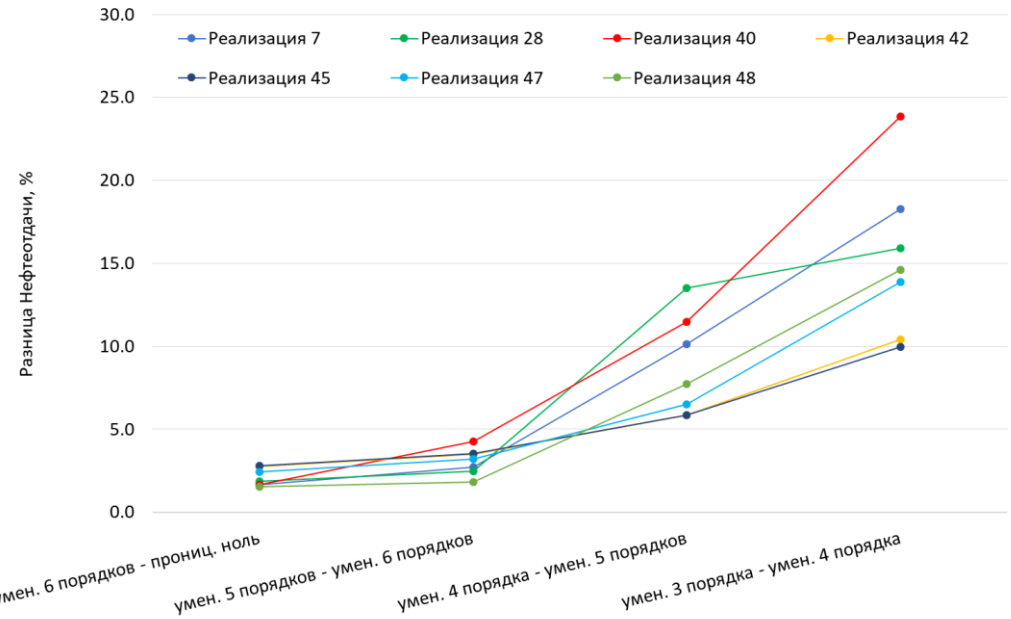


Рис. 6. Изменение разницы нефтеотдачи между сценариями с разными значениями проницаемости деформационных полос для избранных геологических реализаций

Одной из главных задач данной работы является исследование возможной зависимости между топологическими параметрами сети деформационных полос и конечной нефтеотдачой. На рис. 7 и 8 представлены значения конечной нефтеотдачи против степени пересечений и интенсивности ДП соответственно. Трендлинии всех сценариев, кроме моделей с уменьшением проницаемости ДП на 3 порядка, указывают, что с увеличением количества пересечений и интенсивности деформационных полос конечная нефтеотдача падает.

Как следует из коэффициентов детерминации R^2 (рис. 7), результаты уменьшения проницаемости ДП до нуля, на 6 и 5 порядков носят идентичный характер. Значения наклонов трендлиний практически одинаковы. У сценария с уменьшением на 4 порядка тенденция уменьшения нефтеотдачи также присутствует, хотя коэффициент детерминации сильно отличается от вышеупомянутых сценариев. Сценарий с уменьшением на 3 порядка не выявляет зависимости нефтеотдачи от степени пересечений.

Аналогичное поведение выявляется и в изучении зависимости конечной нефтеотдачи от интенсивности деформационных полос. Отличием является только то, что в данном случае уменьшение проницаемости на 4 порядка достаточно схоже по характеру со сценарием с меньшими проницаемостями. Зависимость нефтеотдачи от интенсивности ДП при уменьшении на 3 порядка также не наблюдается.

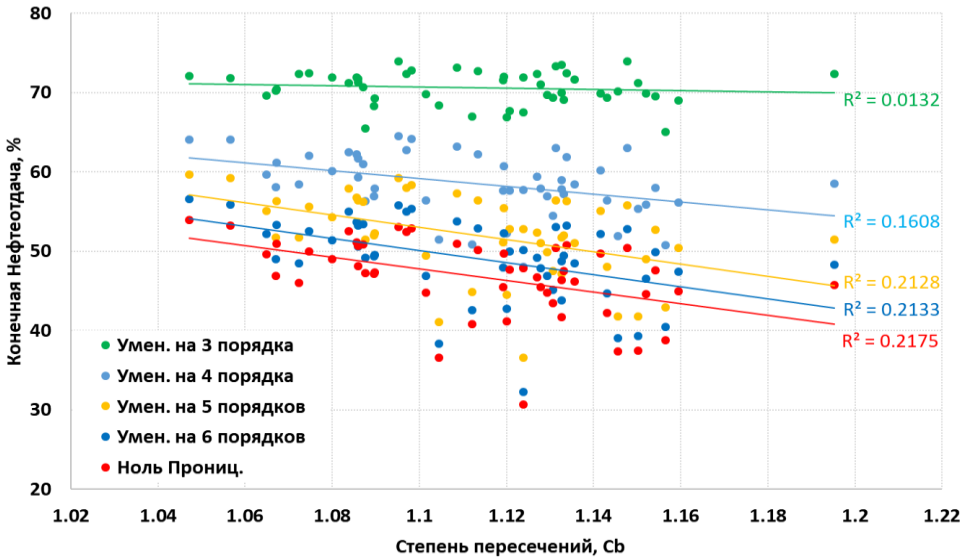


Рис. 7. Зависимость конечной нефтеотдачи от степени пересечений деформационных полос для различных сценариев значения проницаемости в деформационных полосах

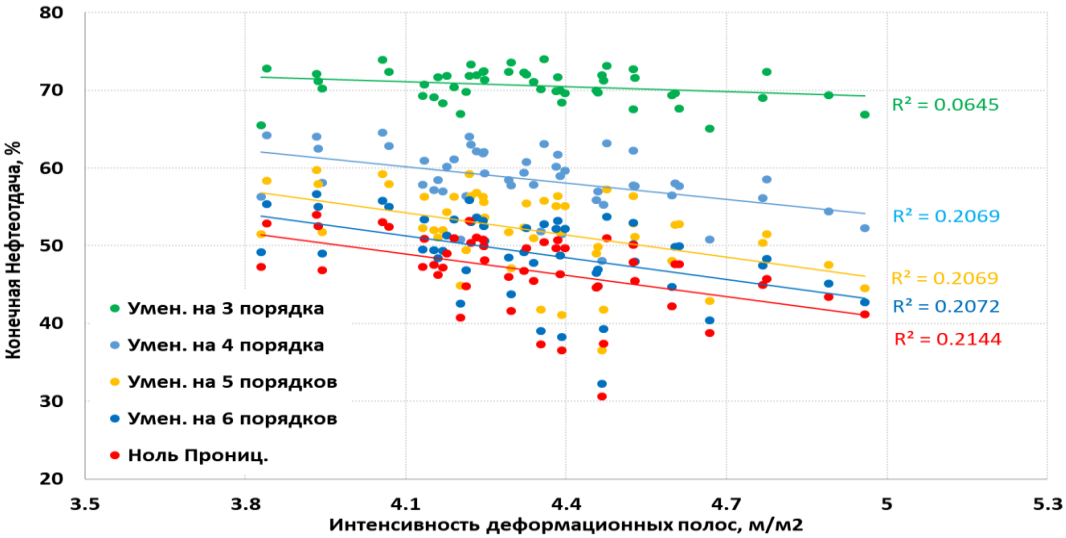


Рис. 8. Зависимость конечной нефтеотдачи от интенсивности деформационных полос для различных сценариев значения проницаемости в них

ЛИТЕРАТУРА

Ализаде А.А., Ахмедов Г.А., Ахмедов А.М., Алиев А.К., Зейналов М.М. Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана. Наука. Москва, 1966, 233 с.

Aydin A. Small faults formed as deformation bands in sandstone. Pure and Applied Geophysics, V. 116, No. 4-5, 1978, pp. 913-930.

Fossen H., Soliva R., Ballas G., Trzaskos B., Cavalcante C., Schultz R.A. A review of deformation bands in reservoir sandstones: geometries, mechanisms and distribution. Geological Society, London, Special Publications, V. 459, 2017, pp. 9-33.

Zuluaga L.F., Rotevatn A., Keilegavlen E., Fossen H. The effect of deformation bands on simulated fluid flow within fault-propagation fold trap types: Lessons from the San Rafael monocline, Utah. AAPG Bulletin, V. 100, No. 10, 2016, pp. 1523-1540.

Rotevatn A., Sandve H., Keilegavlen E., Kolyukhin D., Fossen H. Deformation bands and their impact on fluid flow in sandstone reservoirs: The role of natural thickness variations. Geofluids, V. 13, No. 10, 2013, pp. 359-371.

REFERENCES

Aydin A. Small faults formed as deformation bands in sandstone. Pure and Applied Geophysics, V. 116, No. 4-5, 1978, pp. 913-930.

Alizadeh A.A., Akhmedov G.A., Akhmedov A.M., Aliyev A.K., Zeynalov M.M. Geology of the oil and gas fields of Azerbaijan. Nauka. Moscow, 1966, 233 p. (in Russian).

Fossen H., Soliva R., Ballas G., Trzaskos B., Cavalcante C., Schultz R.A. A review of deformation bands in reservoir sandstones: geometries, mechanisms and distribution. Geological Society, London, Special Publications, V. 459, 2017, pp. 9-33.

Zuluaga L.F., Rotevatn A., Keilegavlen E., Fossen H. The effect of deformation bands on simulated fluid flow within fault-propagation fold trap types: Lessons from the San Rafael monocline, Utah. AAPG Bulletin, V. 100, No. 10, 2016, pp. 1523-1540.

Rotevatn A., Sandve H., Keilegavlen E., Kolyukhin D., Fossen H. Deformation bands and their impact on fluid flow in sandstone reservoirs: The role of natural thickness variations. Geofluids, V. 13, No. 10, 2013, pp. 359-371.

СИМУЛЯЦИЯ ПОТОКА ФЛЮИДОВ В ПЛАСТАХ С ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ПОЛОСАМИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕФТЕОТДАЧИ И ЕЁ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛОС ПЕСЧАНИКА ЯСАМАЛЬСКОЙ ДОЛИНЫ

Алхаслы Ш.Б.
Университет Хазар
AZ1096, Баку, ул. М. Гянджеви 11: hniknafs@khazar.org

Резюме. Данная работа акцентирована на оценке нефтеотдачи пластов с деформационными полосами (ДП) а также выявлении зависимости конечной нефтеотдачи от топологических параметров сетки деформационных полос песчаника Ясамальской долины. Были изучены свиты Балаханы и Сабунчи восточного крыла Ясамальской антиклинали. Было создано пятьдесят геологических моделей на основе сети деформационной сетки Ясамальской долины, которые были симулированы с различными сценариями проницаемости деформационных полос. Входные данные для генерации этих реализаций выведены на основе оцифрованного пласта Ясамальской долины с обилием деформационных полос. Моделирования двухфазного потока флюидов показывают, что наличие деформационных полос может значительно снизить конечный коэффициент нефтеотдачи. Наличие пятидесяти реализаций позволяет изучить спектр конечных коэффициентов нефтеотдачи, в частности среднее, наименее и наиболее вероятные значения. Результаты указывают, что при понижении проницаемости деформационных полос до 0, $2 \bullet 10^{-6}$, $2 \bullet 10^{-5}$, $2 \bullet 10^{-4}$ милли Дарси конечная нефтеотдача значительно пониженная, в то время как эффект при проницаемости $2 \bullet 10^{-3}$ незначителен. Схожая ситуация наблюдается в зависимости конечной нефтеотдачи от топологических параметров, где наибольшая связь присуща для тех же значений проницаемости. Было выяснено, что существует связь между значениями конечной нефтеотдачи пластов и топологическими параметрами. На основе данных, полученных для Ясамальской долины, в работе предоставлена методика оценки эффекта сети деформационных полос для различных сценариев на конечную нефтеотдачу, и указано также на связь результатов динамических исследований с топологическими параметрами (степень пересечений и интенсивность) геологических моделей.

Ключевые слова*: деформационные полосы, Ясамальская долина, симуляция потока флюидов в пластах с деформационными полосами, топология деформационных полос*

DEFORMASİYA ZOLAQLI LAYLARDA NEFT ƏMSALININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ ÜÇÜN MAYE AXININ SİMULYASİYASI VƏ ONUN YASAMAL DƏRƏSİNİN DEFORMASİYA ZOLAQLARININ TOPOLOGİYASINDAN ASLILIĞININ ÖYRƏNİLMƏSİ

Alxaslı Ş.B.
Xəzər Universiteti
AZ1096, Bakı, M. Gəncəvi küç., 11: hniknafs@khazar.org

Xülasə. Tədqiqatın əsas məqsədi deformasiya zolaqlı laylarda neft əmsalının qiymətləndirilməsi və onun Yasamal dərəsinin deformasiya zolaqları əsasında topologiyasından aslılığının öyrənilməsidir. Yasamal dərəsinin sol qanadındakı Balaxanı və Sabunçu lay dəstələri öyrənilmişdir. Yasamal dərəsinin deformasiya zolaqları şəbəkəsi əsasında əlli geoloji model yaradılmış, və deformasiya zolaqlarının keçiriciliyinin müxtəlif ssenariləri ilə ikifazalı maye axınıları simulyasiya edilmişdir. Suvurma simulyasiyalarının əsasında bildirmək olar ki, qumdaşı laylarında deformasiya zolaqlarının olması yekun neftvermə əmsalını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Bunu da qeyd etmək vacibdir ki, geoloji modellərin sayı əlli olması yekun neftvermə əmsalı qiymətinin müəyyən diapazonunu öyrənməyə imkan yaradır. Həmçinin, neftvermə əmsalının ən az, ən çox və orta ehtimali qiymətləri hesablanmışdır. Nəticələrə əsasən, deforma-

siya zolaqlarının keçiriciliyin 0, $2 \bullet 10^{-6}$, $2 \bullet 10^{-5}$, $2 \bullet 10^{-4}$ mDarsi-yə qədər azaldığı halda neft əmsalına böyük təsiri var, lakin bu rəqəm $2 \bullet 10^{-3}$ olduqda təsirin minimal olması aydın olur. Oxşar tendensiya neft əmsalının topoloji parametrlərlə əlaqəsindədə müşahidə olunur. Yekun neftvermə əmsalı qiymətinin və topoloji parametrlər arasında əlaqənin mövcud olduğu müşahidə edilmişdir. Yasamal dərəsindən əldə edilən məlumatlar əsasında, bu işdə deformasiya zolaqlı qumdaşı laylarının neftvermə əmsalının qiymətləndirilməsinin metodikası qurulmuşdur və bu müxtəlif ssenarilər üçün deformasiya zolaqları şəbəkəsinin son neftvermə əmsalına təsirini qiymətləndirməyə imkan vermiş və dinamik nəticələri geoloji modellərin deformasiya zolaqlarının kəsişməsi və intensivliyi kimi topoloji parametrlərlə ilə əlaqələndirmişdir.

***Açar sözlər**: deformasiya zolaqları, Yasamal dərəsi, deformasiya zolaqlı laylarda maye axının simulyasiyası, deformasiya zolaqlarının topologiyası*

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Geography

http://www.journalesgia.com

AGROCLIMATIC ZONING OF ARID SUBTROPICS OF THE AZERBAIJAN REPUBLIC AND ITS AGROECONOMIC EFFICIENCY

Hasanov R.Sh., Guliyev A.A.

Azerbaijan State University of Economics

135, H. Aliyev str., Baku, AZ1072: rovshanhasanov56@gmail.com, asiman.quliyev.1956@mail.ru

***Keywords**: subtropic, arid, agroclimate, climate, zoning*

Summary. The territory of Azerbaijan Republic is 8641.500 hectares, of which 4227.000 hectares of the total area are utilized in agriculture. The total sown area is 1454.000 hectares. The main reason is the underestimation of the natural resources of dry and arid subtropical areas. Determination of boundaries and internal territorial units of the subtropical climate is carried out in two ways. The particular subtropical zone's boundary is set at -12°C and the transition zone's boundary is set at -16°C by using the average annual absolute minimum air temperature. According to D.I.Shashko, an isoline with annual humidity index of Md = 0.25 is taken as the boundary of the arid zone. The upper boundary of arid zone corresponds to the boundary of the forest zone in the mountainous area and the lower boundary corresponds to the forest-steppe zone. The boundaries of arid areas within the subtropical zone are covered by Md=0.25. It should also be noted that the -12^0C isothermal line is not justifying itself when defining subtropical boundaries. In the territory of Azerbaijan there are regions where at -12^0C the sum of active temperature is less than 3800^0C, sometimes 3400^0C. The agroclimatic zoning of arid subtropics of the Azerbaijan Republic was conducted, resulting in 1 country, 4 provinces, 3 subprovinces, 19 regions.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

Currently, the food problem is one of the country's most important problems. The recent economic development processes, the new economic policies carried out with the aim of agricultural development, on the first hand, require a comprehensive study of climate and land resources. Despite the large agroclimatic resources of the studied area, they are still not being utilized efficiently. The main reason for this is the underestimation of the natural resources of dry and arid subtropical areas and the lack of a unified approach to the determination of climatic criteria. The land fund of the Azerbaijan Republic is 8641.5 thousand hectares. 4227.000 hectares of the total area is used in agriculture. The total sown area in the country is 1454 thousand hectares.

We have investigated the agro-climatic resources of the region in order to use effectively the land resources of the Azerbaijan Republic. However, the climate resources of the area are still not completely utilized.

The valuable feature of the climate resources of the Azerbaijan Republic is the thermic potential of its subtropical areas. Subtropical climate forms 60% of the Azerbaijan Republic (Ayyubov, 1975). This great potential should be taken into account in the specialization of agriculture in the country, where the subtropical direction of the economy should be prioritized. Even though, dry and arid subtropic area is covering vast areas, they are used rarely. Calculations show that under the favorable irrigation conditions they are not inferior to the humid subtropical areas for their economic importance. Plain and foothill areas of the Republic have endless thermic potential (in most places with total annual active temperatures of $4000\text{-}4700^0$), including the large residual heat reserves. 40-60% of this reserve remains unused in agriculture every year. The first factor limiting the efficient utilization of arid subtropics' climate resources is the lack of humidity.

Carried out research methods

In this regard, it is appropriate to conduct agroclimatic zoning in arid subtropical areas of the Azerbaijan Republic. For the first time agroclimatic zoning in Russia was conducted by G.T.Selyaninov

(1961) and in the territory of the Azerbaijan Republic it was conducted by A.D.Ayyubov (1968). The researches of Goltsberg (1956), P.I.Koloskov (1947), L.N.Babushkin (1960), Meladze, 1979, D.I.Shashko (1967), A.D.Ayyubov (1968) et al. provided the principles and methods of agroclimatic zoning. These principles and methods have defined not only agroclimatic zoning, but also how to utilize effectively climate resources in agriculture in specific areas. The main goal of the agroclimatic zoning conducted by researchers is the indicators of availability of the heat and humidity of agricultural (mainly heat and moisture) plants. In some cases winter conditions of perennial plants are also taken into account (Davitaya, 1964)

Using the method of G.T.Selyaninov (1961), L.N Babushkin (1960) provided the agroclimatic zoning of cotton fields in Central Asia, while A.D.Ayyubov (1968) provided agroclimatic zoning in the territory of the Azerbaijan Republic using the method of D.I.Shashko (1967). However, since this method belongs to the plain areas, it has been improved by A.D.Ayyubov and used in the agroclimatic zoning of areas with complex relief.

We used this method and took into account the wintering conditions (table 1) of arid subtropical plants (pomegranate, fig, olive, palm and almond), the annual irrigation rate (table 2) (Hasanov, 2018) and the heat supply conditions. Thus the climate boundaries, humidification zones of arid subtropics (particular and transitional zone) were determined and as a result agroclimate zoning was conducted (Fig. 1, 3).

Depending on the peculirities of the object, some additions have been made to the system, taking into account the physical and geographical conditions of the study area. Determination of the boundaries and internal territorial units of the subtropical climate is carried out in two ways:

1. The particular subtropical zone's boundary is set at -12°C and the transition zone's boundary is set at -16°C by using the average annual absolute minimum air temperature. It should be noted that this particular subtropical zone is a major part of the total subtropical territory of the Azerbaijan Republic.

2. According to D.I.Shashko (1967), an isoline with an annual humidity index of Md = 0.25 is taken as the boundary of the arid zone. The upper boundary of the arid zone corresponds to the boundary of the forest zone in the mountainous area and the lower boundary corresponds to the forest-steppe zone.

Table 1

The main thermal indicators of growth and development of arid subtropical plants

Arid subtropic plants	Average daily air temperature °C		Sum of daily temperatures above 10°C during the vegetation period	Duration of the vegetation period	Frosting feature (°C)
	Leaf production period	Leaf sheddingperiod			
Pomegranate*	9-12	10-11	>3800	188-224	Weak -12-(-15) Strong -16-(17) Fatal -18-(-20)
Fig**	9-11	10-11.5	>3600	207-218	Weak -11-(-14) Strong -15-(-17) Fatal -17-(-20)
Olive***	9-13	Doesn't happen	4000-4200	216-220	Weak -8-(-10) Strong -11-(-15) Fatal -16-(-18)
Persimmon**** (Diospyros kaki)	8-10	8-12	2800-4550	195-238	Weak -15-(-18) Strong -19-(-20) Fatal -21-(-22)
Almond *****	4-6	8-12	3500-4700	220-230	Weak -17-(-21) Strong -22-(-25) Fatal -26(-28)

* (Ragimov, 1984)
** (Ulkhanov, 1986)
*** (Abdullaev, 1976)
**** (Gutiev, Mosiyash, 1977)
***** (Ayyubov et al., 1978)

Table 2

Climate irrigation norms of plants in arid subtropics by humidification zones

Humidification zones	Md	Lack of humidity, mm
Very dry	<0.05	>900
Dry	0.05 – 0.10	900-700
Semi-dry	0.10 – 0.15	700-500
Arid	0.15 – 0.25	500-300

Temperature indicators of the boundaries of arid subtropics are defined by the average absolute minimum air temperature of -12 degrees, -16 degrees and the humidity index of 0.25. That is, the boundaries of arid areas within the subtropical zone are covered by Md=0.25. In this case the temperature and humidity indicators coincide with each other. The boundaries of the arid subtropics were determined based on the reciprocal indicators of both lines. It should also be noted that the -12 ^{0}C isothermal line is sometimes not justifying itself when defining subtropical boundaries. In the territory of the Azerbaijan Republic there are regions where at -12^{0}C the sum of active temperature is less than 3800^{0}C, sometimes 3400^{0}C. Such regions, for sure, do not provide normal growth of subtropical plants in some years.

As an example, the bottoms of South-East slopes which are 600-800 meters above sea level in the Greater Caucasus can be shown.

Therefore, climatic boundaries of arid subtropics in such areas are not determined by the average annual minimum air temperature, but the boundaries of these areas are determined with the sum of an active temperature of 3800^{0}C (Fig. 2).

The agroclimatic zoning system of arid subtropics of the Azerbaijan Republic includes the following taxonomic territorial units: agroclimate country, province, subprovince and agroclimate district. The boundary of the country is based on the generally accepted principle of physical and geographical zoning (Shikhlinsky, Gadzhiev, 1973).

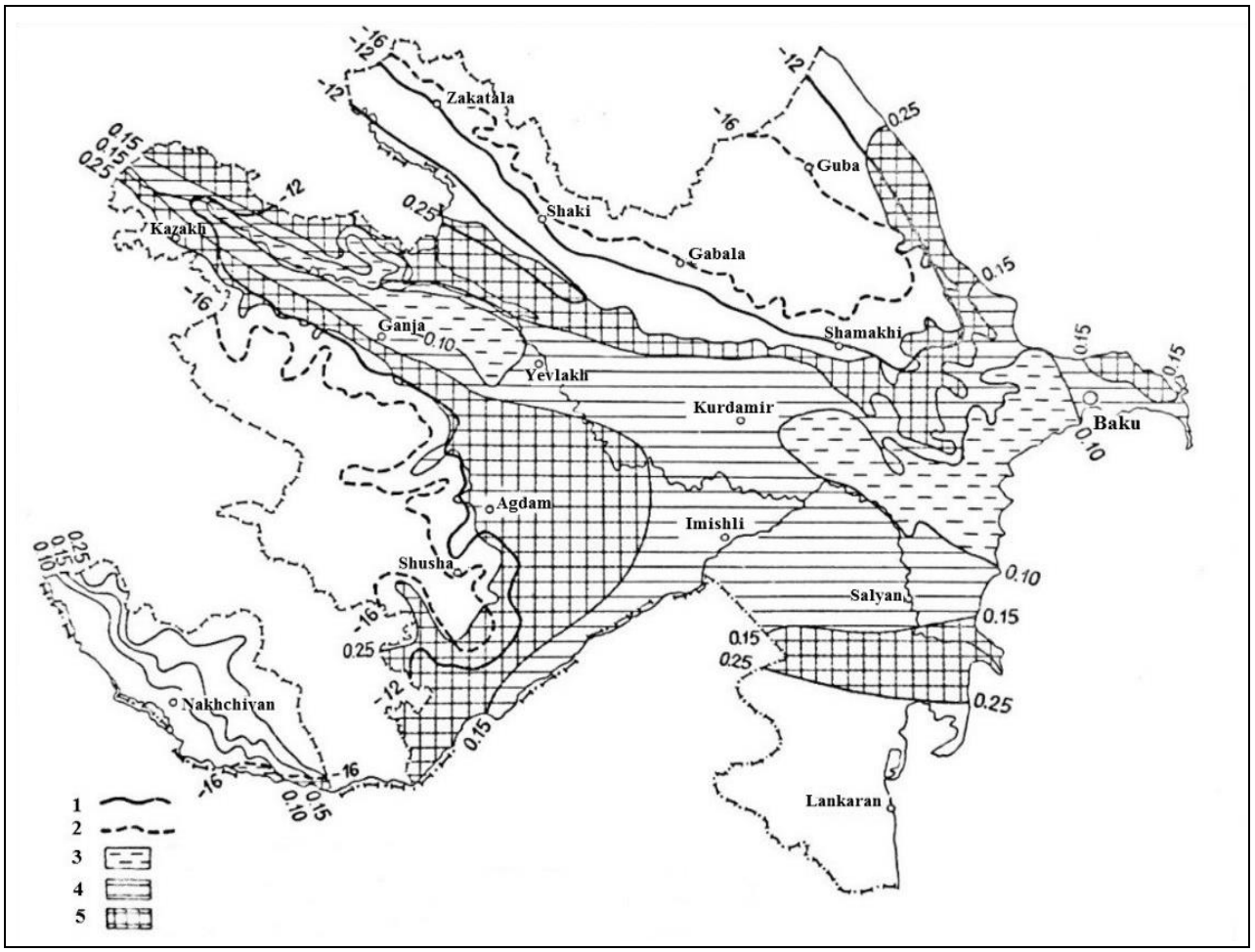


Fig. 1. Boundaries and humidification zones of the subtropical climate zone of the Azerbaijan Republic (boundaries: 1 – particular subtropics; 2 – transition zone; humidification zones: 3 – dry; 4 – semi-dry; 5 – arid) (Hasanov, 2018)

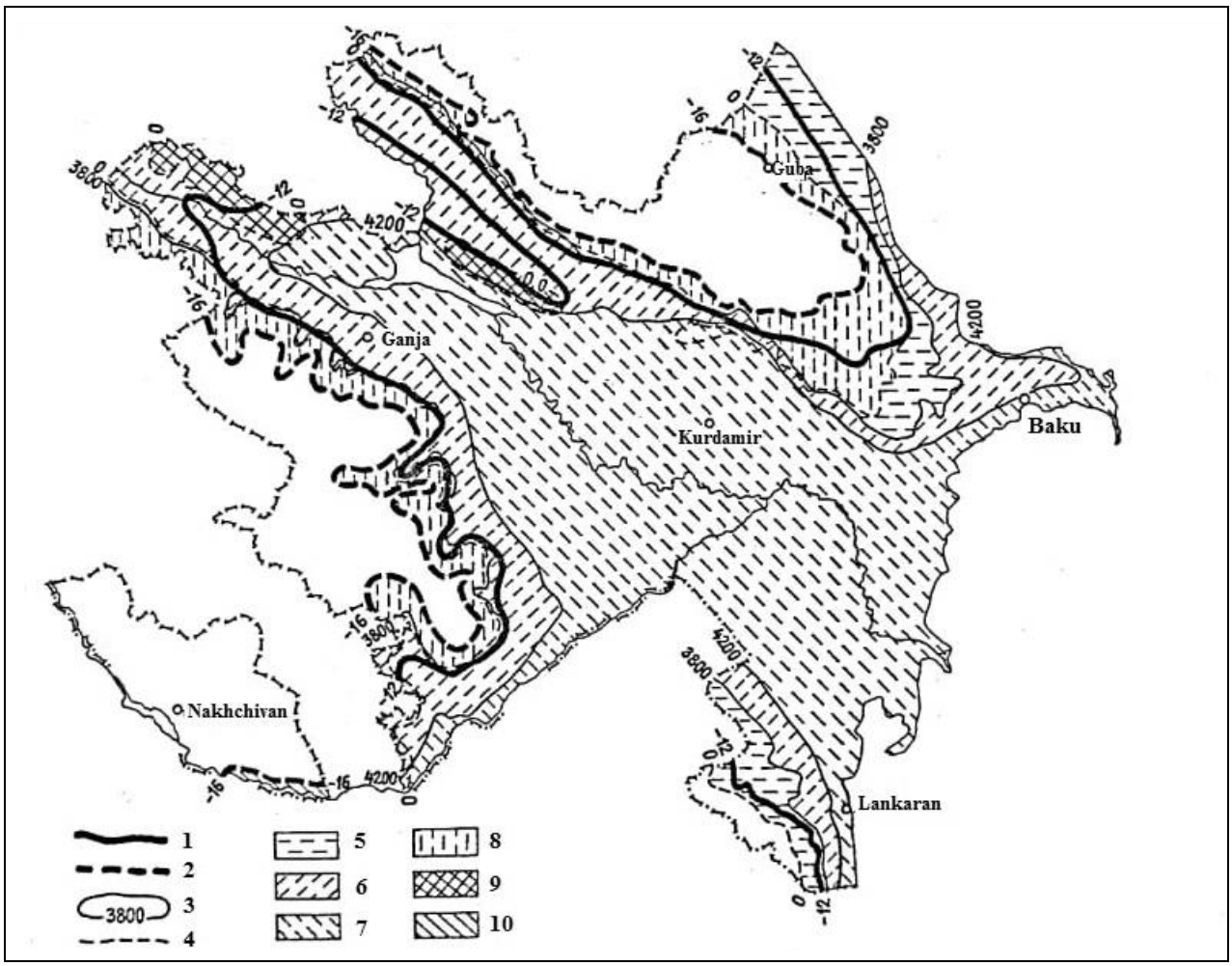


Fig. 2. Heat supply of arid subtropics of the Azerbaijan Republic. 1 – borders of the subtropics proper; 2 – transition zone boundaries; 3 – sums of average daily air temperatures above 10; 4 – January zero isotherm, moderate belt of the temperate zone; 5,8 – stripes are more provided with heat: 5 – with very mild winters, 8 – with mild winter. Moderately warm girdle of a warm belt. Stripes: 6,9 – less provided heat, 7,10 – medium heat, 6,7 – better heat

The agroclimate province is surrounded by large mountain slopes of different directions but with suitable relief. Even though, in some places the borders of the province are limited by the state borders, beyond the borders of it the boundary of the province continues. The boundaries of the agroclimate subprovince are mainly determined by the direction of the large mountain slopes. The roads of the agroclimate regions are developed with the humidity coefficient Md. Based on these, the agroclimatic zoning of arid subtropics of the Azerbaijan Republic was conducted, resulting in 1 country, 4 provinces, 3 subprovinces, 19 regions (Fig. 3)

Discussion of results

The following are the characteristics of the agroclimate regions:

1. Province – The Great Caucasus;

1a. *Subprovince – South slope*:

1. Ceyranchol-Aghsu region which is characterised by foothills, arid, mild warm climate, low heat is situated at 150-800 meters height from sea level. The sum of average annual temperatures above 10^0C is 4000-4500^{0}C, the duration of vegetation period is 260-280 days, and the residual sum of temperature above 10 degrees after the autumn wheat harvest (RTS) is 2200-2700^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below than (-8)-(-10)^{0}C. During the perennial period the number of frostless days is 238-264 days. In average perennial hot period 250-260 mm of precipitation falls. The amount of snowy days is 16-20 days. In average perennial period the number of days with dry wind is 10-40. Climatic conditions of the area allow cultivation of medium-grown cotton varieties, tobacco, dry subtropical, maple, fodder and vegetable crops.

2. Garayazı-Ceyranchol region which is characterised by foothills, semi-arid, mild warm climate, low heat is situated at 500-700 meters height from sea level. The sum of average annual temperatures above 10^0C is 4000-4500^{0}C, the duration of vegetation period is 280-285 days and the residual sum of

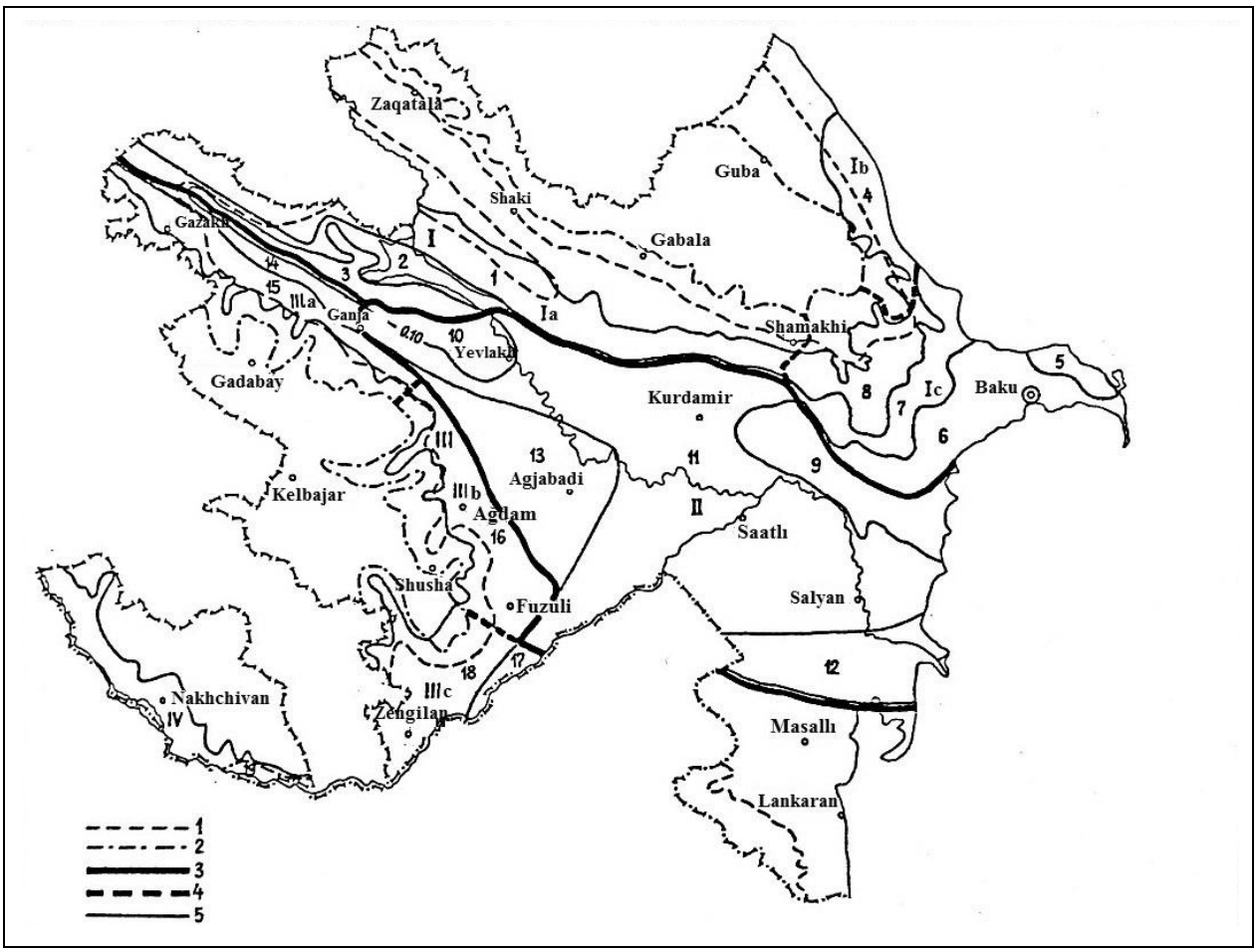


Fig. 3. Agroclimatic zoning of arid subtropics of the Azerbaijan Republic (boundaries: 1 –particular subtropics; 2 – transition zone; 3 – provinces (I-IV); 4 – subprovinces (Ia-IIIc); 5 – regions (1-19)

temperature above 10 degrees after the autumn wheat harvest (RTS) is 2200-2700^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below than (-10)-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 240-264 days. About 220-240 mm precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 16-25 days. The number of dry windy days is 5-10 days. The climatic conditions of the area allow the cultivation of grape varieties, figs, tobacco, dry subtropical plants, fodder, vegetables and perennial plants. Climatic conditions of the district allow to grow products twice a year and to grow alfalfa 2-3 times a year.

3. Bozdagh-Mingachevir region which is characterised by lowland foothills, dry, mild warm climate, low heat is situated at 100-550 meters height from sea level. The sum of average annual temperatures above 10^{0}C is 4400-4600^{0}C, the duration of vegetation period is 280-300 days and the residual sum of temperature above 10 degrees after the autumn wheat harvest (RTS) is 2600-2800^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below than (-8)-(-10)^{0}C. The number of frostless days is 235-245 days. About 150-180 mm precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 8-10 days. The number of dry windy days is 40-45 days. Late growing varieties of cotton, grapes, dry subtropical plants (figs, pomegranates, ziziphus, almonds, quince, pistachios, etc.), late-ripening corn, melons and gourds can be grown in the area of the district with the high level of heat reserves. In the district it is possible to grow one-year plants 2-3 times and 3-4 times the alfalfa a year.

1b. *Subprovince – North-East slope*

4. Khacmaz-Siyazan region which is characterised by lowland hill plains, arid, mild warm climate, low heat is situated at (-20)-500 meters height from sea level. The sum of average annual temperatures above 10^{0}C is 3800-4000^{0}C, the duration of vegetation period is 230-255 days and the residual sum of temperature above 10 degrees after the autumn wheat harvest (RTS) is 2000-2200^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below than (-10)-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 235-245 days. About 160-170 mm precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 14-16 days. The number of dry windy days is 10-20 days. Grain, melons and gourds, fruit

and grapes are grown in this district. After the autumn harvest it is possible to obtain a second crop from some feed crops (corn, rapeseed) due to the residual temperatures in the area.

1c. *Subprovince – Absheron-Gobustan*

5. Buzovna-Pirsaat region which is characterised by lowland plains, arid, mild warm climate, low heat is situated at (-20)-400 meters height from sea level. The sum of average annual temperatures above 10^0C is 4200-4400^{0}C, the duration of vegetation period is 280-290 days and the residual sum of temperature above 10 degrees after the autumn wheat harvest (RTS) is 2400-2600^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below than (-6)-(-8)^{0}C. The number of frostless days is 252-270 days. About 70-110 mm precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 4-10 days. The number of dry windy days is 10-20 days. These areas which have a high level of heat reserves can produce high quality heat-loving plants, arid subtropical plants, grapes as well as industrially important plants such as saffron, through artificial irrigation.

6. Absheron region which is characterised by hilly plain, dry, mild warm climate, medium heat is situated at (-20)-(400) meters height from sea level. The sum of average annual temperatures above 10^0C is 4200-4400^{0}C, the duration of vegetation period is 290-300 days, and the residual sum of temperature above 10 degrees after the autumn wheat harvest (RTS) is 2400-2600^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below than (-6)-(-8)^{0}C. The number of frostless days is 252-270 days. Only about 50-100 mm precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 3-5 days. The number of dry windy days is 10-20 days. This climate condition allows to produce industrially important saffron that have no analogues in the CIS. The hilly plain area is used as winter deposits due to the absence of irrigation canals in the west and southwest of the area. Despite the favorable climate and land resources this area is not used effectively.

7. South Gobustan region which is is characterised by a range of plain with hills, semi-arid, mild-warm climate and warmth is situated at 28-350 m height from sea level. The weather temperature sum above 10^0C is only 4400-4500^{0}C, the length of vegetation period is 290-300 days, and RTC is 2600-2700^{0}C, more than 10^0C after the autumn wheat harvest. The average annual absolute minimum temperature does not fall below (-6)-(-8)^{0}C. The number of frost-free days is 240-270. Only about 50-120 mm of precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 4-6 days. The number of dry windy days forms 20-30 days. High quality products can be obtained from arid subtropical plants (olives, pomegranates, figs, almonds, unabi etc.) in the areas with a large heat supply and favorable wintering conditions. The western and southwestern hilly areas of the district are not used as winter pasture due to lack of irrigation canals.

8. North Gobustan region which is characterised by foothills, arid, mild warm climate and warmth covers is situated at 500-800 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is 3800-4200^{0}C, the length of vegetation period is 234-250 days, and RTC is 2000-2400^{0}C above 10^0C after the autumn wheat harvest. The average annual minimum air temperature does not fall below (-8)-(-10)^{0}C. The number of frostless days is 200-400. Only 100-200 mm of precipitation falls in the hot period. The amount of snowy days varies from 4 to 40 days in different areas. The number of days with dry wind is 20-30 days. Agro-climatic resources of the region create favorable conditions for the cultivation of grapes, cereals, melons and gourds, fodder crops and fruit crops. After the autumn harvest it is possible to obtain a second crop from some feed plants (corn, rape) due to the residual temperatures in the area.

2. Province -Kur-Araz lowland

9. Southern Shirvan-Alat region which is characterised by low plain, arid and mild climate, warmth is situated at 28-300 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is only 4500-4600^{0}C, the vegetation period is 290-296 days, and RTC is 2700-2800^{0}C, more than 10^0C after the autumn wheat harvest. The average annual absolute minimum temperature does not fall below (-6)-(-8)^{0}C. The number of frostless days is 230-266. Only 80-90 mm of precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 4-6 days. The number of dry windy days varies between 10 and 30 days. Large heat reserves of the region allow cultivation of medium maturity cotton species, late-growing corn, melons and gourds, arid subtropical plants, grapes etc. can be grown. Due to the residual temperatures it is possible to harvest twice a year and mow clover 3-4 times. Although there are up to 30 days of dry winds in these areas, it does not affect the development and productivity of the plants. This is because plants are provided with irrigation norms.

10. Ganja-Yevlakh region which is characterised by low plain, dry and mild climate, warmth is situated at the 10-250 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is 4000-4600^{0}C, the vegetation period is 270-286 days, and RTC is 2200-2800^{0}C above 10^0C. The average annual minimum air temperature does not fall below (-8)-(-10) ^{0}C. The number of frostless days is 235-245. The number of snowy days is 5-8 days. The number of dry windy days varies between 30-45 days. The large heat reserves of the area and favorable winter conditions for the plants allow cultivation of cereals,

tobacco, cotton, arid subtropical plants. It is possible to grow clover 2-3 times a year and harvest 3-4 times in these areas. As the plants are supplied with irrigation norms, dry winds do not adversely affect the development and productivity of plants.

11. Shirvan-Mughan central region which is characterised by plain hills, semi-dry and mild climate, warmth is situated at altitudes below 200 m sea level. The weather temperature sum above 10^0C is only 4400-4600^{0}C, the vegetation period is 280-285 days, and RTC above 10^0C is 2600-2800^{0}C. The average annual absolute minimum temperature does not fall below (-8)-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 244-248. 180-200 mm of precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 10-12 days. The number of days with dry wind varies between 30-45 days. Agro-climatic resources of the region allow the cultivation of very hot arid subtropical plants. Residual temperatures allow to crop twice a year and to harvest clover 3-4 times. Due to the good climate and irrigation conditions, dry winds do not prevent the development of plants.

12. Bilasuvar-Neftchala region which is characterised by lowland, arid, mild warm climate with average heat is at (-28)-70 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is 4400-4500^{0}C, the length of the vegetation period is 280-285 days, and RTC is 2600-2700^{0}C. The average annual minimum air temperature does not fall below (-8)-(-10)^{0}C. The number of frostless days is 240-265. In the hot period 120-130 mm of precipitation falls. The number of snowy days is 14-16 days. The number of dry windy days varies from 20 to 40 days. Agro-climatic conditions of the region allow cultivation of cotton, late growing corn, melons and vegetables, arid subtropical plants and different grape varieties. Due to the residual temperatures, it is possible to crop 2-3 times a year and harvest clover 3-4 times.

13. Barda-Aghjabadi region which is characterised by lowland, plain, arid and mild warm climate with average heat is situated at (-15)-200 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is 4400-4500^{0}C, the length of vegetation period is 280-285 days, and RTC is 2600-2700^{0}C. The average annual minimum air temperature does not fall below (-8)-(-10)^{0}C. The number of frostless days is 245-255. The number of snowy days is 9-12 days. The number of dry windy days varies between 20 and 30 days. The region with high agro-climatic conditions allows growing some moist-arid subtropical plants, such as lemons and grapes, besides fruit crops. Due to the residual temperatures, it is possible to crop 2-3 times a year and harvest clover 3-4 times. Climate conditions and irrigation norms prevent the negative effects of dry winds on plant development in the area.

3. Province – Small Caucasus

3a. *Sub- province – Northern slope*

14. Ganja-Agstafa region which is characterised by plain, semi-dry, mild warm climate with low heat is situated at 200-400 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is 4000-4200^{0}C, the length of vegetation period is 260-270 days, and RTC is above 2200-2400^{0}C. The average absolute minimum air temperature is below (-10)-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 230-250. In the hot period 280-290 mm of precipitation falls. The number of snowy days is 10-15 days. The number of dry windy days varies between 10 and 20 days. Favorable climatic conditions allow for the cultivation of cereals, tobacco, subtropical and melons. Due to the residual temperatures, it is possible to crop 2-3 times a year from this area, and harvest clover 2-3 times.

15. Shamkir-Gazakh region which is characterised by low plain, arid and mild warm climate with low-temperature is situated at 200-500 m height from sea level. The weather temperature sum above 10^0C is 3800-4000^{0}C, the length of vegetation period is 260-270 days, and RTC is above 2000-2200^{0}C. The average absolute minimum air temperature is below (-10)-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 220-250. 230-270 mm of precipitation falls in the hot period. The number of snowy days is 4-11 days. The number of dry windy days varies between 10 and 20 days. These climatic conditions are best suited to grow cereals, melons and grapes in the area. It is possible to grow some forage crops (corn, rape, etc.) due to the residual temperatures in the area.

3b *Sub-province – Eastern slope*

16. Aghdam-Fizuli region which is characterised by plain with hill, arid and mild warm climate with low heat is situated at 200-1000 m height from the sea- level. The weather temperature sum above 10^0 C is 3800-4000^{0}C, the length of vegetation period is 260-270 days, and QTC is above 2000-2200^{0}C. The average absolute minimum air temperature is below -10-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 237-244. In the warmer period rainfall is 290-300 mm. The number of snowy days is 13-25 days. The number of dry windy days varies between 20 and 30 days. Favorable agro-climatic conditions allow the cultivation of humid oriented fruits, dry subtropical plants, grapes, cotton and cereals. Due to the residual temperatures, it is possible to grow plants in this area for a short growing season. Due to high irrigation norms, repeated dry winds do not affect the productivity and development of plants.

3c *Sub-province – South slope*

17. Lower Hakkari region which is characterised by plain, semi-arid and mild warm climate with low heat is situated at 200-500 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^0C is

4200-4400^{0}C, the length of vegetation period is 260-285 days, and RTC is above 2400-2600^{0}C. The average absolute minimum air temperature is below (-10)-(-12)^{0}C. The number of frostless days is 230-250. In the hot period 100-120 mm of precipitation falls. The number of snowy days is 18-20 days. The number of dry windy days varies between 10 and 30 days. Large heat reserves of the region allow cultivation of arid subtropical fruit crops, nuts, melons, cereals, tobacco and various varieties of grapes. Due to the residual temperatures, it is possible to harvest 2-3 times a year fodder crops and 3-4 times clover.

18. Lachin-Gubadli region which is characterised by low and middle mountainous areas, arid and mild climate with low heat is situated at 500-1200 m height from the sea- level. The weather temperature sum above 10^{0}C is 3800-4200^{0}C, the length of vegetation period is 230-279 days, and RTC is above 2000-2400^{0}C. The average annual minimum air temperature does not fall below (-12)-(14)^{0}C. The number of frostless days is 210-240. In the hot period the amount of precipitation is 350-400 mm. The amount of snowy days is 18-52 depending on the area. The number of dry windy days varies between 10 and 20 days. Agro-climatic conditions of the area allow cultivation of cereals, melons and gourds, fodder plants, fruit crops, as well as some types of arid subtropical plants and nuts. Due to the residual temperatures, it is possible to grow corn and rape belonging to a short vegetation period from this area.

4. Region – Nakhchivan AR

19. Julfa-Ordubad region which is characterised by low mountainous areas and foothill plains, arid and mild warm climate with low heat is situated at 700-1000 m height from the sea level. The weather temperature sum above 10^{0}C is 4000-4800^{0}C, the length of vegetation period is 230-279 days, and RTC is above 2200-2400^{0}C. The average annual minimum air temperature does not fall below (-14)-(-16)^{0}C. The number of frostless days is 220-230. In the hot period the amount of precipitation is 100-150 mm. The number of snowy days is 18-30 days. The number of dry windy days is 30-50 days. Agro-climatic conditions of the region allow to plant walnut, unabi, peach, apricot, melon, high-quality grapes, tobacco crops, etc. protecting from cold. Due to residual temperatures, it is possible to harvest clover 2-3 times in a year. The strong and frequent blowing dry winds in some areas have a negative impact on the growth and productivity of plants.

Conclusion

- The boundary of the individual subtropical zone which forms the main part of the total subtropical territory of the Azerbaijan Republic is defined as -12^{0}C and the border of the transition zone is -16^{0}C.

According to D.I.Shashko the average humidity indicators of Md =0.25 is taken as the boundary of the arid zone. Temperature indicators of the arid subtropics are defined by the average absolute minimum air temperature of -12^{0}C and -16^{0}C, and the humidity coefficient is 0.25. That is, the boundaries of arid areas within the subtropical zone are covered by Md=0.25. In this case the temperature and humidity indicators coincide. According to the interaction of both lines the boundaries of the arid subtropics were determined.

- The agroclimatic zoning system of arid subtropics of the Azerbaijan Republic includes the following taxonomic territorial units: agroclimate country, province, semi-province and agro-climate region. The boundaries of the agro-climate regions are characterized by humidity coefficient Md. Based on these the agroclimatic zoning of arid subtropics of the Azerbaijan Republic was conducted, as a result 1 country, 4 provinces, 3 sub-provinces, 19 districts have been defined.

REFERENCES

Abdullaev V.G. Agroclimatic resources of the Azerbaijan SSR for the reason of cultivation of olive crops. Abstract of PhD dissertation (geography sciences). Baku, 1976, 22 p. (in Russian).

Ayyubov A.D. Agroclimatic zoning of the Azerbaijan SSR. AS of the Azerb. SSR. Baku, 1968, 187 p. (in Russian).

Ayyubov A.D. Climate control of Azerbaijan SSR. Elm. Baku, 1975, 148 p. (in Russian).

Ayyubov A.D., Ragimov H.Sh., Ulkhanov N.D. Study of the climatic conditions of fruit subtropical crops and their agricultural assessment (pomegranate, fig, persimmon, almond). Fund of the Institute of Geography of the Academy of Sciences of Azerbaijan Republic, Baku, 1978, 386 p.

Babushkin L.N. Agroclimatic zoning of the cotton zone of Central Asia. Gidrometeoizdat. Leningrad, 1960, 134 p. (in Russian).

ЛИТЕРАТУРА

Həsənov R.Ş. Ətraf mühitin iqtisadiyyatı. Dərslik. İqtisad Universiteti Nəşriyyatı. Bakı, 2018, 556 s.

Абдуллаев В.Г. Агроклиматические ресурсы Азербайджанской ССР для целей возделывания культур маслины. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. географ. наук. Баку, 1976, 22 с.

Бабушкин Л.Н. Агроклиматическое районирование хлопковой зоны Средней Азии. Гидрометеоиздат. Ленинград, 1960, 134 с.

Гольцберг И.А. Климатические описания с учетом требований сельскохозяйственного производства. В сб.: А.И.Воейков и современные проблемы климатологии. Гидрометеоиздат. Ленинград, 1956, 241 с.

Гутиев Г.Т., Мосияш А.С. Климат и морозостойкость субтропических растений. Гидрометеоиздат. Ленинград, 1977, 278 с.

Davitaya F.F. The forecast of heat supply and some problems of the seasonal development of nature. Gidrometeoizdat. Moscow, 1964, 132 p. (in Russian).
Goltsberg I.A. Climatic descriptions taking into account the requirements of agricultural production. In: A.I.Voeikov and modern problems of climatology. Gidrometeoizdat. Leningrad, 1956, 241 p. (in Russian).
Gutiev G.T., Mosiyash A.S. Climate and frost resistance of subtropical plants. Hydrometeoizdat. Leningrad, 1977, 278 p. (in Russian).
Hasanov R.Sh. Environmental economics. Economic University Publishing. Baku, 2018, 556 p. (in Azerbaijani).
Koloskov P.I. Agroclimatic zoning of Kazakhstan. Publishing of AS of USSR. Moscow, 1947, p.147 (in Russian).
Meladze G.G. Agroclimatic basis for the cultivation of subtropical industrial and essential oil crops. Hydrometeoizdat. Leningrad, 1979, 136 p. (in Russian).
Ragimov H.Sh. Agroclimatic conditions and resources of pomegranate cultivation in the Azerbaijan SSR. Abstract of PhD diss. (geography). Baku, 1984, 24 p. (in Russian).
Selyaninov G.T. Prospects for the subtropical economy of the USSR in connection with natural conditions. Hydrometeoizdat. Leningrad, 1961,195 p. (in Russian).
Shashko D.I. Agroclimatic zoning of USSR. Kolos. Moscow, 1967, 336 p. (in Russian).
Shikhlinsky E.M., Gadzhiev G.A. The study of the patterns of climate variation and change according to individual meteorological elements and their complex in the Eastern Caucasus and Caspian Sea conditions with the identification of their connection with solar-terrestrial macroprocesses. Fund of the Institute of Geography of the Academy of Sciences of Azerbaijan Republic, Baku, 1973, 247 p. (in Russian).
Ulkhanov N.D. Agroclimatic conditions and cultivation resources of fig culture in Azerbaijan SSR. Abstract of PhD diss. (geography sciencies). Baku. 1986, 23 p. (in Russian).

Давитая Ф.Ф. Прогноз обеспеченности теплом и некоторые проблемы сезонного развития природы. Гидрометеоиздат. Москва, 1964, 132 с.
Колосков П.И. Агроклиматическое районирование Казахстана. Изд. АН СССР. Москва, 1947, 147 с.
Меладзе Г.Г. Агроклиматические основы возделывания субтропических технических и эфиромасличных культур. Гидрометеоиздат. Ленинград, 1979, 136 с.
Рагимов Х.Ш. Агроклиматические условия и ресурсы возделывания граната в Азербайджанской ССР. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. географ.наук. Баку, 1984, 24 с.
Селянинов Г.Т. Перспективы субтропического хозяйства СССР в связи с природными условиями. Гидрометеоиздат. Ленинград, 1961, 195 с.
Улханов Н.Д. Агроклиматические условия и ресурсы возделывания культуры инжира в Азербайджанской ССР. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. географ. наук. Баку, 1986, 23 с.
Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. Колос. Москва, 1967, 336 с.
Шихлинский Э.М., Гаджиев Г.А. Изучение закономерностей колебания и изменения климата по отдельным метеорологическим элементам и по их комплексу в условиях Восточного Кавказа и Каспийского моря, с выявлением их связи с солнечно-земными макропроцессами. Фонды Ин-та географии АН Азерб. Республики, Баку, 1973, 247 с.
Эйюбов А.Д. Агроклиматическое районирование Азербайджанской ССР. Изд. АН Аз.ССР. Баку, 1968, 187 с.
Эйюбов А.Д. Бонитировка климата Азербайджанской ССР. Элм. Баку, 1975, 148 с.
Эйюбов А.Д., Рагимов Х.Ш., Улханов Н.Д. Изучение климатических условий плодовых субтропических культур и их сельскохозяйственная оценка (гранат, инжир, хурма, миндаль). Фонды Ин-та географии АН Азерб. Республики, Баку, 1978, 386 с.

АГРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ АРИДНЫХ СУБТРОПИКОВ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И ЕГО АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Гасанов Р.Ш., Гулиев А. А.
Азербайджанский Государственный Экономический Университет
AZ1072, Баку, ул акад.Г.Алиева, 135: rovshanhasanov56@gmail.com, asiman.quliyev.1956@mail.ru

Резюме. Общая площадь нашей республики составляет 8641.5 тыс. га, из них 4227 тыс. га используются в сельском хозяйстве, а 4879.5 га находятся в засушливой (аридной) субтропической зоне. Агроклиматические ресурсы исследуемой территории огромны, однако до сих пор они используются недостаточно и крайне нерационально. Главной причиной этого является неудовлетворительная оценка природных возможностей и отсутствие единого подхода к определению климатических критериев субтропичности и аридности территорий.

Граница рассматриваемой территории и рубежи внутренних подразделений определены путем использования в основном двух критериев:

1) Средние из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха (-12°С для выделения собственно субтропической зоны и -16°С – переходной субтропической зоны), здесь уместно отметить, что собственно субтропическая зона в пределах Азербайджана является частью общей субтропической зоны в целом.

2) Показатель годового увлажнения (Md) доходит до 0,25. Согласно Д.И.Шашко, изолиния с Md = 0.25, используется в качестве границы засушливой зоны, выше которой в горах распространяются леса, а ниже – лесостепь.

Субтропики, где преобладают величины коэффициента увлажнения ниже 0.25 и средние из абсолютных минимумов температуры воздуха -12° и -16° располагаются внутри ареала аридной зоны, граница аридных субтропиков определяется по термическому признаку. В случае же расположения аридной территории внутри субтропической зоны, эта граница проводится по Md=0.25. Однако следует отметить, что линия -12° не везде принята за границу субтропиков. В Азербайджане имеются районы, где в пределах температур выше -12° суммы активных температур составляют менее 3800°, даже 3400°. Эти районы в отдельные годы, естественно, не могут обеспечить нормальный рост субтропических культур. Исходя из этого, было проведено агроклиматическое районирование засушливых субтропиков Азербайджанской Республики, в результате были выделены: 1 страна, 4 области, 3 подобласти, 19 районов.

Ключевые слова*: субтропический, аридность, агроклиматический, климатический, районирование*

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ ARİD SUBTROPİKLƏRİNİN AQROİQLİM RAYONLAŞMASI VƏ ONUN AQROİQTİSADİ SƏMƏRƏLİLİYİ

Həsənov R.Ş., Quliyev A.A.
Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
AZ1072, Bakı şəh.., H.Əliyev küç., 135: rovshanhasanov56@gmail.com,
asiman.quliyev.1956@mail.ru

Azərbaycan Respublikasının torpaq fondu 8641.5 min ha-dır. Bu fondun 4227 min ha-rı kənd təsərrüfatında istifadə edilir. Ölkədə əkin sahələri 1454 min ha sahə tutur. Tədqiq olunan ərazinin aqroiqlim ehtiyatları böyük olmasına baxmayaraq bu günə qədər onlardan səmərəli istifadə edilmir. Bunun əsas səbəbi quru və quraq subtropik ərazilərin təbii imkanlarının düzgün qiymətləndirilməməsi və iqlim meyarını müəyyənləşdirməyə vahid yanaşmanın olmamasıdır. Subtropik iqlim qurşağının sərhədləri və daxili ərazi vahidlərinin müəyyən edilməsi əsasən iki üsulla aparılmışıdır:

Havanın ortaillik mütləq minimum temperaturu vasitəsilə məxsusi subtropik zonanın sərhədi -12^{0}C, keçid zonanın sərhədi isə -16^{0}C müəyyən edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, məxsusi subtropik zona Azərbaycan Respublikasının ümumi subtropik ərazisinin əsas hissəsini təşkil edir.

D.İ.Şaşkoya görə illik rütubətlənmə göstəricisi Md=0.25 olan izoxətt quraq zonanın sərhədi kimi götürülür. Quraq zonanın yuxarı sərhədi dağlıq ərazidə meşə zonasının, aşağı sərhəddi isə meşə-çöl zonasının sərhədinə uyğun gəlir. Arid subtropiklərin sərhədlərinin temperatur göstəriciləri, havanın ortaillik mütləq minimum temperaturu -12^{0}C və -16^{0}C, rütubətlənmə əmsalı isə 0.25 həddi ilə müəyyən edilir. Subtropik zona daxilindəki arid ərazilərin sərhədləri Md =0.25 ilə əhatə olunur. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, subtropiklərin sərhədlərinin təyini zamanı -12^{0}C-lik izotermiki xətt bəzən özünü doğrultmur. Azərbaycan Respublikası ərazisində elə rayonlar var ki, -12 ^{0}C temperaturda fəal temperatur cəmi 3800 ^{0}C-dən aşağı, bəzən 3400^{0}C olur. Belə rayonlar, təbii ki, bəzi illərdə subtropik bitkilərin normal inkişafını təmin etmir.

Bunlara əsaslanaraq, Azərbaycan Respublikasının arid subtropiklərinin aqroiqlim rayonlaşdırılması aparılmış, nəticədə 1 ölkə, 4 vilayət, 3 yarımvilayət, 19 rayon müəyyən edilmişdir.

***Açar sözlər**: subtropik, quraq, aqroiqlim, iqlim, rayonlaşdırma*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **2 / 2019**

Geography

http://www.journalesgia.com

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИТОКА ДАМАРЧИН РЕКИ КИШ И ОПАСНОСТЬ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Агабалаев Г.М., Рагимов Я.Р.

Шекинский Региональный Научный Центр, НАНА

AZ5500, Шеки, Азербайджан, ул. Л.Абдуллаева, 24: qafqaz.agabalayev@mail.ru, yusif59@mail.ru

ECOLOGICAL STATUS OF THE DAMARCHIN BRANCH OF THE KISH RIVER AND MUDFLOWS HAZARD

Agabalayev G.M., Rahimov Y.R.

Sheki Regional Scientific Center of ANAS:

Abdullayev Str.., 24, Sheki, AZ5500, Azerbaijan:

qafqaz.agabalayev@mail.ru, yusif59@mail.ru

Keywords: *ecology, Damarchin, Kish river, mudflows focal zones, anthropogenic effect*

Summary. The paper deals with the study of the interrelation of ecological situation and formation of formation processes of the mudflow events in the Kish river and its branches. Based on the monitoring results, it was revealed the intensity increase of mudflow events on the southern slope of the Greater Caucasus as a consequence of not only the erosion of the lowland surfaces, but also deforestation alongside the basin of this river. It was estimated the influence of natural processes and anthropogenic impact on the fomration of mudflows of the Kish river. It was suggested to conduct a phyto land-reclamative preventive measures aiming to diminish the scale of mudflows in the region. It is recommended to plant soil-reinforced plants forming the well-sustained root system, such as acacia, white oak, poplar, Zabaikalskiy spruce, in the middle highland, on those areas in which areas erosion processes were more active.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Актуальность темы

Формирование селевых потоков в горных реках южного склона Большого Кавказа и влияние экологических нарушений на эти процессы является актуальной проблемой. Река Киш с притоками Гурджана (Дулусча), Гайнар, Дамарчин и Чухадурмаз являются селеопасными, представляя большую опасность для региона. Настоящая работа посвящена изучению взаимосвязи между экологической ситуацией и формированием селевых потоков реки Киш и его притоков. Выявлено, что здесь интенсивно происходит процесс деградации почвы в верхнем слое земной коры в результате антропогенных воздействий в субальпийских и альпийских низменностях.

Введение

Южные склоны Большого Кавказа имеют очень сложную геологическую структуру (Айюбов, 1998). В пределах реки Кура можно встретить отложения верхней и средней юры, а также четвертичного периода (Ализаде, 2010). Сейсмичность является одной из геологических опасностей, присущих данной территории. Эти территории характеризуются глубокими продольными и поперечными трещинами. С другой стороны, процесс горообразования на данных территориях все ещё продолжается. На основе исследований и наблюдений было установлено, что скорость современного горообразования в высоких частях горных зон в основном доходит до 6-8 мм в год. Процесс образования гор и их скорость снижаются в средних и нижних частях горных зон, где скорость составляет 3-5 мм в год. Айричайская долина, находящаяся на юге, имеет крутой склон по сравнению с таковой в горной местности.

Скольжения, происходящие на поверхности земли, создают большие напряжения на этой территории, и по мере уменьшения тектонической напряженности по линии разлома они становятся причиной сдвигов и землятресений.

Основная линия разлома, которая генерирует землятресения, проходит вдоль долины Айричай по горной местности.

Город Шеки и горная территория северного направления располагается в эпицентральной зоне с землетрясениями силой 7-8 баллов по шкале Рихтера. Оползни и разрушения горных массивов с образванием крутых склонов, раздробленных долинами глубоких рек, форм древних ледников являются причиной обезлесения горных склонов. Такие процессы способствуют формированию селевых процессов. Селевые потоки и наводнения являются одними из основных природных стихийных бедствий, происходящих в мире. В последние годы глобальное потепление, происходящее в атмосфере Земли, стало причиной негативного роста динамики изменения климата, что в свою очередь повлияло на количество повторений природно-стихийных бедствий, включая селевые потоки и наводнения, связанные с гидрометеорологическими процессами (рис. 1).

Южный склон Большого Кавказа, территория между бассейнами Мазымчай, Гейчай являются более напряженной экологической зоной, где оползни в основном происходят на высотах от 1300-3000 м. Высокий радиационный уровень в Шеки-Загатальском регионе создает условия для формирования термического режима на этой территории. Среднегодовая температура воздуха на степной и предгорных территориях составляет 12-13°C, а в среднегорьях – 5-10°C.

В отдельные дни летнего и зимнего периодов температура воздуха может резко варьировать в разных диапазонах. Абсолютный минимум температуры воздуха в степной и предгорной частях региона может достигать (-20)-(-24)˚C, а в верхних частях может быть даже и намного меньше. Несмотря на то, что речные воды являются очень ценными и незаменимыми ресурсами природы, они также могут нанести огромный ущерб различным отраслям народного хозяйства в виде паводков и селевых потоков. Ущерб, нанесённый различным отраслям народного хозяйства, можно разделить на две составляющие. Один из ущербов – это нарушение природного режима воды и наносов. Другим ущербом является влияние хозяйственной деятельности человека на эти ресурсы. Мы должны отметить также и то, что люди, осваивая природные ресурсы в больших масштабах, создают условия для проявления опасных природных явлений. К таковым можно отнести: обработка земли, вырубка лесов, прокладывание дорог, проведение горнорудных работ и другие. Деятельности такого рода создают условия для скопления оползневых материалов в больших объемах.

Интенсивное использование горных местностей местным населением во время летнего сезона (в особенности создание летних пастбищ для сельского угодья) тоже являются причиной увеличения той площади территории, которая подвержена активизации очагов селевых потоков. Оползневые материалы устремляются к руслам рек (Ализаде и др., 2005). Река Дамарчин в результате интенсивных ливневых дождей пробивается с севера на юг и склоны, окружающие ее бассейн, формируют глубокую впадину в форме воронки (Ахмедов, 2007).

Приток Дамарчин реки Киш начинается с больших долин: Сарыгая, и Бёйюкгая. Территория Дарвазлар расположена в устье реки, которая берет свое начало на высоте 1668 м над уровнем моря и простирается по меридиану 42˚18'16" в северо-восточном направлении. Бассейн реки имеет ширину 110 м, пересекаясь с Чухадурмаз в трёх разных направлениях вдоль бассейна реки: 110 м – в Гараторпаг, 170 м – на территории Шыхнатала и Пиргайя и 80 м – на территории, которая называется Дарвазлар. Зона, которая проходит вдоль русла реки, состоит из грунта в основном скалисто-каменного состава с крутым уклоном. На территории, которая называется Мещя Баши, лесной покров занимает очень малую зону. Вдоль долины реки в юго-восточном направлении на правом берегу реки расположен водопад «рядом с местностью Гара Дашлар Кяндирь Саллаян» высотой 5 м, а на расстоянии в 200 м – водопад «Худгяр» высотой в14.8 м. (рис. 2).

По направлению с северо-востока (42˚) на север (138˚) по правой стороне реки наблюдаются области с меньшим лесным покровом (в основном скалы), а по левому берегу реки увеличивается плотность лесного покрова (Бёйюк Хаджи Ибрагим). В разных частях русла реки в трёх разных отсеках глубина достигает 3-3.5 м. Во время селевого потока большие скальные камни весом в 10-12 тонн были унесены рекой. Высокий уровень движения оползневых масс и крупных скалистых материалов наблюдается на пологих склонах. Наибольшее количество раздробления скалистых материалов можно обнаружить в долине реки на территориях вокруг Пиргайя и Сыхна. На левом и на правом склонах бассейна лесной покров почти отсутствует. Расстояние от пункта Йокуш в селе Киш и до пункта под названием Дарвазлар на реке Дамарчин составляет 15 км.

Интенсивная физическая деградация почвы, наблюдающаяся в районе нижней части склонов, а также гравитационные силы тяжести активно влияют на формирования скалистых зон (3000 м), тем самым, отлагаясь, создают толстый густой слой продуктов деградации почвы.



Рис. 1. Горные долины с селевыми потоками



Рис. 2. Водопад Худгяр

Объём масс отложений увеличивается за счёт морены в устье реки. Кроме мелких материалов из отложений, сформировавшихся на территории выше лесного покрова, селевые потоки также могут нести с собой крупные камни, глыбы, скальные частицы по нижней и средней частям реки по направлению к населенным пунктам.

Река Дамарчин в процессе своей деятельности вырабатывает речные долины, и такое вырабатывание влияет стремительно на скорость потока объема воды в реке (Ализаде, 2010).

Климатические условия формирования селевого потока изучаются на основе трёх основных факторов: солнечная радиация с высоким напряжением, большая амплитуда суточных колебаний температуры воздуха и интенсивные дожди в больших объемах, а также долгосрочный период засухи во время летнего периода года (Айюбов и др., 1998). В лесах районов Гах, Шеки, Огуз, Габала на некоторых территориях частично можно встретить дубовые деревья (Будагов, 2003). Находящиеся в горной местности природные лесные массивы препятствуют движению селевых потоков. Южные склоны Большого Кавказа, особенно зоны Шеки-Загатала богаты полезными ископаемыми. В этом регионе на резервуарах рудных месторож-

дений проводятся широкомасштабные геологические разведочные работы. Некоторые резервуары даже эксплуатируются в течение последних десятилетий (Ализаде и др., 2005).

В 2005 году на скалистых территориях бассейна реки Дамарчин (на расстоянии 200 м от территории, которая называется Гара Торпаг) на глубине 20 м были проведены поисковые работы на месторождения урана. В связи с армянской оккупацией большей части Малого Кавказа, а следовательно и неэксплуатированием этих резервуаров, южный склон Большого Кавказа и его низменные территории, находящиеся рядом со склонами, стали исследоваться более детально. В результате разрушения лесистых зон в низменностях опасность селевых потоков увеличилась (Ализаде и др., 2005). В качестве примера этому можно привести селевой поток, произошедший у притока Гайнар реки Киш в 2016 году. Все эти явления наряду с проявлением опасности селевых потоков негативно влияют на такие отрасли, как скотоводство, лесное и сельское хозяйство в этом регионе, а также на всю экосистему.

Повторное использование низменных зон исследуемой территории (например, пастбищ для скотоводства) является причиной раздроблений земельных участков, которые полностью размываются во время ливневых дождей. В результате этого формируются плотные почвы в форме тропинок разного грунтового состава (Ализаде и др., 2005). Такие формирования можно наблюдать в бассейне реки Киш. Очень глубокие тропинки формируются в таких притоках, как Сыхна Талысы, Бейюк Хаджи Ибрагим, Кичик Хаджи Ибрагим, в разных частях склонов и холмов.

Выводы и рекомендации

По результатам мониторинга наблюдается увеличение интенсивности опасностей селевых потоков на южном склоне Большого Кавказа, как результат не только размывания поверхности низменностей, но и уменьшения площади лесного покрова вдоль бассейна от северного направления к восточному. Помимо того, солюфликация, эрозия, обмывание, раздробление грунтов являются результатом не только природных процессов, но и антропогенного воздействия. В качестве фитомелиоративных превентивных мер по нижней границе горно-лесного пояса южного склона Большого Кавказа рекомендуется посадить акацию, белый дуб, тополь, забайкальскую ёлку в среднегорьях, где эрозионные процессы были более активными. Рациональное использование земель, а также применение режима заповедника являются одними из эффективных мер, направленных на сохранение в естественном состоянии природных комплексов, восстановление и предотвращение изменений природных комплексов и их компонентов в результате воздействия почвенной эрозии в горно-низменных зонах южного склона главного Кавказского хребта.

ЛИТЕРАТУРА

Айюбов А.Дж., Гулузаде Б.А., Набиев Г.Л., Мамедов Г. Дж. Селевые потопы в акваториях рек Киш и Шин. Элм. Баку, 1998, с. 9.

Ализаде З.М. Селевые процессы в акватории реки Киш и методы борьбы с ними. Шекинский Региональный Научный Центр (ШРНЦ) НАНА, Научно-практическая конференция. Нурлан. Баку, 2010, с. 19-42.

Ализаде З.М., Мустафабейли Г.Л. Природные разрушительные явления Шеки-Закатальского региона и экогеографические проблемы в развитии региона, Научно-практическая конференция, 9-10 июня. Шеки. 2005, с. 5.

Ахмедов А. Вариация изменений в русле реки Киш. Наука и жизнь, 2007.

Будагов Б.А. Регионально-географические проблемы Азербайджанской Республики, Институт Географии им. акад. Г.А. Алиева, Шекинский Региональный Научный Центр (ШРНЦ) Национальной Академии Наук Азербайджана. Nafta-Press. Баку, 2003, с. 99-100.

REFERENCES

Ahmedov A. Kish River basin variation change. Science and Life, 2007 (in Russian).

Alizade Z.M. Mudflow processes in the Kish River Basin and measures to combat them. Sheki Regional Scientific Center of Azerbaijan National Academy of Sciences. Nurlan. Baku, 2010, pp. 19-42 (in Russian).

Alizade Z.M., Mustafabeyli H.L. Natural disasters in the Sheki-Zakatala region and the environmental problems of the region's development. Scientific practical conference, June 9-10. Sheki, 2005, pp. 18 (in Russian).

Ayyubov A.J., Guluzade B.A., Nabiyev H.L., Mammadov H.J. Floods of Kish and Shin river basins. Elm. Baku, 1998, pp. 9 (in Russian).

Budagov B.A.Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Geography named after H.Aliyev, Sheki Regional Scientific Center, Regional Geographical Problems of the Republic of Azerbaijan, Sheki-Zagatala Economic District. Nafta-Press. Baku, 2003, pp. 99-100 (in Russian).

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИТОКА ДАМАРЧИН РЕКИ КИШ И ОПАСНОСТЬ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

Агабалаев Г.М., Рагимов Я.Р.
Шекинский Региональный Научный Центр, НАНА
AZ5500, Шеки, Азербайджан, ул. Л.Абдуллаева, 24: qafqaz.agabalayev@mail.ru, yusif59@mail.ru

Резюме. Статья посвящена изучению взаимосвязи экологической ситуации и формирования селевых потоков реки Киш и его притоков. По результатам мониторинга выявлено увеличение интенсивности селевых опасностей на южном склоне Большого Кавказа, как следствие не только размывания поверхности низменностей, но и уменьшения площади лесного покрова вдоль бассейна этой реки. Дана оценка влиянию природных процессов и антропогенного воздействия на формирование селевых потоков реки Киш. Предлагается проведение фитомелиоративных превентивных мер с целью уменьшения селеопасности в регионе. Рекомендуется посадить почвозакрепляющие растения, формирующие хорошо развитую корневую систему, такие как акация, белый дуб, тополь, забайкальская ёлка в среднегорьях, на территории которых эрозионные процессы были более активны.

Ключевые слова: *экология, Дамарчин, река Киш, селевые очаги, антропогенное воздействие*

KİŞ ÇAYININ DAMARÇIN QOLU HÖVZƏSİNİN EKOLOJİ VƏZIYYƏTİ VƏ SEL TƏHLÜKƏSİ

Q.M.Ağabalayev, Y.R.Rəhimov
AMEA Şəki Regional Elmi Mərkəzi
AZ5500, Şəki, Azərbaycan, Abdullayev küç., 24: qafqaz.agabalayev@mail.ru, yusif59@mail.ru

Xülasə. Məqalə Kiş çayı və onun qollarında sel axınlarının formalaşmasının və ekoloji vəziyyətin əlaqəsinin öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Monitorinqin nəticələrinə görə, Böyük Qafqazın cənub yamacında sel təhlükələrinin intensivləşməsinin yüksəlməsi, yalnız düzənliyin səthinin yuyulmasının deyil, həm də bu çay hövzəsi boyunca meşə örtüyünün azalmasının nəticəsidir. Kiş çayının sel axınlarının formalaşmasına təbii proseslərin və antropogen fəaliyyətin təsiri qiymətləndirilmişdir. Reqionda sel təhlükəsini azaltmaq məqsədilə fitomeliorativ qabaqlayıcı tədbirlərin aparılması təklif olunur. Eroziya proseslərinin daha fəal olduğu ortadağlıq ərazilərində akasiya, ağ şam, qovaq, zabaykalye küknarı kimi kök sisteminin yaxşı inkişafını formalaşdıran, torpağı möhkəmləndirən bitkilərin əkilməsi tövsiyə edilir.

Açar sözlər: *ekologiya, Damarçın, Kiş çayı, sel ocaqları, antropogen təsir*

ANAS Transactions Earth Sciences 2 / 2019

Contents

http://www.journalesgia.com

MÜNDƏRİCAT

Geologiya və geofizika

Hüseynov D.A., Feyzullayev Ə.Ə. – Cənubi Xəzər hövzəsi şərq bortunun (Qərbi Türkmənistan) yataqlarında neftin izotop-geokimyəvi xüsusiyyətləri 3-11
İsmayıl-zadə A.C., Kəngərli T.N., Əhmədov Ə.M., Əmirov A.S. – Kiçik Qafqazın Daşkəsən filiz rayonunda maqmagenerasiya və filizəmələgəlmənin dərinlik göstəricisi olan aksessor minerallar 12-20
Eppelbaum L.V. – Cənubi Qafqazin filiz yataqlarının quyu potensialı üzrə məlumatların təkmilləşdirilmiş analizi 21-35
Əhmədov Ə.Z., Kitaçayev Ş.M., Şibayeva A.A., Əhmədov Ə.M., Əliyeva T.M. – Dağkəsəmən qızıllı filiz yatağı filizlərinin maddi tərkibi və texnoloji xüsusiyyətləri (Kiçik Qafqaz) 36-46
Babayev Q., Qədirov F., Tibaldi A., Bonali F., Əliyev Y. – Xəzər dənizi zəlzələlərdən əmələ gələn Azərbaycanın palçıq vulkanları təzahürünün dinamik trigger effekti 47-53
Qurbanov V.Ş., Həsənov A.B., Abbasova G.G. – Neft tutumlu kollektorların məcaməli strukturunun fraktallığı və qranulometrik tərkibinin stoxastik paylanması xarakteri 54-60
İslamova Ş.K., Kazımova S.E., İsmayılova S.S. – Mingəçevir su hövzəsinin geodinamik riskinin giymətləndirilməsi 61-69

Neft və qaz yataqlarının işlənilməsinin nəzəriyyə və praktikası

Alxaslı Şh.B. – Deformasiya zolaqlı laylarda neft əmsalının qiymətləndirilməsi üçün maye axının simulyasiyasi və onun Yasamal dərəsinin deformasiya zolaqlarının topologiyasından aslılığının öyrənilməsi 70-77

Coğrafiya

Həsənov R.Ş., Quliyev A.A. – Azərbaycan Respublikasının arid subtropiklərinin aqroiqlim rayonlaşması və onun aqroiqtisadi səmərəliliyi 78-87
Ağabalayev Q.M., Rəhimov Y.R. – Kiş çayının Damarçın qolu hövzəsinin ekoloji vəziyyəti və sel təhlükəsi 88-92

CONTENTS

Geology and geophysics

Huseynov D.A., Feizullayev A.A. – Izotope and geochemical properties of oils of fields of the South Caspian basin eastern flank (Western Turkmenistan) 3-11
Ismail-zadeh A.J., Kangarli T.N., Akhmadov A.M., Amirov A.S. – Accessory minerals as indicators of depth of magma generation and ore genesis within Dashkesan ore region (Lesser Caucasus, Azerbaijan) 12-20
Eppelbaum L.V. – Advanced analysis of self-potential data in ore deposits of the South Caucasus 21-35
Akhmedov A.Z., Kitachayev Sh.M., Shibayeva A.A., Akhmedov A.M., Aliyeva T.M. – Material composition and technological aspects of ores of Dagkesaman gold field (Lesser Caucasus) 36-46
Babayev G., Kadirov F., Tibaldi A., Bonali F., Aliyev Y. – Dynamic triggering of mud volcanos in Azerbaijan by Caspian earthquakes 47-53
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 54-60
Islamova Sh.K., Kazimova S.E., Ismailova S.S. – Assessment of geodynamic risk of Mingachevir water reservoir 61-69

Theory and practice of oil and gas fields development

Alkhasli S.B. – Simulation of fluids' flow in beds with deformation bands to estimate the recovery factor and its dependence upon the network's topological properties of the sandstone's deformational bands in Yasamal valley 70-77

Geography

Hasanov R.Sh., Guliyev A.A. – Agroclimatic zoning of arid subtropics of the Azerbaijan Republic and its agroeconomic efficiency 78-87
Agabalayev G.M., Rahimov Y.R. – Ecological status of the Damarchin branch of the Kish river and mudflows hazard 88-92

ОГЛАВЛЕНИЕ

Геология и геофизика

Гусейнов Д.А., Фейзуллаев А.А. – Изотопно-геохимические особенности нефтей месторождений восточного борта Южно-Каспийского бассейна (Западный Туркменистан) 3-11
Исмаил-заде А.Д., Кенгерли Т.Н., Ахмедов А.М., Амиров А.С. – Акцессорные минералы как индикаторы глубинности магмогенерации и рудогенеза в пределах Дашкесанского рудного района (Малый Кавказ, Азербайджан) 12-20
Эппельбаум Л.В. – Улучшенный анализ аномалий естественного электрического поля на рудных месторождениях Южного Кавказа..... 21-35
Ахмедов А.З., Китачаев Ш.М., Шибаева А.А., Ахмедов А.М., Алиева Т.М. – Вещественный состав и технологические особенности руд Дагкесаманского золоторудного месторождения (Малый Кавказ)..... 36-46
Бабаев Г., Кадиров Ф., Тибальди А., Бонали Ф., Алиев Я. – Динамический триггерный эффект проявления грязевых вулканов Азербайджана, вызванный Каспийскими землетрясениями..... 47-53
Гурбанов В.Ш., Гасанов А.Б., Аббасова Г.Г. – Стохастический характер распределения гранулометрического состава и фрактальность поровой структуры нефтеносных коллекторов 54-60
Исламова Ш.К., Казымова С.Э., Исмаилова С.С. – Оценка геодинамического риска Мингячевирского водохранилища..... 61-69

Теория и практика разработки нефтяных и газовых месторождений

Алхаслы Ш.Б. – Симуляция потока флюидов в пластах с деформационными полосами для оценки нефтеотдачи и её зависимости от топологических параметров сети деформационных полос песчаника Ясамальской долины..... 70-77

География

Гасанов Р.Ш., Гулиев А. А. – Агроклиматическое районирование аридных субтропиков Азербайджанской Республики и его агроэкономическая эффективность..... 78-87
Агабалаев Г.М., Рагимов Я.Р. – Экологическое состояние притока Дамарчин реки Киш и опасность селевых потоков 88-92