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

AZERBAIJAN NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

ANAS TRANSACTIONS

EARTH SCIENCES



www.journalesgia.com

2021
№1

We are Crossref Member

ELSEVIER Scopus

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), Calalov Q.İ. (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), Aydın Ali (Türkiyə), 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), Jalalov G.I. (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), Aydın Ali (Turkey), 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), Джалалов Г.И. (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).

Айдын Али (Турция), 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**
Исполнителные редакторы: **А.А.Исрафилова**
Дж.С.Курбанова

ELM NƏŞRİYYATI

Formatı: 60x84$^{1/8}$. Həcmi: 13,5 ç.v.
Tirajı: 300 nüsxə

© "Elm" nəşriyyatı, 2021

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2021

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ЕМКОСТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО БОРТА ЮЖНО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА

Алиева Э.[1], Мустафаев К.[2]

[1] Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана
AZ1143 Баку, Азербайджан, просп. Г. Джавида, 119: e_aliyeva@gia.ab.az
[2] Azlab ООО
Баку, Азербайджан, пос. Бакиханов, ул. Явера Алиева 4B: *kamal@azlab.az*

PETROGRAPHIC AND FILTRATION-VOLUME FEATURES OF MIOCENE DEPOSITS OF THE WESTERN FLANK OF THE SOUTH CASPIAN BASIN

Aliyeva E.[1], Mustafayev K.[2]
[1]Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Cavid ave., Baku, AZ1143: e_aliyeva@gia.ab.az
[2] Azlab OOO
4B, Yaver Aliyev str., Bakikhanov settlement, Baku, Azerbaijan: *kamal@azlab.az*

Keywords: *Miocene, South Caspian Basin, lithology, mineralogical composition, reservoir properties*

Summary. The results of the studies presented in this paper show the similarity and differences in the lithological and mineralogical composition of sediments from the different Miocene stratigraphic levels occurring in the sedimentary section of the different anticline structures located in the Shamakhy-Gobustan and Absheron oil-gas bearing regions of the South Caspian basin.

A significant difference in the lithology and mineralogical composition of these deposits is a result of the influx of sedimentary material from various sources, such as the Greater and Lesser Caucasus. The appearance of sandy horizons in the section of the Upper Maykop (Lower Miocene) and Chokrak (Middle Miocene) and their enrichment in quartz most likely indicate the participation of granite rocks in the geological structure of the provenance area during these geological intervals, which is also confirmed by the presence of disthene and staurolite in the mineralogical composition of these sediments. The muddy rocks of these stratigraphic intervals are also enriched in quartz.

The reservoir properties of the Miocene sediments of the western flank of the South Caspian depression were assessed based on the study of the outcrop and core samples of the exploration wells. It is shown that the rocks from the outcrops have better reservoir properties, which is the result of their weathering in the hypergenesis zone.

The rocks of III and I sandy horizons of the Maykop Suite (Lower Miocene) and the Chokrak stage of the south-west Gobustan area display the best potential for oil and gas accumulation. However, effective porosity of these sediments is significantly lower than total porosity and can be classified as weak.

The reservoir properties of these rocks noticeably decrease outside the south-western tectonic zone of the Shamakhy-Gobustan oil-gas region and can be considered as negative in the Northern Gobustan, very week in the Baku archipelago, and, possibly, in the Absheron oil-gas region. These conclusions can play an important role in assessment of oil-gas potential of the Miocene sediments of the western flank of the South Caspian basin.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Миоценовые отложения широко развиты в пределах западного борта Южно-Каспийского бассейна (ЮКБ). Литолого-минералогический и геохимический составы миоценовых пород широко варьируют как по площади западного борта ЮКБ, так и по разрезу миоценовой толщи (Алиева, Мустафаев, 2018), что предопределяет раз-

личие их флюидогенерирующих и аккумулирующих характеристик, знание и прогноз которых является необходимым с точки зрения практического применения данных отложений в нефтяной и других хозяйственных отраслях.

Нефтегазопроявления в Шамахы-Гобустанском НГР связаны с трещиноватыми карбонатными породами верхнего мела, терригенными породами миоцена, плиоценовой продуктивной толщей. Однако месторождения УВ были открыты лишь в отложениях миоцена, включая верхнемайкопский комплекс, и в продуктивной толще. Так, в 1946-1950 гг. на площади Умбаки и в 1951-1953 гг. на площади Чеилдаг в результате разведочного бурения были открыты залежи нефти из верхнемайкопских и чокракских отложений. В более поздние годы были обнаружены месторождения газоконденсата в отложениях сармата на площади Дуванны в юго-восточном Гобустане и на морской структуре Сангачалдениз, расположенной на морском продолжении Джейранкечмезской депрессии. В последующем перспективы нефтегазоносности майкоп-миоценовых отложений неоднократно обсуждались в научной литературе (Кастрюлин и др., 1991; Алиев, 1998; Məhərramov, 2006; Salmanov və s., 2016).

В данной статье вопросы потенциала флюидоаккумуляции миоценовых пород решались на основе изучения образцов миоценовых отложений из обнажений и керна ряда площадей Абшеронского и Шамахы-Гобустанского нефтегазоносных районов ЮКБ (рис.1). В породах изучались минералогический, геохимический составы и характеристики коллекторских свойств.

Геологическая характеристика района исследований

Шамахы-Гобустанский и западная часть Абшеронского НГР расположены на юго-восточном погружении мегантиклинория Большого Кавказа.

В тектоническом плане Шамахы-Гобустанский район имеет очень сложное строение, подразделяясь на северную, центральную, юго-западную, юго-восточную, алятскую тектонические зоны (рис.1а) (Salmanov və s., 2016). В пределах данной территории выявлено около 200 антиклинальных структур, осложненных многочисленными тектоническими нарушениями.

В осадочном разрезе Шамахы-Гобустанского района принимают участие породы широкого стратиграфического диапазона от юры до четвертичной системы включительно. В сторону Каспийского моря наблюдается последовательное погружение отложений. Так, в Северном Гобустане в приводораздельной части обнажаются юрские отложения, представленные байосским, батским, кимериджским и титонским ярусами (Али-заде и др., 1966). Меловые породы широко представлены в северной тектонической зоне Шамахы-Гобустанского района всеми ярусами и выражены в терригенной и карбонатной (верхний мел) фациях.

Третичные отложения также имеют большое распространение и покрывают интервал от палеоцена до плиоцена включительно. Наиболее развиты олигоцен-миоценовые отложения, встречающиеся как в северном, так и южном Гобустане. Наблюдается смена литологического состава этих пород от глинистой фации на севере до глинисто-песчаной на юге. Последние наиболее широко представлены в юго-западном Гобустане, где образуют брахиантиклинальные складки. Породы среднего миоцена, как правило, обнажаются в сводах антиклинальных складок, в то время как отложения майкопа – на крыльях.

В юго-восточном Гобустане на поверхность уже выходят молодые верхнетретичные-четвертичные отложения.

Абшеронский НГР также подразделяется на северо-западную, юго-западную, восточную и морскую зоны (Али-заде, 1966). Западная часть района имеет сложное тектоническое строение с большой плотностью складчатых структур. Мощность мезозой-кайнозойского комплекса составляет 8.5-9 км.

Олигоцен-нижнемиоценовые отложения обнажаются в западной части Абшеронского НГР. В восточной части имеются небольшие спорадические выходы среднего-верхнего миоцена.

Материал и методика

В результате полевых работ было отобрано более 100 образцов пород верхнего майкопа и миоцена из обнажений различных тектонических зон Шамахы-Гобустанского и Абшеронского НГР. Также использовался керн скважин поисково-разведочного бурения, проводимого в предыдущие годы на данной территории. По отобранным образцам проводились литологические, минералогические описания с использованием оптического микроскопа и рентген-дифтрактометрического анализа. Коллекторские свойства верхнемайкопских и миоценовых отложений определялись с помощью рутинного анализа пористости и проницаемости данных пород.

Литолого-минералогическая характеристика миоценовых пород

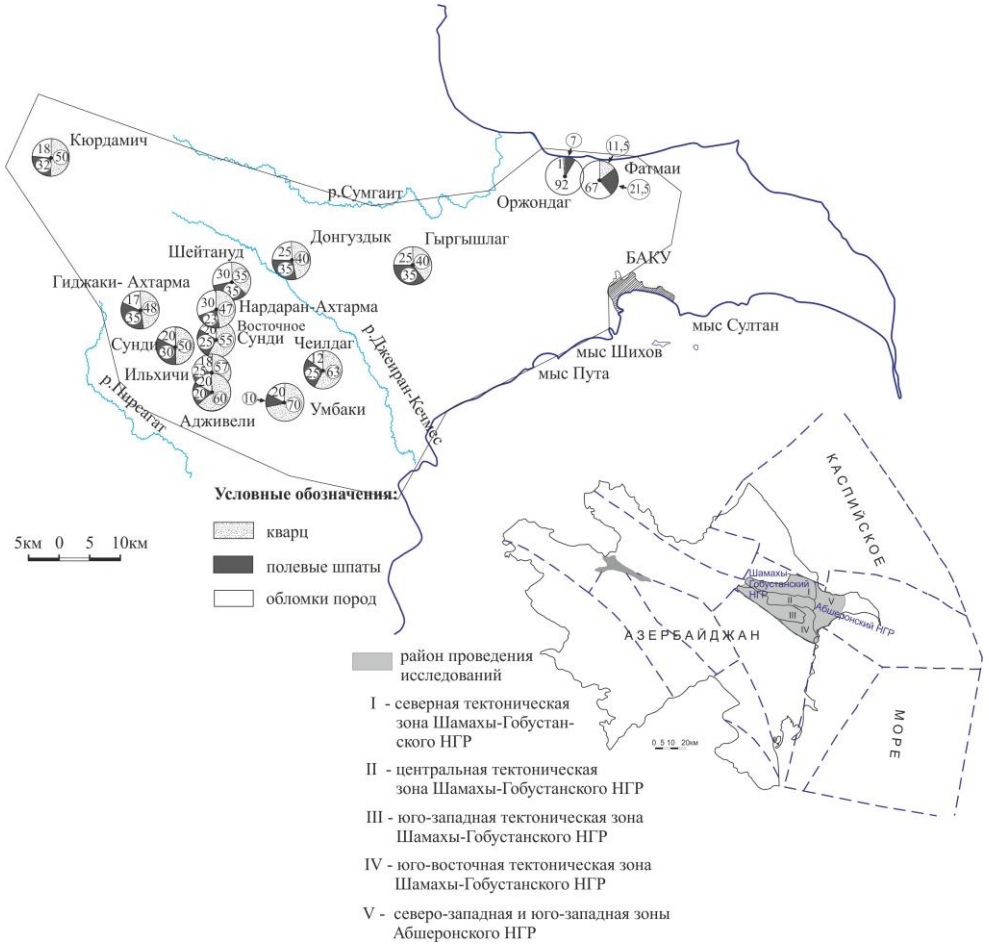
Нижнемиоценовые отложения (верхний майкоп) имеют широкое распространение в районе исследований. На Абшероне и в Северном

Гобустане отмечаются сходные литофации, характеризующиеся абсолютным преобладанием глинистых пород (до 95%), представленных коричнево-бурыми, зеленовато-серыми, темно-серыми, шоколадными слабокарбонатными и карбонатными разностями. В составе глины в избыточном количестве встречаются ярозит, остатки рыб и растений. Исключение составляет ряд разрезов верхнего майкопа южного Гобустана и западного Абшерона, в которых отмечаются довольно мощные, до нескольких метров, песчаные пачки. На площади Умбаки данные песчаные прослои являются нефтегазоносными. Выделяются промысловые горизонты III, V, VI, из которых велась добыча нефти на протяжении нескольких десятилетий.

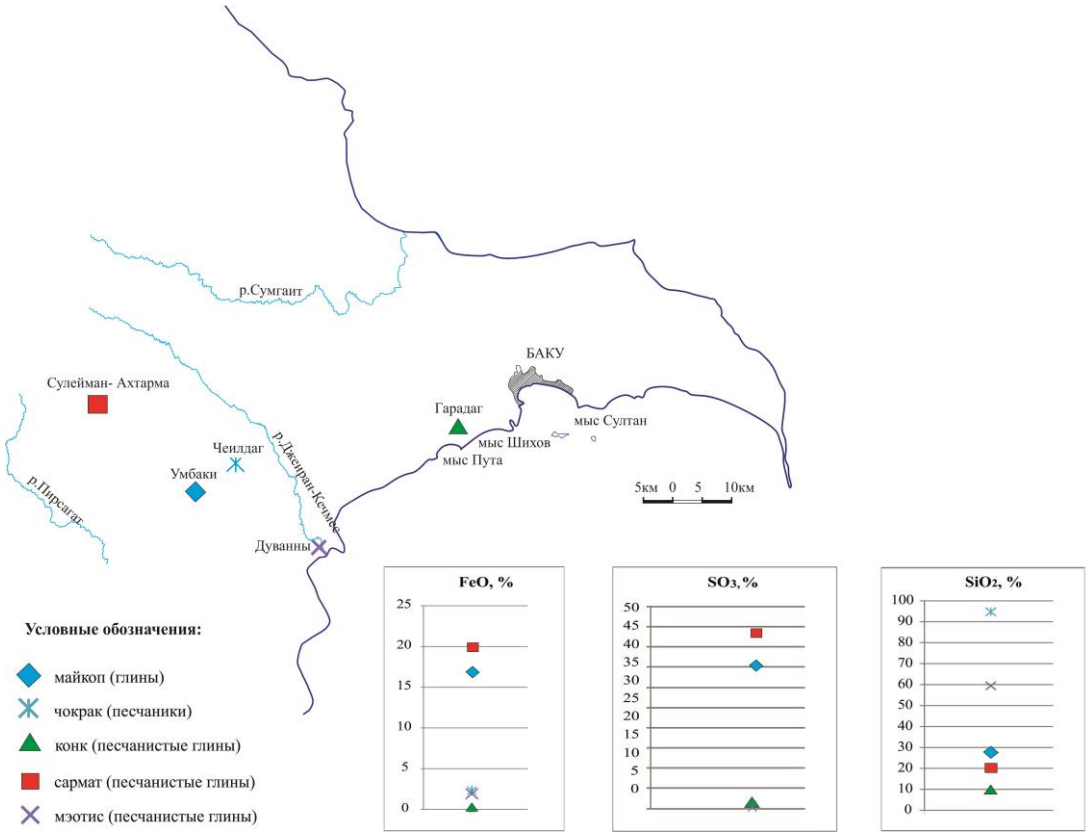
Как показал анализ содержаний песчаной фракции в верхнемайкопских породах в районе структур Чеилдаг, Умбаки, Адживели (Южный Гобустан), отмечается довольно высокое содержание грубых разностей, колеблющееся от 43 до почти 60% (расположение структур см. рис.1). На остальной территории центрального и Южного Гобустана содержание песчаной фракции составляет примерно треть от общей массы породы, за исключением площадей Сундю и Шейтануд, где доля песчаных пород очень мала.

Легкие фракции этих песчаных пород в основном состоят из полевых шпатов и кварца (рис.1а).

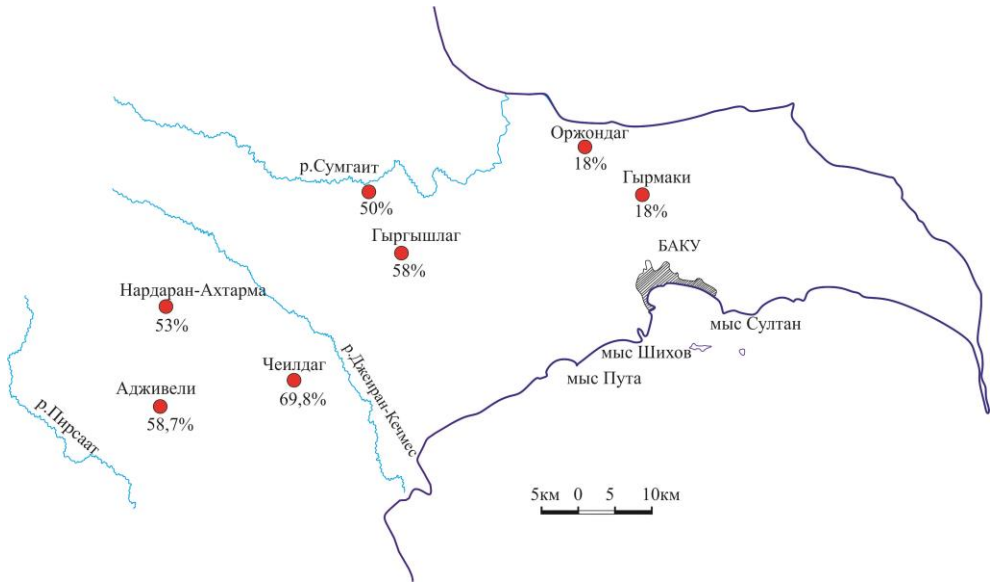
Наибольшее количество кварца, доходящее до 70%, установлено на ряде структур и обнажений юго-западной тектонической зоны Шамахы-Гобустанского НГР – Умбаки (70% кварца), Чеилдаг (63%), Адживели (60%), Ильхичи (57%), Восточное Сюнди (55%), Сюнди (50%) (Алиева, Мустафаев, 2018). Подобные содержания кварца сопоставимы с отложениями плиоцена (продуктивная толща) Абшеронского НГР. Очевидно, что для формирования богатых кварцем пород необходим источник сноса, способный поставлять такое количество данного минерала. Юрско-эоценовые породы Большого Кавказа, представляющего собой ближайшую область сноса, не могут рассматриваться в данном случае как основной источник, поскольку содержания кварца в них не достигают высоких показателей (Геология Азербайджана, том Литология, 2005). Таким образом, вопрос о потенциальной области питания майкопских пород юго-западного Гобустана остается открытым.



а



б



в

Рис. 1. Схема распределения минералогического состава миоценовых пород Шамахы-Гобустанского и Абшеронского районов: а) состав легкой фракции песчаников верхнего майкопа; б) содержание окислов железа, серы и кремния в миоценовых породах различной литологии; в) содержание кварца в составе легкой фракции песчаных пород чокракского яруса

По мере продвижения на север в сторону Большого Кавказа и на восток в сторону Абшеронского полуострова содержание кварца в песчаных породах верхнего майкопа убывает, достигая минимальных значений в северной части Абшеронского полуострова – 1% в Оржондаге и 11.5% в Фатмаях (рис.1а). Для этих же площадей характерно очень высокое содержание обломков пород, говорящее о большекавказском источнике сноса.

В северной части Гобустана содержания обломков пород и полевых шпатов в породах верхнего майкопа находятся примерно в равных количествах – от 17% до 35%. Это свидетельствует о равных вкладах обоих источников сноса – Большого и Малого Кавказа – в аккумуляцию майкопских пород Гобустана.

Нами был проведен также минералогический анализ глинистых пород Шамахы-Гобустанского и Абшеронского НГР, который также показал довольно высокое содержание оксида кремния для данного типа пород в Шамахы-Гобустанском районе (рис.1б).

Согласно полученным рентгенограммам, в этих же образцах отмечается высокое содержание глинистых минералов, что закономерно следует из литологического типа этих пород. Тяжелые фракции включают в свой состав большое количество различных минералов (до 20).

Подробных сведений о литофациальных и петрографических особенностях отложений тарханского горизонта немного ввиду ограниченности распространения данных пород в западной части Абшеронского полуострова и Гобустане. Тарханские отложения характеризуются небольшой мощностью и довольно плохо фаунистически диагностируются. Последовавшая в послетарханское время чокракская регрессия во многих районах Юго-восточного Кавказа также привела к полному или частичному размыву тарханских пород.

Отложения чокракского яруса также не столь широко распространены в пределах исследуемой территории. Литологический состав их сильно варьирует по площади. На ряде разрезов Южного Гобустана доминируют песчаники. Общая мощность горизонта меняется здесь в пределах 50-100 м. Породы плохо отсортированы.

На Абшеронском полуострове и в Северном Гобустане чокракские отложения преимущественно представлены в глинистой литофации. Подчиненное значение имеют карбонатные породы – доломиты и мергели.

Мощность чокракских отложений составляет 50-135 м.

Минералогический состав чокракских песчаников очень переменчив. Количество кварца в обнажении Сумгайытчай, находящегося на границе Абшеронского и Шамахы-Гобустанского НГР, достигает 50%, на площадях и обнажениях Южного Гобустана колеблется в пределах 53-69.8%, а в некоторых образцах может превышать 90% (площадь Умбаки), в Гырмаки и Орджандаге – 18% (рис.1в).

Характерной особенностью является также присутствие дистена, ставролита, эпидота, цоизита.

Таким образом, отмеченная для майкопских пород тенденция убывания содержаний кварца в северном направлении в сторону Большого Кавказа сохраняется.

Количество полевых шпатов в Орджандаге достигает 1.2%, в Гырмаки доходит до 22.4%. Учитывая, что содержание кварца на этих площадях составляет 18%, львиная доля состава легкой фракции песчаников падает на обломки пород. Таким образом, как в верхнем майкопе, так и в чокраке Большой Кавказ являлся основной и единственной питающей провинцией для Абшеронского полуострова (Алиева, Мустафаев, 2018). Что касается аналогичных отложений Гобустанского НГР, то в качестве источника сноса слагающего их обломочного материала, помимо Большого Кавказа, существенную роль играл также Малый Кавказ, в особенности, существовавшие в пределах этой территории кварцсодержащие породы.

Из тяжелых фракций в основном можно указать лимонит, пирит, магнетит и ильменит. В малом количестве встречается глауконит, хлорит и пироктит.

Отложения караганского яруса на исследуемой территории главным образом расположены в крыльевых частях антиклинальных складок. В некоторых местах данные отложения выходят на поверхность. Литологически данные породы сложены глинами бурого, красно-бурого, серо-бурого цветов, часто перемежающимися с доломитовыми и мергельными прослоями. В Центральном и Южном Гобустане в литологическом составе караганских отложений вновь появляются прослои мергелей, песков, песчаников, алевролитов, доломитов. В южном направлении алевролиты исчезают из разреза, и песчаные породы имеют превалирующее значение.

До 85% состава легкой фракции составляют обломки пород. Количество кварца и полевых шпатов незначительно. В некоторых случаях достигает 10-11%. Из минералов тяжелых фракций в основном встречаются пириты и оксиды железа, а также дистен, ставролит, магнетит, пирок-

сен, эпидот, мусковит, хлорит, амфиболы в незначительном количестве.

Отложения конкского яруса изучены в областях распространения отложений караганского и чокракского ярусов. Литологически сложены серыми, буроватыми, карбонатными сланцеватыми глинами. В некоторых случаях встречаются тонкие прослои доломитов и вулканического пепла.

В составе глин количество кварца и полевых шпатов достигает 3-12%. Примером являются данные по площади Гарадаг западного Абшерона, где для глинистых пород получены содержания кварца около 10%, что в целом типично для глин.

Отложения сарматского яруса имеют обширное распространение на исследуемой территории. С литологической точки зрения отложения этого яруса, подразделяемые на верхний и нижний подъярусы, состоят из серых, серобурых глин, песчано-алевритовых пород, карбонатов и грубообломочных образований, причем глинистые породы имеют главенствующую роль. В нижнем подъярусе участвуют мергельные пласты, в верхнем – ракушечные прослои. В южной части Шамахы-Гобустанского района встречаются тонкие прослойки нефтесодержащих песков. В этой части мощность сарматского яруса варьирует в пределах 150-300 м.

До 67% состава легких фракций составляют обломки пород, оставшуюся часть – кварц и полевые шпаты. Так, на площади Сулейман-Ахтарма в скв.1 установлено около 20% кварца в глинистых породах.

Из минералов тяжелой фракции в основном наблюдается пирит.

Отложения мэотического яруса достаточно хорошо представлены в районе исследований. В этих породах, состоящих преимущественно из светло-серых глин и сланцев, в разрезе можно обнаружить доломитовые мергели, брекчированные доломиты и вулканический пепел. В Южном Гобустане отложения мэотиса преимущественно состоят из глинисто-песчаных слоев. Мощность яруса меняется в пределах 50-350 м. Тяжелые фракции главным образом состоят из оксида железа, ильменита, хлорита, мусковита, магнетита, легкие фракции – из кварцевых и полевых шпатов.

Приведенные результаты исследований показывают, что наибольший интерес с точки зрения потенциальных коллекторов представляют собой нижнемиоценовые и чокракские отложения Южного Гобустана, в связи с чем данные породы были детально изучены с точки зрения их емкостно-фильтрационных свойств.

Анализ коллекторских свойств нижнемиоценовых и чокракских пород

Анализ емкостно-фильтрационных свойств майкопских пород, отобранных из обнажений и керна различных площадей, показал, что общая пористость песчаных пачек достигает довольно высоких значений на всех структурах и меняется в пределах от 15% до почти 30% (рис.2а).

Наивысшие значения емкостных свойств отмечаются на структурах юго-западной тектонической зоны Шамахы-Гобустанского района (Шейтануд, Сулейманахтарма, Чеилдаг, Умбаки, Адживели) как по результатам изучения обнажений, так и кернового материала (рис.2а,б). При этом в восточной части юго-западного Гобустана показатели общей пористости превышают 20%, в западной составляют менее 20%, но более 15%. Образцы песчаников, отобранные из обнажений, имеют несколько более высокие значения общей пористости по сравнению с образцами керна.

По данным анализов образцов керна отмечается четкий тренд снижения емкостных свойств майкопских песчаников с юга на север Шамахы-Гобустанского района. Так, в юго-западном Гобустане майкопские породы характеризуются отличными и хорошими; в Центральном Гобустане – хорошими и средними; в Северном Гобустане – средними и очень слабыми показателями емкостных свойств.

Необходимо отметить, что вариации значений общей пористости между породами различных горизонтов конкретных площадей невелики (рис. 3а). Так, наибольшая изменчивость данного показателя отмечена в песчаных породах I-VI горизонтов на площади Умбаки – от 15.6 до 20.3%, на площади Чеилдаг – 23.2-28,7%, Адживели – 19.5-23.2%, Гиджакиахтарма – 25.8-30% (рис.3а). При этом наилучшими емкостными характеристиками обладают песчаники III, IV, VI горизонтов, на некоторых площадях западной части зоны также породы II горизонта. Незначительно снижен этот параметр в породах V горизонта.

Значительно более высокая проницаемость песчаных прослоев майкопской свиты в целом отмечается в породах третьего горизонта (рис.3б). Наиболее проницаемыми являются породы всех горизонтов (за исключением первого горизонта) площадей Чеилдаг и Адживели. Фильтрационные свойства данных отложений можно охарактеризовать как хорошие.

Усредненные значения проницаемости майкопских пород повторяют закономерности, полученные по пористости (рис. 4). В целом проницаемость образцов керна ниже, чем у пород из обнажений. Если фильтрационные свойства пород

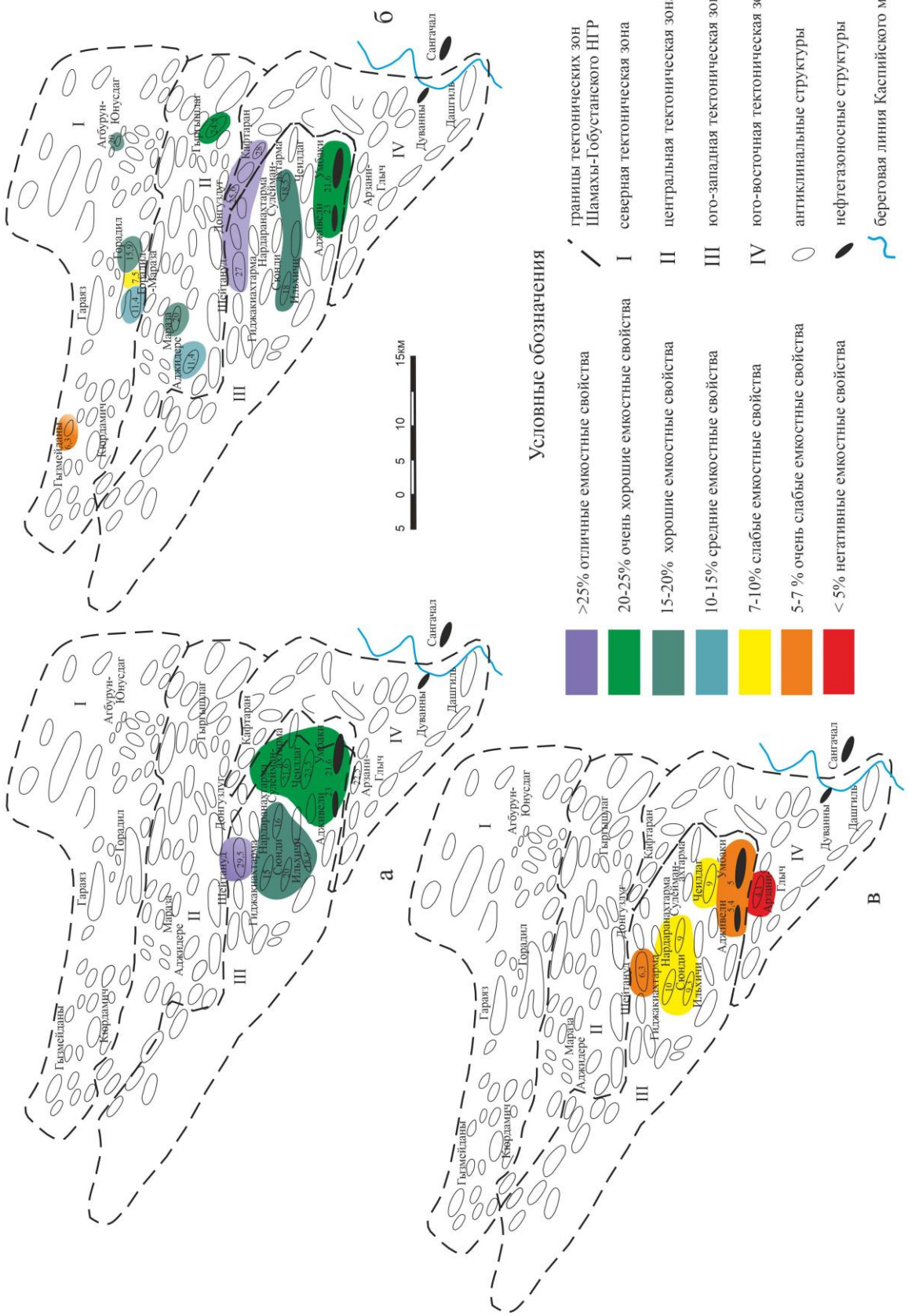
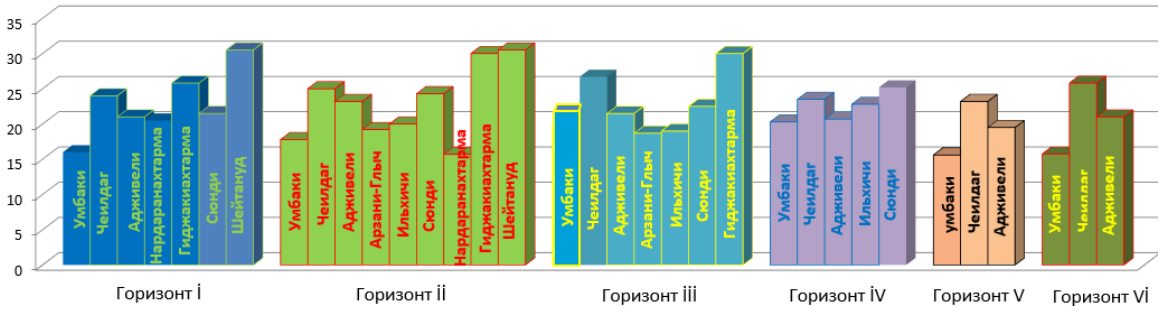
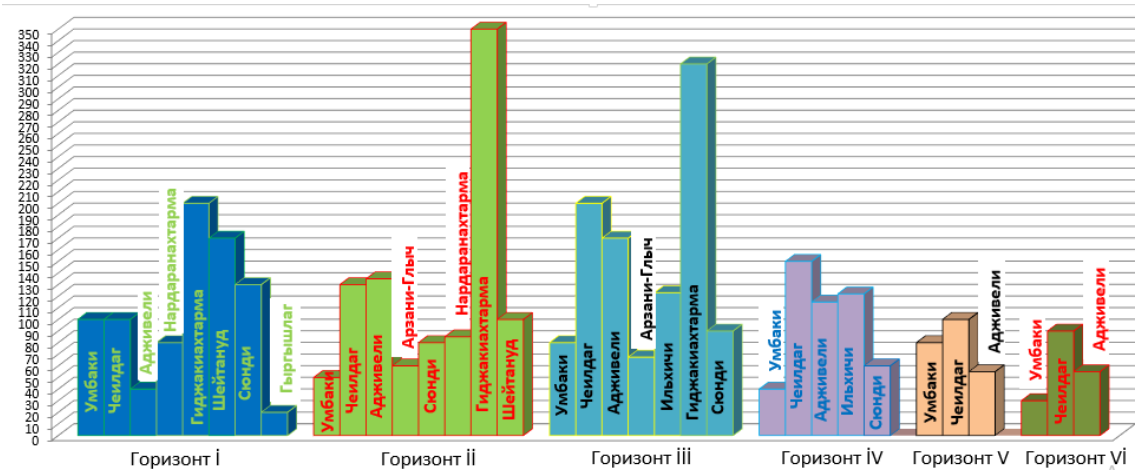


Рис. 2. Распределение пористости майкопских песчаных пород по площади Шамахы-Гобустанского района: а) общая пористость по данным изучения обнажений; б) общая пористость по данным изучения кернового материала; в) эффективная пористость по данным изучения обнажений



а



б

Рис. 3. Гистограммы усредненных значений коллекторских свойств песчаных горизонтов различных площадей юго-западной тектонической зоны Шамахы-Гобустанского НГР: а) значения пористости; б) значения проницаемости

из обнажений юго-западной тектонической зоны можно охарактеризовать, как хорошие-умеренные в ее восточной части и умеренно-слабые в западной части зоны (рис. 4а), то образцы керна в целом характеризуются слабой проницаемостью (рис. 4б).

Улучшенные характеристики коллекторских свойств пород из обнажений, по-видимому, могут быть объяснены процессами выветривания в зоне гипергенеза и появлением вторично образованных пустотных пространств.

В северной части Шамахы-Гобустанского района породы майкопа непроницаемы.

Северный тренд ухудшения фильтрационных свойств пород майкопа хорошо объясняется ростом содержания карбонатной составляющей пород в этом направлении (рис. 4в).

Полученные результаты по фильтрационным свойствам майкопских пород на первый взгляд приходят в противоречие с данными по их усредненной эффективной пористости. В нашем распоряжении имеются данные лишь по песчаным породам юго-западной тектонической зоны Шамахы-Гобустанского района, которые свидетельствуют о средних – очень слабых значениях эффективной пористости майкопских песчаников, варьирующей от 12% до 6% в восточной части данной зоны (структуры Чеилдаг, Умбаки, Адживели, Арзани-Глыч) (рис. 2в). В западной части зоны этот показатель имеет значения менее 5%, говорящие о негативных емкостных и, поскольку речь идет об эффективной пористости, фильтрационных свойствах майкопских песчаников. Вместе с тем данные анализов фильтрационных характеристик майкопских песчаников, отобранных из обнажений юго-западной тектонической зоны, свидетельствуют об удовлетворительном характере данного показателя (рис.3б; 4а). Так, на площади Умбаки усредненное значение проницаемости образцов пород из обнажений майкопской толщи равно 70 мД, что можно рассматривать, как свидетельство средних фильтрационных свойств майкопских песчаников на данной структуре. Средне проницаемыми являются также майкопские песчаники в западной части юго-западной тектонической зоны на структурах Ильхичи, Сюнди, Нардаранахтарма, Гиджакиахтарма. Хорошо проницаемые песчаники отмечаются в разрезе майкопа структур Чеилдаг, Адживели.

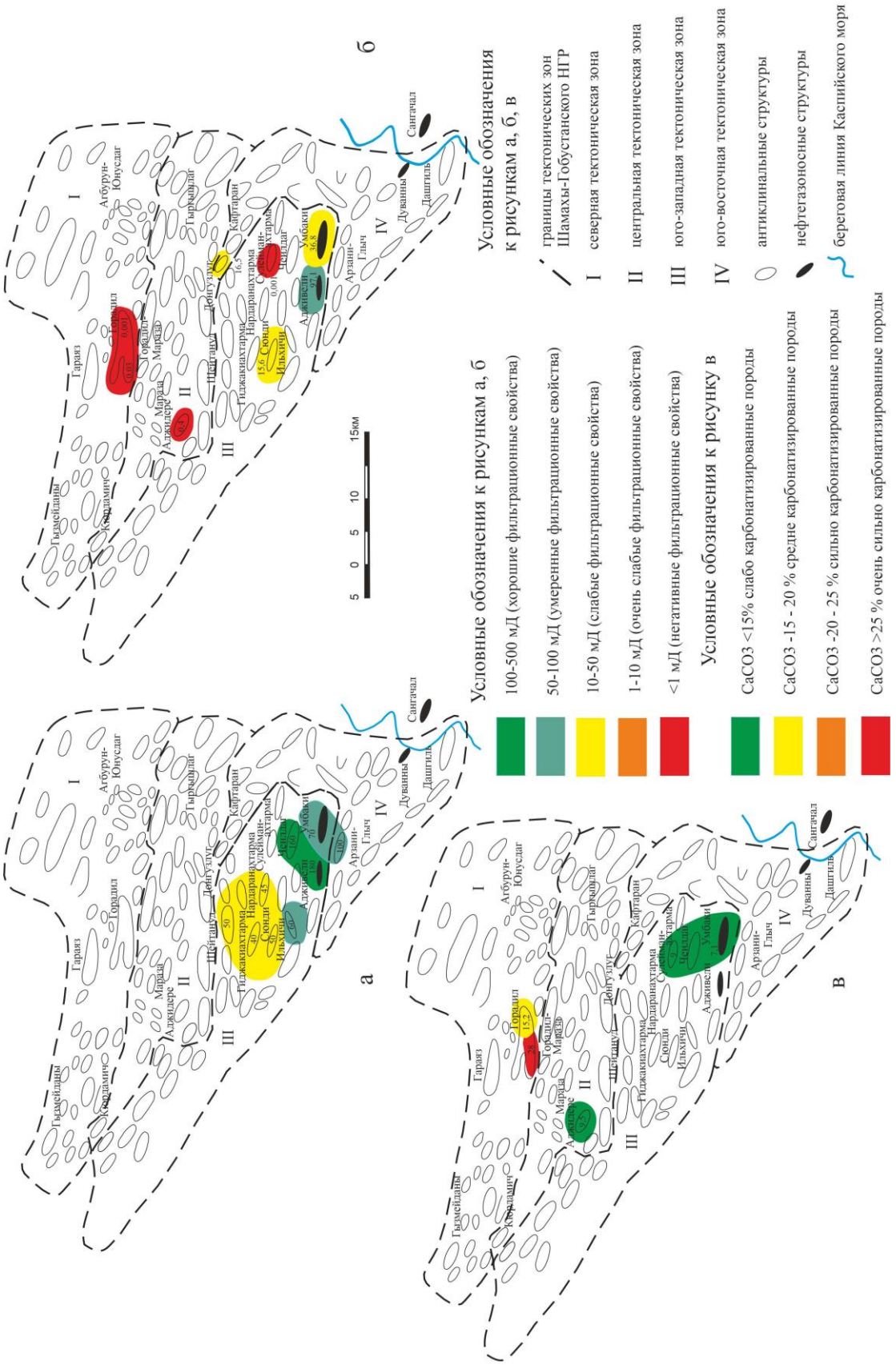


Рис. 4. Распределение проницаемости и карбонатности майкопских песчаных пород по площади Шамахы-Гобустанского района: а) проницаемость по данным изучения обнажений; б) проницаемость по данным изучения кернового материала; в) карбонатность по данным изучения обнажений

По-видимому, причина столь большого различия между значениями усредненной эффективной пористости и проницаемости кроется в том, что эффективная пористость отдельных песчаных горизонтов существенно меняется, что приводит к снижению усредненных значений этого показателя. Так, эффективную пористость II, IV, VI песчаных горизонтов площадей Адживели, Умбаки можно рассматривать, как негативную (рис. 5 а, в, г), а III горизонта, как слабоумеренную (рис.5б), что в итоге отразилось на усредненной эффективной пористости этих площадей, демонстрирующей очень слабые значения (рис. 2в). При этом при изучении проницаемости пород майкопа, обнажающихся в юго-западной тектонической зоне Шамахы-Гобустанского района, анализировались в основном песчаники III горизонта, как наиболее перспективные, что обусловило хорошие показатели фильтрационных свойств некоторых площадей этой зоны.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что несмотря на достаточно хорошие усредненные значения пористости и проницаемости пород майкопа Шамахы-Гобустанского района, предпочтение следует отдать III песчаному горизонту, который выделяется своими емкостно-фильтрационными характеристиками, меняющимися от слабых до хороших на различных площадях юго-западной тектонической зоны.

Показатели коллекторских свойств песчаных пород чокракского яруса, подобно майкопским отложениям, демонстрируют определенные пространственные закономерности в своих значениях (рис.6). Наилучшие характеристики также отмечаются в юго-западной тектонической зоне. Здесь общую пористость пород чокрака можно охарактеризовать как хорошую-отличную (рис. 6а), проницаемость как умеренно-хорошую (рис. 6в).

В юго-восточном направлении в сторону акватории Каспийского моря показатели коллекторских свойств снижаются и демонстрируют слабые-умеренные емкостно-фильтрационные свойства на структурах Сангачал, Дашгиль. Еще более резко падают коллекторские свойства чокракских пород в северо-восточном направлении.

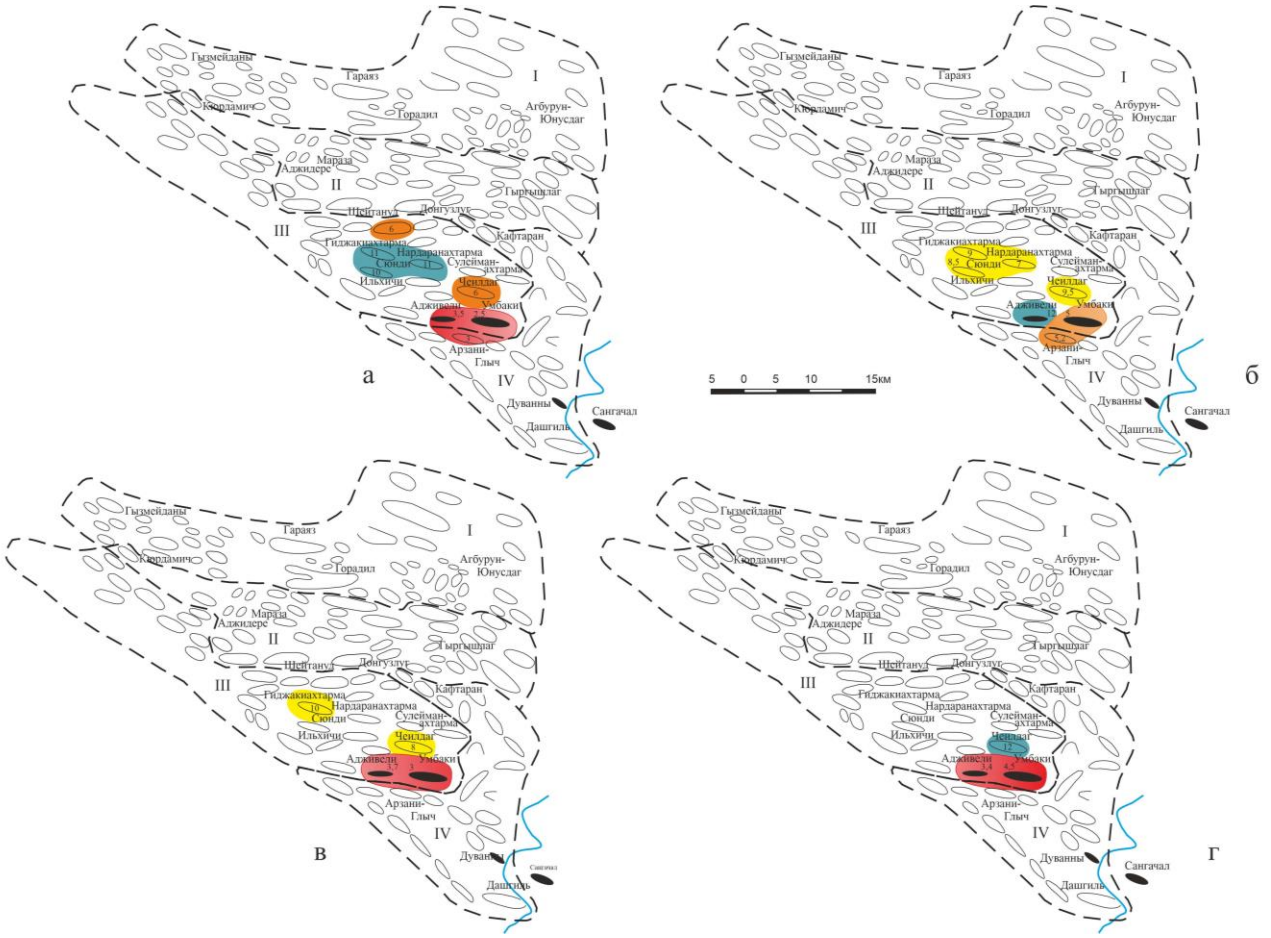


Рис. 5. Распределение эффективной пористости майкопских песчаных пород по площади Шамахы-Гобустанского района по данным изучения обнажений: а) II песчаный горизонт; б) III песчаный горизонт; в) IV песчаный горизонт; г) VI песчаный горизонт (условные обозначения см. рис.2)

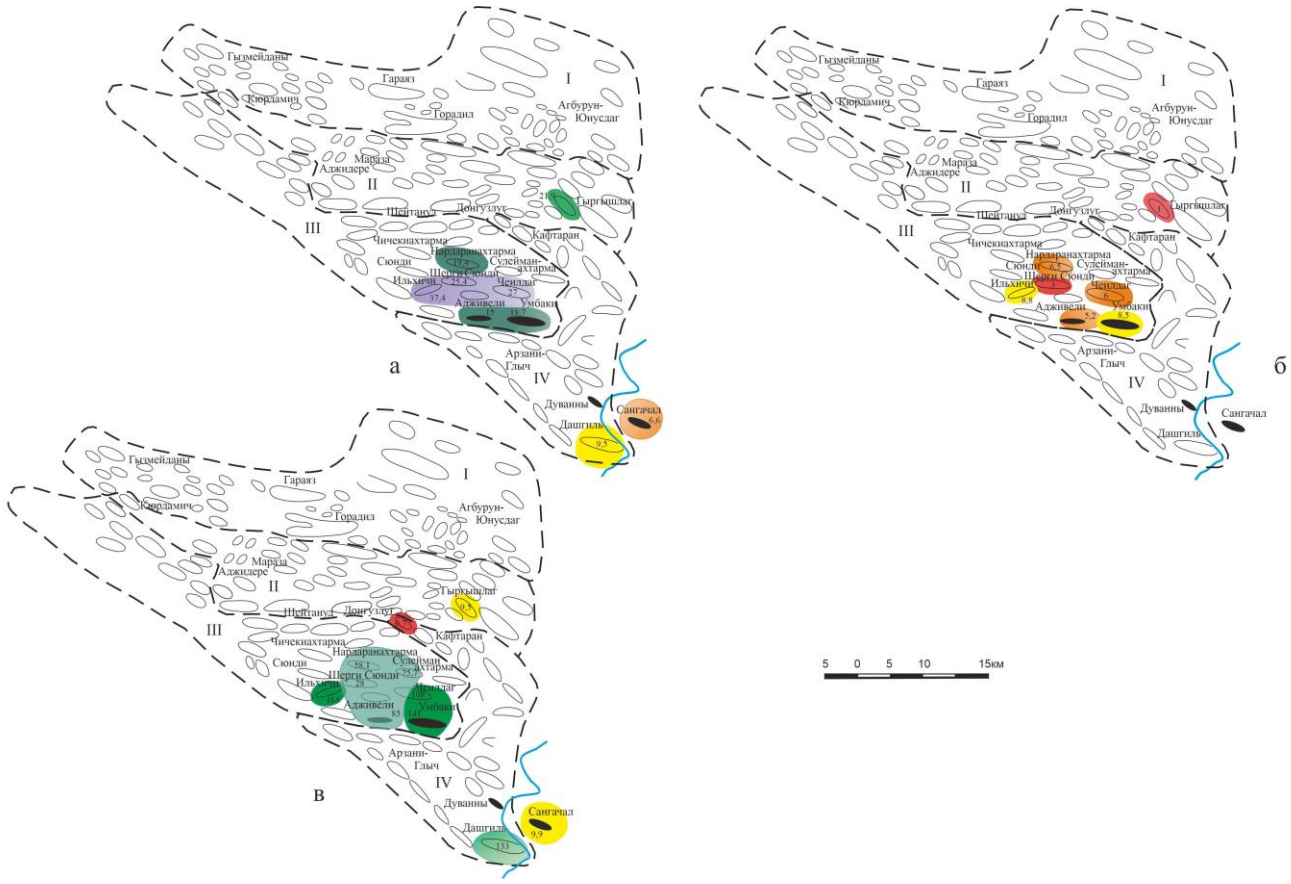


Рис. 6. Распределение параметров коллекторских свойств песчаных пород чокракского яруса по площади Шамахы-Гобустанского района по данным изучения обнажений: а) общая пористость; б) эффективная пористость (условные обозначения см. рис. 2); в) проницаемость (условные обозначения см. рис. 4)

На фоне удовлетворительно-хороших значений общей пористости и проницаемости чокракских песчаников усредненные значения эффективной пористости этих пород значительно снижены по сравнению с песчаными отложениями верхнего майкопа (рис. 6б). Объяснение этому факту мы видим в том, что аналогично породам майкопа эффективная проницаемость различных песчаных пачек сильно различается и достигает наилучших значений в I песчаном горизонте, по которому в основном и были произведены анализы фильтрационных свойств чокракских пород.

Выводы

1. Результаты проведенных исследований показывают, что в разрезе миоцена Шамахы-Гобустанского НГР наилучшими емкостно-фильтрационными характеристиками обладают породы III песчаного горизонта нижнего миоцена (майкопская свита) и I песчаного горизонта чокракского яруса.

2. Породы III песчаного горизонта майкопа и I песчаного горизонта чокракского яруса отличаются большим содержанием кварца, доходящим до 70 %, что вкупе с удовлетворительными емкостно-фильтрационными свойствами позволяет оценивать коллекторские свойства данных пород как удовлетворительные.

3. В Северном Гобустане, в юго-восточном направлении в сторону структур Бакинского архипелага и в восточном направлении в сторону Абшеронского полуострова емкостно-фильтрационные свойства майкопских и чокракских пород существенно снижаются. Таким образом, область распространения отложений майкопской свиты и чокракского яруса с удовлетворительным потенциалом флюидоаккумуляции имеет ограниченное распространение и приурочена к юго-западной тектонической зоне Шамахы-Гобустанского НГР. В районе Бакинского архипелага и, возможно, Абшеронского полуострова коллекторские свойства миоценовых пород можно охарактеризовать, как очень слабые, в Северном Гобустане – как негативные.

Благодарность

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики –

Грант № EİF-BGM-4-RFTF-1/2017

ЛИТЕРАТУРА

Алиев Г.Р. Миоценовые отложения Апшеронского полуострова и перспективы поисков в них нефтегазовых залежей. В: Проблемы нефтегазоносности Кавказа. Наука. Москва, 1998, с.75-80.

Алиева Э., Мустафаев К. Минералогия, источники сноса и палеогеография миоценовых отложений Гобустана (Южно-Каспийский бассейн). Труды Института геологии Дагестанского Научного Центра РАН, No. 1 (72), 2018, с. 1-13.

Али-заде А.А., Ахмедов Г.А., Ахмедов А.М., Алиев А.К., Зейналов М.М. Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана. Недра. Москва, 1966, 392 с.

Геология Азербайджана, том II. Литология. Нафта-пресс. Баку, 2005, 278 с.

Кастрюлин Н.С., Мамедов С.Б., Эфендиев А.А., Салимов Ф.М. Перспективы нефтегазоносности палеоген-миоценовых отложений Западного Апшерона и очередные задачи поисково-разведочного бурения. Азербайджанское Нефтяное Хозяйство, No. 8, 1991, с.1-7.

Məhərramov B.İ. Qərbi Abşeron və Şamaxı-Qobustan rayonun orta və üst Miosen qalxımlarının paleotektonik inkişafı və onların neft-qazlılıq perspektivliyi. Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, No. 11, 2006, s. 1-7.

Salmanov Ə.M., Məhərrəmov B.İ., Hüseynov R.M., Ağazadə B.Q. Struktur-tektonik təhlil əsasında Qərbi Abşeronun Oliqosen-Miosen çöküntülərinin neft-qazlılıq perspektivliklərinin qiymətləndirilməsi. Azərbaycanda Geofizika yenilikləri, No. 1-2, 2016, s. 23-27.

REFERENCES

Aliyev G.R. Miocene deposits of the Apsheron peninsula and their oil-gas prospects. In: Problems of oil-gas deposits in the Caucasus. Nauka. 1998, pp. 75-80 (in Russian).

Aliyeva E., Mustafayev K. Mineralogy, provenance and paleogeography of the Miocene deposits of Gobustan (South Caspian basin). Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences. No. 1 (72), 2018, pp. 1-13 (in Russian).

Alizadeh A.A., Akhmedov G.A., Akhmedov A.M., Aliyev A.K., Zeynalov M.M. Geology of oil-gas fields in Azerbaijan. Nedra. Moscow, 1966, 392 p. (in Russian).

Geology of Azerbaijan. Vol. II. Lithology. Nafta-Press. Baku, 2005, 278 p. (in Russian).

Kastryulin N.S., Mamedov S.B., Efendiyev A.A., Salimov F.M. Perspectives of oil-gas content in the Paleogene-Miocene sediments of the Western Apsheron and subsequent exploration tasks. Azerbaijan Oil Industry, No. 8, 1991, pp. 1-7 (in Russian).

Maherramov B.I. Paleotectonic development and oil-gas prospects of the Middle and Upper Miocene paleohighs in the Western Absheron and Shamakhi-Gobustan regions. Azerbaijan Oil Industry, No. 11, 2006, pp. 1-7 (in Azerbaijani).

Salmanov A.M., Maherramov B.I., Huseynov R.M., Agazadeh B.G. Assesment of oil-gas prospects of the Oligocene-Miocene sediments in the Western Absheron based on the structural-tectonic analysis. Geophysical News in Azerbaijan, No. 1-2, 2016, pp. 23-27 (in Azerbaijani).

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ЕМКОСТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОГО БОРТА ЮЖНО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА

Алиева Э.[1], Мустафаев К.[2]

[1]Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана

AZ1143 Баку, Азербайджан, просп. Г. Джавида, 119: e_aliyeva@gia.ab.az

[2]Azlab ООО

Баку, Азербайджан, пос. Бакиханов, ул. Явера Алиева 4В: *kamal@azlab.az*

Резюме. Проведенными исследованиями показано сходство и отличие литолого-минералогического состава пород из различных стратиграфических уровней миоценового отдела, представленного в осадочном разрезе различных площадей Шамахы-Гобустанского и Абшеронского нефтегазоносных районов Южно-Каспийского бассейна. Существенное различие литологии и минералогического состава данных отложений является результатом поступления осадочного материала из различных источников сноса, каковыми являются Большой и Малый Кавказ. Появление песчаных горизонтов в разрезе верхнего майкопа (нижний миоцен) и чокрака (средний миоцен) и обогащенность их кварцем, скорее всего, свидетельствуют об участии гранитных пород в строении питающей провинции в эти интервалы геологического времени, что подтверждается также присутствием дистена и ставролита в минералогическом составе верхнемайкопских и чокракских песчаников. Кварцем также обогащены глинистые породы этих стратиграфических интервалов.

Была произведена также оценка коллекторских свойства миоценовых отложений западного борта Южно-Каспийской впадины по данным изучения обнажений и керна поисково-разведочных скважин. Показано, что породы из обнажений обладают несколько лучшими емкостно-фильтрационными свойствами, что является результатом их выветрелости в зоне гипергенеза.

Наилучшим потенциалом нефте-, газоаккумуляции, как установлено по данным изучения обнажений и керна, обладают породы III и I песчаных горизонтов майкопской свиты (нижний миоцен) и чокракского яруса юго-западного Гобустана. При этом эффективная пористость данных пород значительно уступает общей пористости и может рассматриваться, как слабая. Коллекторские свойства миоценовых отложений заметно убывают за пределами юго-западной тектонической зоны Шамахы-Гобустанского нефтегазоносного района и могут рассматриваться, как негативные в Северном Гобустане, очень слабые в Бакинском архипелаге и, возможно, Абшеронском НГР.

Полученные выводы позволяют производить поисковые работы на нефть и газ, нацеленные на конкретные поисковые объекты, и могут играть важную роль при оценке перспектив нефтегазоносности миоценовых отложений западного борта Южно-Каспийского бассейна.

Ключевые слова: *миоцен, Южно-Каспийский бассейн, литология, минералогический состав, коллекторские свойства*

CƏNUBİ XƏZƏR HÖVZƏSİNİN QƏRB BORTUNUN MİOSEN ÇÖKÜNTÜLƏRİNİN PETROQRAFİK VƏ HƏCMİ-FİLTRASİYA XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Əliyeva E[1]., Mustafayev K.[2]
[1]AMEA Geologiya və Geofizika İnstitutu
AZ1143, Azərbaycan Respublikası, Bakı ş., H.Cavid prosp.,119: e_aliyeva@gia.ab.az
[2]Azlab OOO
Azərbaycan Respublikası, Bakı ş., Bakixanov qəs., Yavər Əliyev küç. 4B: kamal@azlab.az

Xülasə. Aparılan tədqiqatlarla Cənubi Xəzər hövzəsinin Abşeron və Şamaxı-Qobustan neftli-qazlı rayonlarının müxtəlif sahələrinin miosen bölməsinin müxtəlif səviyyələri ilə təmsil olunan çöküntü kəsilişində süxurların litoloji-mineraloji tərkibinin oxşarlığı və fərqi göstərilmişdir. Bu çöküntülərin litologiyasının və mineraloji tərkibinin mühüm dərəcədə fərqli olması çöküntü materialının müxtəlif gətirilmə mənbələrindən, Böyük və Kiçik Qafqazdan, daxil olmasının nəticəsidir. Üst maykop (alt miosen) və çokrak (orta miosen) kəsilişində qumlu horizontların görünməsi və onların kvarsla zənginləşməsi, hər şeydən əvvəl, geoloji zamanın bu intervallarında qidalandıran əyalətdə qranit süxurlarının iştirakına dəlalət edir. Bu isə həmçinin üst maykop və çokrak qumdaşılarının mineral tərkibində disten və stavrolitin iştiraki ilə təsdiqlənir. Bu stratiqrafik intervalların gilli süxurları kvarsla da zənginləşmişdir.

Açılışların və axtarış-kəşfiyyat quyuları kerninin öyrənilmə məlumatları əsasında Cənubi Xəzər çökəkliyinin qərb bortunun miosen çöküntülərinin həmçinin kollektor xassələri qiymətləndirilmişdir. Göstərilmişdir ki, açılışlardan olan süxurlar xeyli yaxşı həcmi-filtrasiya xassələrinə malikdir və bu da hipergenez zonasında onların aşınmalarının nəticəsidir.

Açılışların və kernin öyrənilmə məlumatlarına görə neft-, qazakkumuləsiyanın ən yaxşı potensialına Cənub-Qərbi Qobustanın maykop lay dəstəsinin (alt miosen) və çokrak mərtəbəsinin III və I qumlu horizontlarının süxurları malikdir. Həm də bu süxurların effektiv məsaməliyi ümumi məsaməlikdən xeyli aşağıdır və zəif kimi baxıla bilir. Miosen çöküntülərinin kollektor xassələri Şamaxı-Qobustan neftli-qazlı rayonunun cənub-qərb tektonik zonasının hüdudlarından kənarda nəzərəçarpacaq dərəcədə zəifləyir və Şimali Qobustanda neqativ, Bakı arxipelaqında və, güman ki, Abşeron NQR-də çox zəif kimi baxıla bilər.

Alınan nəticələr konkret axtarış obyektlərinə istiqamətlənmiş neft və qaz axtarış işlərinin aparılmasına imkan verir və Cənubi Xəzər hövzəsinin qərb bortunun Miosen çöküntülərinin neft-qazlılığı perspektivinin qiymətləndirilməsində mühüm rol oynaya bilər.

Açar sözlər: *Miosen, Cənubi Xəzər hövzəsi, litologiya, mineraloji tərkib, kollektor xassələri*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2021**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

LITHOLOGICAL AND PALEOGEOGRAPHIC CONDITIONS FOR THE FORMATION AND LOCATION OF SEDIMENTARY BASINS OF THE CASPIAN REGION

Senin B.V.[1], Kerimov V.Yu.[2], Mustaev R.N.[2], Aliyeva S.A.[3]

[1]JSC "Yuzhmorgeologiya"
353461, Russian Federation, Gelendzhik, Krymskaya str., 20
[2]Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
117997, Russian Federation, Moscow, Miklouho-Maklay str. 23
[3]Azerbaijan State Oil and Industry University
AZ1000, Baku, Azerbaijan, Azadlig prosp., 16/21

Keywords: *Caspian region, reconstruction, lithological and formational aspects, paleogeographic conditions, sedimentary basins*

Summary. The article discusses the lithological and paleogeographic conditions of the formation and location of sedimentary basins of the Caspian region. Its main feature of morphology and structure is the presence of superdeep depressions.

Non-palinspastic lithological-paleogeographic reconstructions performed using classical methods of thickness and facies analysis, showed that in the Middle-Late Triassic and Early Jurassic continental conditions prevailed in most of the Caspian region with the accumulation of terrigenous, less often carbonate, and in some places volcanogenic sedimentary strata. In the Middle Jurassic, large areas of stable subsidence and inundation appeared, and in the Late Jurassic and Early Cretaceous, predominantly marine conditions were established in the region with a predominance of carbonate sedimentation in some zones. In the Late Cretaceous, the entire region was a clay-carbonate shelf, in places over-deepened. At the end of the Paleogene – Early Miocene, in the southern part of the region, the processes of arch formation and orogenesis intensified, which were accompanied by the draining of the zones of orogenesis and some areas of the Northern and Eastern Caspian Sea, and the formation of over-deepened shelf troughs ahead of the front of the zone of active orogenesis with the predominance of terrigenous sedimentation in them. Substantial drainage of the territory of the Middle and North Caspian took place in the Pliocene, when in the relict, relatively deep sea depressions of the South and Middle Caspian region south of 42º N lat. formed powerful delta complexes of Pliocene rivers flowing from the East European platform and, in part, from the Turan plate.

The results of the reconstructions made it possible to restore the conditions and environments of sedimentation characteristic of the Caspian region in a long historical and geological retrospective and to obtain the necessary information for the subsequent numerical modeling of sedimentary basins and evolution of their hydrocarbon systems.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The purpose of this work is to study the regional historical-geological, paleogeographic and lithological-formational aspects characterizing the formation conditions and distribution patterns of sedimentary basins of the Caspian region.

The main feature of the morphology and structure of the Caspian region is the presence of superdeep depressions. Characterization of the formation conditions and patterns of distribution of sedimentary basins in the Caspian region is based on the results of lithological and paleogeographic reconstructions. The main sources were the results of field and laboratory studies, analysis of geological maps and materials of production and thematic reports for individual regions and areas of the studied region, as well as a number of publications (Глумов и др., 2014; Senin, 2012; Kerimov et al., 2017, 2018; Керимов и др., 2014, 2015, 2017).

In the study of regional historical-geological, paleogeographic and lithological-formational aspects

characterizing the formation conditions and patterns of distribution of sedimentary basins of the Caspian region, elements of classical methods of non-palinspastic reconstructions of sedimentation conditions in the geological past were used (Белоусов, 1989; Леонов, 1993; Левин, Сенин, 2003; Холодов, Туровский, 1985).

Research methodology

The main methods used in the process of work include: paleogeographic reconstructions and construction of consolidated structural maps. During the process of research, in order to study the Caspian region and adjacent territories, classical methods of reconstructing the conditions of sedimentation in the geological past, such as analysis of thicknesses and facies, formation composition of sediments, interruptions and unconformities, as well as a large amount of published and stock data were used.

To construct reconstructions of basin evolution in the area under consideration, all currently available regional geological, geophysical, lithological-petrological, lithological-stratigraphic and other data on its structure were collected and systematized.

Research results and discussion

The geochronological interval encompassed by the reconstructions covers the period from the Middle Triassic to the Balakhanian time of the Pliocene. At the same time, the reconstructions occupy the Caspian waters and adjacent territories as far as they are provided with geological and geophysical data and corresponding structural constructions (Алиев, 1982). In this regard, the conditions of the basins in the Mesozoic are considered for the middle and northern parts of the subregion, which are provided with the indicated data in the required volumes and scales, and in the Cenozoic – for the entire region as a whole.

Middle-Late Triassic (Fig. 1). At the boundary of the Early and Middle Triassic, a relatively stable marine brackish-water regime is established in the central part of the Caspian, surrounded by a wide zone of periodically flooded territories, abounding in lagoons, runoff troughs and narrow straits.

In the Late Triassic, against the background of the general uplift of the region and regression of the basin, sea conditions persist only in separate, temporarily connected deep depressions, the general outline of which corresponds to the most bowed zone of the ancient Permian-Triassic basin. A relatively deep-sea basin at this time exists in the Greater Caucasus.

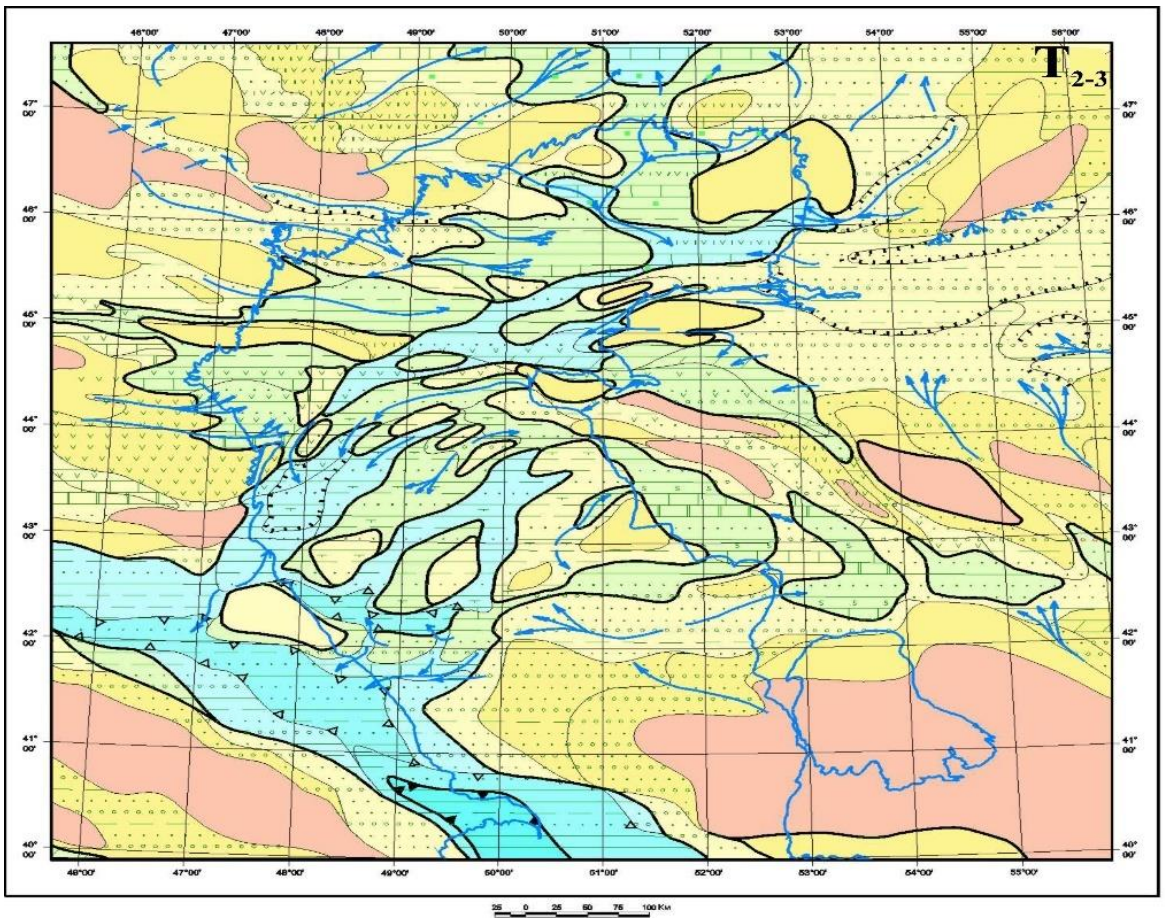
On the western and eastern outskirts of the Central Caspian basin (from the modern Kizlyar Bay to South Mangyshlak) there are periodically flooded areas bounded from the north by the discontinuous Mangyshlak-Caspian "barrier" and forming a large sub-latitudinal trough oriented across the modern Caspian Sea and giving rise to the Middle Caspian Mangyshlak syneclise (Guliyev et al., 2016). Late Triassic sedimentation over most of the territory is characterized by extensive development of weathering crusts, alluvial, lacustrine and lacustrine-boggy deposits enriched in carbonaceous material.

Thus, by the end of the Triassic, a vast Middle Caspian trough zone is isolated, which arose on the site of the Central Caspian continental massif that once existed here and the deep Paleozoic strait to the north of it. The scattered remnants of the massif have survived as small hills and low plateaus. This area in the north and northwest is limited by the ridge uplifts of Mangystau and the southern zone of the Karpinsky ridge, and in the south – by the upland of the Karabogaz massif (Guliyev et al., 2018). Its formation is accompanied by the manifestation of volcanism, signs of which are established both in the lower and in the upper parts of the Triassic sections.

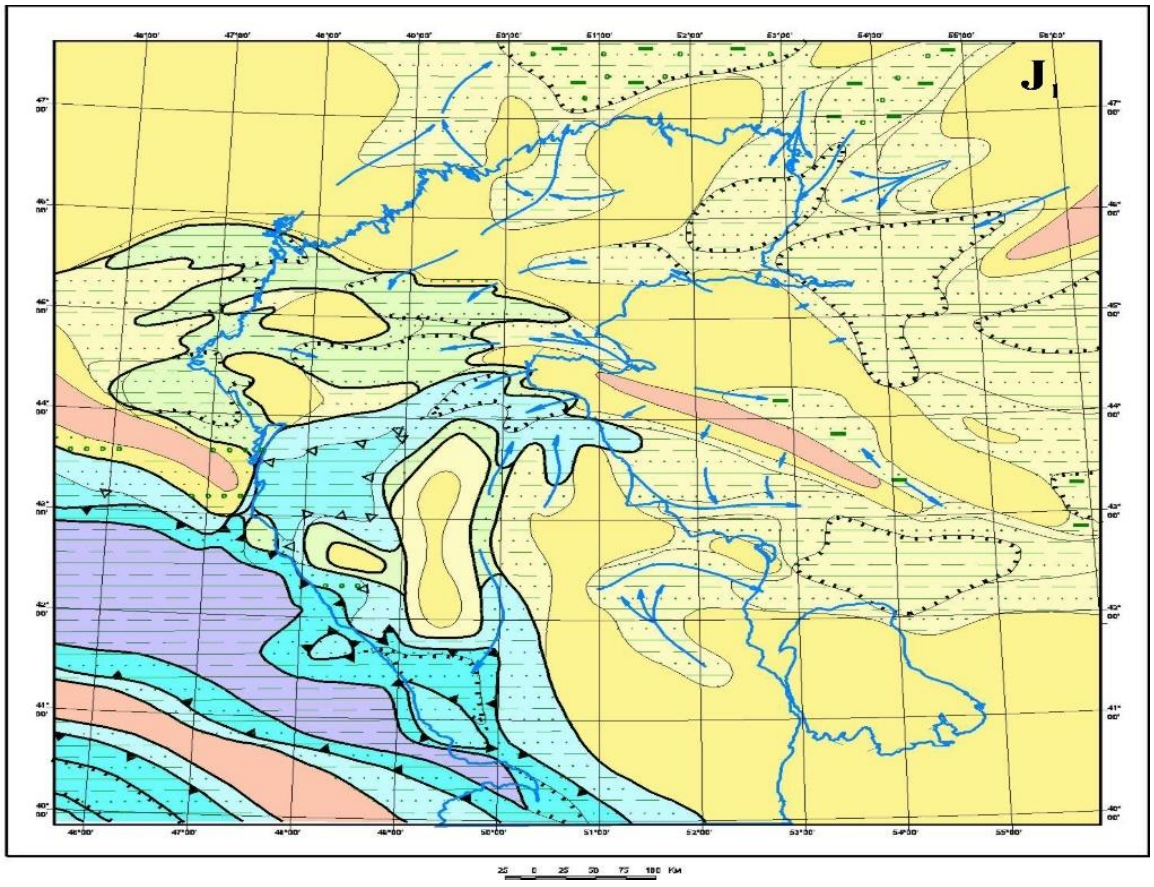
In the southwest, the trough area is connected with the deep-water basin of the Greater Caucasus through a number of straits. In the western part of this area, a system of narrow and relatively shallow troughs is formed, which are shelf bays that penetrate far into the continental region and are separated by periodically flooded strips of low flat land.

Early Jurassic (Fig. 1). The boundary of the Late Triassic and Early Jurassic is characterized by a regional hiatus in sedimentation, corresponding to the Early Cimmerian phase of activation of tectonic movements. At this time, there was a slight reduction in the area of sea basins, the distribution of which at the beginning of the Jurassic was limited to the Middle Caspian and the regions of the Plain Dagestan adjacent to it from the west. At the same time, there is a deepening and expansion of the sea basin that occupied the area of the modern Greater Caucasus, where thick flysch strata accumulated. Despite the fact that at this time in the regions adjacent to the Middle Caspian, the conditions of arched uplifts are still preserved, a tendency for their decrease in the northwestern Caspian, Emben region, Mangyshlak and Karabogaz-Tuarkyr region becomes noticeable. This is most likely due to a significant slowdown in the rate of uplifts and the predominance of denudation processes over tectonic uplift in the crestal regions, that is, with the geomorphological leveling of the land and the beginning of downward movements within it. The latter correspond to the early phases of a new marine transgression, covering the Caspian region in the middle – late Early Jurassic. Thus, continental landscapes prevail in the territories of the modern Caspian Sea, North Caspian, Ustyurt and Mangyshlak. Sediment formation here occurs in the conditions of river valleys, lakes and bogs, where terrigenous carbonaceous sections accumulate.

a



b



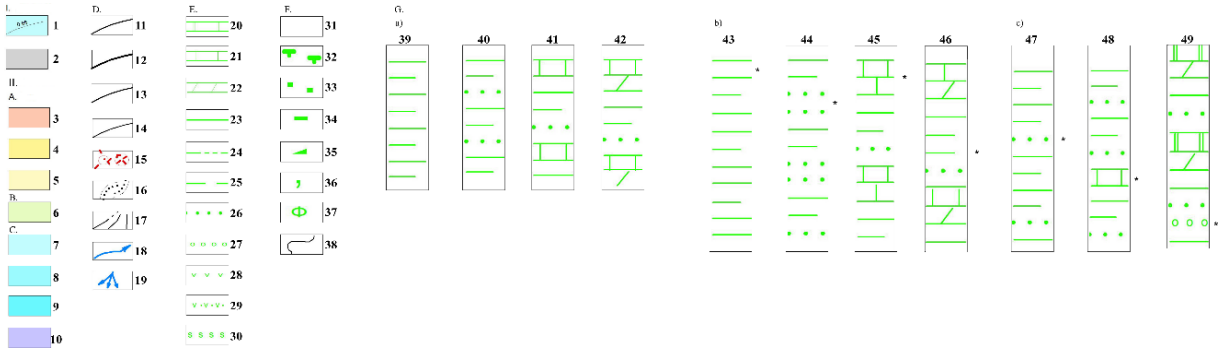


Fig. 1. Lithological-paleogeographic map of the Caspian region.
Middle Triassic (a); Early Jurassic (b)

Legend: I – Thickness maps: 1 – equal thickness lines; 2 – areas of no deposits; II – Lithological and paleogeographic maps: A – Continental areas: 3 – heights, mountains; 4 – rolling plains, insular land; 5 – plains; B – Transition zones: lowlands, low seaside plains periodically flooded by the sea; shallow periodically drained shelves (estimated paleo-depths up to 20 m); C – Maritime areas: 7 – inland, shoal shelf; undivided shelf (estimated paleo-depths 0-200 m); 8 – outer, deep-sea shelf; overburden basins of inland shelf (estimated paleo-depths 200-1000 m); 9 – continental slope; deep-sea basins on continental and subcontinental crust (estimated paleo-depths up to 2000 m); 10 – deep-sea basins on oceanic and suboceanic crust (estimated paleo-depths more than 2000 m); D – Outlines notation: 11 – outer shelf lip; 12 – contour of areas of variable continental-marine regime; 13 – inland shelf lip; 14 – contour of large paleogeomorphological provinces in the continental area; 15 – outer heights, local hills, basins and terrace ledge; 16 – contour of supposed paleovalleys and sinkholes; 17 – supposed terrestrial and subaqueous estuary complexes of valleys and sinkholes (deltas and alluvial fans); 18 – probable directions of drift of precipitation; 19 – sediments discharge zone; E – Lithological-formation complexes: 20 – dolomites; 21 – limestones; 22 – argillaceous limestones, marls; 23 – clays, argillites; 24 – sandy clays, clayey sands; 25 – silts, siltstones; 26 – sands, sandstones; 27 – gravels, shingles, gravelites, conglomerates; 28 – volcanic formations of different composition; 29 – volcanic-clastic including tuffaceous rocks of different composition; 30 – evaporites; F – Other notations: 31 –reefs, bioherms; 32 – calcareous rocks; 33 – charred detritus; 34 – coal; 35 – bituminous rocks; 36 – glauconite; 37 – phosphorite; 38 – contour of lithological-formation provinces; G – examples of rock rotation; a – rock rotation without a visible predominance of one of them; 39 – for two types of rocks; 40 – for three types of rocks; 41 – for four types of rocks; 42 – for five types of rocks; b – rock rotation with predominance of one of them (- predominant type); 43 – for two types of rocks; 44 – for three types of rocks; 45 – for four types of rocks; 46 – for five types of rocks; c – rock rotation with subordination of one of them (* - subordinate type); 47 – for three types of rocks; 48 – for four types of rocks; 49 – for five types of rocks; Perspective structures: 1 – Kirovsko-Karalatskaya; 2 – Belinskaya; 3 – Kurmangazy; 4 – Petrovskaya; 5 – Zyudevskaya; 6 – Caspian; 7 –Morskaya; 8 – Osetrovaya; 9 – Central-Rakushecnaya; 10 – East-Rakushecnaya; 11 – Shirotnaya; 12 – Tyub-Karaganskaya; 13 – Yuzhnaya; 14 – Sarmatskaya; 15 – Druzhba; 16 – Khvalinskaya; 17 – 170 km; 18 – Segendik-sea; 19 – Centralnaya; 20 – Yalama-Samur*

Areas of the shallow shelf, together with the periodically flooded lowlands of the Eastern Ciscaucasia (Vostochno-Manychskaya and Kizlyarskaya), had rather complex contours inscribed in the outlines of the swell-like elevations of the Karpinsky and Mangyshlak ridge. The generalized contour of the coastline passed in the east approximately in the middle of the present-day Caspian, and in the area of the Mangyshlak trough it turned westward, following along the southern boundary of the Kulalinsky and Poldnevsky swells. In shallow sea depressions, mainly terrigenous sediments accumulated.

In the western part of the Middle Caspian trough area, at the site of a series of Triassic troughs, a relatively deep-water Segendyk Bay is formed, belonging to the deep-water sea or suboceanic basin of the Greater Caucasus – South Caspian. The previously separated northern limits of the Middle Caspian diving region unite and form an extended system of swell-like hills, a kind of barrier or threshold that separates the North and Middle Caspian sedimentation regions.

Middle Jurassic (Fig. 2).At this time, the development of the Middle Mesozoic marine transgression continues, the early phases of which, associated with the expansion of the Tethys Ocean that began in the Triassic or Late Permian, manifested themselves here in the Early Jurassic. Apparently, this process is responsible for an insignificant differentiated activation of areas of arched uplifts in the southern and eastern regions of the platform. It led to the mobilization of surface runoff, the formation of pronounced river valleys and the formation of terrestrial and submarine delta complexes, especially characteristic of the northeastern (Ural) margins of the region.

The transgression is accompanied by a sharp reduction in the zones of continental sedimentation. It was preserved mainly in areas adjacent to the southern tip of the Paleoural Orogen, where sedimentation took place in the conditions of river valleys and low swampy plains, and along the periphery of the most contrasting uplifts (Karabogaz, the Caspian zone).

In this epoch, the channels connecting the basins of the North and Middle Caspian are renewed, and the latter turns out to be completely open to the south, to the deep-water basins of the Caucasus – South Caspian. Some obstacle on the paths of bottom material transfer from the Middle Caspian to the south could be represented by the zone of shelf ele-

vations in the strip of the modern Dagestan-Azerbaijan coast. Thus, the areas of stable shelf regimes in the Middle Jurassic cover practically the entire modern Caspian and Caspian regions, and the region of the Eastern Ciscaucasia adjacent to them from the west. At the same time, the deepest shelf zones (outer or over-deepened shelf) are concentrated within the contour of the modern Caspian. The western part of the sea basin is replete with shoals and low, periodically flooded swampy islands, forming a picture of a "skerry sea".

In the areas of southern Emba, Ustyurt and Mangyshlak, the regimes of alternation of a shallow sea and a low-lying accumulative coastal plain are established (Керимов и др., 2015). Lowlands and shallow shelf basins are separated by low, sparse ridge uplands with flat relief.

More contrasting hilly or low-mountainous land areas are characteristic only for the southern zone of this region. In the deep-water area of the Greater Caucasus – South Caspian, the differentiation of the previously unified basin into a number of zones separated by elevated ridges, and some shallowing of these zones, are apparently taking place.

The latter could be partly due to the intensification of sedimentation due to the influx of large volumes of clastic material both from the north, from the side of the platform, and from newly formed ridges (cordilleras) that arose in the basin system.

The Late Jurassic (Fig. 2) is generally defined as an epoch of ongoing marine transgression with a relatively calm tectonic regime, with a predominance of subsidence in the platform area and expansion of uplift zones, with a simultaneous reduction of deep-water basins in the Caucasus zone.

It is assumed that at this time there were wide straits that connected the Caspian, Barents and Baltic paleobasins (Kerimov et al., 2018).The continuation of the transgression contributed to the emergence of a stable shelf regime in the east of the region, where previously variable continental-maritime environments existed.

On the northern periphery of the Caucasian-South Caspian system of deep-water basins, the formation of a system of barrier uplifts and scarps, which separates the shelf area from deep-water basins, is again activated. A similar system of barrier uplifts, partially protruding from the sea level, again (after the Triassic and Early Jurassic) is also formed between the basins of the Middle and North Caspian (Лебедев и др., 1987).

Thus, in the Late Jurassic epoch, apparently, for the first time, a three-link system of basins (megabasins) of the Caspian region was clearly formed, with its North, Middle and South Caspian sectors, which are separated by systems of barrier uplifts.

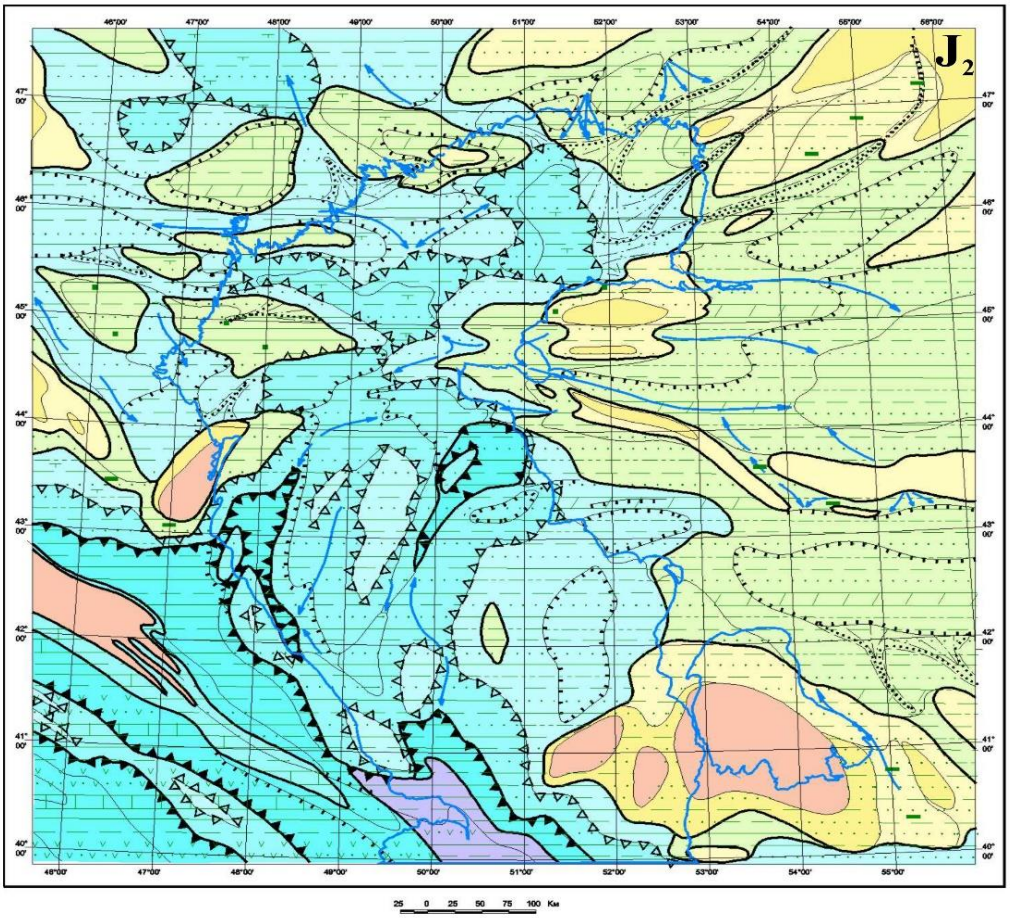
Early Cretaceous (Fig. 3*).* The Cretaceous epoch is generally characterized by the tectonic subsidence of the platform area, against which the development of marine transgression continues (Керимов и др., 2014). In the Early Cretaceous, the paleogeographic appearance of the region, which existed in the Late Jurassic, is preserved in the main features. At this time, shelf channels continue to expand, connecting the Caspian paleobasin with the Western (Barents Sea) Arctic through the Pechora syneclise. This connection begins to break in the Aptian age and completely ceases in the Albian. However, at the same time, shelf straits which connect the Caspian paleobasin with Western Siberia and the Kara Sea appear.

In the conditions of a vast, relatively shallow-water basin, there is a further reduction in the size and decrease of the island heights of the platform area, accompanied by their periodic flooding. This process was most contrastingly manifested in the region of the Karabogaz arch, which for a long time existed in the form of a large elevated island. In the main, a high degree of dissection of the shallow-water shelf and accordingly the differentiation of lithological complexes of sediments are preserved (Kerimov et al., 2018). However, terrigenous, sandy-argillaceous deposits are significantly predominant. Sections containing carbonate units are formed mainly in shelf depressions remote from erosion areas or in semi-isolated shallow-water depressions bounded by low-lying islands. Zones of predominant development of sections containing carbonates (limestones, marls, less often dolomites) tend to the southern margin of the paleobasin.

In general, the division of the paleobasin into three sedimentary systems by zones of barrier uplifts, which are noticeably reduced, remains. Some of them go under sea level and are transformed into shelf heights.

Late Cretaceous (Fig. 3).The conditions of tectonic subsidence and transgression in this epoch reach apparently their maximum development. Almost the entire area of the platform within the region is occupied by the shelf sea with rare islands, which are concentrated in the zone of modern Mangyshlak and along the southern margin of the platform. The largest tracts of island land are located here. Basins of this epoch are mainly characterized by carbonate sedimentation. However, in the northern part of the paleobasin, limited by a system of seamounts along the Mangyshlak – Karpinsky Ridge line, a noticeable portion of terrigenous material appears in the sediment section. In the Transcaucasian part of the region, especially in deep-water basins, terrigenous sedimentation seems to prevail over carbonate sedimentation. Limestone strata forming carbonate platforms accumulate here in zones of narrow shelf plateaus separating deep-sea trenches.

a



b

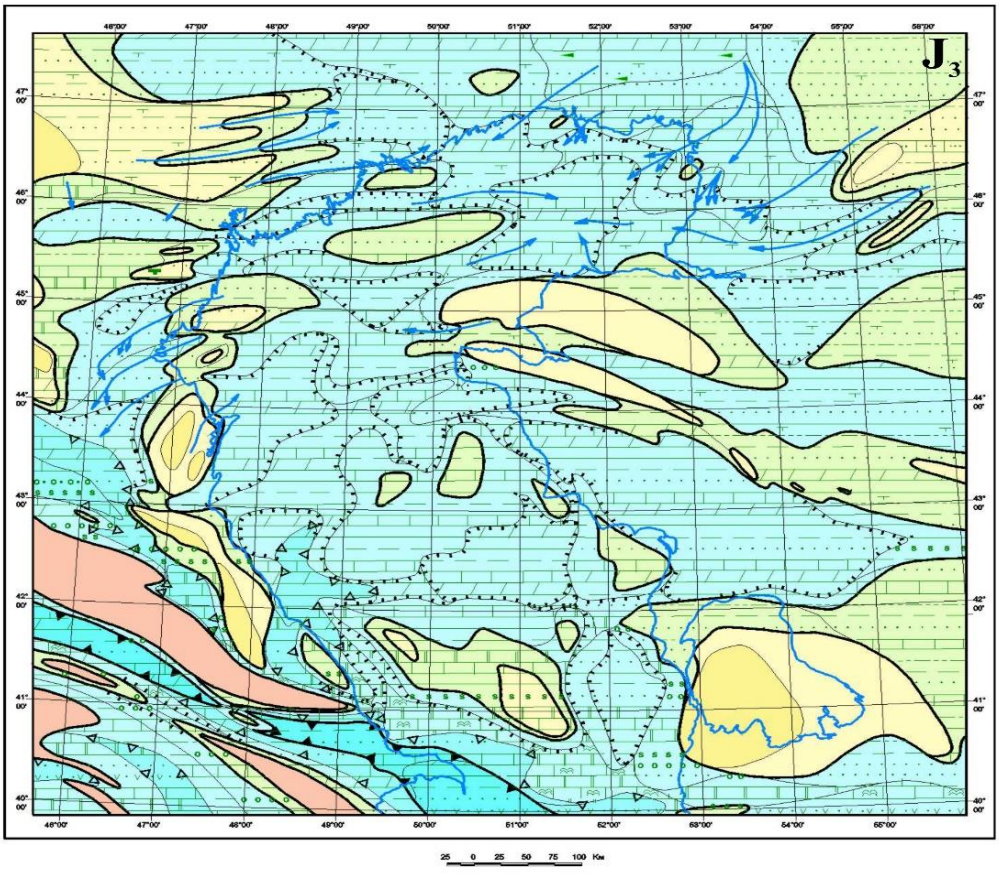
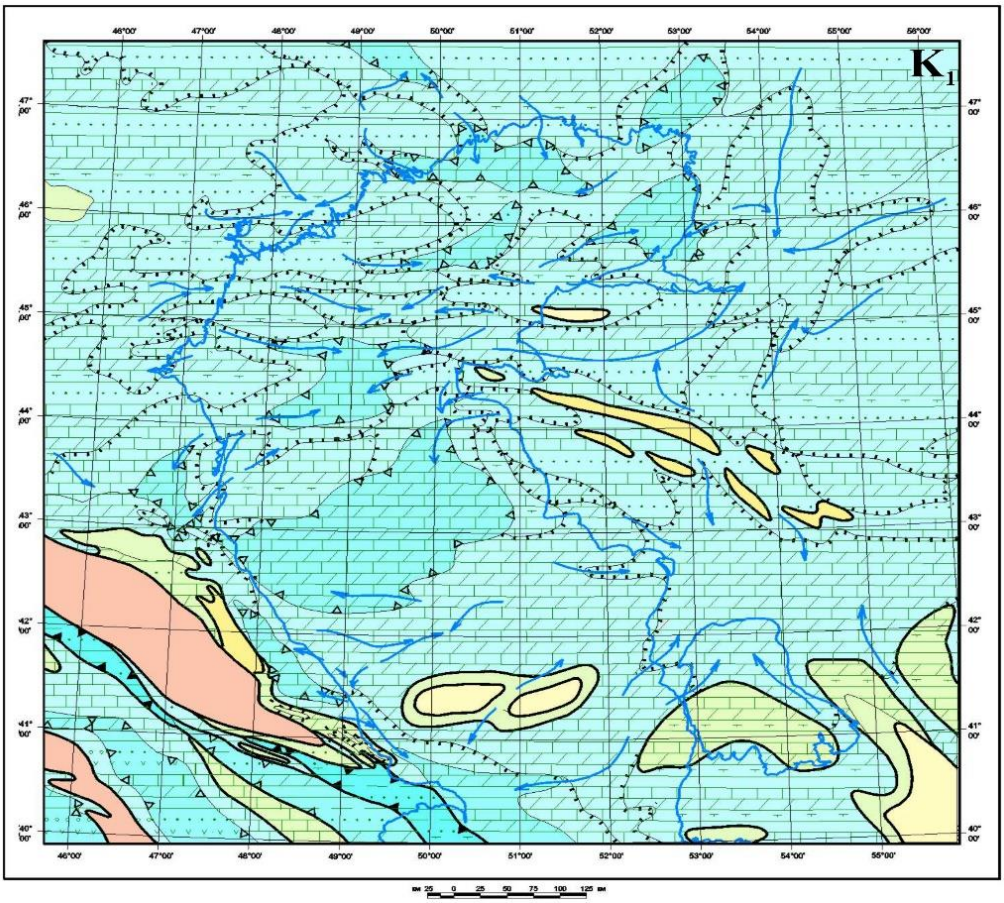


Fig. 2. Lithological-paleogeographic map of the Caspian sub-region. Middle (a)-Late (b) Jurassic
Legend: see fig. 1

a



b

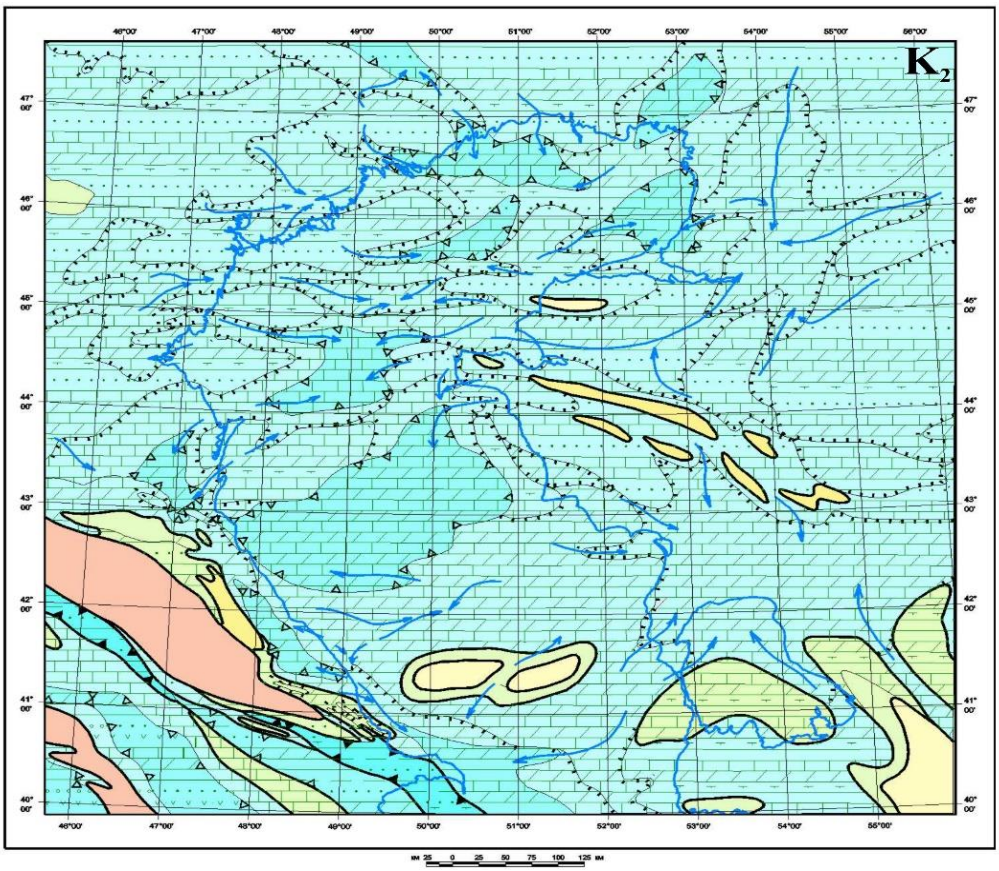


Fig. 3. Lithological-paleogeographic map of the Caspian subregion. Early (a) – Late (b) Cretaceous
Legend: see fig.1.

The continuing subsidence of the shelf leads to the emergence within its limits, in place of previously existing depressions, over-deepened closed shelf basins. The sedimentation conditions in them are comparable to those of real deep-water basins. The distribution of these basins indicates that the zone of maximum subsidence of the Late Cretaceous paleobasin in the regions of the Middle and North Caspian approximately corresponded to the modern axis of the Caspian Sea.

The shelf sea, which existed in the south of the present-day Middle Caspian, is separated from the Transcaucasian – South Caspian deep-water basin by a barrier that still retained its expressiveness, but already significantly reduced and smoothed. The western part of the barrier is crossed by the relatively deep-water East Dagestan trough, which extends along the northeastern slope of the Caucasus mountain structure to the deep-water basin.

In the Paleocene-Eocene, the platform areas of the Middle and North Caspian generally retained the sedimentation regime inherited from the Late Cretaceous period. The shelf region occupied most of the Caspian Basin and the Eastern Ciscaucasia in the Paleocene, and their accumulated clays, marls, siltstones, sands and clayey limestones. The deepest part of the shelf was located between the Volga and Ural rivers, as well as in the eastern part of the Karpinsky ridge, where carbonate-clayey and siliceous-clayey silts were deposited. In the Eocene, the position of the shelf did not change. The expansion of the transgression in the Eocene (after a short phase of regression in the Late Paleocene) led to the restoration of the connection between the Caspian and West Arctic basins through the so-called Turgai Strait. The nature of sedimentation has changed little compared to the Paleocene – under the conditions of a relatively shallow shelf, the deposition of clays, marls, siltstones, sands, and sometimes limestones continued.

In the Oligocene-Early Miocene (Maykopian age) (Fig. 4), the conditions of sedimentation in the Middle and North Caspian Sea changed significantly. At this time, active orogenic processes in the zone of the Greater Caucasus and Mangyshlak and the formation of arched uplifts associated with them in the vast territories of the Scythian and Turanian platforms began. At this time, in the shallow shelf basins of the Middle and North Caspian, there was an accumulation of sandy-clayey sediments brought here from the East European platform. The beginning of the Oligocene was associated with the formation of Paratethys, a single, large basin of the Black Sea – Caspian region partially isolated from the ocean. As noted by many researchers (Холодов, Туровский, 1985), isolation influenced the conditions of sedimentation through hydrogen sulfide contamination of the environment and a significant depletion of the fauna corresponding to the deposits of the Maykop Group. These conditions persisted in the Miocene, while the isolation of the Black Sea and Caspian segments of the region increased. Specific conditions for hydrogen sulfide contamination existed until the middle of the Miocene.

A single depression formed in Maykop in the space from the Karpinsky ridge to the southern slopes of the Mangystau ridge. The thickness of the deposits in it reaches 2000 m (Rachinsky, Kerimov, 2015). The Maykop Sea was to a large extent a deep-water basin here. Its continental slope is clearly recorded at the foot of the Caucasus in the south and on the southern slopes of the Karpinsky Ridge in the north.

On the largest uplifts in the eastern part of the Karpinsky ridge, the deposits of the Maykop Formation are eroded. In other parts of the ridge and in the adjacent territories of the East European platform, their thickness is 200-300 m and decreases to the north to 100 m or less.

Intensive uplifts in the Upper Oligocene – Lower Miocene led to the expansion of land and erosion zones on the eastern coast of the Caspian. The Late Miocene transgression destroyed the deposits of the Maykop Formation over significant areas. The erosion zone was the uplift of the Central Ustyurt and Buzachinsky arches. In the shallow-water basins of the Caspian Basin in the Oligocene, accumulation of predominantly clayey deposits with interlayers of siltstones and sandstones took place (Атлас литолого-палеогеографических карт СССР, 1967). Marine sedimentation was sometimes replaced by continental sediments, and during these periods there was an accumulation of sandy-clayey coal-bearing deposits. In the early Miocene, the Caspian lowland was covered by a general regional uplift.

Continental conditions established for a long time led to the erosion of older sediments, primarily Oligocene, which in places survived only in deep interdome zones in the central and southeastern part of the lowland, where deposits of the Lower Miocene are also possible (Левин, Сенин, 2003).

The regional uplift of the Northern Caspian and the adjacent territories of the Scythian and Turan plates led to an almost complete erosion of the Maykop complex, which has survived only in local depressions, where its thickness does not exceed 300-500 m.

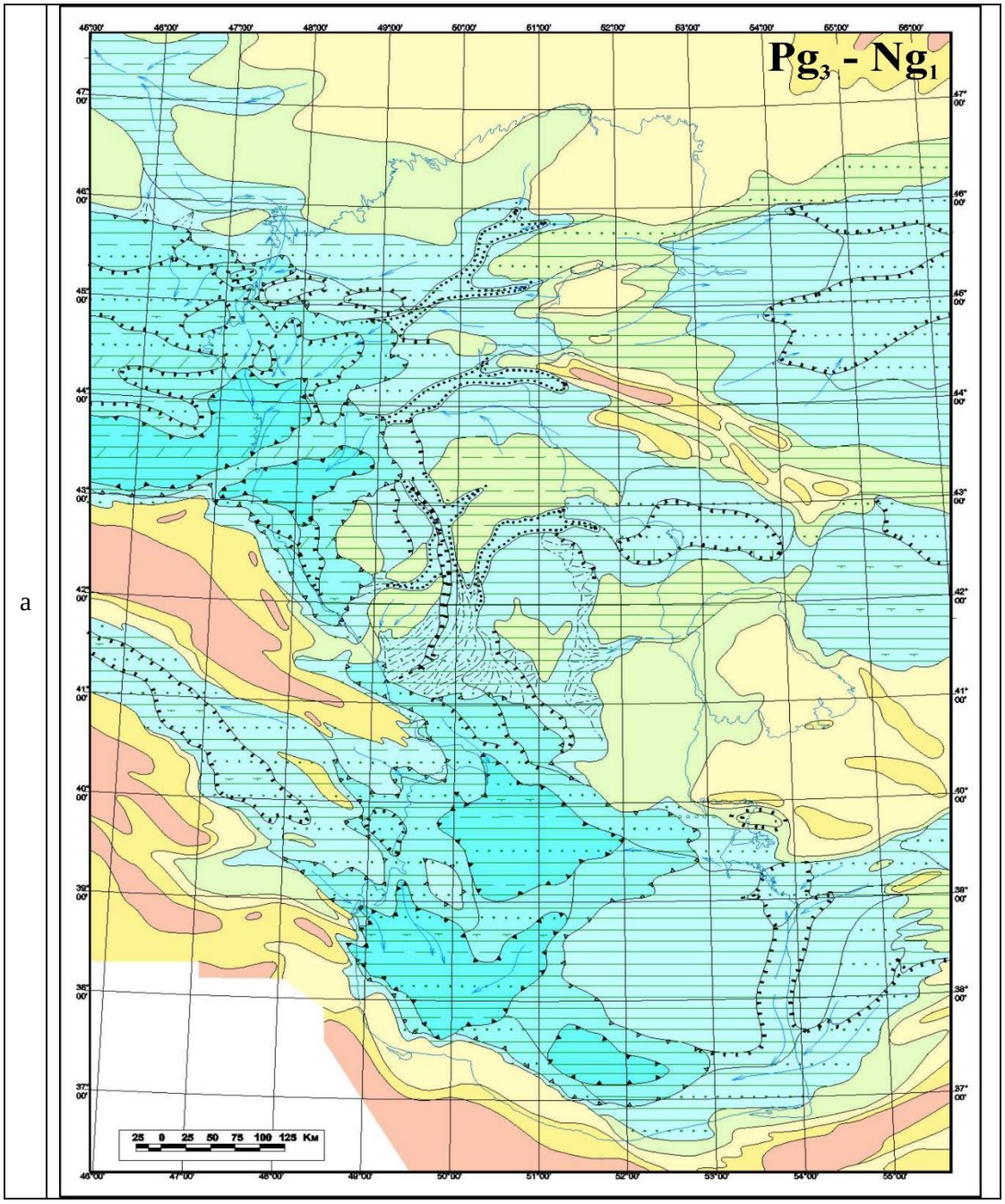
In the central and southern zones of the Middle Caspian, a group of uplands corresponding to the buried Samur-Peschanomyssk zone of uplifts acquires a distinct expression. In the straits that separate these uplands, deep erosion trenches are formed

in places, inheriting ancient faults in the Mesozoic sediments (Senin, 2012). One of these underwater trenches, deeply cut into the Mesozoic substrate (Middle Caspian trench), separates the group of low islands Yalama-Samur-Central from the Peschanomyss Upland. Its mouth part is possibly associated with the formation of an extensive flat underwater fan, which is reconstructed according to the peculiarities of the distribution of the thickness of the Maykop deposits.

At the boundary of the Early and Middle Miocene, significant areas of the Scythian and Turanian plates, with the exception of the most bowed parts of the depressions, were involved in a short-term uplift. After that, a new cycle of transgression began. The maximum subsidence in the Tersko-Caspian foredeep occurred in the Middle Miocene, when more than 1.500 m of sediments accumulated here.

The amplitude of the subsidence of the western part of the Turan plate at that time was much smaller. In the Late Miocene, the South Mangyshlak Trough was the main subsidence area here.

The development of the southern part of the Caspian Basin in the Middle-Late Miocene was characterized by uplift and erosion of underlying sediments. In the water area of the Northern Caspian, the Middle-Upper Miocene complex is eroded, its residual thickness does not exceed 100 m.



a

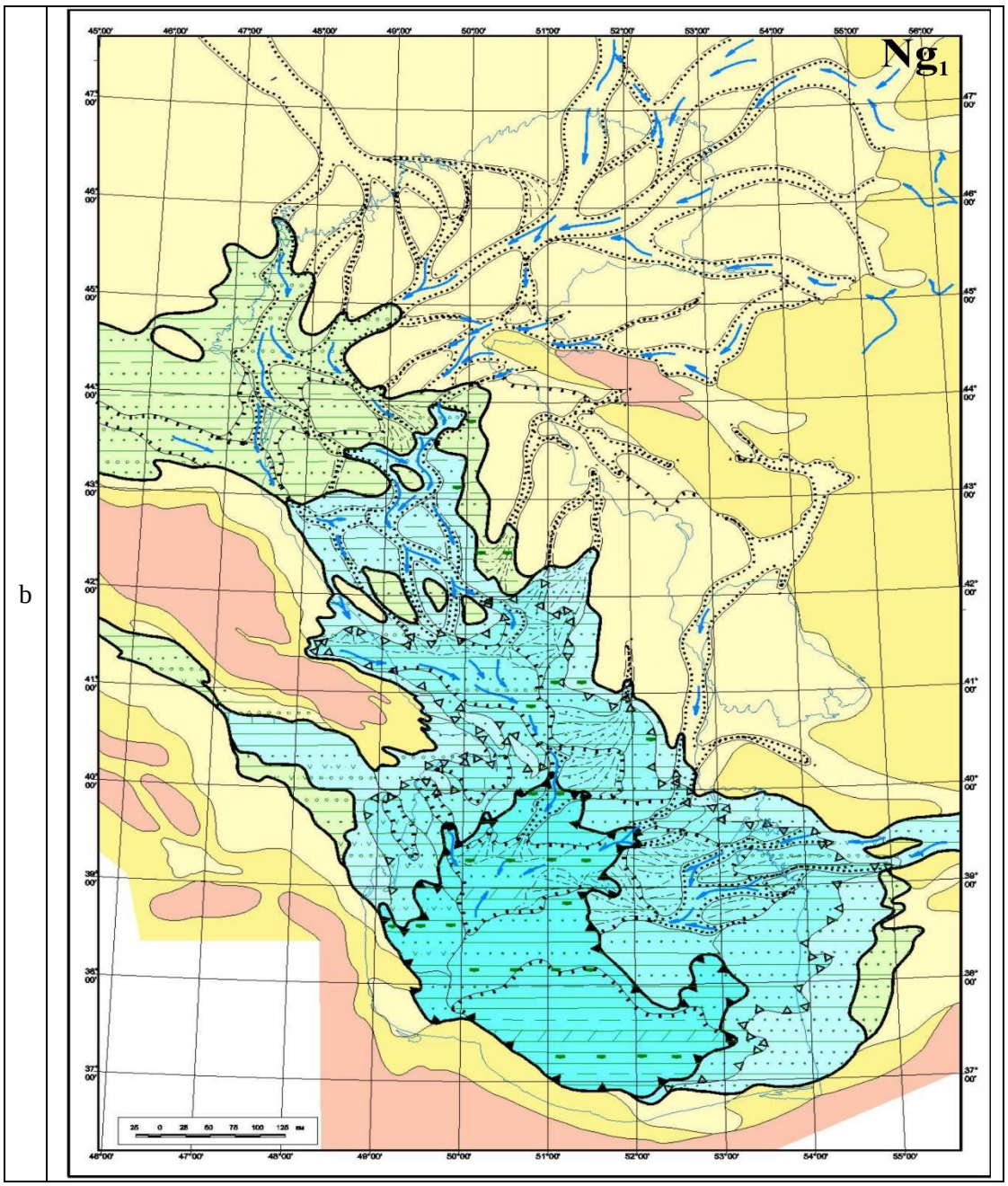


Fig. 4. Lithological-paleogeographic map of the Caspian subregion.
Oligocene-Miocene (Maykopian age) (a) – Pliocene (Balakhanian age) (b)
Legend: see fig.1.

By the Middle Pliocene (Fig. 4), stable conditions of the shallow shelf were preserved only in the areas adjacent to the eastern part of the Caucasian Orogen. In the more western regions of the Eastern Ciscaucasia, sedimentation conditions of alternation of a shallow sea and a low accumulative plain were established. To the north and east of them, continental conditions were established almost until the end of the Neogene. At this time the platform areas of the Middle and North Caspian were raised (or there was a sharp drop in sea level under conditions of significant climate aridization). On the territory of the East European Platform and in the Urals, the formation of a deeply incised river network began. The most pronounced paleovalleys of this time are Paleo-Volga and Paleo-Ural.

Areas of overdeep shelf formed at this time in the southern zone of the Middle Caspian and along the periphery of the South Caspian depression, the western part of which is occupied by a relatively deep-water basin, roughly corresponding to the modern deep-water basin of the South Caspian (Senin, 2012).

In the Priabsheron region, a system of deep-water lagoons is formed, separated from the South Caspian depression by underwater structural-accumulative formations. The latter are slowly growing

at this time into consedimentary folds, above which sandy, sandy-clayey, or sandy-pebble shoals are formed in the form of underwater spits, bars, and swells bordering the eastern plunge of the Caucasian Orogen. The clastic material that forms these bodies comes as a result of drift from the orogenic area and multi-stage transfer from more northern and western regions, both as a result of alongshore transit, and through a system of conjugated land and submarine canals that form a series of intermediate areas of unloading on their way – underwater and land deltas and fan. The final accumulative body of this system in the form of an underwater alluvial cone is most likely formed in the middle part of the Absheron-Pribalkhan sille.

The modern morphology of the Caspian basin was finally determined in the Quaternary period. The most significant structural change at this time was the formation of a submeridional depression along the western coast of the sea. It is explained by the active submersion of this zone, the rate of which in the last 70-75 years can be 4-6 mm per year or more. The deep-water basins of the Middle and South Caspian, characterized by some features of sedimentation and folding, are formed near the intersections of this depression with the systems of alpine troughs of the Caucasian direction (Tersko-Caspian trough and Kura intermontane trough). At present the same process of forming a nodal depression is possible in the southwestern part of the Volga delta and in the Ukatnenskaya depression, north of the Kurmangazy uplift. However, this process can be completely compensated by sediments from the Volga estuary and masked by its Quaternary delta.

Conclusion

Thus, the studies carried out allowed us to study the lithological and paleogeographic conditions of the formation and distribution of sedimentary basins of the Caspian region. This is necessary for further numerical basin modeling.

Non-palinspastic lithological-paleogeographic reconstructions, performed using classical methods of thickness and facies analysis, showed that in the Middle-Late Triassic and Early Jurassic continental conditions prevailed in most of the Caspian region with the accumulation of terrigenous, less often carbonate, and in some places volcanogenic sedimentary strata. In the Middle Jurassic, large areas of stable subsidence and inundation appeared, and in the Late Jurassic and Early Cretaceous, predominantly marine conditions were established in the region with a predominance of carbonate sedimentation in some zones. In the Late Cretaceous, the entire region was a clay-carbonate shelf, in places over-deepened. At the end of the Paleogene – Early Miocene, in the southern part of the region, the processes of arch formation and orogenesis intensified, which were accompanied by the draining of the zones of orogenesis and some areas of the Northern and Eastern Caspian Sea, and the formation of over-deepened shelf troughs ahead of the front of the zone of active orogenesis with the predominance of terrigenous sedimentation in them. Substantial drainage of the territory of the Middle and North Caspian took place in the Pliocene, when in the relict, relatively deep sea depressions of the South and the Middle Caspian region south of 42º N lat. formed powerful delta complexes of Pliocene rivers flowing from the East European platform and, in part, from the Turan plate.

The results of the reconstructions made it possible to restore the conditions and environments of sedimentation characteristic of the Caspian region in a long historical and geological retrospective and to obtain the necessary information for the subsequent numerical modeling of sedimentary basins and the evolution of their hydrocarbon systems.

Discussion of the results and conclusions

Based on the obtained data, a graph of the dependence of the incident angle and azimuth of the considered seismic waves at 34 time intervals was constructed. As can be seen in the graph at the first 4 points corresponding to the longitudinal wave, the azimuth fluctuates in the range of 140-155º, and the incident angle – 15-37º. For linearly polarized oscillations, the recording form is preserved and the oscillations are in phase, regardless of the orientation of the components in space. The nature and polarization of the longitudinal wave are independent of the source and the forces acting in it. Therefore, at each individual observation point, the nature of the polarization of wave P caused by the earthquake will be the same and cannot provide information about the source.

REFERENCES

Aliev M.M. Paleogeographic setting in the Cretaceous period in the southeast of the Greater Caucasus. In the book: Stratigraphy and paleogeography of oil and gas bearing areas of young platforms. Nauka. Moscow, 1982, pp. 6-23 (in Russian).

Atlas of lithological and paleogeographic maps of the USSR. Vol. III-IV. MG USSR, Academy of Sciences of the USSR, Main Directorate of Geodesy and Cartography of the USSR Ministry of Geology. Moscow, 1967 (in Russian).

Belousov V.V. Fundamentals of geotectonics. Nedra. Moscow, 1989, 382 p. (in Russian).

Glumov I.F., Gulev V.L., Senin B.V., Karnaukhov S.M. Regional geology and oil and gas prospects of the Black Sea deep-water depression and adjacent shelf zones. In 2 parts. Nedra publishing house. Moscow, 2014, P.I, 279 p.; P.II, 181 p. (in Russian).

Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Bondarev A.V. The Estimation of the Generation Potential of the Low Permeable Shale Strata of the Maikop Caucasian Series, SOCAR Proceedings, No. 1, 2018, pp. 4-20.

Guliev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N. Fundamental challenges of the location of oil and gas in the South Caspian basin. Doklady Earth Sciences, Vol. 471, No. 1, 2016, pp.1109-1112.

Kerimov V.Yu., Guliev I.S., Guseinov D.A., Lavrenova E.A., Mustaev R.N., Osipov A.V., Serikova U.S. Forecasting oil and gas content in regions with complex geological structure. Publishing house Nedra. Moscow, 2015, 404 p. (in Russian).

Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. Iranian Journal of Earth Sciences, Vol. 10, No.1, 2018, pp. 78-89.

Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of hydrocarbon generation at great depths in the crust. Doklady Earth sciences, Vol. 483, No. 1, 2018, pp. 1413-1417.

Kerimov V.Y., Rachinsky M.Z., Mustaev R.N., Osipov A.V. Groundwater dynamics forecasting criteria of oil and gas occurrences in alpine mobile belt basins. Doklady Earth Sciences, Vol. 476, No. 1, 2017, pp. 1066-1068.

Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Mustayev R.N., Guliyev I.S. Deep oil-and-gas content of South Caspian Basin. Neftyanoe khozyaystvo - Oil Industry, No. 5, 2014, pp. 50-54 (in Russian).

Kholodov V.N., Turovsky D.S. On the problem of sedimentation in the Caspian Sea. Litologiya i poleznye iskopaemye, No. 1, 1985, pp. 17-34.

Lebedev L.I., Aleksina I.A., Kulakova L.S. Caspian Sea: geology and oil and gas potential. Nauka. Moscow, 1987, 296 p. (in Russian).

Leonov Yu.G. Tectonic criteria for the interpretation of seismically reflecting horizons in the lower crust of continents. Geotektonika, No. 5, 1993, pp. 4-15 (in Russian).

Levin L.E., Senin B.V. Deep structure and dynamics of sedimentary basins in the Caspian region. Doklady Akademii nauk, Vol. 338, No. 2, 2003, pp. 216-219 (in Russian).

Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. Scientific Editor Gorfunkel M.V. Wiley-Scrivener Publishing. USA, 2015, 640 p.

Senin B.V. Model of regional tectonics and hydrocarbon potential offshore Russia and foreign sectors of the Black Caspian region. 5th EAGE St.Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences - Making the Most of the Earth's Resources, Conference proceedings, 2012, https://doi.org/10.3997/2214-4609.20143603

ЛИТЕРАТУРА

Алиев М.М. Палеогеографическая обстановка в меловой период на юго-востоке Большого Кавказа. В кн.: Стратиграфия и палеогеография нефтегазоносных областей молодых платформ. Наука. Москва, 1982, с. 6-23.

Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. III-IV. МГ СССР, АН СССР, Главное управление геодезии и картографии Министерства геологии СССР. Москва, 1967.

Белоусов В.В. Основы геотектоники. Недра. Москва, 1989, 382 с.

Глумов И.Ф., Гулев В.Л., Сенин Б.В., Карнаухов С.М. Региональная геология и перспективы нефтегазоносности Черноморской глубоководной впадины и прилегающих шельфовых зон. В 2-х частях. Издательский дом Недра. Москва, 2014, Ч.I, 279 с.; Ч.II, 181 с.

Guliev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N. Fundamental challenges of the location of oil and gas in the South Caspian basin. Doklady Earth Sciences, Vol. 471, No. 1, 2016, pp.1109-1112.

Керимов В.Ю., Гулиев И.С., Гусейнов Д.А., Лавренова Е.А., Мустаев Р.Н., Осипов А.В., Серикова У.С. Прогнозирование нефтегазоносности в регионах сосложным геологическим строением. Издательский дом Недра. Москва, 2015, 404 с.

Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of hydrocarbon generation at great depths in the crust. Doklady Earth sciences, Vol. 483, No. 1, 2018, pp. 1413-1417

Керимов В.Ю., Рачинский М.З., Мустаев Р.Н., Осипов А.В. Геофлюидодинамические критерии прогнозирования нефтегазоносности в регионах Альпийской складчатости. Доклады Академии наук, Т. 476. No. 2, 2017, с. 209-212.

Керимов В.Ю., Серикова У.С., Мустаев Р.Н., Гулиев И.С. Нефтегазоносность глубокозалегающих отложений Южно-Каспийской впадины. Нефтяное хозяйство, No. 5, 2014, с. 50-54.

Холодов В.Н., Туровский Д.С. К проблеме осадконакопления в Каспийском море. Литология и полезные ископаемые, No.1, 1985, с. 17-34.

Лебедев Л.И., Алексина И.А., Кулакова Л.С. Каспийское море: геология и нефтегазоносность, Наука. Москва, 1987, 296 с.

Леонов Ю.Г. Тектонические критерии интерпретации сейсмически отражающих горизонтов в нижней коре континентов. Геотектоника, No. 5, 1993, с. 4-15.

Левин Л.Э., Сенин Б.В. Глубинное строение и динамика осадочных бассейнов в Каспийском регионе. ДАН, Т. 338, No. 2, 2003, с. 216-219.

Guliyev I.S., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Bondarev A.V. The Estimation of the Generation Potential of the Low Permeable Shale Strata of the Maikop Caucasian Series. SOCAR Proceedings, No. 1, 2018, pp. 4-20.

Kerimov V., Rachinsky M., Mustaev R., Serikova U. Geothermal conditions of hydrocarbon formation in the South Caspian basin. Iranian Journal of Earth Sciences, 2018, Vol. 10, No. 1, pp. 78-89.

Rachinsky M.Z., Kerimov V.Yu. Fluid dynamics of oil and gas reservoirs. Scientific Editor Gorfunkel M.V. Wiley-Scrivener Publishing. USA, 2015, 640 p.

Senin B.V. Model of regional tectonics and hydrocarbon potential offshore Russia and foreign sectors of the Black sea – Caspian region. 5th EAGE St. Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences - Making the Most of the Earth's Resources, Conference proceedings, 2012, https://doi.org/10.3997/2214-4609.20143603

ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ КАСПИЙСКОГО РЕГИОНА

Сенин Б.В.[1], Керимов В.Ю.[2], Мустаев Р.Н.[2], Алиева С.А.[3]
[1]АО «Южморгеология»
353461, Краснодарский край, г. Геленджик, ул. Крымская, д. 20
[2]Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе
117997, Москва ул. Миклухо-Маклая д.23: r.mustaev@mail.ru
[3]Азербайджанский университет нефти и промышленности
AZ1010, Баку, Азербайджан, просп. Азадлыг, 16/21

Резюме. В статье рассматриваются литологические и палеогеографические условия формирования и размещения осадочных бассейнов Каспийского региона, главной особенностью морфологии и структуры которой является наличие здесь сверхглубоких впадин. Исследование охватывает геохронологический интервал от среднего триаса по балаханское время плиоцена. Непалинспастические литолого-палеогеографические реконструкции, выполненные с использованием классических методов анализа мощностей и фаций, показали, что в среднем-позднем триасе и ранней юре на большей части Каспийского региона преобладали континентальные условия с накоплением в отдельных бассейнах терригенных, реже карбонатных, а местами и вулканогенно-осадочных толщ. В средней юре появились крупные районы устойчивого погружения и затопления, а в поздней юре и раннем мелу в регионе установились преимущественно морские условия с преобладанием в некоторых зонах карбонатного осадконакопления. В позднем мелу весь регион представлял собой глинисто-карбонатный шельф, местами переуглублённый. В конце палеогена – раннем миоцене в южной части региона активизировались процессы сводообразования и орогенеза, которые сопровождались осушением зон орогенеза и некоторых районов Северного и Восточного Каспия и образованием переуглублённых шельфовых прогибов перед фронтом зоны активного орогенеза с преобладанием в них терригенного осадконакопления. Существенное осушение территории Среднего и Северного Каспия произошло в плиоцене, когда в реликтовых, относительно глубоководных морских впадинах Южного и района Среднего Каспия к югу от 42º С.Ш. формировались мощные дельтовые комплексы плиоценовых рек, текущих с Восточно-Европейской платформы и, отчасти, с Туранской плиты.

Результаты реконструкций позволили восстановить свойственные Каспийскому региону условия и обстановки осадконакопления в длительной историко-геологической ретроспективе и получить необходимую информацию для последующего численного моделирования осадочных бассейнов и эволюции их углеводородных систем.

Ключевые слова: *Каспийский регион, реконструкция, литологические и палеогеографические условия, осадочные бассейны*

XƏZƏR REGİONUNDA ÇÖKÜNTÜ HÖVZƏLƏRİNİN FORMALIŞMASININ VƏ YERLƏŞMƏSİNİN LİTOLOJİ VƏ PALEOCOĞRAFİ ŞƏRAİTİ

Senin B.V.[1], Kərimov V.Y.[2], Mustayev R.N.[2], Əliyeva S.A.[3]
[1]"Yujmorgeologiya"Səhmdar Cəmiyyəti
353461, Krasnodar bölgəsi, Gelencik şəh., Krymskaya küç.,20
[2]Serqo Orconikidze ad. Dövlət Geoloji Kəşfiyyat Universiteti, Rusiya, Moskva
117997, Moskva şəh., Mikluho-Maklay küç., 23: r.mustaev@mail.ru
[3]Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı şəh., Azadlıq prosp., 16/21

Xülasə. Məqalədə Xəzər regionunun çöküntü hovzələrinin formalaşmasının və yerləşməsinin litoloji və paleocoğrafi şəraiti nəzərdən keçirilir. Onun morfologiyasının və strukturunun əsas xüsusiyyəti burada ifratdərin çökəklərin olmasıdır.Tədqiqat orta triasdan pliosenin Balaxanı dövrünə qədər geoxronoloji intervalı əhətə edir.

Qalınlıqların və fasiyaların təhlilinin klassik metodlarından istifadə etməklə yerinə yetirilmiş qeyri-palinspaktik litoloji-paleocoğrafi rekonstruksiyalar göstərmişdir ki, Orta-Gec triasda və erkən yurada Xəzər regionunun böyük hissəsində ayrı-ayrı hövzələrdə terrigen, nadir hallarda karbonat, bəzi yerlərdə isə vulkanogen-çökmə qatların toplanması ilə kontinental şərait üstün olmuşdur. Orta yurada dayanıqlı batma və subasmanın iri rayonları əmələ gəlmiş, gec yurada və erkən təbaşirdə isə bəzi zonalarda karbonat çöküntütoplanmanın üstünlüyü ilə regionda əsasən dəniz şəraiti mövcud olmuşdur. Gec təbaşirdə bütün region, bəzi yerləri yenidən dərinləşmiş, gilli-karbonatlı şelflə təmsil olunmuşdur. Paleogenin sonunda – erkən miosendə regionun cənub hissəsində tagəmələgəlmə və orogenez prosesləri aktivləşmişdir. Bunlar orogenez zonalarının və Şimali və Şərqi Xəzərin bəzi rayonlarının quruması və aktiv orogenez zonasının önündə yenidən dərinləşmiş şelf çökəkliklərinin əmələ gəlməsi ilə, onlarda terrigen çöküntütoplanmanın üstünlüyü ilə, müşayiət olunmuşdur. Orta və Şimal Xəzər ərazisinin mühüm dərəcədə quruması Pliosendə baş vermişdir. Həmin vaxt Cənubi və Orta Xəzər rayonunun 42º şm. enliyindən cənubda reliktlərdə, nisbətən dərinsulu dəniz çökəkliklərində Şərqi Avropa platformasından və qismən Turan plitəsindən axan Pliosen çaylarının qalın delta kompleksləri formalaşmışdır.

Rekonstruksiyalarının nəticələri uzunmüddətli tarixi-geoloji retrospektivdə Xəzər regionuna xas olan çöküntütoplanma vəziyyəti və şəraitinin bərpasına və çöküntü hövzələrinin gələcək rəqəmli modelləşdirilməsi və onların karbohidrogen sistemlərinin təkamülü üçün lazımi infopmasiyanın alınmasına imkan vermişdir.

Açar sözlər: *Xəzər regionu, rekonstruksiya, litoloji və formasion aspektlər, paleocoğrafi kondisiyalar, çöküntü hövzəsi*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2021**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

PETROLEUM SOURCE ROCK CHARACTERIAZATION AND HYDROCARBON GENERATION, BAKU ARCHIPELAGO, SOUTH CASPIAN BASIN, AZERBAIJAN

Javadova A.S.

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

Keywords: *oil, gas, formation, geochemical studies, biomarkers, migration, South Caspian Basin*

Summary. The South Caspian Basin (SCB) is known as one of the oldest oil and gas producing regions in the world. It has more than 100 years of hydrocarbon exploration and development history but still holds large volumes of unexplored resources. To date, a large number of research projects have been carried out to better understand the basin's development history and thereby to assess and unlock the remaining hydrocarbon potential. Recent geological exploration programs that been carried out in the region have introduced great opportunity to access to the subsurface data, both seismic and drilling, from the areas that never been explored so far. They have played a critical role in mapping subsurface challenges and in more accurate, targeted approach to planning future exploration and development programs in the area. The purpose of this article is to present the results of geochemical studies, geological and geochemical analysis, correlations in the system oil – source rock – mud volcanoes ejecta – well data carried out to describe the history of hydrocarbon fluid formation in the basin, potential mechanisms of hydrocarbon generation and migration as well as geological time of formation and accumulation of hydrocarbons in structural traps. The results of geological and geochemical analysis support the deep origin and genetic identity of the oil and gas samples analyzed. Hydrocarbon formation and migration mechanisms in the area are controlled by pressure regime within the source-rock with respect to its surrounding environment of permeable beds. The changes and trends observed in the chemical composition, geochemical properties of the hydrocarbons fluids support the importance of seal capacity, impact of the overlaying cap rocks on type of hydrocarbon fluids and nature of hydrocarbons traps in the area. The timing of petroleum generation from the source rock is consistent with the timing of structural development of some of the hydrocarbon traps in the study area.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

The South Caspian Basin is known as one of the world's most prolific oil and gas basins. It is a sedimentary basin with more than 20 km of Mesozoic and Tertiary sediments deposited on oceanic or thinned continental crust. Recent rapid burial has resulted in low geothermal gradients that support potential to generation of hydrocarbons at great depth between 8-10 km. Compressional deformation in the late Pliocene with reactivated tectonics led to formation of local uplifts and onset of major folding in the basin. Organic rich formations of Oligocene-Miocene age, predominantly Diatom and Maykop, are the principal oil-prone source rocks proved in the basin. Reservoirs are mainly the Pliocene age Productive Series (PS) formations. Outcrop studies suggest that these reservoir units were deposited in non-marine environment ranging from fluvial to lacustrine delta (Reynolds et al., 1998). Distribution and quality of organic matter within the SCB is very strongly influenced by depositional setting. Integrated interpretation of the geochemical data shows that hydrocarbons in the area of study belong to the same, or similar genetic family with good correlation with the biological markers identified in the hydrocarbon fluids analyzed. Hydrocarbon formation and migration mechanisms in the area are controlled by pressure regime within the source-rock with respect to its surrounding environment of permeable beds. In our opinion, the main pulse of hydrocarbons migration occurred in recent geological time (Absheron, Quaternary) and there are direct indicators (natural seeps, active mud volcanoes expelling oil and gas)

proving that the migration of hydrocarbons in the area is still taking place. Baku archipelago is the focus area in this current study. It covers western shelf zone of the Azerbaijan sector of the Caspian Sea and represents a south-eastern extension into the sea tectonic zones of the South Gobustan and Lower-Kura depressions. Currently, Baku archipelago is one of the main oil and gas producing area in the basin with promising exploration opportunities as well (Fig. 1).

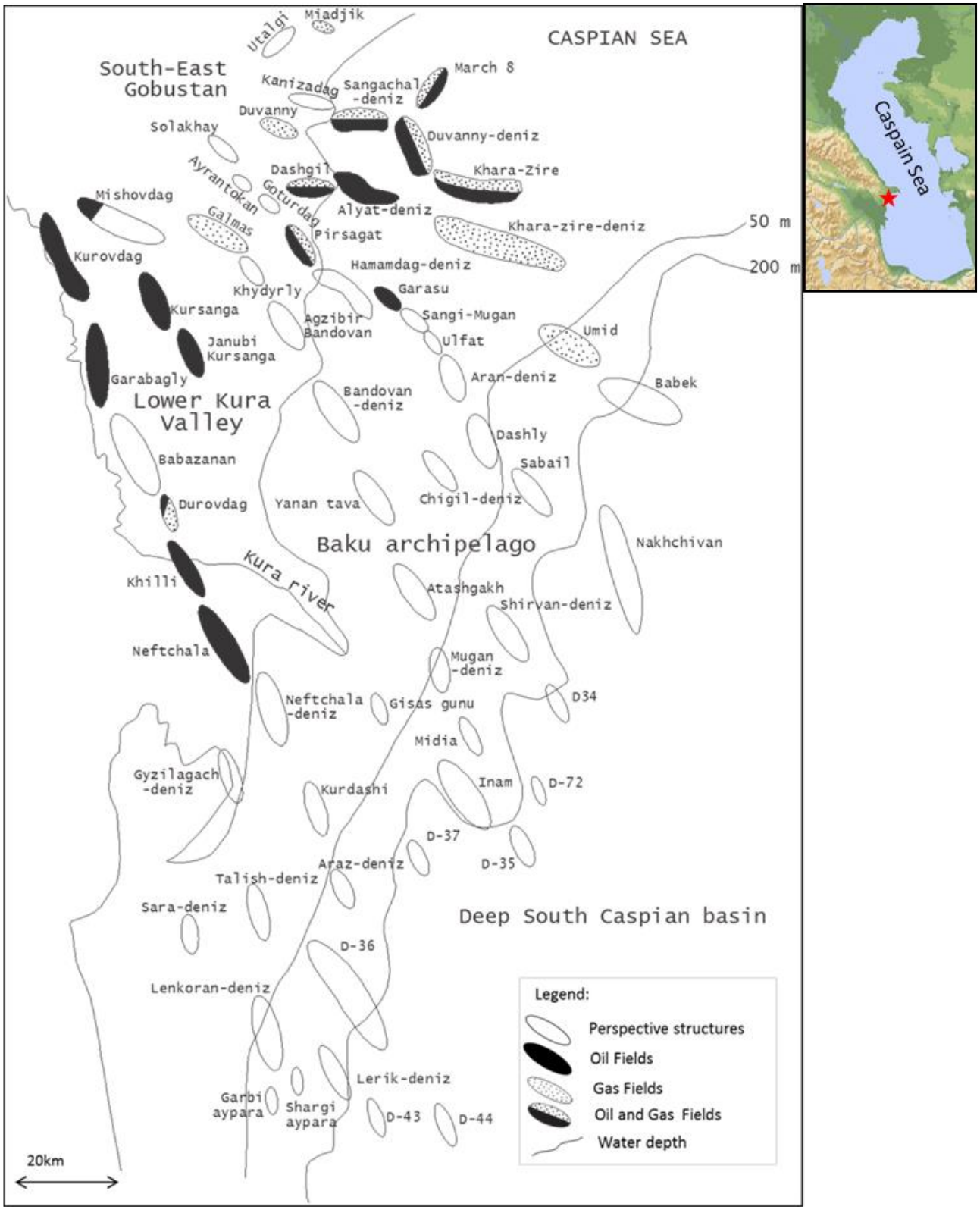


Fig. 1. Location map – Baku archipelago perspective structures and oil and gas fields

Baku archipelago represents south-east extension of the South-East Gobustan and Lower Kura depressions into the Caspian Sea. In general, there is trend in south-east direction with regional deepening of the subsurface units and change in type of hydrocarbon fluids phase from oil and gas to gas, gas-condensate deposits. Principal hydrocarbon reservoirs are Pliocene age Productive Series (PS) formations that are deposited unconformably above a marine Miocene shale sequence that contains organic rich Diatomaceous shale sequence (Fig. 2).

EPOCH	FORMATION		SUITES
RECENT	QUATERNARY		
PLIESTOCENE	ABSHERON		
PLIOCENE	AKCHAGYL		
	PRODUCTIVE SERIES	UPPER	SURAKHANY
			SABUNCHY
		MIDDLE	BALAKHANY
			FASILA
		LOWER	QUG
			QUQ
			QLd
			QA
			Qala
MIOCENE			PONTIAN
			DIATOMACEOUS
			SPIRIALITIC
			MAYKOP
PALEOGENE			

Fig. 2. Study Area – Simplified stratigraphic chart

Commercial deposits of oil and gas-condensate have been identified here in the Horizons V, VII, VIII of Pliocene age Middle productive series formations. Lithologically they represent a series of alternating sandstone, mudstone and siltstone layers. Fluvial deposits in the lower Productive Series below the Fasila formation provide additional targets. Regarding to the formation mechanisms of hydrocarbons in the Productive Series formations, historically there were two main concepts developed on this subject. According to the first one (first described by Gubkin (Губкин, 1937), oil and gas deposits in the PS are formed as a result of migration of hydrocarbons from the deeper Oligocene-Miocene strata, predominantly from the Diatom and Maykop formations. According to the second concept, oil and gas deposits in PS are singenetic to accommodating deposits, with Lower PS (Qala, Qirmaky (QLd) and Qirmakiustu (QUQ, QUG) formations considered to be source rocks for the HCs accumulation. Later, with access to more precise data, especially from the deeper strata, it has been proved that Lower PS units has never reached temperatures required for the transformation of the organic matter into HCs. Our early research works have shown good match in correlation of key biological markers in the oil and source rock samples taken in offshore Azerbaijan. That suggests that HC fluids accumulated in the PS belong to the same genetic family with good match to geochemical parameters of the diatomaceous age shale source rock sample that was analyzed. Despite of more than 100 years of hydrocarbon exploration and production history, there are still debates around hydrocarbon formation and migration mechanisms in the SCB (Guliyev et al., 2019; Green et al., 2009; Гулиев и др., 2004; Abrams, Narimanov, 1997; Narimanov et al., 1997; Inan et al., 1997; Мамедов, Джавадова, 1993; Zonenshain, Le Pichon, 1986; Чахмахчев и др., 1974; Старобинец, 1974; Петров и др., 1967; Никонов, 1962; Губкин, 1937). Many researchers admit that the main phase of HC migration into the PS occurred through faults, mud volcanoes channels and diapers. Some of researchers consider the possibility of migration of the HC fluids in the retrograded gas mixture gas phase, or in a solution in water and partially in a gas phase. Critical role of hydrodynamics in the formation and distribution of HC accumulations in the SCB was rightly highlighted by many researches historically and that concept has proved itself through detailed modeling done based on new data acquired in the basin recent years. Deep drilling with access to the data from the deeper strata helped a lot better understand thermodynamic story of the basin, map the distribution of the different type of fluids that formed under certain environment as well as identify potential traces of oil and gas migration. Another important issue that been addressed in this paper is the compositional changes of HC fluids during migration. Organic geochemical parameters based on biomarker distribution and stable carbon isotopes have been applied to understand the source and thermal maturity of the organic matter as well as depositional environment of the potential source rock in the area of study (Goodwin et al., 2020; Guliyev et al., 2019; Peters et al., 1993; Radke, Welte, 1983; Seifert, Moldovan, 1980; ten Haven, Rullkotter, 1988).

Materials and methods

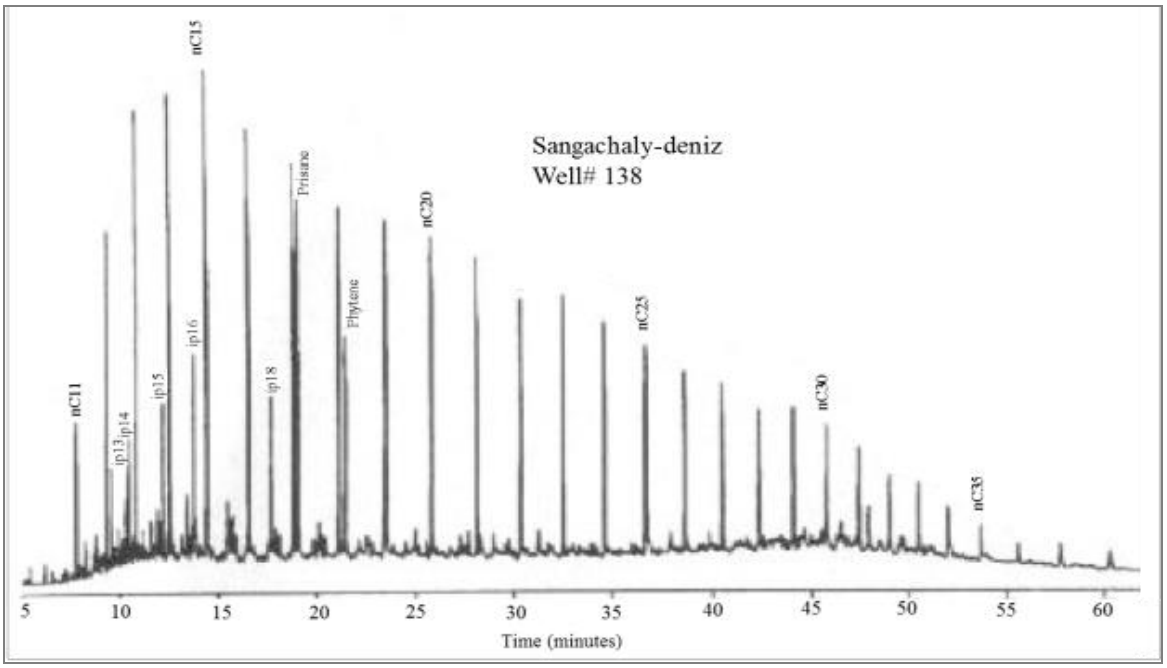
To address the issues described above precise geochemical analyses have been carried out on selected oil and gas samples from the fields in the area of Baku archipelago, including Sangachaly-deniz – Duvanny-deniz – Khara-zire, Alyaty-deniz, Bulla-deniz, Garasu, 8 March fields. In total 40 fluid samples have been analyzed. Samples represent reservoir units of Productive Series and Oligocene-Miocene, particularly diatomaceous age shale sample (Sangachaly-deniz, well# 534) that is proven to be principal source rock for the

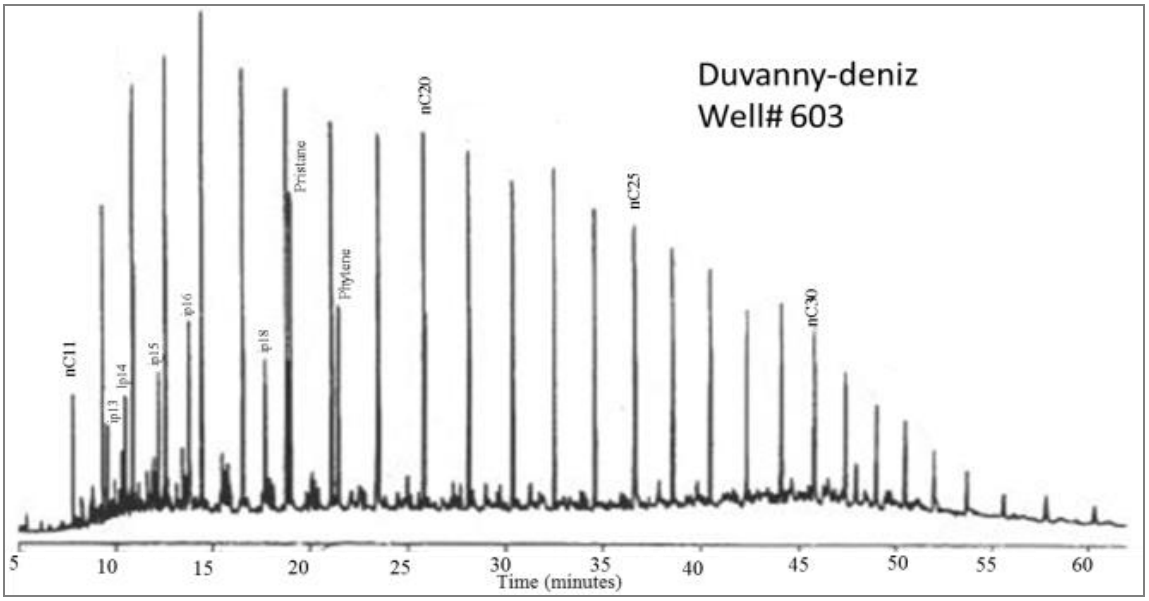
hydrocarbons in the study area. Biomarker compounds in the fraction of saturated compounds C_{15+} were studied using the gas-chromatograph 5690 in conjunction with mass spectrometer 5970. The separation of the saturated fractions was carried out with the help of a 50-meter column of PR. After the insemination at 270 volatile compounds were refocused for 4 minutes at 50°C. Helium was used as a gas-carrying. The mass spectrometer worked in electronic ionization mode. Data were collected on single ions.

Results and discussion

The distribution of C_{15+} saturate fraction gas chromatograms in hydrocarbon fluids analyzed show relatively uniform behavior throughout the study area with some local differences that will be discussed later in paper (Fig. 3). In general, offshore oils show predominant amount of saturated hydrocarbons (68%), with 20% of aromatic, 11% polar and 1% of asphaltenes.

Understanding the HC generation and formation mechanisms requires good understanding of basin formation, depositional environment through geological time and access to the critical data that may help to identify the biological input and age of the potential source rocks. Below are learnings from the distribution of the key biomarkers and biomarkers ratios that helped us to understand the issues described above (Peters et al., 1993; Radke et al., 1983; Seifert et al., 1983). Distribution of steranes in the oils analyzed show a strong predominance of C_{27} and C_{28} steranes relative to C_{29} steranes (Fig. 4).





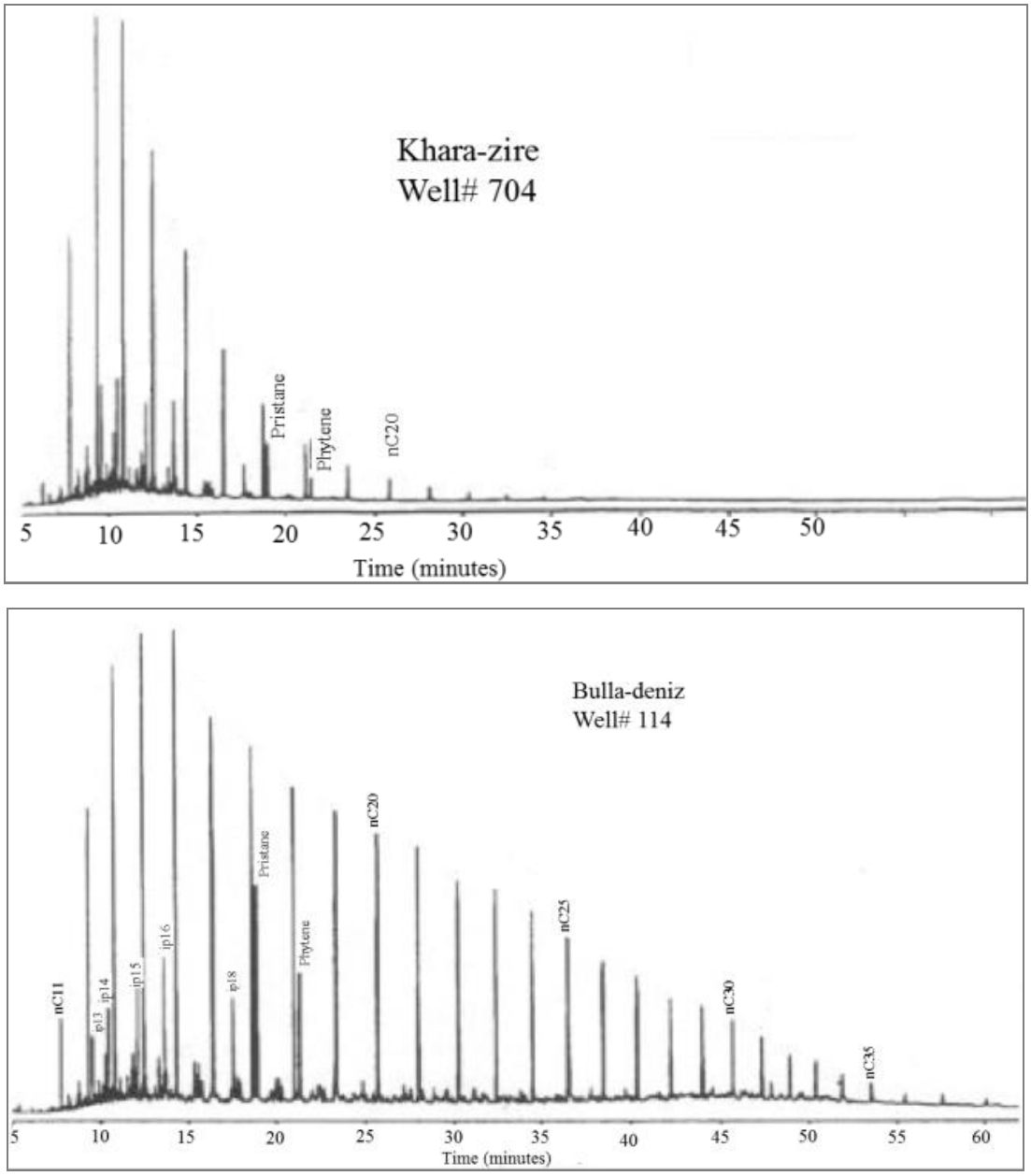


Fig. 3. Baku archipelago fields representative C_{15+}saturate fraction gas chromatograms

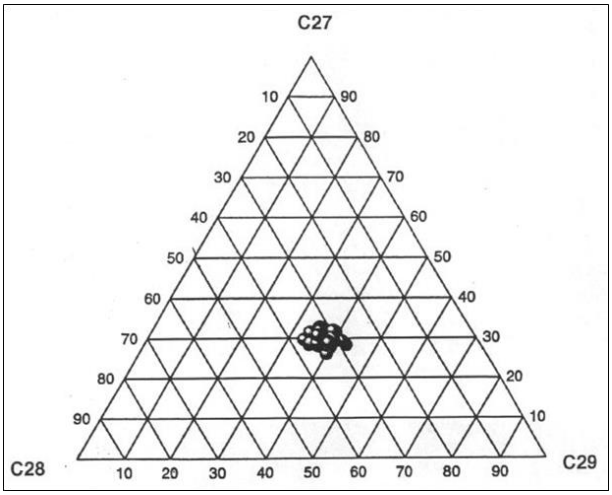


Fig. 4. Baku archipelago fields – Steranes, diasteranes distribution

Grantham and Wakefield (1988) have shown that there is relationship between distribution of sterols and geological age. According to their observations, the ratio of steranes C_{28}/C_{29} in oils and bitumen less than 0.5 is typical for lower-Paleozoic and older sediments, between 0.5-0.7 – for deposits from upper Paleozoic to Jurassic and more than 0.7 – for Cretaceous and younger sediments. Such variation of sterols over geological time is explained by changes taking place as a result of chemical transformations through biological evolution and the processes of biosynthesis over geological time. Volkman (1986) discovered that green algae were particularly enriched with ethyl-cholestanes. During the biological evolution, phytoplankton microorganisms became increasingly diverse. It is known that C_{28} sterols are

synthesized mainly by dinoflagellates, coccolithophorids and diatoms. Enrichment of C_{28} steranes is not associated with the emergence of some new organisms, but with an increase in the diversity of phytoplanktons. The C_{28}/C_{29}ratio in HC fluids of the study area ranges from 0.76 to 1.10 with an average value of 0.86. The relatively high content of steranes C_{28} in comparison to C_{27} and C_{29} shows that diatom algae were an essential component of the "primary" phytoplanktons produced. This is support above mentioned observations by Grantham and Wakefield (1988) and indirectly indicates that the source rocks in the study area are correspond to the Tertiary and possibly Mesozoic age sediments. One of the important geochemical criteria is Hopane/Hopane-Moretane ratio. It is used as an indicator of thermal maturity, hydrocarbon formation environment as well as source. There is direct relationship in distribution of hopane/hopane-moretane ratio and maturity of OM, i.e. increase in maturity will lead to increase in the ratio (Seifert and Moldovan, 1980). By Grantham (1986) there is also good correlation between hopane/hopane+moretane ratio and geological age. Most pre-Middle Cretaceous oils showed relatively low value of this ratio. The oils generated by the upper Cretaceous and Tertiary source rocks have high abundance of hopanes. The average value of hopane/hopane+moretane ratio in the oils and condensates of the study area is 0.87, ranging from 0.84 to 0.89 (Fig. 5). This suggests that oils and condensates in the study area were generated by source rocks of Tertiary, and possibly Mesozoic age, with thermal maturity corresponding to the Main Oil Generation zone, i.e. "oil-generative window".

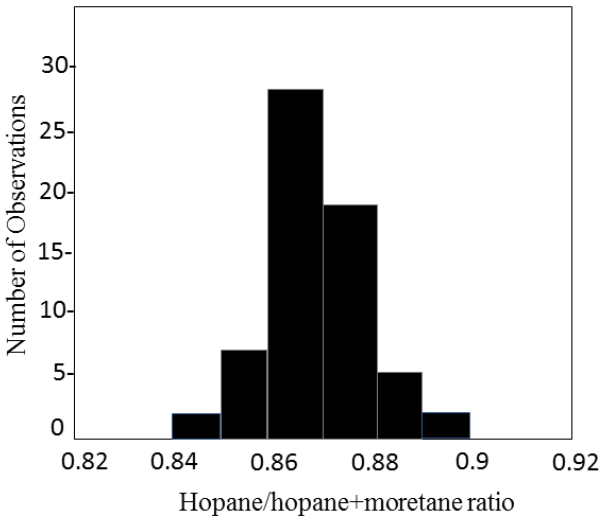


Fig. 5. Baku archipelago fields – distribution of maturity depends on β,α-Moretanes C_{29}+C_{30}/β,α-Moretanes+α,β-Hopanes ratio

It is known that 18α(H)-oleanane is an indicator of both biological source and geological age. It forms from betulin (Grantham et al., 1983), cockroaches (ten Haven, Rullkotter, 1988) and other pentacyclic triterpenoids (Whitehead, 1973) produced by angiosperms. The ratio of 18α(H) to 18β(H) – oleananes depends on the degree of maturity. Riva and his co-authors (1987) have investigated more than 150 oil samples from different oil and gas basins around the world and have identified both isomers. They show that oleananes are present only in upper Cretaceous and Tertiary age sediments. In addition, it was shown that there is clear correlation between 18α(H) and 18β(H) – oleananes and maturity of OM, i.e. the ratio will increase with increase of maturity index. All above linked to the fact of presence of oleananes in the oils and condensates of the Baku archipelago indicates that Tertiary, Oligocene-Miocene and possibly deeper Mesozoic age source rocks are responsible for HC generated in the study area (Fig. 6).

Radke and Welte (1983) suggested that the distribution of phenanthrene and four methylphenanthrene isomers could be used as an indicator of catagenic maturity. As the maturity of OM increases the abundance of 2-methyl and 3-methylphenantrenes relative to abundance of 9-methyl and 1-methylphenantrename decreases, where the ratio of phenanthrene to methylphenanthrenes increases. Radke and Welte suggested that this ratio should be called a methylphenanthrene index (MPI-1) and used through the following equation: MPI-1= (2MP+ 3MP)/(P+ 9MP+ 1MP), where: MP is methylphenanthrene and Pisphenanthrene. Distribution of the methylphenanthrene (2+3)/(9+1), methylphenanthrene index and Vitrinite Reflectance Index in the oils and condensates from the study area ranging as 0.75-1.1, 0.47-0.8 and 0.55-0.79, respectively (Fig. 7) (Джавадова, 2004).

In studying the formation of oil and gas deposits, it is important to take into account the distribution and relationship in distribution between different types of fluids throughout the study area.

In the study area majority of the oil deposits are associated with eroded, tectonically complicated, faulted areas, in contrast gas accumulations in most cases are linked to the less complicated, deeper structures. The important feature to highlight is the change of the HC fluids accumulations from the oil to the gas-condensate in south-east direction which coincides with the thickening of regional seals in the same direction. The regional nature of this feature is important geological data that helps to map the areas with high HC potential and plan potential exploration works as well. Timing of trap development in relation to HC generation and expulsion is important in controlling the amount and type of the HC accumulations. The

timing of petroleum generation from the Maykop source rock is consistent with the timing of structural development of the productive HC deposits in the study area. A regional pulse of hydrocarbon generation occurs during deposition of the Productive Series and originates as we mention earlier in the deep basin.

Detailed analysis of the timing of development of the individual structural uplifts in the study area suggests that most of the structures in a basin were formed during Late Pliocene-Quaternary time. There are a number of well-studied fields in the South Caspian Sea that can be used to map the stages of migration and accumulation of the hydrocarbon fluids in the basin. This could be done based on reconstruction of paleo-tectonic processes that took place in the basin through geological time and the volume of hydrocarbon accumulations in the traps.

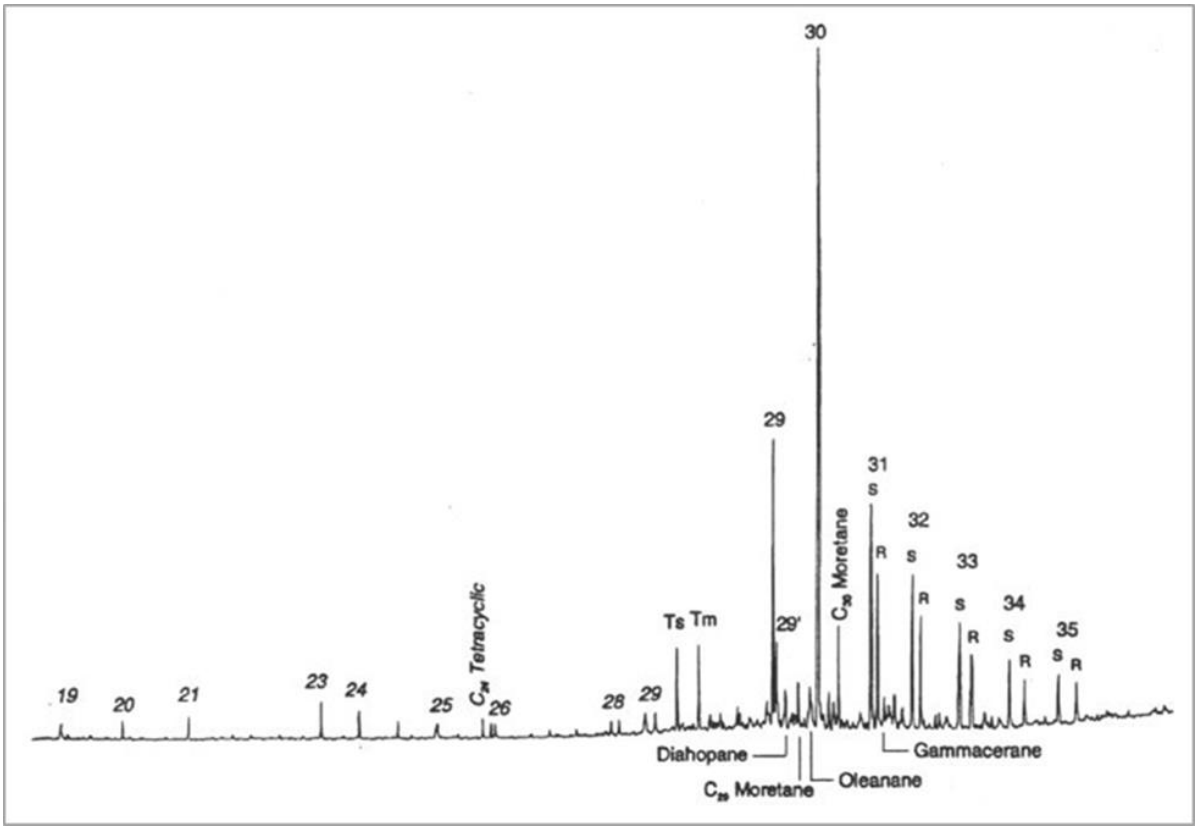


Fig. 6. Baku archipelago – Bulla-deniz field -representative mass fragmentograms showing the distribution of terpanes, hopanes in the oil samples from Baku archipelago field

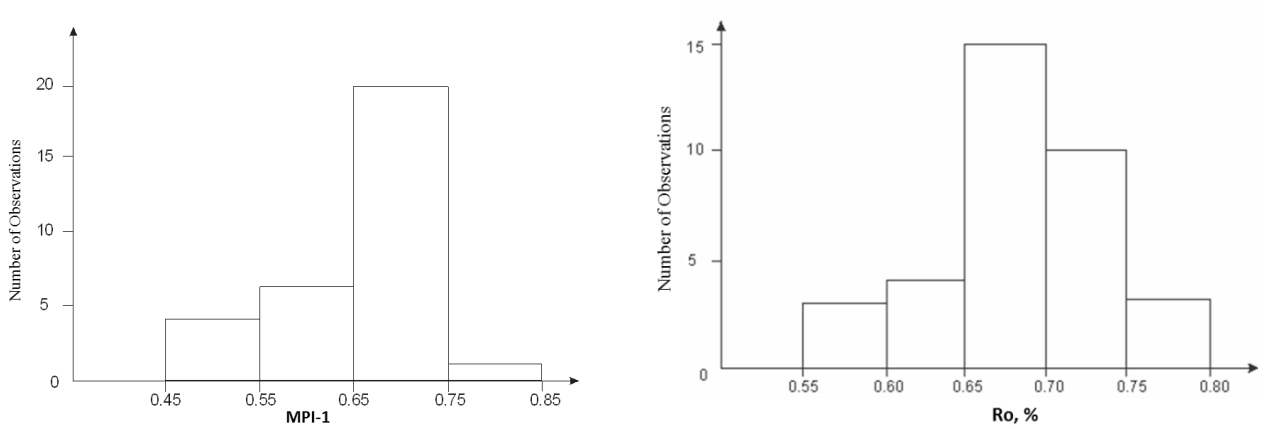


Fig. 7. Baku archipelago fields – distribution of the methylphenanthrene index (A) and Vitrinite Reflectance Index (B) in the oil and condensates

Modeling results suggest that regional pulse of hydrocarbon generation starts in the deeper part of the basin during deposition of the Productive Series. This pulse of hydrocarbon migration (pre-Akchagylian) responsible for accumulation of hydrocarbons in the structures existing in the basin by that time, for example Sangachaly-Duvanny, Khara-zire trend, at the same time did not effected number of other structures in a basin that had not been developed by that time yet, or had not adequate closure to trap much of this early regional pulse of hydrocarbons prior to the Akchagylian, like Hamamdag, for example. This observation is coinciding with the results of the geochemical analysis (MPI and others) that suggest early generation and expulsion of the hydrocarbons in the study area. Renewed sediment loading during post-Akchagylian time, provokes a second, more focused pulse of petroleum generation in the basin. This second pulse is significant in scale and explains the observed admixture of both biodegraded and non-biodegraded oils in Duvanny and Bulla-deniz, for example, and the lack of large accumulations in the structures, like Hamamdag.

Distribution of the hydrocarbon phases in the study area is as follows: horizon V of Balakhany suite PS is gas-condensate accumulation for the Duvanny-deniz, Khara-zire, Bulla-deniz fields, Fasila suite (horizon VII) is gas and oil in Sanagachaly-deniz – Duvanny-deniz – Khara-zire, Alaty-deniz, 8 March, Garasu fields and QUQ suite (horizon VIII) is gas-condensate trap in the Duvanny-deniz, Khara-zire, Bulla-deniz, 8 March fields. There is variation in the hydrocarbon phases in the Fasila suite horizon VII which is the main producing horizon in the area. For example, horizon VII in Kanizadag structure is a gas-condensate accumulation but in the south-west direction of regional deepening of the basin there is a clear change in type of fluids accumulated. For example, we observe following distribution in the chain of the Sangachaly-deniz – Duvanny-deniz – Khara-zire and Bulla-deniz fields: Sangachaly-deniz – gas and oil, Duvanny-deniz – oil and gas, Khara-zire – gas and oil and Bulla-deniz – gas-condensate and oil accumulations. This kind of variation doesn't link to differential regression mechanism by Gassow that doesn't consider potential change in the position of the structures through geological time which is the case in the South-Caspian basin.

Numerous evidences show the dominant role of the vertical migration in the accumulation of hydrocarbons in the Productive Series formation within the study area. Observed vertical hydro-chemical inversion in the Productive Series – the presence of highly mineralized, brackish waters in the upper part of the PS with less-mineralized, alkaline at the lower PS could be explained by upward movement of ultra-alkaline waters from the deeper strata up towards PS. This supports the importance of the vertical movements in the process of HC migration. Therefore, it is not unusual that most PS hydrocarbon accumulations in the study area are corresponding to the areas with high concentration of alkaline (zone VII, VIII) and partially mixed waters (zone V). This observation also supports the fact of relatively higher reservoir pressures at the base of PS as a result of introduction of high-pressured fluids escaped from the Oligocene-Miocene shales due to compaction.

There is a clear relationship between chemical composition of the hydrocarbon fluids, their regional distribution and changes along the vertical section in the wells as well. Mud volcanoes also played certain role in the formation of hydrocarbon accumulations in the study area. In overall, the data suggests the dominant role of vertical migration in the formation of HC accumulations in the study area.

Let's take a quick look at the nature of this phenomenon. One of the geochemical criteria to apply to map hydrocarbons migration pathways is the decrease of saturation pressure with increasing abundance of gas dryness. In our case, for zone VII we see opposite picture – both parameters change proportionally, increasing along both sides of Duvanny-deniz field, i.e. for the Duvanny-deniz the value of saturation pressure is 20-30 MPa, for the area of Sangachaly-deniz and Khara-zire it varies between 30-40 MPa. Similarly, the dryness of gases, respectively, increases from the Duvanny-deniz (12.36) to the Sangachaly-deniz (14.85) and to the Khara-zire. Such changes could be explained by migration of the hydrocarbons from the deeper strata via tectonic faults. Formation of a gas zones in the areas close to tectonic faults could explain observation above. There are number of mud volcanoes in the study area, including the ones located within the producing oil and gas fields. Correlation of the chemical composition between gas samples from the mud volcanoes and producing reservoir units helps to understand migration mechanisms in the study area. We see high similarity in chemical composition between the gas samples from the producing fields and from the mud volcanoes in the area. Duvanny mud volcano shows 92.35% of CH_4 with 4.19% of total heavy hydrocarbons, in Khara-zire Island and Khara-zire mud volcanoes these two parameters are 94.11%, 94.77% for CH_4 and 5.01%, 4.8% for total amount of heavy hydrocarbons respectively. Same parameters for the gas samples from the producing Duvanny-deniz and Khara-zire fields show 92.89%, 94.77% of CH_4 and 6.44%, 4.88% for the total heavy hydrocarbons respectively. That suggests the dominant role of vertical migration in the system. And now let's review the trends we observe in the

composition of oil and condensates that may help to understand formation and migration of the hydrocarbons in the Baku archipelago.

We see two stages of hydrocarbon migration and accumulation in the area of study. The first stage covers the beginning of the Absheron time, during which regional vertical (and accompanying lateral migration through individual layers) migration was carried out as a single phase, deep faults activated due to intense tectonic movements that time could play a certain role as migration pathways as well. Presence of mud volcano breccia in the deep Miocene-Oligocene deposits (Diatom, Maykop) is a good evidence of that. Migrated hydrocarbons (in Gas-Oil phase) would accumulate in the traps with favorable reservoir properties. At this initial stage the chemical composition of the fluids would be the same across entire basin, regardless of their stratigraphic age.

Later, until the end of the Absheron time preservation or any changes in the chemical compositions of the fluids would depend on sealing capacity of the overburden layers. The second stage of hydrocarbon migration (Gas-Condensate phase) covers the Anthropogenic phase of tectogenesis, during which a structural framework of folds was finally formed. Numerous faults that formed due to reactivated tectonic movements in the area cause compartmentalization of the existing structures and as a result changes in chemical compositions and properties of the hydrocarbon fluids accumulated. It should be noted that at this time, along with the ongoing migration processes, there were significant overflows among and between the layers, leading to the re-formation of existing accumulations. For example, due to the absence of Akchagyl and Lower Absheron deposits on the SW flank and SE uplift zone of the Duvanny-deniz field, i.e., due to low seal capacity before the second stage of migration, there was a partial destruction of the original trap due to diffusion processes. High resistivity in the horizons V and VII of Productive Series observed in the wells (#30, 45, 52, 58, 97) located out of oil-water contact is a good evidence that supports the observation above. It also can indicate lateral migration but that would normally have regional feature, not a limited, local one. The change in the quality of sealing capacity effects on the amount of gas dissolved in oil, as well as the quantity and quality of its gasoline component (fractions up to 200°C); first, paraffinic-naphthenic and then naphthenic-aromatic hydrocarbons would release from the hydrocarbon accumulation. Note that there is a gradual change in the $\sum C_5+\sum C_6/\sum C_7+\sum C_8$ ratio along stratigraphic section, i.e. from the bottom, horizon VIII up to horizon V. It ranges from 0.3-0.5 in horizon VIII and then decreases to 0.2 in horizon V, i.e. up to the well section. In our view, the decrease of this ratio in the horizon V is well linked to what was stated above and could be explained by loose of light fractions as a result of diffusion. As noted, the initial reservoir pressure of the gas-condensate-oil deposit in the horizon V of the Duvanny-deniz field ranges between 29.4-32.4 MPa, for the gas-condensate deposit of the horizon VIII the range is 49-59 MPa. Experimentally found that under normal conditions (10-20 MPa), model condensates are significantly enriched by those hydrocarbon compounds that easily move into the gas phase. However, at high pressures (30-50 MPa) the effect of selective solution in compressed gases fades, as a result condensates and original oil will have similar chemical composition. This can explain high degree similarity in the chemical composition of different fractions of condensates from horizons V and VIII, although there is a significant difference in hypsometric position (up to 2000 m.) and consequently in subsurface conditions (pressure and temperature) (Table 1). In addition, this once again supports the assumption that hydrocarbon fluids migrated at initial stage of migration would have the same or similar chemical composition.

Table 1

Condensates from Sangachaly-deniz field – similar hydrocarbon composition despite difference in depth and subsurface conditions

Well#	Horizon	Depth, meters	Fractions, °C	Output %	Density	Group fractions, Boiling Point 200°C		
						Paraffinic	Naphtenic	Aromatic
298	V	3327	Boiling Point-150	34.44	0.745	47.70	39.03	13.27
			150-200	28.44	0.749	52.01	34.31	13.68
			200-250	17.26	0.770	55.34	31.94	12.72
			> 250	19.86	0.781	47.12	42.03	10.85
537	VIII	5023	Boiling Point-150	30.97	0.766	45.76	40.09	14.15
			150-200	15.04	0.779	52.96	33.17	13.87
			200-250	15.36	0.804	52.38	34.38	13.24
			> 250	19.14	0.805	50.81	36.42	12.77

It is known that, due to the high mobility, light fractions of the hydrocarbon fluids are successfully used to understand migration processes (Table 2). As can be seen from the Table 2, ∑Cyclohexanes/ ∑Cyclopentanes ratio varies within 2-3. According to V.F.Nikonov (Никонов, 1962) in oils this ratio is equal to or less than 1, in condensates is 3-4 or more, and the change in this ratio within 1-3 indicates the possibility of presence of an oil rim. Consequently, the increase of this ratio with depth (from 2.02 to 2.80) is well linked to the distribution of hydrocarbon accumulations in the Baku archipelago, indirectly indicating the presence of an oil rim in the horizon VIII at the Sangachaly-deniz – Duvanny-deniz – Khara-zire and in the horizon VII at the Bulla-deniz field.

In addition to this, geochemical composition of the gasoline fraction from the hydrocarbon fluids demonstrates a clear relationship between subsurface condition, i.e. temperature and pressure in reservoir sections and chemical composition of the fluids migrated in the system. This is reflected by the fact that in the direction of migration of the hydrocarbons the value of the ratios ∑Cyclohexanes/∑Cyclopentanes, ∑n.alkanes/∑iso.alkanes is decreasing. That is due to the fact that in compressed gases branched alkanes and five-membered naphthenes dissolve noticeably better than n-alkanes and six-membered naphthenes. Therefore, due to phase-retrogradation, chromatographic and diffusion processes, as well as decrease in temperature and pressure in the system, the hydrocarbon fluids that migrate upward will get higher amount of iso-alkanes and five-membered naphthenes. Chemical composition for individual hydrocarbons from oil and condensates from the Bulla-deniz, Khara-zire, Duvanny-deniz fields shows increase in distribution of n-alkanes and decreases of total amount of isoprenoids from top to bottom of the well section. That could be explained by the catagenetic processes (cracking). At the same time, we observe that ratio of low-molecular normal alkanes and isoprenoid hydrocarbons to high-molecular $\sum n.C_{12}$-$n.C_{15}/\sum n.C_{16}$-$n.C_{19}$, $\sum n.C_{16}$-$n.C_{19}/\sum n.C_{20}$-$n.C_{25}$ and $\sum iso.C_{13}$-$iso.C_{15}/\sum iso.C_{21}$-$iso.C_{25}$ in oils and condensates increases in all cases from the bottom to upper part of the section. A similar phenomenon is observed at the Bulla-deniz field: horizon V condensates contain a higher amount of the more mobile low-molecular n-alkanes and isoprenoids, in comparison to the condensates from the deeper horizon VII. Such changes are likely to be the result of differentiation of n.alkanes and isoprenoids caused by chromatography effect, as well as decrease in temperature and pressure along the migration path. Thus, changes in the individual composition of hydrocarbons could be explained by 2 factors: cracking and differentiation during vertical migration. It is important to highlight that pristane/ phytane ratio in condensates is higher than in oils. High ratios of pristane/phytane in some cases are associated by many researchers not only with genetic features of source rocks, but also with physical processes occurring at the time of formation of the hydrocarbon traps. Such changes are common for the CPI index of alkanes as well. All above suggest the dominant role of vertical migration in the formation of the hydrocarbon accumulations in Productive Series. There are direct evidences which demonstrate that the migration of hydrocarbon in the study area is still taking place. Analysis of the abnormal high pressure on the existing uplift zones indicates continued vertical fluid flow into Productive Series. However, it should be noted that lateral migration also plays a critical role in filling the reservoirs of the lower part of the Productive series. Oil to source rock correlation done on samples taken from the producing well in Sangachaly-deniz shows similarity in distribution of the key indicative biomarkers, including relative abundance of C_{27}:C_{28}:C_{29} regular steranes, rearranged steranes to regular steranes, tricyclicterpanes, pentacyclichopanes and other triterpanes. Correlation was done on Pliocene, Productive series age oil sample (Fig.8A) and Late Miocene, Diatomaceous shale sample from the same well (Fig 8B). Similarity in geochemical properties and distribution of the key biomarkers also suggests that oil and rock samples analyzed belong to the same (or similar) genetic family.

Table 2

Baku archipelago representative fields– Gasoline fractions (boiling point at 125°C) composition and trends

Field	Horizon	Type of accumulation	Depth, meter	n-alkanes/iso-alkanes				Cyclohexane/Cyclopentane			n-alkanes/ iso-alkanes	∑Cyclohexane ∑Cyclopentane	Alkane/ Cyclic
				C_5	C_6	C_7	C_8	C_6	C_7	C_8			
Sangachaly-deniz-	V	Gas-Condensate-Oil	3327	0.63	0.54	0.83	0.65	1.48	2.26	1.91	0.68	2.16	0.85
Duvanny-deniz-	VII	Gas-Oil	3498	0.78	0.55	0.79	0.62	1.51	2.75	2.37	0.67	2.26	0.78
Khara-Zire	VIII	Gas-Condensate	5023	0.49	0.41	0.83	0.78	1.54	3.55	2.56	0,69	2.80	0.86
Bulla-deniz	VII	Gas-Condensate	5442	0.88	0.57	0.83	0.70	1.83	2.29	1.49	0.76	2.02	0.99
	VII	Gas-Condensate	5459	0.73	0.53	0.75	0.67	2.15	2.38	1.66	0.67	2.10	0.97
	VII	Gas-Condensate	5855	0.79	0.60	0.74	0.66	2.12	2.41	1.63	0.66	2.12	0.94
Alyaty-deniz	VII	Gas-Oil	5108	0.73	0.51	0.68	0.62	2.21	2.50	1.66	0.61	2.21	0.77

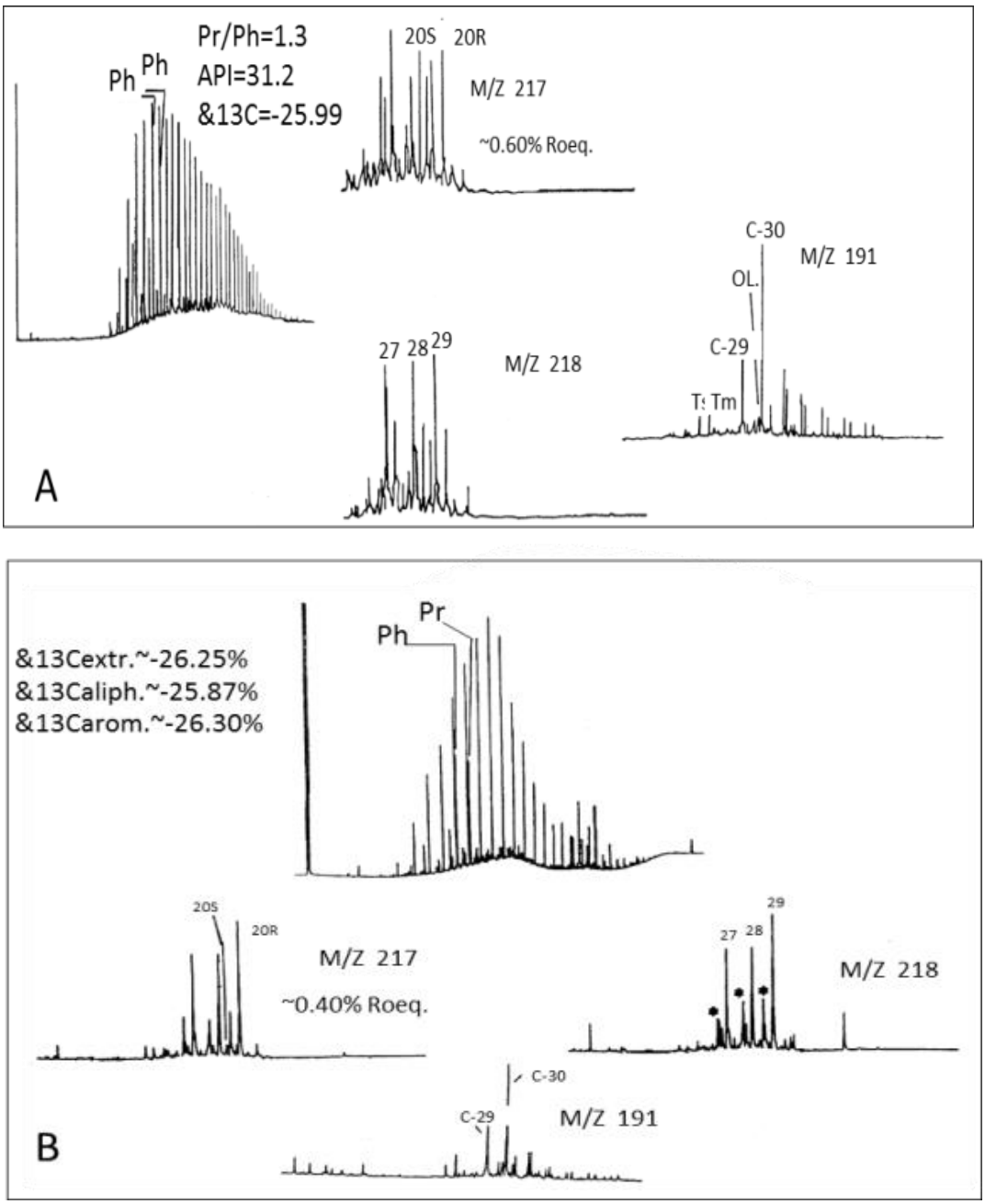


Fig. 8. Oil-Source rock correlation – Pliocene, Productive series age oil sample from Sangachaly-deniz field (A) and Late Miocene, Diatomaceous shale sample from the same well (B)

Conclusion

Detailed research work with most modern technologies applied helps to address subsurface uncertainties and challenges we face in oil and gas industry and in planning further exploration activities as well. Analytical studies and further interpretation of the data received suggest that hydrocarbons in the study area belong to the same or similar genetic family. Differences observed could be explained by the secondary processes, such as, biodegradation, washing and fractionation during migration and in the reservoir. Data suggests two episodes of petroleum generation in the area of study. An early, primary pulse of generation is regional and likely emanates from the Lower Maykop in the deep water portion of the study area. This generation occurs at pre-Akchagylian time during deposition of the Productive Series. This active generative window migrates up dip from the deep basin toward the productive Sangachaly-deniz – Duvanny-deniz – Khara-zire trend and non-productive southern structural trends. Assuming that structural growth along the productive Sangachaly trend predates the growth along some of the structures in the south, for example Hamadag trend, this early generated petroleum (and early expulsed petroleum as indicated by methyl-

phenanthrene index and other measurements) can charge structures along the productive trend and to the east of it. Renewed sediment loading during the post-Akchagylian, drives a second, more focused pulse of petroleum generation. That supports hydrocarbon accumulation in the existing traps.

Acknowledgment Author deeply appreciates help and support from colleagues and distinguished advisors during both analytical work and interpretation of the data received as well. Special thanks to Academicians I. Guliyev and A. Feyzullayev for reviewing the paper and valuable comments.

REFERENCES

Abrams M.A., Narimanov A.A. Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Republic of Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, Vol. 14, No. 4, 1997, pp. 451-468.

Chakhmakhchev V.A., Yushkevich G.N., Vinogradova T.L., Zhuze T.P. Va-riations in the composition of gas-condensate systems during migration. Geologiya nefti i gaza (Oil and gas geology), No. 2, 1974, pp. 45-50 (in Russian).

Goodwin N., Abdullayev N., Javadova A., Volk H., Riley G. Diamondoids and basin modeling reveal one of the world's deepest petroleum systems, South Caspian basin, Azerbaijan. Journal of Petroleum Geology, Vol. 43, No. 2, 2020, pp. 133-150.

Gubkin I.M. The doctrine of oil. Publication of ONTI. Moscow, 1937, 384 p. (in Russian).

Guliyev I.S., Martinova G.S., Babayev F. R., Javadova A.S. Adamandoids in oils as indicators of presence of the deep source rocks, Absheron archipelago, South Caspian Basin. Proceedings of National Academy of Sciences of Azerbaijan, Vol. LXXV, No. 1, 2019, pp. 57-61.

Guliyev I.S., Feyzullayev A.A., Huseynov D.A. Geochemical features and fluid sources of mud volcanoes of the South Caspian sedimentary basin in the light of new data on C, H and O isotopy. Geochemistry, No. 7, 2004, pp. 792-800 (in Russian).

Grantham P.J., Wakefield L.L. Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rock derived crude oils through geological time. Organic Geochemistry, Vol. 12, No. 1, 1988, pp. 61-73.

Grantham P.J. Sterane isomerisation and moretane/hopane ratios in crude oils derived from Tertiary source rocks. Organic Geochemistry, Vol. 9, No. 6, 1986, pp. 293-304.

Grantham P.J., Posthuma J., Baak A. Triterpanes in a number of Far Eastern crude oils. In book: Advances in Organic Geochemistry, Wiley, Chichester. 1983, pp. 675-683.

Green T., Abdullayev N., Hossack J., Riley G., Roberts A.M. Sedimentation and subsidence in the South Caspian Basin, Azerbaijan. Geological Society, London, Special Publications, Vol. 312, No. 1, 2009, pp. 241-260.

Javadova A.S. Javadova A.S. Geochemistry of petroleum systems of the Baku archipelago; predictions of hydrocarbon potential of deep horizons. Thesis for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. Funds of the Institute of Geology and Geophysics, ANAS. Baku, 2004, pp. 151-154 (in Russian).

Inan S., Yalcin M.N., Guliev I.S., Kuliev K., Feyzullayev A.A. Deep petroleum occurrences in the Lower Kura Depression, South Caspian Basin, Azerbaijan: an organic geochemical and basin modeling study. Marine and Petroleum Geology, Vol. 14, No. 7, 1997, pp. 731-762.

Mamedov G.A., Javadova A.S. Geochemical features of oils and condensates of Baku archipelago as indicators of depositional environment conditions. Ucheniye zapiski of Azerbaijan State Oil Academy, Baku, No. 3, 1993, pp. 3-7 (in Russian).

Narimanov A.A., Rinaldi G., Javadova A.S. Biomarker hydrocarbons studies and geological interpretation, South Caspian Depression, Azerbaijan. Extended abstract book of EAGE

ЛИТЕРАТУРА

Abrams M.A., Narimanov A.A. Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Republic of Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, Vol. 14, No. 4, 1997, pp. 451-468.

Goodwin N., Abdullayev N., Javadova A., Volk H., Riley G. Diamondoids and basin modeling reveal one of the world's deepest petroleum systems, South Caspian basin, Azerbaijan. Journal of Petroleum Geology, Vol. 43, No. 2, 2020, pp. 133-150.

Guliyev I.S., Martinova G.S., Babayev F. R., Javadova A.S. Adamandoids in oils as indicators of presence of the deep source rocks, Absheron archipelago, South Caspian Basin. Proceedings of National Academy of Sciences of Azerbaijan, Vol. LXXV, No. 1, 2019, pp. 57-61.

Grantham P.J., Wakefield L.L. Variations in the sterane carbon number distributions of marine source rock derived crude oils through geological time. Organic Geochemistry, Vol. 12, No. 1, 1988, pp. 61-73.

Grantham P.J. Sterane isomerisation and moretane/hopane ratios in crude oils derived from Tertiary source rocks. Organic Geochemistry, Vol. 9, No. 6, 1986, pp. 293-304.

Grantham P.J., Posthuma J., Baak A. Triterpanes in a number of Far Eastern crude oils. In book: Advances in Organic Geochemistry, Wiley, Chichester. 1983, pp. 675-683.

Green T., Abdullayev N., Hossack J., Riley G.,Roberts A.M. Sedimentation and subsidence in the South Caspian Basin, Azerbaijan. Geological Society, London, Special Publications, Vol. 312, No. 1, 2009, pp. 241-260.

Narimanov A.A., Rinaldi G., Javadova A.S. Biomarker hydrocarbons studies and geological interpretation, South Caspian Depression, Azerbaijan. Extended abstract book of EAGE 59th Conference and Technical Exhibition, Geneva, Switzerland, 1997, 26-30 May, p. 87.

Inan S., Yalcin M.N., Guliev I.S., Kuliev K., Feyzullayev A.A. Deep petroleum occurrences in the Lower Kura Depression, South Caspian Basin, Azerbaijan: an organic geochemical and basin modeling study. Marine and Petroleum Geology, Vol. 14, No. 7, 1997, pp. 731-762.

Peters K.E., Moldowan J.M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1993, 363 p.

Radke M., Welte D. The Methylphenanthrene Index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. Advances in Organic Geochemistry, Wiley, Chichester. 1983, pp. 504-512.

Reynolds A.D., Simmons M.D., Bowman M.B., Henton J., Brayshaw A.C., Ali-Zade A.A., Guliev I.S., Suleymanova S.F., Ataeva E.Z., Mamedova D.N., Koshkarly R.O. Implications of outcrop geology for reservoirs in the Neogene Productive Series: Absheron Peninsula, Azerbaijan. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 82, 1998, pp. 25-49.

Riva A., Caccialanza P.G., Quagliaroli F. Recognition of 18β (H)oleanane in several crudes and Tertiary-Upper Cretaceous sediments. Definition of a new maturity parameter. Organic Geochemistry, Vol. 13, No. 4-6, 1988, pp. 671-675.

Seifert W.K., Moldowan J.M. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochem-

59th Conference and Technical Exhibition, Geneva, Switzerland, 1997, 26-30 May, pp.87.

Nikonov V.F. Study of gas-condensate fields. Nedra. Moscow, 1962, 87 p. (in Russian).

Peters K.E., Moldowan J.M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1993, 363 p.

Petrov A.A., Zakharenko V.A., Bryanskaya E.K. Variations in benzene fractions as indicators of oil metamorphism processes. In: Genesis of oil and gas. Nedra. Moscow, 1967, pp. 97-84 (in Russian).

Radke M., Welte D. The Methylphenanthrene Index (MPI): A maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. Advances in Organic Geochemistry, Wiley, Chichester. 1983, pp. 504-512.

Reynolds A.D., Simmons M.D., Bowman M.B.,Henton J., Brayshaw A.C., Ali-Zade A.A., Guliev I.S., Suleymanova S.F., Ataeva E.Z., Mamedova D.N., Koshkarly R.O. Implications of outcrop geology for reservoirs in the Neogene Productive Series: Absheron Peninsula, Azerbaijan. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 82, 1998, pp. 25-49.

Riva A., Caccialanza P.G., Quagliaroli F. Recognition of 18β (H)oleanane in several crudes and Tertiary-Upper Cretaceous sediments. Definition of a new maturity parameter. Organic Geochemistry, Vol. 13, No. 4-6, 1988, pp. 671-675.

Seifert W.K., Moldowan J.M. The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochemistry. Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 12, 1980, pp. 229-237.

Starobinets I.S. Geological and geochemical features of gas-condensates. Nedra. Leningrad, 1974, 47 p. (in Russian).

ten Haven H.L., Rullkotter J. The diagenetic fate of taraxer-14-ene and oleanene isomers. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 52, No. 10, 1988, pp. 2543-2548.

Volkman J.K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. Organic Geochemistry, Vol. 9, No. 2, 1986, pp. 83-99.

Whitehead E.V. Molecular evidence for the biogenesis of petroleum and natural gas. In: (Ingerson E., ed.) Proceedings of symposium on hydrogeochemistry and biogeochemistry, International association of geochemistry and cosmochemistry, Vol. 2, 1973, Clarke Company. Washington, DC, pp. 158-211.

Zonenshain L.P., Le Pichon X. Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. Tectonophysics, Vol. 123, No. 1-4, 1986, pp. 181-211.

istry. Physics and Chemistry of the Earth, Vol.12, 1980, pp. 229-237.

ten Haven H.L., Rullkotter J. The diagenetic fate of taraxer-14-ene and oleanene isomers. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 52, No. 10, 1988, pp. 2543-2548.

Volkman J.K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. Organic Geochemistry, Vol. 9, No. 2, 1986, pp. 83-99.

Whitehead E.V. Molecular evidence for the biogenesis of petroleum and natural gas. In: (Ingerson E., ed.) Proceedings of symposium on hydrogeochemistry and biogeochemistry, International association of geochemistry and cosmochemistry, Vol. 2, 1973, Clarke Company. Washington, DC, pp. 158-211.

Zonenshain L.P., Le Pichon X. Deep basins of the Black Sea and Caspian Sea as remnants of Mesozoic back-arc basins. Tectonophysics, Vol. 123, No. 1-4, 1986, pp. 181-211.

Губкин И.М. Учение о нефти. Изд. ОНТИ. Москва, 1937, 384 с.

Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Гусейнов Д.А. Геохимические особенности и источники флюидов грязевых вулканов Южно-Каспийского осадочного бассейна в свете новых данных по изотопии C, H и O. Геохимия, No.7, 2004, с. 792-800.

Джавадова А.С. Геохимия углеводородных систем Бакинского архипелага с прогнозом нефтегазоносности глубокопогруженных отложений. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Фонды Института геологии и геофизики НАНА, Баку, 2004, с. 151-154.

Мамедов Г.А., Джавадова А.С. Геохимические особенности нефтей и конденсатов Бакинского архипелага как отражение условий формирования их состава. Ученые записки Азерб. Госуд. Нефтяной Академии, Баку, No. 3, 1993, с. 3-7.

Никонов В.Ф. Изучение газоконденсатных месторождений. Недра. Москва, 1962, 87 с.

Петров Ал.А., Захаренко В.А., Брянская Э.К. Закономерности в составе бензиновых фракций как отражение процессов метаморфизма нефтей. В сб.: Генезис нефти и газа, Недра. Москва, 1967, с. 97-84.

Старобинец И.С. Геолого-геохимические особенности газоконденсатов. Недра. Ленинград, 1974, 47 с.

Чахмахчев В.А., Юшкевич Г.Н., Виноградова Т.Л., Жузе Т.П. Изменение состава газоконденсатных систем при их миграции. Геология нефти и газа, No. 2, 1974, с. 45-50.

ХАРАКТЕРИСТИКА НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ПОРОД И ГЕНЕРАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ, БАКИНСКИЙ АРХИПЕЛАГ, ЮЖНО-КАСПИЙСКИЙ БАССЕЙН, АЗЕРБАЙДЖАН

Джавадова А.С.
Институт нефти и газа НАН Азербайджана
AZ1000, Баку, ул.Ф.Амирова, 9: ajavadova@yahoo.com

Резюме. Бассейн южного Каспия (ЮКБ) известен как один из старейших нефтедобывающих регионов в мире. Несмотря на более чем 100-летнюю историю геологоразведки и разработки углеводородов, в недрах бассейна всё ещё остаются большие запасы неразведанных углеводородных ресурсов. До настоящего времени было осуществлено большое количество исследовательских проектов, которые помогли лучше понять историю развития бассейна и тем самым оценить и раскрыть имеющийся углеводородный потенциал. Это, несомненно, сыграло решающую роль в работах по геолого-геофизическому и геохимическому картированию региона, подняв на более детальный и достоверный уровень результаты проведённых работ. Доступ к достоверным геологическим, сейсмическим и скважинным данным, полученным в результате недавних геологоразведочных работ в неразведанных до сих пор районах, позволил лучше понять природу, характер распределения ключевых геолого-геофизических, геохимических параметров, которые играют существенную роль при планировании будущих программ по геологоразведке и разработке отдельных перспективных районов в регионе, и сконцентрироваться на потенциально приоритетных районах.

Целью данной статьи является представление результатов геохимических исследований, геолого-геохимического анализа, корреляций в системе нефть – порода – грязевые вулканы – скважинные данные, проведенных с целью описания истории формирования углеводородных флюидов в бассейне, потенциальных механизмов генерации и миграции углеводородов,

геологического времени формирования и заполнения структурных ловушек. Геолого-геохимический анализ полученных данных поддерживает ранее высказанное мнение о глубинном происхождении и генетическом единстве исследуемых углеводородов. Генерация углеводородов и миграционные процессы в этом районе контролируются режимом давления в нефтематеринских породах по отношению к окружающим их проницаемым породам. Влияние глинистых покрышек на характер распределения в и тип углеводородных флюидов в районе исследования подтверждается изменениями, наблюдаемыми в компонентном и углеводородном составе нефтей по разрезу месторождений. Время генерации углеводородных флюидов из нефтематеринских пород согласуется со временем образования самих структурных ловушек в районе исследования.

Ключевые слова: *нефть, газ, источник формирования, геохимические исследования, биомаркеры, миграция, Южно-Каспийский бассейн*

NEFT-ANA SÜXURLARININ XÜSUSIYYƏTLƏRI VƏ KARBOHIDROGENLƏRIN GENERASİYASI, BAKI ARXİPELAQI, CƏNUBİ XƏZƏR HÖVZƏSİ, AZƏRBAYCAN

Cavadova A.S.
AMEA Neft və GazInstitutu
AZ1000, Bakı şəh.,F.Əmirov küç.,9: ajavadova@yahoo.com

Xülasə. Cənubi Xəzər Hövzəsi (CXH) dünyanın ən qədim karbohidrogen bölgələrindən biridir. Qeyd etmək lazımdır ki, 100 ildən artıq neft və qaz sənayesinə malik Cənubi Xəzər Hövzəsində hələ də böyük həcmdə aşkar olunmamış neft və qaz ehtiyatları var. Məlumdur ki, burada bu günə gədər çox sayda elmi-tədqiqat işləri aparılmışdır. Aparılan işlərin məqsədi Cənubi Xəzər Hövzəsinin yaranma tarixinin öyrənilməsini daha dəqiq təsvir etməklə, tədqiqat sahəsinin karbohidrogen ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi və aşkar edilməsi olmuşdur. Son illər Cənubi Xəzər Hövzəsində bu günə gədər öyrənilməmiş sahələrdə geoloji-kəşfiyyat işləri aparılmışdır. Nəticədə yeni geoloji-geofiziki məlumatların əldə edilməsi mümkün olmuşdur ki, bu da, şübhəsiz, çox vacib bir haldır. Burada yeni seysmik məlumatlarla yanaşı, quyu məlumatlarındandan söhbət gedir ki, bu da, hövzənin ayrı-ayrı sahələrinin geoloji xəritəalmasında aparılan işlərin daha dolğun, etibarlı nəticələnməsinə gətirib çıxarmışdır. Eyni zamanda, daha etibarlı, dolğun məlumatların əldə edilməsi hövzədə, onun ayrı-ayrı perspektiv sahələrində geoloji-kəşfiyyat, aşkar olunmuş yataqların istismar işlərinin planlaşdırılmasında mühüm rol oynayan geoloji-geofiziki parametrlərin daha düzgün təsvir edilməsində əvəzolunmaz amildir. Nəticədə planlaşdırmanın daha məqsədyönlü aparılmasının təşkil edilməsi mümkün olmuşdur. Təqdim olunan məqalədə aparılmış geoloji və geokimyəvi tədqiqatların nəticələri, neft, ana süxur, palçıq vulkanları və quyu məlumatlarından istifadə etməklə hövzədə karbohidrogenlərin yaranma tarixi, generasiya və miqrasiya mexanizmləri, karbohidrogenlərin əmələgəlmə və struktur tələlərin dolma zamanına dair məlumatlar təsvir edilmişdir. Geokimyəvi məlumatların nəticəsi tədqiqat sahəsində toplanmış karbohidrogenlərin dərin, eyni və ya yaxın mənşəli olmasını göstərir. Karbohidrogen flüidlərinin generasiya və migrasiyası, əsasən ana süxurlarda olan təyziqlərin ətraf keçirici süxurlara olan nisbəti ilə əlaqəsi göstərilmişdir. Gil örtük suxurlarının keyfiyyətinin karbohidrogen fluidlərinin paylanmasına və faza növlərinə təsirinin önəmliyi yataqlarda neftlərin komponent və karbohidrogen tərkibində müşahidə olunan dəyişikliklərdə öz əksini tapmışdır. Karbohidrogenlərin ana süxurlardan generasiya etməsi və tədqiqat sahəsində struktur tələlərin yaranması eyni geoloji zamanda baş vermişdir.

Açar sözlər: *neft, qaz, əmələgəlmə mənbəyi, geokimyəvi tədqiqatlar, biomarkerlər, miqrasiya, Cənubi Xəzər hövzəsi*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2021**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

ASSESSMENT OF INDOOR AND OUTDOOR RADON CONCENTRATIONS IN TALYSH, AZERBAIJAN

Feyzullayev A.A., Aliyev Ch.S., Baghirli R.J., Mahmudova F.F.

Institute of Geology and Geophysics, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Javid Ave., Baku, Azerbaijan, AZ1143: radiometry@gia.science.az

Keywords: *radon volume activity, radon danger, Talysh, thermal waters, people's health, life expectancy*

Summary. The article describes the results of modern radiation monitoring of the environment conducted in the Talysh region of Azerbaijan. Radiometric studies covered five districts of the Talysh region: Masalli, Lyankyaran, Astara, Yardimli and Lerik. Radiometric studies have monitored the level of radon concentrations in residential areas and in water. Measurements of radon volume activity in residential buildings were carried out in settlements of the studied region.The radon volume activity in residential areas was measured with radon Scout and radon Scout Plus radiometers from SARAD. The volume activity of radon in water was estimated using RAD7 (DURRIDGE) radiometers. A MKS-AT1125 dosimeter-radiometer was used to determine the radiation level. Indoor radon volume activity in the Talysh district ranges from 20 to 660 Bq/m^3. Based on the data obtained, maps of the distribution of radon volume activity are constructed separately for each region. According to these maps, the Lerik region, known for its long-livers, is characterized by relatively high levels of radon. Studies have shown that there is a definite correlation between radon levels in dwellings and life expectancy. The radon content in thermal waters varies very widely from 8.34 Bq/l to 93.3 Bq/l. According to sanitary and hygienic standards for radon content, thermal waters of Talysh are not dangerous for people's health when taking baths and using them as drinking water, except for the Buludul source in Yardimli district. The content of radon in the water of this source exceeds the maximum permissible concentration for drinking water (60 Bq/l) by more than 1.5 times.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

According to the International Committee on Radiation Protection, 40-75% of total human exposure to natural radioactive sources comes from radon and its decay products. In 1987 radon and its decay products were classified by the International Agency for Research on Cancer as being carcinogenic to humans. Researches conducted in Europe and USA showed that radon is the second cause after smoking providing lung cancer diseases (Cohen, 1993). Radon is the main factor of lung cancer among non-smokers (Calabrese, Baldwin, 2002). Protecting people from exposure to the radioactive natural gas radon and its decay products is a national problem and requires the study of a number of issues related to the source of radon and the presence of radon in buildings.

Indoor radon studies in Azerbaijan were carried out for the first time in 2010-2011 by Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences. These studies were conducted with the financial support of the Swiss National Science Foundation. In 2014-2015 the investigation of radon problem in Azerbaijan was continued in the framework of Azerbaijan State Program (2014-2018). A study of the radon problem in Azerbaijan shows that its distribution in space is uneven and mosaic in nature.The regions with the highest concentrations are confined to the mountainous folded massifs of the G.Caucasus and Talysh, while those with the lowest concentrations are confined to the lowlands (Aliyev et al., 2017). The main objective of the study was to assess the results of the current monitoring of the radiation situation in the Talysh region and the correlation analysis between the life expectancy of the population and radon levels in their places of residence, as well as to develop measures for reducing the risk of radon emissions on a case-by-case basis.

Materials and methods

Radiometric work in the study area included measurements of the radon volume activity in residential premises and in the water of mineral springs

which water is used by local residents, as well as measurements of radiation levels in the environment. Radon volume activity in residential areas was measured with Radon Scout and Radon Scout Plus radiometers from SARAD. They were installed in residential premises for several days. Radon volumetric activity in soil and water was measured by using RAD7 radiometers (DURRIDGE). The radiation level was measured by using dosimeter radiometer MKC-AT1125. Based on the averaged values of the data obtained, maps of the distribution of radon volume activity over the districts of the region under study were constructed. Maps were produced by using the Surfer program (production of Golden Software).

Results and discussion

Indoor radon. Radiometric studies had covered five districts of the Talysh region: Masalli, Lyankyaran, Astara, Yardimli and Lerik. As mentioned above, measurements of radon volume activity in residential buildings were carried out in in the human settlements of the study area. Indoor radon concentrations are measured in the living rooms of houses at ground level. Regarding the recruitment of participants, priority was given to older buildings by randomly selecting 3-5 dwellings in each area. Most of the houses inspected were built 30-50 years ago using bricks made of cement and sand and cemented floors. In Masalli district, studies were carried out in 17 settlements. The radon concentration here varied within 20-170 Bq/m^3. In 38 surveyed settlements of Lyankyaran district radon concentration varied within 20-600 Bq/m^3. In the Astara district, research was carried out in 23 localities. The radon concentration here varied within 50-190 Bq/m^3. In Yardimli district 19 settlements were surveyed. The radon volume activity here varied within 50-730 Bq/m^3. In Lerik district, studies were conducted in 32 localities. The radon concentration here varied within 89-215 Bq/m^3. On the basis of the obtained data the map of distribution of radon volume activity for Talysh region has been constructed.

Fig. 1 shows the distribution of indoor radon in Talysh mountain area. According to this map, the Lerik region, known for its long-livers, is characterized by a relatively high level of radon. According to the current regulatory document, the indoor radon volume activity should not exceed 200 Bq/m³. As can be seen from the Table 1, in villages where centenarians live, the level of indoor radon varies between 100-200 Bq/m^3, averaging about 150 Bq/m^3. According to the Arndt-Schultz physiological law, weak radon stimulation has an activating, moderate – normalizing, strong – suppressive, super-strong – suppressive and harmful effects on human health (Lackey, 1982) (Table 1).

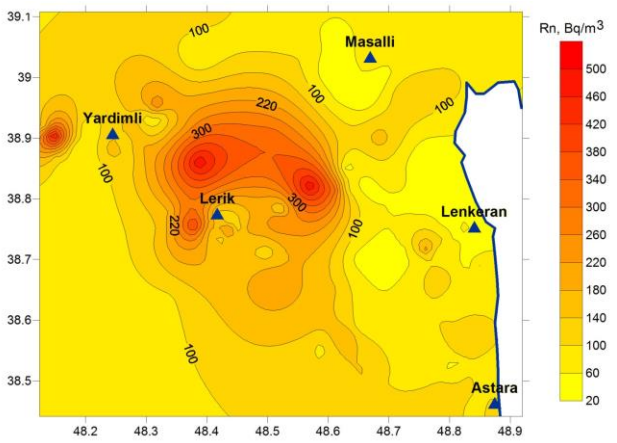


Fig. 1. Distribution of indoor radon volume activity in Talysh

Table 1

The average radon values in some villages of Lerik district of Talysh, where there are centenarians

Vilages	**Number of dwellings**	**Indor radon, Bq/m^3** (average data)
Lerik	4	125 (101-140)
Shingedulan	4	127 (111-143)
Chayrud	4	199 (183-214)
Bilaband	4	113 (97-128)
Vizezemin	4	115 (109-131)
Pirasora	4	182 (166-197)
Barzavu	4	200 (181-217)
Chanqamiran	4	105 (89-121)
Average		**147.6**

The relatively higher level of radon in residential buildings in Lerik district compared to other regions of Talysh can be seen more clearly in the presented histograms (Fig. 2).

Radon in mineral/thermal waters. Investigation of 9 natural emergences of water in 7 thermal springs provided a wide range of concentrations from 3.73 to 93.3 Bq/l. These mineral waters are classified as weak radon waters. According to sanitary and hygienic regulations, radon in the thermal waters of Talysh is not considered dangerous for people's health either by bathing or drinking, except for the Buludul spring. Radon volume activity in this spring exceeds the maximum permissible concentration for the drinking water (60 Bq/L) by more than 1.5 times (Table 2).

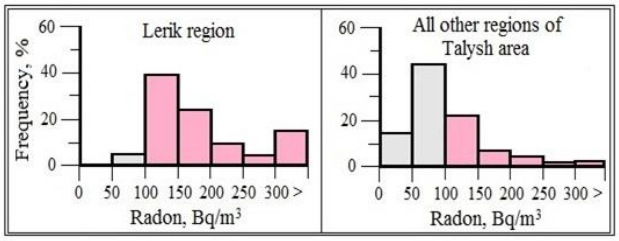


Fig. 2. Histograms of distribution of indoor radon values in Lerik and other regions of Talysh mountain area

Conclusion

The results of studies have shown that there is a certain correlation between radon levels in dwellings and longevity. However, this does not mean that radon can definitely be considered the main factor of longevity. Undoubtedly, a number of factors, such as climate, ecology, genetics and etc., contribute to this. To this complex we can also include that radon volume activity between 100-200 Bq/m^3 can have a positive effect on people's health and their life expectancy.

Acknowledgment

The presented work was supported by the grant project 6402 "Investigation of life quality and population longevity in Azerbaijan with higher natural radiation background" provided by Science and Technology Center in Ukraine, for which authors express their sincere appreciation.

Table 2

Radon volume activity in thermal waters of Talysh

№	Spring	R, nSv/h	Radon, Bq/L		
			max	min	mean
1	Istisu (Masalli)	116	3.73	0.834	2.62
2	Donuzuten (Masalli)	118	7.51	2.99	5.95
3	Istisu (Astara) in emergence	121	8.64	8.35	8.5
4	Istisu (Astara) focus	152	11.3	8.69	9.46
5	Yanarbulaq (Astara)	76	11.6	9.01	10.1
6	Istisu (Lyankyaran–Lerik)	94	17.3	11.2	14.2
7	Yanardaq (Masalli)	96	20.3	6.26	13.9
8	Buludul (Yardimli) bottom emergence	172	72.1	62.6	66.6
9	Buludul (Yardimli) focus	178	93.3	86.1	90.6

Table 3

Correlation between radon concentrations in dwellings and longevity

Mean radon concentration (Bq/m^3)	Period of residence (year)	Number of people over 90
20-100	>40	5
100-200	>40	14
200-300	>40	4
>300	>40	1

REFERENCES

Calabrese E.J., Baldwin L.A. Radiation Hormesis and cancer. Human and Ecological Risk Assessment, Vol. 8, No. 2, 2002, pp. 327-353.

Cohen B. Relationship between exposure to radon and various types of cancer. Health Physics, Vol. 65 (5), 1993, pp. 529-531.

Luckey T. Physiological benefits from low levels of ionizing radiation. Health Physics, Vol. 43, No. 6, 1982, pp. 771-789.

Aliyev Ch.S., Feyzullaev A.A., Baghirli R.J, Mahmudova F.F. Regilarities of radon distribution on the territory of Azerbaijan and controlling factors. Geophysics, No. 1, 2017, pp. 72-73 (in Russian).

ЛИТЕРАТУРА

Calabrese E.J., Baldwin L.A. Radiation Hormesis and cancer. Human and Ecological Risk Assessment, Vol. 8, No. 2, pp. 327-353.

Cohen B. Relationship between exposure to radon and various types of cancer. Health Physics, Vol. 65 (5), 1993, pp. 529-531.

Luckey T. Physiological benefits from low levels of ionizing radiation. Health Physics, Vol. 43, No. 6, 1982, pp. 771-789.

Алиев, Ч.С., Фейзуллаев, А.А., Багирли, Р.Дж., Махмудова, Ф.Ф. Закономерности распределения радона в Азербайджане и контролирующие их факторы. Геофизика, No.1, 2017, с. 72-73.

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА ВНУТРИ И ВНЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ТАЛЫШСКОМ РЕГИОНЕ (АЗЕРБАЙДЖАН)

Фейзуллаев А.А., Алиев Ч.С., Багирли Р.Дж.,Махмудова Ф.Ф.
Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г.Джавида, 119: radiometry@gia.science.az

Резюме. В статье описаны результаты современного радиационного мониторинга окружающей среды, проведенного в Талышском регионеАзербайджана. Радиометрические исследования охватили пять районов Талышской области: Масаллинский, Лянкяранский, Астаринский, Ярдымлинскийи Лерикский. При радиометрических исследованиях проведены мониторинги уровня концентрации радона в жилых помещениях. Измерения объемной активности радона в жилых домах проводились в населенных пунктах исследуемого региона. Объемную активность радона в жилых помещениях измеряли радиометрами Radon Scout и Radon Scout Plus от SARAD. Объемная активность радона в воде оценивалась с помощью радиометров RAD7 (DURRIDGE). Для определения уровня радиации использовался дозиметр-радиометр МКС-АТ1125. Объемная активность радона внутри помещений в Талышском районе колеблется в пределах 20-660 Бк/м^3. На основе полученных данных построена карта распределения объемной активности радона для Талышского региона. Согласно этой карте Лерикский район, известный своими долгожителями, характеризуется относительно высоким уровнем радона. Результаты проведенных исследований показали, что существует определенная корреляция между уровнем радона в жилищах и продолжительностью жизни. Содержание радона в термальных водах изменяется в широких пределах от 8.34 Бк/л до 93.3 Бк/л. По санитарно-гигиеническим нормам содержания радона термальные воды Талыша не представляют опасности здоровью населения при приеме ванн и использовании в качестве питьевой воды, за исключением источника Бюлюдюл в Ярдымлинском районе. В воде этого источника содержание радона более чем в 1.5 раза превышает предельно-допустимую концентрацию, принятую для питьевой воды (60 Бк/л).

Ключевые слова*: объемная активность радона, радоновая опасность, Талыш, термальные воды, здоровье человека, продолжительность жизни*

TALIŞ REGİONUNUN (AZƏRBAYCAN) YAŞAYIŞ VƏ QEYRİ-YAŞAYIŞ YERLƏRİNDƏ RADON QAZININ KONSENTRASİYASININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ

Feyzullayev Ə.Ə., Əliyev Ç.S., Bağırlı R.C., Mahmudova F.F.
Azərbaycan Milli ElmlərAkademiyasının Geologiya və Geofizika İnstitutu
AZ1143, Bakı, Azərbaycan, H. Cavid prosp.,119: radiometry@gia.science.az

Xülasə. Məqalədə Azərbaycanın Talış regionunda aparılan müasir radioekoloji monitorinqin nəticələri təqdim edilmişdir. Aparılmış radiometrik tədqiqatlar Talış bölgəsinin beş rayonunu-Masallı, Lənkəran, Astara, Yardımlı və Lerik rayonlarını əhatə etmişdir. Radiometrik tədqiqatlar zamanı yaşayış rayonlarında radonun həcmu aktivliyinin səviyyəsi və su nümunələrinin radionuklid analizi aparılmışdır. Yaşayış binalarında radonun həcmi aktivliyinin ölçülməsi tədqiq olunan regionun yaşayış məntəqələrində aparılmışdır. Radonun yaşayış sahələrində həcmi aktivliyinin səviyyəsi SARAD firmasının Radon Scout və Radon Scout Plus radiometrləri ilə ölçülmüşdür. Radonun suda həcmi aktivliyi RAD7 (DURRİDGE) radiometrləri ilə təyin edilmişdir. Radiasiya səviyyəsi MKC-AT1125 radiometri ilə ölçülmüşdür. Müəyyən olunmuşdur ki, Talış bölgəsinin yaşayış məntəqələrində radonun həcmi aktivliyi 20-660 Bk/m3 arasında dəyişir. Alınan məlumatlar əsasında Talış regionu üçün radonun həcmi aktivliyinin paylanması xəritəsi yaradılmışdır. Bu xəritəyə əsasən, uzunömürlüləri ilə tanınan Lerik bölgəsi radonun həcmi aktivliyinin nisbətən yüksək səviyyəsi ilə xarakterizə olunur. Aparılan tədqiqatların nəticələri göstərdi ki, yaşayış binalarında radon həcmi aktivliyinin səviyyəsi ilə əhali arasında müşahidə olunan uzunömürlülük halları arasında müəyyən korrelyasiya mövcuddur. Regionun termal sularında radonun həcmi aktivliyinin göstəriciləri 8.34 Bq/l-dən 93.3 bk/l-ə qədər çox geniş hüdudlarda dəyişir. Alınmış nəticələrə əsasən Bülyüdül bulağından başqa Talışın termal sularının içməli su kimi və balneolgiyada istifadəsi heç bir təhlükə törətmir. Bülyüdül bulağında isə radonun həcmi aktivliyi içməli su üçün yol verilən maksimum yol verilən həddən (60 Bq/l) 1.5 dəfə çoxdu.

Açar sözləri: *radonun həcmi aktivliyi, radon təhlükəsi, Talış, termal sular, insan sağlamlığı, ömür uzunluluğu*

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2021

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

STRUCTURAL INTERPRETATION OF BULDAN REGION IN WESTERN ANATOLIA BY USING MAGNETIC AND GRAVITY DATA

Altınoğlu F.F.

Faculty of Engineering, Department of Geophysics, Pamukkale University
Kınıklı Campus, 20017, Denizli, Turkey: faltinoglu@pau.edu.tr

***Keywords**: Buldan, gravity and aeromagnetic data, edge detection, 3D modelling*

Summary. The western Anatolia is an extension region and many horst-graben systems were developed under this tectonic regime. The Buldan region is located in the northern part of Denizli region between Denizli and Alaşehir grabens where seismic activity is observed. The subsurface structure of this area was investigated by using aeromagnetic and Bouguer gravity data. The derivative based edge detection techniques; the horizontal gradient, tilt angle and Theta map were used to define the tectonic lineaments. The sediment basement relief map of the study area was enhanced by 3D inversion of gravity data using Parker-Oldenburg algorithm. The final gravity and magnetic lineaments map of the study area is presented by the joint interpretation of the results of the edge detection process with the sediment basement relief map, the existing geology map and the topographical elevation map of the study area. The sediment thickness ranges between 0.2 km and 2.2 km and the sediment deposits thickness is 2.2 km in the northern part of Denizli basin. NW-SE trending reliefs were detected between the Alaşehir and Denizli grabens in the sediment basement relief map, and NW-SE directional lineaments such as fault/fracture which are bounding basement reliefs were detected. The new lineaments are strongly compatible with the regional geological trend and sediment basement relief. Based on the findings of this study, new detected gravity and magnetic lineaments will be lighten up the new research in the future studies to understand the tectonic structure, geothermal potential, mineralisation of the region.

© 2021Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

Western Anatolia is a tectonic extension region where many graben-horst systems were developed under this extension-compression regime. E-W trending Büyük Menderes and Alaşehir grabens and NW-SE trending Denizli graben are the main tectonic structures of this complex tectonic region. Buldan is situated in the junction point of these grabens in the northern part of the Denizli graben. The main tectonic structure map of the region and study area is given in Fig.1. The complex tectonic structure of western Anatolia and its evaluation were the subject of many studies in the literature (Seyitoglu and Scott, 1996; Koçyiğit et al., 1999; Yılmaz et al., 2000; Bozkurt, 2003; Bozkurt and Sözbilir, 2004; Kaymakcı 2006; Gessner et al., 2013). Two-stage extension in Western Anatolia was stated by Bozkurt and Sözbilir (2004). The first stage of extension started in Late Oligocene – Early Miocene, and the second stage – in Pliocene (Bozkurt, 2001). Denizli graben is the southeast continuation of the main grabens that are bounded by the NW-SE trending faults (Koçyiğit, 2005).

The geophysical studies for Denizli graben area, such as Yüksel, 2005; Bilim, 2007; Irmak, 2013; Kaypak and Gökkaya, 2012, are poor. Bilim (2007) studied tectonic structure by using potential field data of eastern and western Anatolia in regional scale, Irmak (2013) determined the fault mechanisms of small-moderate earthquakes in Denizli graben, Kaypak and Gökkaya (2012) constructed upper crust velocity structure by earthquake tomography. The northern part is a less focused area in Denizli basin. The Buldan region is an important area that just situated in the junction point of graben systems and has high seismic activity. Hançer (2013) noticed the high seismic potential of the region by investigating the earthquake risk of the Buldan region. The study area of this paper is located between 38.00°N–38.20°N latitude and 28.75°E–28.95°E longitude with an approximate area of about 400 km^2. Buldan region is located in the northern branch of the Denizli Basin and in the south-eastern part of the Menderes Massif metamorphics which are the Paleozoic aged basement rocks of Western Anatolia. The Denizli basin lies in a NW-SE direction which extends to the

Alaşehir Basin that is bounded by normal faults and divided by the Buldan horst in the north (Fig.1). The basement Menderes metamorphics are exposed in the Buldan horst, in the western, north-western and northern part of the study area as given in the geology map of the study area in Fig. 2b. This study aims to investigate the subsurface structure of the Buldan region based on potential field data. The shallow crust structures and linear features of the region were presented to better understand the tectonic framework by the joint interpretation of gravity and magnetic data with topography (Fig 2a) and geology maps (Fig. 2b).

Geology of the region

The basement rocks of the Denizli basin are Paleozoic – Mesozoic aged Menderes Massif metamorphic rocks. The Menderes Massif covers a large area in western Turkey, and is composed of various metamorphic rocks, which are mostly composed of schist, quartzite and marble, occasionally amphibolite and quartzite. Neogene sediments generally consist of clay stone, marl, mudstone, siltstone and partly sand. Neogene bedrock of the Denizli basin is exposed at its northwestern Menderes Massif metamorphic rocks (Bozkurt, 2001; Ten Veen et al., 2009; van Hinsbergen and Schmid, 2012). The Neogene and Quaternary basin-fills of the Denizli Basin is consisting of alluvial-fan, fluvial, and lacustrine deposits (Brogi et al., 2014). The geology map of the study area is given in Fig. 2b.

Data

The aeromagnetic anomaly and the Bouguer gravity anomaly data of the study area were obtained from the General Directorate of the Mineral Research and Exploration (MTA) of Turkey. The aeromagnetic anomaly map of the study area shown in Fig.3 indicates a strong positive anomaly up to 170 nT along the NW-SE direction in the northern part of the study area representing the effect of magmatic rocks and negative anomalies up to -70 nT along the NW-SE direction in the western and southern parts of the study area representing the effect of the quaternary alluvial deposits. The high amplitude anomalies are in the NW–SE directions in the SW and northern part of the map which are related with the metamorphic palaeozoic basement and the plio-quaternary granitoids. Due to the low susceptibility sediments, strong negatives anomalies are seen in the Denizli and Alaşehir basins.

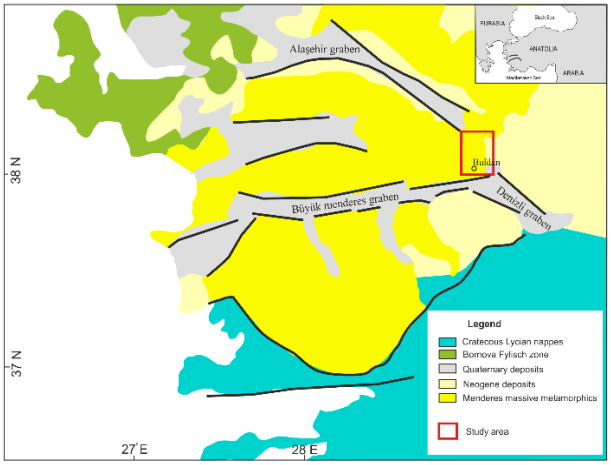
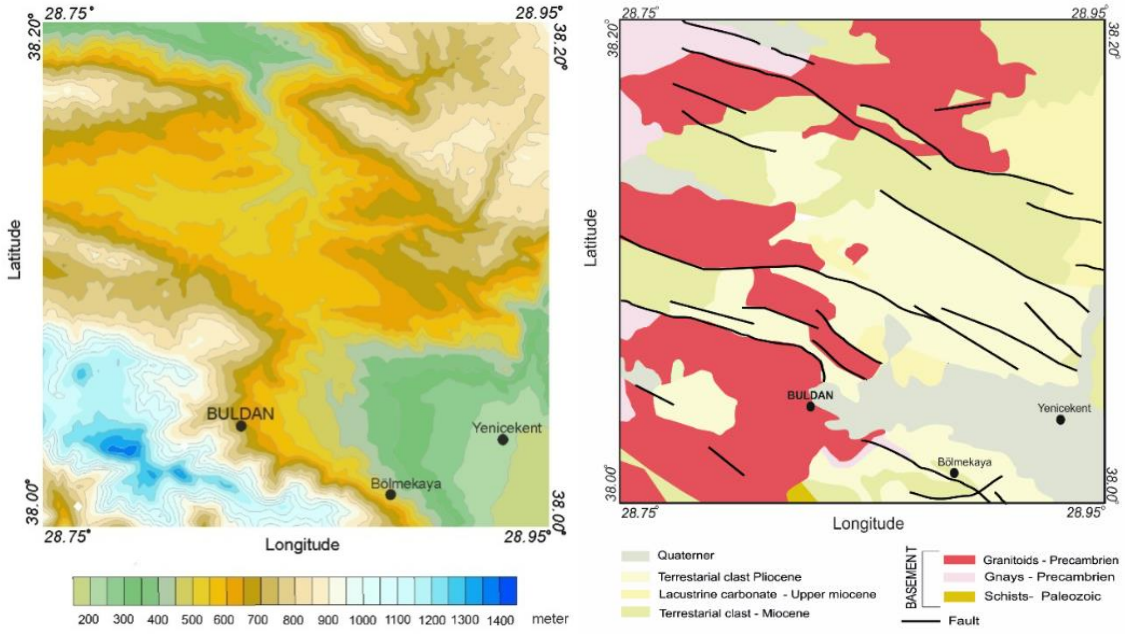


Fig. 1. The main tectonic settings of the western Anatolia (modified from Konak and Şenel, 2002), the study area is shown in the red rectangle



a **b**

Fig. 2. a) Topographic elevation map and **b)** Geology map of the study area

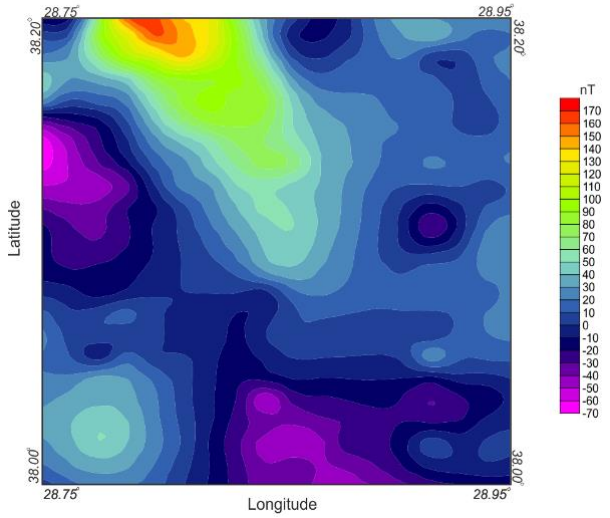


Fig. 3. The aeromagnetic anomaly contour map

The Bouguer gravity anomaly map of the study area is given in Fig.4, the anomaly values range between -36 mGal and 6 mGal. The gravity highs (positive anomalies) reflect the effect of high-density Menderes Massif granitoids hosted in the Buldan horst in the W and SW part of the study field. The maximum negative gravity anomalies implies the low-density sedimentary deposits of the Denizli graben in the SE part of the study region.

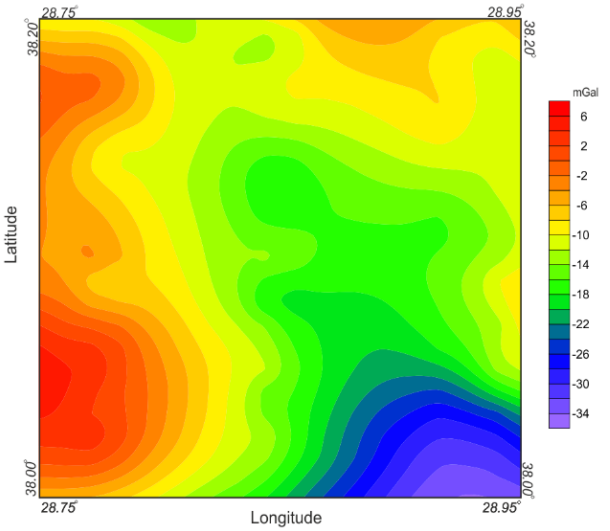
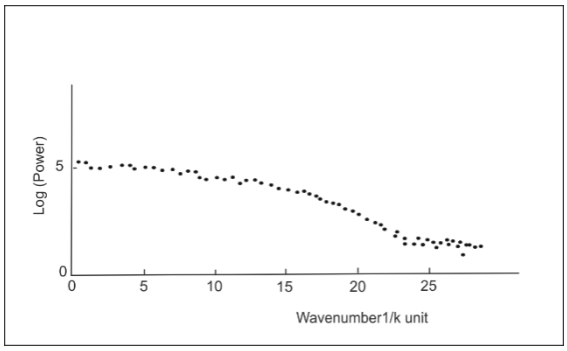


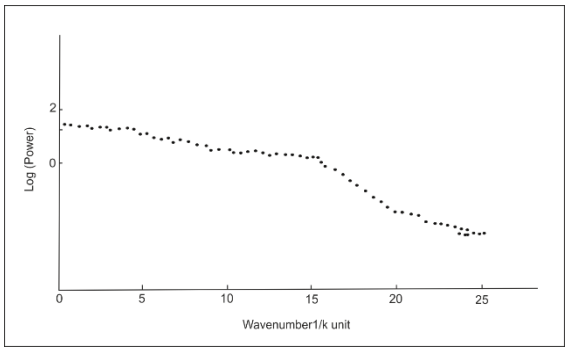
Fig. 4. The Bouguer gravity anomaly map of the study area data

Methods

To remove the deeper sources effects from aeromagnetic and Bouguer gravity anomalies, regional-residual separation was done by frequency domain filtering. The radially averaged power spectrum of aeromagnetic and gravity data were performed and given in Fig. 5a and 5b, respectively. To obtain residual magnetic anomaly map a Butterworth high-pass filter with kc=0.105 Hz was used. Some researches, e.g. Blakely (1995), Milligan and Gunn (1997), Ramotoroko et al. (2016), indicated that reduced-to-the-pole anomaly maps are more correlated with the near surface geology. So, to simplify the interpretation of magnetic data, residual aeromagnetic anomalies were reduced-to-the-pole with using 55°N inclination and 4°E declination angles. A Butterworth low pass filter with kc=0.409 Hz for gravity anomaly was used to improve the quality of the regional gravity anomaly data; then, the regional anomaly data was subtracted from the gravity data to improve the quality of the residual gravity anomaly map.



a



b

Fig. 5. The radial power spectrum of **a)** magnetic anomaly and **b)** gravity anomaly data

Edge detection methods

In potential field methodology, defining the boundaries of the causative body that causes gravity and magnetic anomalies is an important task. Many derivative based edge detection techniques were usually proposed and used to solve this problem in the literature (Verduzco et al., 2004; Cooper and Cowan, 2006; Ma and Li, 2012; Ferreira et al., 2013; Zhou et al., 2013; Ma, 2013; Yuan et al., 2014; Wang et al., 2014; 2015; 2017; Du et al., 2017; Rezaie et al., 2017).

Horizontal gradient

Horizontal gradient method (Blakely, 1995; Cordell, 1979; Cordell and Grauch, 1985) is the oldest and widely used edge detection technique to define the boundaries of density contrast and magnetic susceptibility from potential field data. Given as:

$$\mathrm{HG} = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (1)$$

Tilt angle

The tilt angle method (Miller and Singh, 1994) is based on the relation between vertical and horizontal derivative, zero values located over the source boundaries. Tilt angle is given as:

$$\emptyset = \tan^{-1}\left[\frac{\frac{\partial g}{\partial z}}{\sqrt{\left[\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2\right]}}\right], \quad (2)$$

where ∅ indicates the tilt angle parameter.

The tilt angle is positive over a source and zero values reflect the source edges (Miller and Singh, 1994). This method is useful in enhancing edges of anomalies for both shallow and deep sources.

Theta map

Wijns et al. (2005) proposed the theta map method that is the normalization of horizontal gradient and is given as:

$$\cos(\theta) = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^2}} \quad . \quad (3)$$

The maxima of the theta map corresponds to source edge (Wijns et al., 2005; Cooper and Cowan, 2008).

3D inversion

To image the sediment basement relief, 3D inversion of gravity data was conducted using a code written by Pham et al. (2018), which used the algorithm of Granser (1987) and the technique of Cordell and Henderson (1968). The code does not demand a mean depth or filter in the inversion process.

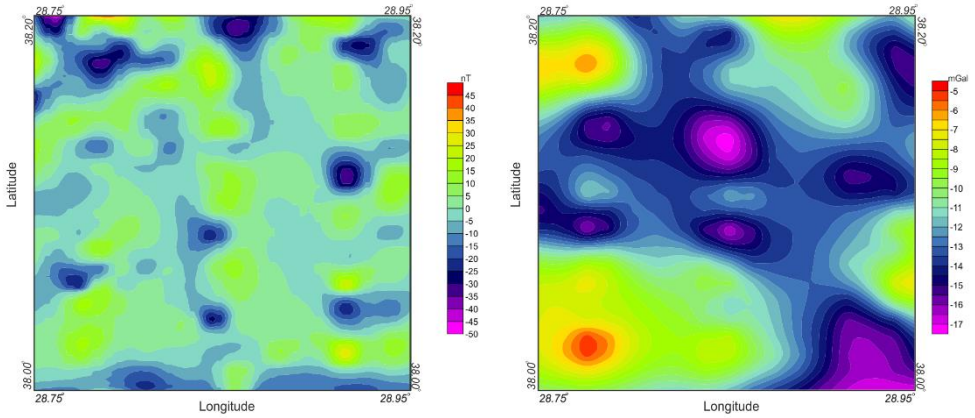
Results

The residual magnetic anomaly map is characterized by positive and negative anomalies given in Fig. 6a, high positive anomaly values up to 70 nT are observed in NW part of the study area and the observed high positive values are concerned with the Menderes Massif granitoids and gnays based on the study area. E-W trending maximum values are observed in the eastern part of the study area that may reflect the effect of buried magnetic sources below the Neogene deposits in Fig.2b. The NW-SE trending low gravity anomalies in the residual gravity map in Fig.6b are observed in the central and southeastern parts of the study area while the high anomalies range between - 5 mGal to -10 mGal in SW, NW and NE parts of the area that reflect the effect of high-density Menderes massif granitoids; however, low anomalies reflect the quaternary sedimentary deposits. The residual gravity map correlates in a good manner with the geological map of the coverage area. The residual gravity and magnetic anomaly maps are in accordance with the general regional trend. In order to determine the buried structural boundaries and discontinuities in the study area, horizontal gradient, tilt angle and theta map edge detection techniques were applied to the residual gravity and residual magnetic maps. The enhanced maps of edge detection techniques to residual magnetic map are presented in Fig. 7a-c. The maximum of horizontal gradient map and theta map that indicate source body boundaries are drawn by black lines and the zero contour of the tilt angle is drawn by a white line in the tilt angle map. The general trend of the defined magnetic lineaments is NW-SE for magnetic data, and also E-W and NE-SW directional lineaments are observed in the centre, E, SE, SW parts of the study area. The enhanced maps from the application of edge detection techniques to residual gravity data are shown in Fig. 8a-c. The maximum value of horizontal gradient map (Fig. 8a) is given with black lines indicating the density discontinuities. The zero contours of the tilt angle map are drawn by a white line exhibited in Fig. 8b. The maximum values of the theta map represent the discontinuities. They are drawn by black lineaments. The horizontal gradient, tilt angle and theta maps reveal NW-SE and E-W directed gravity lineaments that reflect the main structure of the study area. The tilt angle and theta maps (Fig. 8b and Fig. 8c) of the gravity map give detailed information about the geologic units and lineaments of the region. The results of tilt and theta angle derivative methods are compared with the existing surface faults in five different derivation methods.

To better understand the tectonic structure, the sediment basement topography was modelled from residual gravity anomaly data by using Pham et al. (2018) Matlab code. Density contrast ($\Delta\rho$) is − 0.3 g/cm^3 and decay constant (λ) is 0.001 g/cm^3 and the enhanced basement relief map is given in Fig.9. In the sediment topography map, the general regional NW-SE direction tectonic trend can be seen easily, and maximum thickness is observed in the northern end of the Denizli basin. The sediment basement topography map indicates that the maximum depth levels are observed in the southeastern part of the Denizli basin and northwestern part of the Alaşehir basin. In the centre of the map, small basins structures were observed parallel to each other with 2 km depth nearly in E-W direction. The linear features which bordered these parallel basin structures were detected by edge

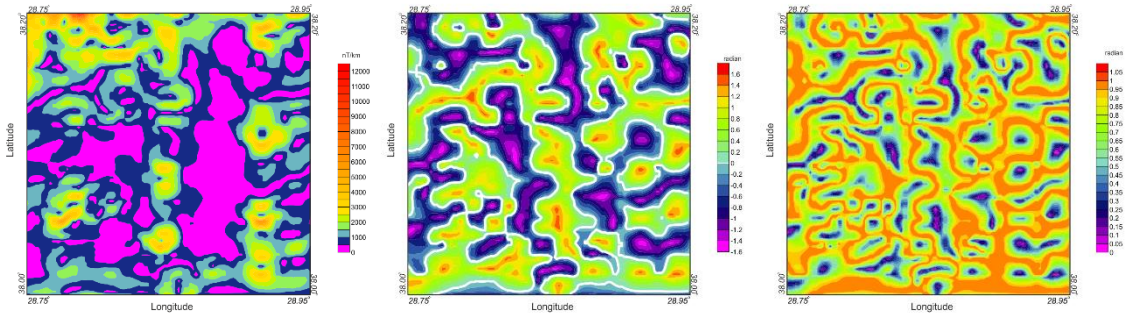
detection methods from gravity and magnetic data. The sediment thickness ranges between -0.2 and -2.2 km and the sediment deposits thickness is 2.2 km in the northern part of Denizli basin. This result is coincide with Turgay et al. (1980) geoelectric studies which indicate 2 km depth for the basement in the Sarayköy-Denizli areas; Sarı and Şalk (2006) gravity studies indicate 1.5-2 km in northern Denizli basin and Altinoglu (2012) gravity studies defined 2-3 km.

The new tectonic lineament map of the study area was generated by the joint interpretation of the results of edge detection process, the enhanced sediment basement relief map, geology map and topography map of the study area. Many new lineaments were proposed for the region by the interpretation of the available data. The new defined magnetic lineaments are given in blue and the gravity lineaments are given in red colour in Fig. 10. The general trends of magnetic alignments are in E-W and NW-SE direction and the gravity lineaments are in NW-SE direction that coincide with the regional tectonic trend.



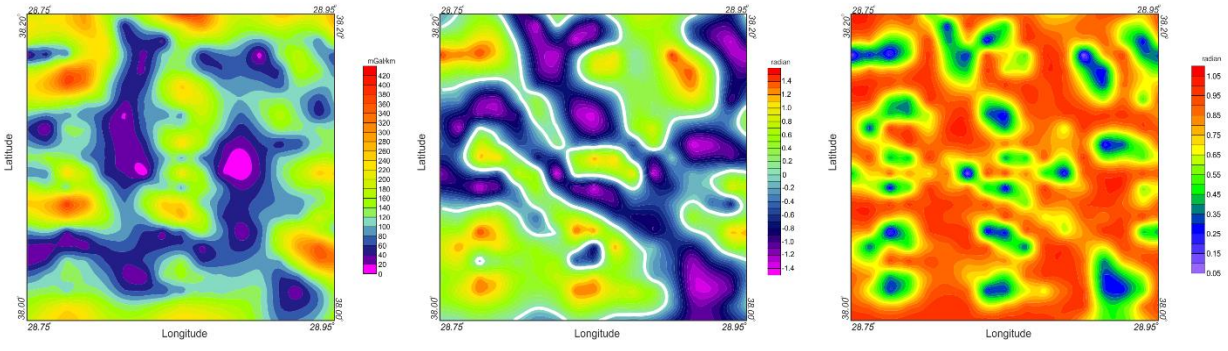
a **b**

Fig. 6. a) Residual magnetic anomaly **b)** residual gravity anomaly maps



a **b** **c**

Fig. 7. The enhanced **a)** horizontal gradient, **b)** tilt angle, **c)** theta map of the residual magnetic anomaly map of the study field



a **b** **c**

Fig. 8. The enhanced **a)** horizontal gradient, **b)** tilt angle, **c)** theta map of residual gravity anomaly map of the study field

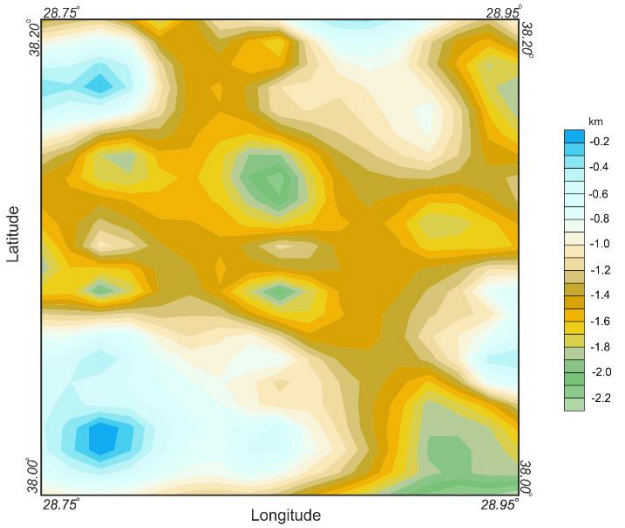


Fig. 9. The sediment basement relief map enhanced by 3D inversion of gravity data of the study area

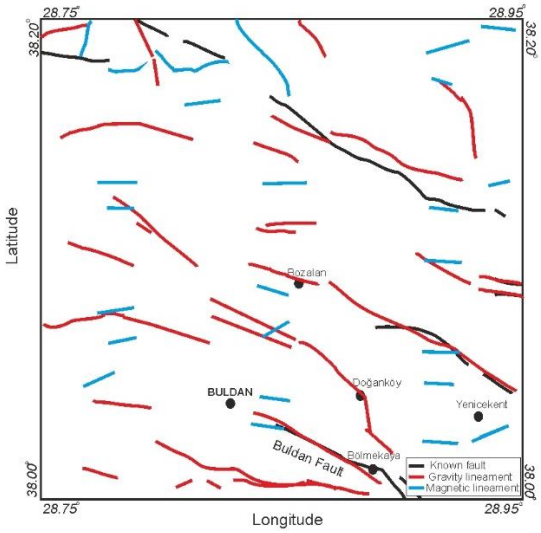


Fig. 10. The new lineament map of the study area, the known faults in the area drawn in black, new proposed gravity lineament in red and magnetic lineament in blue color

Discussion and Conclusion

The derivative based edge detection techniques are essential tools in potential field data to delineate the lineaments, buried faults, contacts etc. The aeromagnetic and gravity data were used together for the first time in the study area. Horizontal gradient, tilt angle and theta map edge detection tools were used to image structural features in the Buldan region, Denizli. In the sediment topography map, the general regional NW-SE direction tectonic trend can be seen easily, and maximum thickness is observed in the northern end of the Denizli basin. The sediment basement topography map indicates that the maximum depth levels are observed in the southeastern part of the Denizli basin and northwestern part of the Alaşehir basin. In the centre of the map, small basins structures were observed parallel to each other with 2 km depth nearly in E-W direction. The linear features which bordered these parallel basin structures were detected by edge detection methods from gravity and magnetic data.

By using derivative based edge detection methods to each data separately, many linear features mainly in NW-SE and E-W directions were identified. The results of horizontal gradient, tilt angle and theta map and 3-D inversion modeling process showed well correlation with known NW-SE trending faults and some new lineaments were identified which are controlling the basement structure. This study clearly indicates that the interpreted structural lineaments from magnetic and gravity data are strongly affected and controlled in the study area. In this study, the sediment basement relief map and new structural map were also proposed for the Buldan region that may shed light on future mining, geothermal, tectonic research.

REFERENCES

Altinoglu F.F. Investigation of tectonics of Western Anatolia by geophysical methods. PhD Dissertation, University of Pamukkale, Denizli, Turkey, 2012, 225 pp. (in Turkish).

Blakely R.J. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press. Cambridge, 1995, 441 p.

Bilim F. Investigation into the lineaments and thermal structure of Kütahya-Denizli Region, Western Anatolia, from using aeromagnetic, gravity and seismological data. Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol.165, No. 3-4, 2007, pp. 135-146.

Bozkurt E. Neotectonics of Turkey – a synthesis. Geodinamica Acta, Vol. 14, No. 1-3, 2001, pp. 3-30.

Bozkurt E. Origin of NE-trending basins in western Turkey. GeodinamicaActa, Vol. 16, No. 2-6, 2003, pp. 61-81.

Bozkurt E., Sözbilir H. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in Western Turkey. Geological Magazine, Vol. 141, No. 1, 2004, pp. 63-79.

Brogi A., Capezzuoli E., Alçiçek M.C., Gandin A. Evolution of a fault-controlled travertine fissure-ridge in the western Anato-

LITERATURE

Altinoğlu F.F. Batı Anadolu tektoniğinin jeofizik yöntemlerle incelenmesi. Doktora tezi, Batı Anadolu'nun tektoniğinin jeofizik yöntemlerle araştırılması. DoktoraTezi Pamukkale Üniversitesi, Türkiye, Ankara, 2012, 225 s.

Blakely R.J. Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge University Press. Cambridge, 1995, 441 p.

Bilim F. Investigation into the lineaments and thermal structure of Kütahya-Denizli Region, Western Anatolia, from using aeromagnetic, gravity and seismological data. Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol. 165, No. 3-4, 2007, pp. 135-146.

Bozkurt E. Neotectonics of Turkey – a synthesis. Geodinamica Acta, Vol. 14, No. 1-3, 2001, pp. 3-30.

Bozkurt E. Origin of NE-trending basins in western Turkey. GeodinamicaActa, Vol. 16, No. 2-6, 2003, pp. 61-81.

Bozkurt E., Sözbilir H. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in Western Turkey. Geological Magazine, Vol. 141, No. 1, 2004, pp. 63-79.

lia extensional province: the Çukurbağ fissure-ridge (Pamukkale, Turkey). J. Geol. Soc., Vol. 171, 2014, pp. 425-441.
Cooper G.R.J., Cowan D.R. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. Computers & Geosciences, Vol. 32, No. 10, 2006, pp. 1585-1591.
Cooper G.R.J., Cowan D.R. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. Geophysics, Vol. 73, No. 3, 2008, pp. 1-4.
Cordell L. Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe Country and the Espanola basin, New Mexico. In: Ingersoll R.V. (ed.) Guidebook to Santa Fe Country, 30th Field Conference. New Mexico: Geological Society, 1979, pp. 59-64.
Cordell L., Grauch V.J.S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. In: Hinze W.J. (ed.) The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. Tulsa: Society of Exploration Geophysics, 1985, pp. 181-197.
Cordell L., Henderson R.G. Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. Geophysics, Vol. 33, No. 4, 1968, pp. 596-601.
Du W., Wu Y., Guan Y., Hao M. Edge detection in potential filed using the correlation coefficients between the average and standard deviation of vertical derivatives. Journal of Applied Geophysics, Vol. 143, 2017, pp. 231-238.
Ferreira F.J., de Souza J., Bongiolo A.B.S., de Castro L.G. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. Geophysics, Vol. 78, No. 3, 2013, pp. 33-41.
Gessner K., Gallardo L.A., Markwitz V., Ring U., Thomson S.N. What caused the denudation of the Menderes Massif: review of crustal evolution, lithosphere structure, and dynamic topography in southwest Turkey.Gondwana Research, Vol. 24, No.1, 2013, pp. 243-274.
Granser H. Three-dimensional interpretation of gravity data from sedimentary basins using an exponential density-depth function. Geophysical Prospecting, Vol. 35, No. 9, 1987, pp. 1030-1041.
Hançer M. Study of the structural evolution of the Babadag-Honaz and Pamukkale fault zones and the related earthquake risk potential of the Buldan region in SW Anatolia, East of the Mediterranean. Journal of Earth Science, Vol. 24, No. 3, 2013, pp. 397-409.
Irmak T.S. Focal mechanisms of small-moderate earthquakes in DenizliGraben (SW Turkey). Earth Planets Space, Vol. 65, No. 9, 2013, pp. 943-955.
Kaymakcı N. Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkey): Implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations. Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 27, No. 2, 2006, pp. 207-222.
Kaypak B., Gökkaya G. 3-D imaging of the upper crust beneath the Denizli geothermal region by local earthquake tomography, western Turkey. Journal of volcanology and geothermal research, Vol. 211-212, 2012, pp. 47-60.
Koçyiğit A., Yusufoğlu H., Bozkurt E. Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in Western Turkey. J. Geol. Soc., London, Vol. 156, No. 3, 1999, pp. 605-616.
Koçyiğit A. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of Western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. GeodinamicaActa, Vol. 18, No. 3-4, 2005, pp. 167-208.
Konak N., Şenel M. Geological map of Turkey in 1/500.000 scale: Denizli sheet. Ankara, Publication of Mineral Research and Exploration Directorate of Turkey (MTA), 2002.
Ma G.Q. Edge detection of potential field data using improved local phase filter. Exploration Geophysics, Vol. 44, No.1, 2013, pp. 36-41.

Brogi A., Capezzuoli E., Alçiçek M.C., Gandin A. Evolution of a fault-controlled travertine fissure-ridge in the western Anatolia extensional province: the Çukurbağ fissure-ridge (Pamukkale, Turkey). J. Geol. Soc., Vol. 171, 2014, pp. 425-441.
Cooper G.R.J., Cowan D.R. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. Computers & Geosciences, Vol. 32, No.10, 2006, pp. 1585-1591.
Cooper G.R.J., Cowan D.R. Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics. Geophysics, Vol. 73, No. 3, 2008, pp. 1-4.
Cordell L. Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe Country and the Espanola basin, New Mexico. In: Ingersoll R.V. (ed.) Guidebook to Santa Fe Country, 30th Field Conference. New Mexico: Geological Society, 1979, pp. 59-64.
Cordell L., Grauch V.J.S. Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. In: Hinze W.J. (ed.) The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. Tulsa: Society of Exploration Geophysics, 1985, pp. 181-197.
Cordell L., Henderson R.G. Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. Geophysics, Vol. 33, No. 4, 1968, pp. 596-601.
Du W., Wu Y., Guan Y., Hao M. Edge detection in potential filed using the correlation coefficients between the average and standard deviation of vertical derivatives. Journal of Applied Geophysics, Vol. 143, 2017, pp. 231-238.
Ferreira F.J., de Souza J., Bongiolo A.B.S., de Castro L.G. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. Geophysics, Vol. 78, No. 3, 2013, pp. 33-41.
Gessner K., Gallardo L.A., Markwitz V., Ring U., Thomson S.N. What caused the denudation of the Menderes Massif: review of crustal evolution, lithosphere structure, and dynamic topography in southwest Turkey.Gondwana Research, Vol. 24, No.1, 2013, pp. 243-274.
Granser H. Three-dimensional interpretation of gravity data from sedimentary basins using an exponential density-depth function. Geophysical Prospecting, Vol. 35, No. 9, 1987, pp. 1030-1041.
Hançer M. Study of the structural evolution of the Babadag-Honaz and Pamukkale fault zones and the related earthquake risk potential of the Buldan region in SW Anatolia, East of the Mediterranean. Journal of Earth Science, Vol. 24, No. 3, 2013, pp. 397-409.
Irmak T.S. Focal mechanisms of small-moderate earthquakes in DenizliGraben (SW Turkey). Earth Planets Space, Vol. 65, No. 9, 2013, pp. 943-955.
Kaymakcı N. Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkey): Implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations. Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 27, No. 2, 2006, pp. 207-222.
Kaypak B., Gökkaya G. 3-D imaging of the upper crust beneath the Denizli geothermal region by local earthquake tomography, western Turkey. Journal of volcanology and geothermal research, Vol. 211-212, 2012, pp. 47-60.
Koçyiğit A., Yusufoğlu H., Bozkurt E. Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in Western Turkey. J. Geol. Soc., London, Vol. 156, No. 3, 1999, pp. 605-616.
Koçyiğit A. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of Western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. GeodinamicaActa, Vol. 18, No. 3-4, 2005, pp. 167-208.
Konak N., Şenel M. Geological map of Turkey in 1/500.000 scale: Denizli sheet. Ankara, Publication of Mineral Research and Exploration Directorate of Turkey (MTA), 2002.
Ma G.Q. Edge detection of potential field data using improved local phase filter. Exploration Geophysics, Vol. 44, No.1, 2013, pp. 36-41.

Ma G., Li L. Edge detection in potential fields with the normalized total horizontal derivative. Computer Geoscience, Vol. 41, 2012, pp. 83-87.

Miller H.G., Singh V. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. Journal of Applied Geophysics, Vol. 32, No. 2-3, 1994, pp. 213-217.

Milligan P.R., Gunn P.J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. AGSO J. Of Australian Geology and Geophysics, Vol. 172, 1997, pp. 63-75.

Pham L.T., Oksum E., Do T.D. GCH_gravinv: a MATLAB-based program for inverting gravity anomalies over sedimentary basins. Computers and geosciences, Vol. 120, 2018, pp. 40-47.

Ramotoroko C.D., Ranganai R.T., Nyabeze P. Extension of the Archaean Madibe-Kraaipan granite-greenstone terrane in southeast Botswana: Constraints from gravity and magnetic data. Journal of African Earth Sciences, Vol. 123, 2016, pp. 39-56.

Rezaie M., Moradzadeh A., Kalate A.N., Aghajani H., Kahoo A.R., Moazam S. 3D modelling of Trompsburg Complex (in South Africa) using 3D focusing inversion of gravity data. Journal of African Earth Sciences, Vol. 130, 2017, pp. 1-7.

Sarı C., Şalk M. Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data. Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 26, No. 1, 2006, pp. 39-48.

Seyitoglu G., Scott B.C. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: tectonic escape vs. back-arc spreading vs. orogenic collapse. J. Geodyn., Vol. 22, No. 1, 1996, pp. 145-153.

Ten Veen J.H., Boulton S.J., Alçiçek M.C. From palaeotectonics to neotectonics in the Neotethys realm: The importance of kinematic decoupling and inherited structural grain in SW Anatolia (Turkey). Tectonophysics, Vol. 473, No. 1-2, 2009, pp. 261-281.

Turgay I., Özgüler M.E., Şahin H. Denizli-Buldan-Pamukkale geothermal energy searches resitivity study. Ankara, MTA Report No. 6958, 1980 (in Turkish).

Yuan Y., Huang D., Yu Q., Lu P. Edge detection of potential field data with improved structure tensor methods. Journal of Applied Geophysics, Vol. 108, 2014, pp. 35-42.

Van Hinsbergen D.J.J., Schmid S.M. Map-view restoration of Aegean-west Anatolian accretion and extension since the Eocene. Tectonics, Vol. 31, No. 5, 2012, TC5005.

Verduzco B., Fairhead J.D., Green C.M., MacKenzie C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. The Leading Edge, Vol. 23, No. 2, 2004, pp.116-119.

Wang J., Meng X., Li F. Improved curvature gravity gradient tensor with principal component analysis and its application in edge detection of gravity data. Journal of Applied Geophysics, Vol. 118, 2015, pp. 106-114.

Wang J., Meng X.H., Guo L.H., Chen Z.X., Li F. A correlation-based approach for determining the threshold value of singular value decomposition filtering for potential field data denoising. J. Geophys. Eng., Vol. 11, No. 5, 2014, 055007.

Wang J., Meng X., Li F. New improvements for lineaments study of gravity data with improved Euler inversion and phase congruency of the field data. Journal of Applied Geophysics, Vol. 136, 2017, pp. 326-334.

Wijns C., Perez C., Kowalczyk P. Theta map: edge detection in magnetic data. Geophysics, Vol. 70, No. 4, 2005, pp. 39-43.

Yüksel F.A. Filtering of Western Anatolian Bouguergravite anomalies and study of earth crust thickness distribution. Pamukkale University, Journal of Engineering Sciences. Vol. 11, No.1, 2005, pp.1-13 (in Turkish).

Zhou W., Du X., Li J. The limitation of curvature gravity gradient tensor for edge detection and a method for overcoming it. Journal of Applied Geophysics, Vol. 98, 2013, pp. 237-242.

Ma G., Li L. Edge detection in potential fields with the normalized total horizontal derivative. Computer Geoscience, Vol. 41, 2012, pp. 83-87.

Miller H.G., Singh V. Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources. Journal of Applied Geophysics, Vol. 32, No.2-3, 1994, pp. 213-217.

Milligan P.R., Gunn P.J. Enhancement and presentation of airborne geophysical data. AGSO J. of Australian Geology and Geophysics, Vol. 172, 1997, pp. 63-75.

Pham L.T., Oksum E., Do T.D. GCH_gravinv: a MATLAB-based program for inverting gravity anomalies over sedimentary basins. Computers and geosciences, Vol. 120, 2018, pp. 40-47.

Ramotoroko C.D., Ranganai R.T., Nyabeze P. Extension of the Archaean Madibe-Kraaipan granite-greenstone terrane in southeast Botswana: Constraints from gravity and magnetic data. Journal of African Earth Sciences, Vol. 123, 2016, pp. 39-56.

Rezaie M., Moradzadeh A., Kalate A.N., Aghajani H., Kahoo A.R., Moazam S. 3D modelling of Trompsburg Complex (in South Africa) using 3D focusing inversion of gravity data. Journal of African Earth Sciences, Vol. 130, 2017, pp. 1-7.

Sarı C., Şalk M. Sediment thicknesses of the western Anatolia graben structures determined by 2D and 3D analysis using gravity data. Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 26, No. 1, 2006, pp. 39-48.

Seyitoglu G., Scott B.C. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: tectonic escape vs. back-arc spreading vs. orogenic collapse. J. Geodyn., Vol. 22, No. 1, 1996, pp. 145-153.

Ten Veen J.H., Boulton S.J., Alçiçek M.C. From palaeotectonics to neotectonics in the Neotethys realm: The importance of kinematic decoupling and inherited structural grain in SW Anatolia (Turkey). Tectonophysics, Vol. 473, No. 1-2, 2009, pp. 261-281.

Turgay I., Özgüler M.E., Şahin H. Denizli-Buldan-Pamukkale jeotermal enerji aramaları rezitivite etüdü. Ankara, MTA Rapor No. 6958, 1980.

Yuan Y., Huang D., Yu Q., Lu P. Edge detection of potential field data with improved structure tensor methods. Journal of Applied Geophysics, Vol. 108, 2014, pp. 35-42.

Van Hinsbergen D.J.J., Schmid S.M. Map-view restoration of Aegean-west Anatolian accretion and extension since the Eocene. Tectonics, Vol. 31, No. 5, 2012, TC5005.

Verduzco B., Fairhead J.D., Green C.M., MacKenzie C. New insights into magnetic derivatives for structural mapping. The Leading Edge, Vol. 23, No. 2, 2004, pp.116-119.

Wang J., Meng X., Li F. Improved curvature gravity gradient tensor with principal component analysis and its application in edge detection of gravity data. Journal of Applied Geophysics, Vol. 118, 2015, pp. 106-114.

Wang J., Meng X.H., Guo L.H., Chen Z.X., Li F. A correlation-based approach for determining the threshold value of singular value decomposition filtering for potential field data denoising. J. Geophys. Eng., Vol. 11, No. 5, 2014, 055007.

Wang J., Meng X., Li F. New improvements for lineaments study of gravity data with improved Euler inversion and phase congruency of the field data. Journal of Applied Geophysics, Vol. 136, 2017, pp. 326-334.

Wijns C., Perez C., Kowalczyk P. Theta map: edge detection in magnetic data. Geophysics, Vol. 70, No. 4, 2005, pp. 39-43.

Yüksel F.A. Batı Anadolu Bouguer gravite anomalilerininsüzgeçlenmesi ve yerkabuğu kalinlik dağiliminin celenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik BilimleriDergisi, Vol. 11, No.1, 2005, pp.1-13.

Zhou W., Du X., Li J. The limitation of curvature gravity gradient tensor for edge detection and a method for overcoming it. Journal of Applied Geophysics, Vol. 98, 2013, pp. 237-242.

СТРУКТУРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕГИОНА БУЛДАН ЗАПАДНОЙ АНАТОЛИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНЫХ И ГРАВИТАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Алтыноглу Ф.Ф.
Факультет инженерии, отделение геофизики, Университет Памуккале
20017, Денизли, Турция, Кыныклы Кампус: faltinoglu@pau.edu.tr

Резюме. Западная Анатолия тектонически является регионом расширения, и многие системы горст-грабена были разработаны в этом тектоническом режиме. Район Булдан расположен в северной части области Денизли между Денизлинским и Алашехирским грабенами, где наблюдается сейсмическая активность и встречаются горячие источники. Структурное строение разрезов этого района было исследовано с помощью аэромагнитных и гравитационных данных Буге. Для определения тектонических линеаментов были использованы производные метода обнаружения краев (выделения границ); горизонтальный градиент, угол наклона и карта Тета. Карта рельефа подстилающих отложений изученного района была дополнена 3D инверсией гравитационных данных с использованием алгоритма Паркера-Ольденбурга. Окончательная карта гравитационных и магнитных линеаментов исследуемого района представлена как совместная интерпретация результатов процесса обнаружения краев (выделения границ) и карт – рельефа подстилающих отложений, существующей геологической, а также цифровой топографической карты рельефа исследуемого района. Толщина подстилающих пород колеблется в пределах от 0.2 км до 2.2 км, а осадочных пород в северной части бассейна Денизли достигает 2.2 км. Между грабенами Алашехир и Денизли на карте рельефа подстилающих отложений были обнаружены рельефы СЗ-ЮВ простирания, а также линеаменты, такие как сдвиг/трещина, СЗ-ЮВ направления, которые ограничивают рельеф подстилающих отложений. Новые линеаменты в значительной степени совместимы с региональной тенденцией геологического развития района и рельефом подстилающих отложений. Обнаруженные в результате этого исследования новые гравитационные и магнитные линеаменты облегчат понимание тектонического строения, геотермального потенциала, минерализации региона при проведении будущих исследований.

Ключевые слова: *Булдан, гравитационные и аэромагнитые данные, обнаружение краев (выделение границ), 3Д моделирование*

MAQNİT VƏ QRAVİTASİYA MƏLUMATLARINDAN İSTİFADƏ ETMƏKLƏ QƏRBİ ANADOLUNUN BALDAN REGİONUNUN STRUKTUR İNTERPRETASİYASI

Altınoğlu F.F.
Pamukkala Universiteti, mühəndislik fakültəsi, geofizika bölməsi
20017, Dənizli,Türkiyə, Kınıklı Kampus: faltinoglu@pau.edu.tr

Xülasə. Qərbi Anadolu tektonik cəhətdən genişlənmə regionudur və horst-qrabenin çoxlu sistemləri bu tektonik rejimdə işlənilmişdir. Buldan rayonu Dənizli və Alaşehirqrabenlərinin arasında Dənizli əyalətinin şimal hissəsində yerləşmişdir və burada seysmik fəaliyyət müşahidə edilir, isti bulaqlar rast gəlir. Rayonda kəsilişlərin struktur quruluşu Buqe aeromaqnit və qravitasiya məlumatlarının köməyi ilə tədqiq edilmişdir . Tektonik lineamentlərin təyini üçün kənarların əşkar olunması (sərhədlərin ayırılması) törəmə metodundan, horizontal qradiyent, meyil bucağı və Tet kartından istifadə edilmişdir. Öyrəlinən rayonun döşənən (ana, köklü) süxurlarının relyef xəritəsi Parker-Oldenburq alqoritmindən istifadə etməklə qravitasiya məlumatlarının 3D inversiyası ilə tamamlanmışdır.

Tədqiq olunan rayonun qravitasiya və maqnit lineamentlərinin yekun xəritəsi kənarların aşkar edilməsi (sərhədlərin ayırılması) prosesinin və döşənən (ana, köklü) çöküntülərin relyef xəritəsi, müvcud geoloji xəritə, həmçinin tədqiq olunan rayonun relyefinin rəqəmli topoqrafik xəritəsinin nəticələrinin birgə interpretasiyası kimi təmsil edilmişdir. Döşənən süxurların qalındığı 0.2-2.2 km hüdüdundadır, Dənizli hövzəsinin şimal hissəsindəki çökmə süxurların qalınlığı isə 2.2 km-ə çatır. Alaşehir və Dənizli qrabenləri arasında döşənən çöküntülərin relyef xaritəsində ŞmQ-CŞ uzanma relyefləri, həmçinin ŞmQ-CŞ istiqamətli tərpədilmə-çat lineamentlər aşkar edilmişdir və onlar döşənən çöküntülərin relyefini məhdudlaşdırırlar. Yeni lineamentlər rayonun geoloji inkişafının regional tendensiyası ilə və döşənən çöküntülərin relyefi ilə xeyli dərəcədə uyğunlaşır. Bu tədqiqat nəticasindı aşkar olunmuş yeni qravitasiya və maqnit lineamentləri gələcəkdə aparılacaq rədqiqatlarda regionun tektonik quruluşu, geotermal potensialı, minerallaşmasının dərk edilməsiniasanlaşdıracaqdır.

Açar sözlər: *Buldan, qravitasiya və aeromaqnit məlumatları, kənarların aşkar edilməsi (sərhədlərin ayırılması), 3D modelləşdirmə*

ANAS Transactions **Earth Sciences** **1 / 2021**

Geology and geophysics

http://www.journalesgia.com

МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МАЙКОПСКОЙ СЕРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ОКОНЧАНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА (АЗЕРБАЙДЖАН)

Байрамова Ш.Ш.[1], Тагиева Е.Н.[2], Бабазаде А.Д.[1]

[1]Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г.Джавида, 119: shafaqbayram@rambler.ru
[2]Институт географии им. Г.Алиева НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г.Джавида, 115: tagelena@rambler.ru

MICROPALEONTOLOGICAL STUDIES OF THE MAYKOP SERIES, SOUTH-EASTERN EDGE OF THE GREATER CAUCASUS (AZERBAIJAN)

Bayramova Sh.S.[1], Taghiyeva Y.N.[2], Babazadeh A.D [1]
[1]Geology and Geophysics Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences
119, H.Javid Ave., Baku, Azerbaijan, AZ1143: shafaqbayram@rambler.ru
[2]Institute of Geography named after H. Aliyev, National Academy of Sciences
115, H.Javid Ave., Baku, Azerbaijan, AZ1143: tagelena@rambler.ru

Keywords: *Maykop Group, Oligocene, Lower Miocene, palynological asssambleges, dinocysts, Shamakha-Gobustan, spore-pollen asssambleges, palynostratigraphy*

Summary. The results of combined paleobotanical (pollen, spores, cysts of dinoflagellates) and microfaunistic studies of four sections (Oligocene-Lower Miocene) of the Shamakhy-Gobustan region of Azerbaijan (the southeastern edge of the Greater Caucasus) are presented. According to microfauna data, the upper and lower contacts of the Maikopian series were defined. The lower boundary of the Maykop sediments in the studied sections with the underlying Eocene ones is defined by the disappearance of such foraminiferal species as *Subbotina eocenica irregularis*, *Globorotalia praebulloides* and a sharp reduction in *Globigerina ofisinalis* Subb. The mass appearance of *Globigerina tarchansis*, *Bolivina tarchansis*, etc. determined the contact of the upper boundary of the Maykop with the Tarkhanian deposits. Nine conventional palynological asssambleges (PA) and eight dinocysts complexes characterizing all Maykop divisions, except for the uppermost layers of the Rüppel and upper Hattian stages were identified.The sections were correlated with the zonal change of dinocysts and microfaunal complexes. The isolated PA's are characterized by the predominance of the pollen of woody species of angiosperms (*Quercus*, *Fagus*, *Juglans*, *Castanea*, *Carya*, *Myrica*) with the subordinate participation of gymnosperms, mainly Taxodioideae. The transition from the lower to the upper Maykopian (Oligocene-Lower Miocene) occurred during a relatively cold phase and is characterized by an increased content of birch, alder, and cypress pollen along with the participation of f representatives of the Poltava (*Palmae*, *Ginkgo*) and Mediterranean flora. The change in the content of the dominant groups of dinocysts was determined by the change in the salinity of the paleobasin. An increase in *Batiacasphaera* representatives indicates desalination in the Early Maykopian time – PC II (Ruppel) and Late Maykopian time – PC IX (Kotsakhur), which is simultaneously accompanied by a percentage increase in the content of pollen of wet land vegetation (Taxodioideae).

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

Майкопский бассейн (олигоцен-нижний миоцен) на Кавказе функционировал более 15 миллионов лет, за это время в юго-восточной части Большого Кавказа накопилось до 2000 м осадков. Впервые майкопские отложения установлены в 1912 г. К.И.Богдановичем, И.М.Губкиным, К.А.Прокоповым и С.И.Черноцким в районе города Майкоп. Майкопская серия литологически представлена глинами и песчаными глинами различной мощности, а палеонтологически охарактеризована ихтиофауной (Джафарова, 1966; Popov et al., 2008) и фораминиферами (Халилов, 1967; Аллахвердиева, 2013), моллюски встречаются лишь в нижней и

верхней частях разреза. Майкопская серия расположена между фораминиферовыми слоями эоцена и тарханским региоярусом миоцена (рис. 2).

Фация майкопских отложений, легко узнаваемая в полевых условиях, широко развита в Крымско-Кавказской области и распространяется далеко на север в Поволжье и бассейн Дона. В типовом разрезе делится на нижний, средний и верхний майкоп. Практически каждый регион развития майкопской серии пород имеет присущую именно этому региону схему подразделения на местные стратиграфические единицы (Мирчинк, Шурыгин, 1972). В Азербайджане эти отложения имеют широкое распространение и играют существенную роль в строении структурных комплексов Северо-Восточных предгорий Малого Кавказа, Талыша, Куринской депрессии и Юго-Восточного Кавказа (Сеидов, 1962).

На Юго-Восточном Кавказе майкопская серия пород участвует в строении глубоких синклинальных прогибов, отделяющих друг от друга крупные антиклинальные поднятия, сложенные меловыми и нижнепалеогеновыми слоями (Салаев, 1961). Эти отложения вскрыты в многочисленных обнажениях, структурно-поисковых и разведовательных скважинах. Здесь серия подразделяется на два отдела – нижний (олигоцен) и верхний (нижний миоцен) (Ализаде и др., 1989). Нижний отдел майкопа (олигоцен) на Юго-Восточном Кавказе широко развит в низменности и третичной моноклинали. В низменной части района он покрывается толстым слоем постплиоценовых отложений. По всей территории моноклинали майкопская серия залегает трансгрессивно на эоценовых и в некоторых случаях на палеоценовых отложениях.

В Шамахы-Гобустанском районе литологический состав майкопской серии пород почти не меняется, мощность может достигать 700 м. Фаунистически она представлена редкими находками *Globigerina* ex gr. *bulloides* d'Orb., *Glomospira charoides* (Park. et Jon.), *Ammodiscus incertus* (d'Orb.), *Glomospira charoides* (Park. et Jon.), *Ammosphaeroidina caucasica* Chal.(Халилов, 1967; Аллахвердиева, 2013).

Эти отложения обладают специфическими нефтематеринскими свойствами и вызывают интерес в плане возможности обнаружения крупных запасов углеводородного сырья. Расчленение и корреляция отложений майкопской серии Шамахы-Гобустанского района вызывает много спорных вопросов из-за отсутствия абсолютных датировок и недостаточного количества палеонтологического материала, что приводит к условно-возрастному ее разделению на свиты и подсвиты различного порядка.

Для проведения хроностратиграфического расчленения разрезов, региональной и более дальней корреляции отложений майкопской серии и их палеогеографических событий актуальным является их палиностратиграфическое изучение. Микрофитофоссилии в отложениях майкопа встречаются чаще других видов органических остатков и на разных стратиграфических уровнях характеризуются разными количественными и качественными соотношениями. Выявление, в пределах возможности, стратиграфических и некоторых физико-географических особенностей времени накопления указанных отложений с использованием характеристики содержащихся в них органикостенного фитопланктона и спорово-пыльцевых комплексов стало основным направлением данного исследования. Ранее проведенные палинологические исследования в этом районе (Ахметьев и др., 2007; Popov et al., 2008; Bati, 2015) показали высокие потенциальные возможности использования палинологических характеристик для расчленения и корреляции разрезов.

Материалы и методы

Комплексные исследования наземных палиноморф и морского фитопланктона осуществлялись по разрезам майкопской серии Шамаха-Гобустанской области – Шихзагирли, Перекишкюль, Исламдаг, Хильмили (рис. 1). Образцы (в общем количестве 153 пробы) для каждого разреза отбирались последовательно в среднем через каждые 5-10 м.

Камеральные исследования и химическая обработка проводились по стандартной методике мацерации ВНИГРИ (Палеопалинология, 1966) с последующим применением плавиковой кислоты.

Просмотр микрофоссилий осуществлялся по временным препаратам. Подсчет содержания пыльцевых зерен в спектрах производился общепринятым групповым методом с учетом доминирования и рассеивания видов в пробах, присутствия руководящих, характерных и зональных видов, экологических особенностей представителей палинофлоры (Каревская, 1966). Общее количество подсчитанных пыльцевых зерен на каждый образец составляло в среднем 150-200 единиц. Изучение объектов производилось с использованием микроскопа «Carl Zeiss» при увеличении x400 и x600. При корреляции палинокомплексов изученных разрезов учитывалось появление и исчезновение наиболее важных родов и видов диноцист. Определение стратиграфического диапазона распространения цист динофлагеллят основывалось на результатах зонального расчленения Восточного Паратетиса по Н.И.Запорожец (в Ахметьев и др., 2007) (рис. 2).

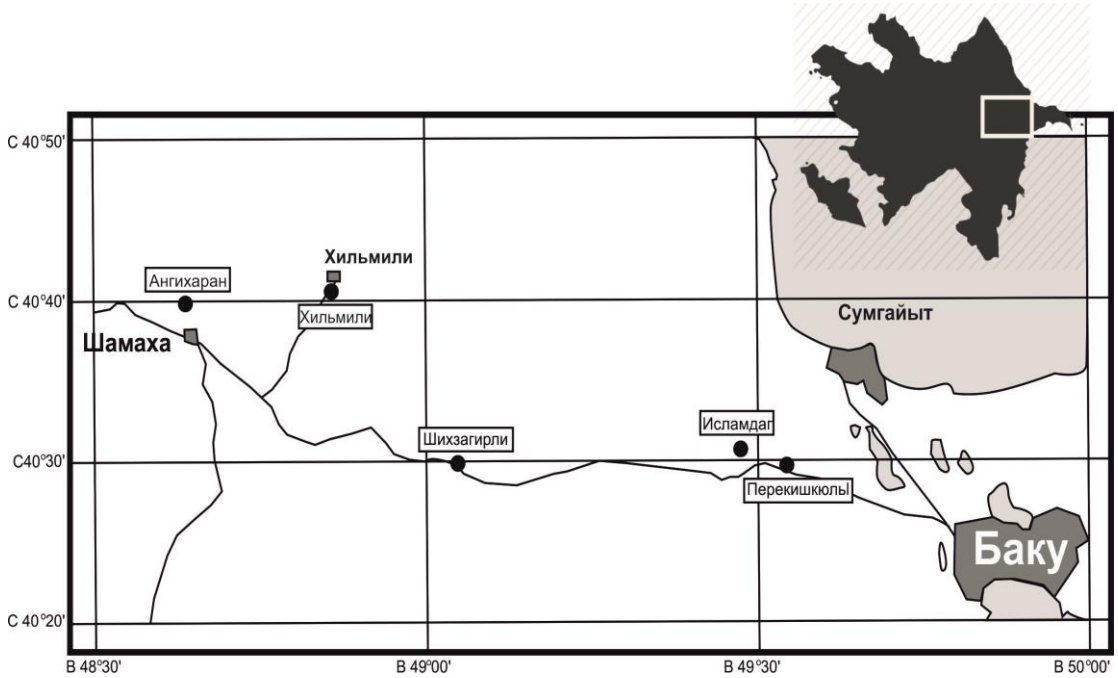


Рис. 1. Месторасположение изученных разрезов

Время (млн.л.)	Эпохи	Ярусы средиземноморья (Berggren et al.,1995)	Восточный Паратетис	зоны по планктонным фораминиферам (Berggren et al.,1995)	зоны по нанопланктону	зоны по диноцистам по Запорожец, 1993, de Verteull, Norris, 1996	Местные стратоны	Изученные разрезы
15	СРЕДНИЙ МИОЦЕН	ЛАНГИЙ	ЧОКРАКСКИЙ	M6 (N9) M5 (N8)	Nn5	*Batiacasphaera sphaerica*	Слои со *Spirialis*	
			ТАРХАНСКИЙ			*Distatodinium paradoxum*		
	РАННИЙ МИОЦЕН	БУРДИГАЛ	КОЦАХУРСКИЙ	M4 (N7)	NN5			
				M3 (N6)	Nn3	*Cousteaudinium aubryae*	Майкопская серия Верхний	
20			САКАРАУЛЬСКИЙ	M2 (N5)	Nn2	*Sumatradinium soucouyantiae*		
		АКВИТАН	ВЕРХНИЙ КАВКАЗ = КАРАДЖАЛГИНСКИЙ	M1 (N4) b		*Chiropteridium galea*		
				a	Nn1			
25	ОЛИГОЦЕН	ХАТТ	КАЛМЫЦКИЙ ВЕРХНИЙ	P22	Np25	*Chiropteridium partispinatum*		
			НИЖНИЙ	P21 b				
				a	Np24		Майкопская серия Нижний	
30		РЮПЕЛЬ	СОЛЕНОВСКИЙ ВЕРХНИЙ	P20	Np23	*Wetzeliella gochtii*		
			НИЖНИЙ (ПОЛБИНСКИЙ)	P19				
			ПШЕХСКИЙ	P18	Np22	*Wetzeliella symmetrica*		
					Np21	*Phthanoperidinium amoenum*		
35	ПЛЭОЦЕН	ПРИАБОН	БЕЛОГЛИНСКИЙ	P17			Коунская свита	
				P16	NP 19-20	*Charlesdowniea clathrata angulosa*		
				P15	Np18			

Перекишкюль Исламдаг Шихзагирли Хильмили

Рис. 2. Стратиграфическая схема олигоцена – нижнего миоцена Восточного Паратетиса

Техническая обработка образцов (Халилов, 1967; Подобина, 1985) для микрофаунистических исследований включает: дезинтеграцию образцов термическим способом в муфельных печах, декантацию ситами диаметром пор 63μm, отбор скелетных остатков из отмытого образца под бинокулярным микроскопом с увеличением 8х4; микроскопическое изучение микрофаунистиче-

ских остатков с использованием микроскопа «Nicon».

Произведенный микрофаунистический анализ отобранных проб позволил выделить в отложениях разреза Перекишкюль хадумский горизонт, а в отложениях разреза Шихзагирли отбить границу тарханского региояруса.

Результаты исследования

Разрез Перекишкюль общей мощностью 616.5 м расположен у одноименного села на юго-восточном крыле Восточно-Джангинской синклинали (рис. 3). По разрезу майкопская серия пород подразделяется на 2 отдела (снизу вверх). Нижний отдел (мощность 553 м) представлен глинами от серых до бурых, песчаниками и доломитизированным известняком в подошве, верхний отдел (мощность 63 м) – сиреневыми и бурыми глинами с пластами плитчатого песчаника и конкрециями. Контакт майкопских отложений с подстилающими эоценовыми скрыт осыпью. По исчезновению таких форм фораминифер, как *Subbotina eocenica irregularis, Globorotalia praebulloides* и резкому сокращению количества особей *Globigerina officinalis* Subb. прослеживается переход от эоцена к олигоцену.

Палинологические исследования проведены для 51 образца из 73, которые были пыльценосными. Спорово-пыльцевые спектры разреза Перекишкюль характеризуются преобладанием пыльцы древесных пород до 90-95%, споры составляют 5-10%.

В группе древесных доминирует пыльца покрытосеменных растений – 74%, с преобладанием пыльцы семейств Fagaceae (*Fagus* – 17%, *Quercus* – 11%, *Castanea* – 8% и Juglandaceae (*Juglans* – 27%, *Carya* – 5%, реже пыльца *Pterocarya, Engelhardtia*). В верхней части разреза увеличивается содержание пыльцы семейства Betulaceae, представленного пыльцой *Betula, Alnus, Corylus, Carpinus*. Пыльца остальных покрытосеменных (*Tilia, Acer, Salix, Ulmus, Morus, Myrica*) встречается спорадически. Значительно присутствие пыльцы вечнозеленых тропических и субтропических растений: *Palmae, Sarococca, Laurus, Magnolia, Rhus* (Байрамова и др., 2009).

Пыльца голосеменных находится в подчиненном положении (в среднем до 18% от общего количества пыльцы древесных) и представлена *Taxodium, Sequoia,* Pinaceae (*Picea, Pinus, Tsuga, Abies, Cedrus, Larix*), а также Cupressaceae, Podocarpaceae, Ginkgoaceae. Споровые Polypodiaceae, Osmundaceae, Cyatheaceae, Sphagnaceae встречаются единично. По разрезу Перекишкюль выделено шесть спорово-пыльцевых комплексов (СПК) (рис.4).

СПК I. Основание нижнего майкопа – хадумский горизонт. Выделен в интервале пачек № 1-2 общей мощностью 36 м по наличию микрофауны *Globigerina* ex gr. *bulloides, G. postcretacea, Globigerina micra* (Cole), *G. Volute* и полному исчезновению *Globigerina officinalis* Subb. Органикостенный фитопланктон представлен единичными формами *Tasmanites consinnus* (Krivan-Hutter), *Tasmanites* cf. *globulus* (O.Wetzel), *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata, Hysrichospheredinium, Gerdiocysta, Ovoidites* sp., *Crassasphoraconsinica, Leiosphaeridia* spp.

Характерным для этого комплекса является преобладание среди пыльцы покрытосеменных семейства Fagaceae (35%) – *Fagus* (18%), *Quercus* (11%), *Castanea* (6%). Разнообразна пыльца из семейства Juglandaceae (22%) – *Juglans* sp. (11%), *Juglans polyporata* Vojcel (3%), *Carya* (4%), *C. spackmania* (2%), *Engelhardtia* (2%). Семейство Betulaceae представлено единично (*Betula, Alnus, Corylus, Carpinus*), как и пыльца *Tilia, Palmae,* Magnoliaceae, Moraceae, *Myrica*. В группе голосеменных преобладает пыльца *Tsuga, Cedrus,* с участием *Taxodium, Abies, Larix, Cupressaceae*. Пыльца *Pinus* и *Picea* отсутствует (рис.4).

СПК II. Нижний майкоп. Выделен в интервале пачек № 3-6. В пробах сохраняется единичное присутствие зеленых водорослей *Tasmanites consinnus* (Krivan-Hutter), *Tasmanites* cf. *globulus* (O. Wetzel), *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata, Hysrichospheredinium, Gerdiocysta*. В образцах № 9, 10 в количестве двух экземпляров обнаружен рюпельский вид диноцист *Wetzeliella symmetrica* Weilier. В образцах № 16-20 увеличивается присутствие *Batiacasphaera* до 56% и *Ovoidites* sp., отмечаются единичные *Rombodinium draca, Paleocystodinium golsowenze, Pentadinium, Leiosphaeridia* spp., *Deflandrea granulata* и переотложенные *Thalassiphora*.

Данный комплекс отличается богатым количественным и видовым составом растительности. В группе покрытосеменных доминирует *Juglans* наряду с *Fagus (Fagus orientalis Lipsky, F. tenella, F. japonica* Maxim.). Среди голосеменных преобладает пыльца Taxodium, в небольшом количестве отмечена пыльца *Tsuga, Cupressus, Glyptostrobus, Sequoia, Pinus, Picea, Ginkgo*. Впервые по разрезу отмечается пыльца ксерофильных травянистых – Chenopodiaceae.

Для комплекса характерно увеличение процентного соотношения и разнообразия пыльцы и спор субтропических (*Laurus, Sarcoccoca*) и тропических (Cyatheaceae) пород. Отмечается наибольшее на протяжении всего разреза содержание пыльцы Magnoliaceae, *Palmae, Laurus.*

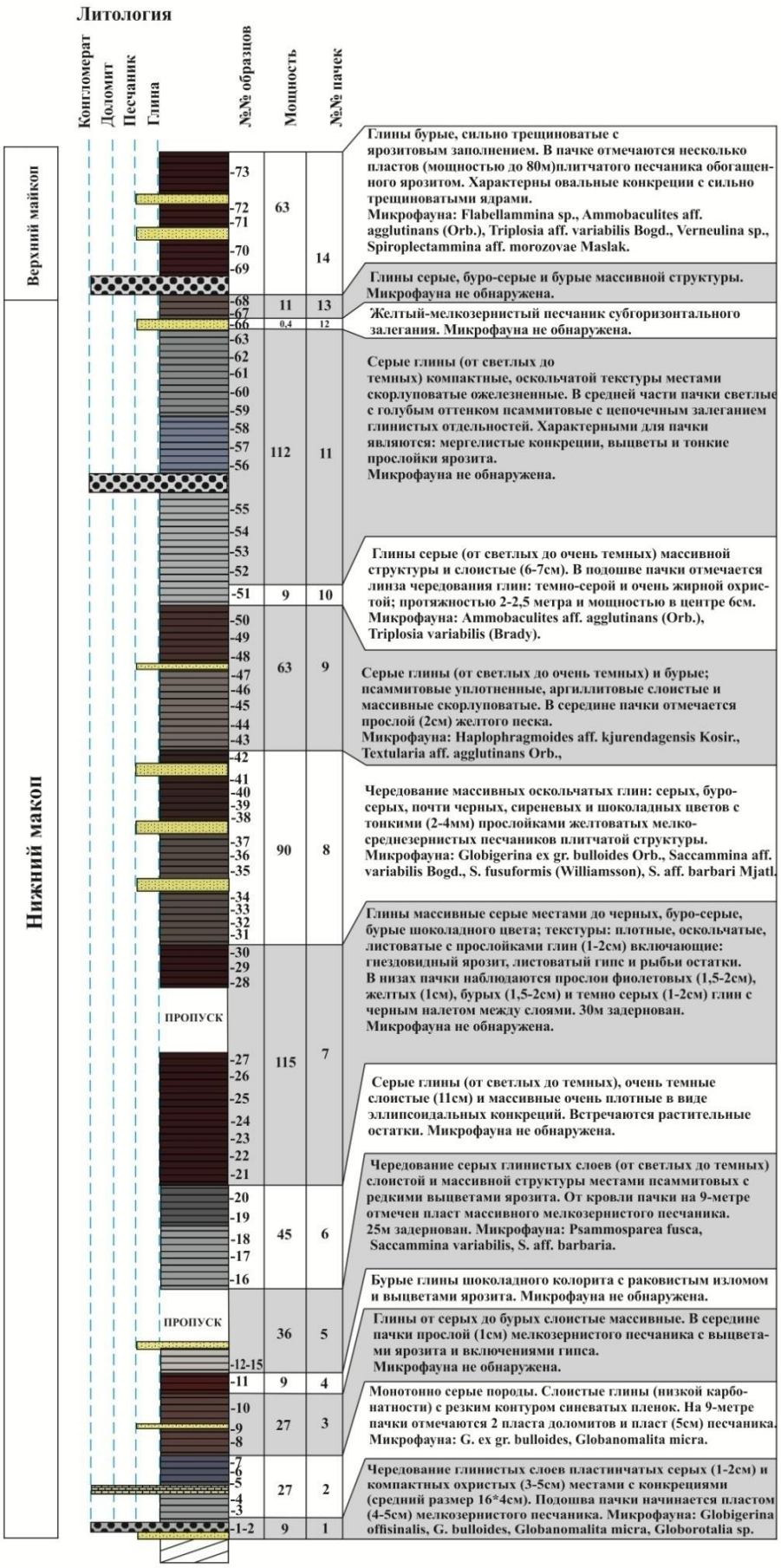


Рис. 3. Литологическая колонка разреза Перекишкюль

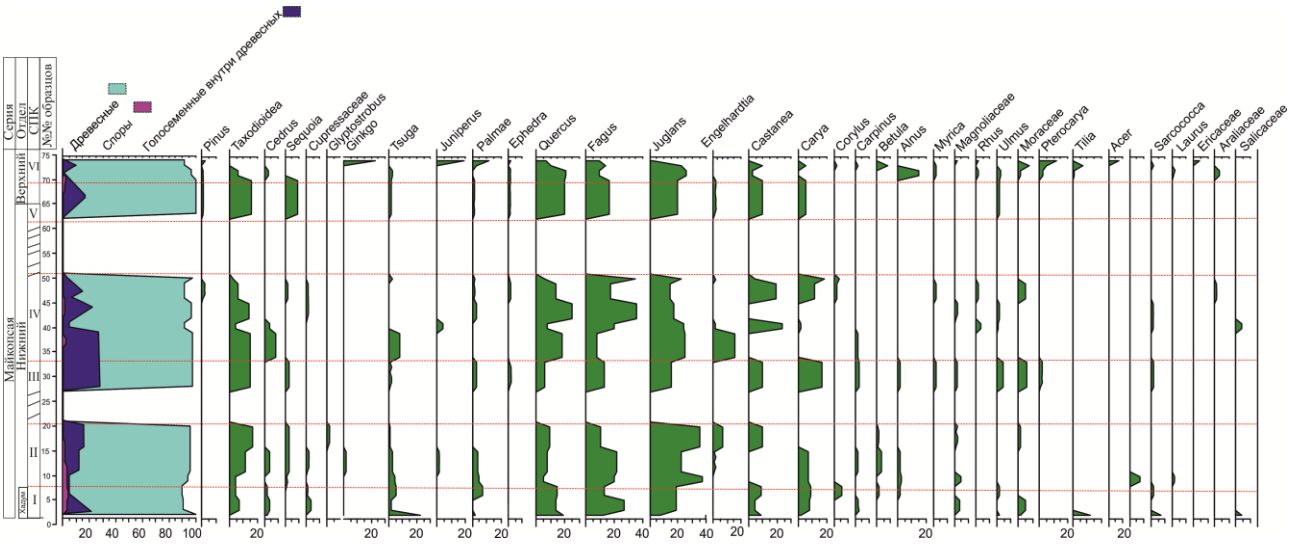


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма майкопских отложений разреза Перекишкюль

СПК III. Нижний майкоп – верхний олигоцен соответствует отложениям верхней части пачки № 7. Низы пачки палинологически не охарактеризованы (образцы № 21-27). Как и в предыдущих комплексах, отмечается единичное присутствие *Tasmanites consinnus* (Krivan-Hutter), *Tasmanites* cf. *globulus* (O.Wetzel), *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata*, *Hysrichospheredinium*, *Gerdiocysta*. В образце № 30 обнаружено по два экземпляра *Achilledinium bigormoides*, *Deflandrea spinulosa* f. *Majcopika* Alb., *Plactonites*.

Для палиноспектра характерно увеличение до 22-30% содержания пыльцы голосеменных растений в группе древесных за счет *Tsuga*, *Sequioa* и Cupressaceae. В группе покрытосеменных доминирует *Juglans*, *Quercus*, содержание *Fagus* несколько снижается. Максимально для всего разреза отмечается присутствие пыльцы *Engelhardtia*.

СПК IV выделен в интервале пачек № 8-9 общей мощностью до 90 м. Единично присутствуют *Tasmanites consinnus* (Krivan-Hutter), *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata*, *Gerdiocysta*, *Leiosphaeridia* spp., *Ovoidite* ssp. В образцах № 31, 34, 37, 40, 42 присутствуют диноцисты, характерные для хатского яруса, *Chiropteridium partispinatum* (Gerlach.) и *Spiniferites*. В образце № 46 обнаружены два экземпляра *Pentadinium*. Образцы № 32, 33, 35, 36 палинологически не охарактеризованы.

Комплекс характеризуется относительным сокращением количества пыльцы хвойных (до 4-16%) в основном за счет Taxodioideae, *Tsuga*. Единично встречена пыльца *Pinus*, *Larix*, *Thuja*, *Juniperus*. Спорадически присутствует пыльца *Cedrus*, *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Cupressus*, *Ginkgo*.

В группе пыльцы широколиственных пород доминируют *Fagus* (17-36%), *Juglans* (15-24%), *Quercus* (8-25%), *Castanea* (4-24%). Увеличивается присутствие пыльцы Carya (6-18%), *Myrica* (до 4%), *Rhus* (4-15%), *Corylus* (до 13%). Отмечается пыльца Magnoliaceae, *Ulmus*, *Moraceae*, *Pterocarya*, *Tilia*, *Betula*, *Alnus*, *Ephedra*, а также *Palmae*, *Engelhardtia*, *Laurus*. Возрастает содержание пыльцы Chenopodiaceae в группе травянистых растений.

В образцах пачек 10 и 11 (№ 51-62) споры и пыльца отсутствуют.

СПК V. Верхний майкоп. Выделен в интервале пачек № 12-13. Вместе с комплексом *Tasmanites consinnus* (Krivan-Hutter), *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata*, *Gerdiocysta* присутствует ассоциация диноцист (*Chiropteridium galea* (Maier.), *Tuberculodinium vancampoae* (Ross.), *Operculodium centrocarpum* (Ross.), *Spiniferites bentorii* (Ross.), *Hystrichospaeropsis* Hab., *Lingulodinium machaerophorum* (Defl. et Coook), *Pentadinium*), характерная для раннемиоценовых отложений.

Комплекс характеризуется увеличением количества пыльцы хвойных в группе древесных за счет пыльцы Taxodioideae (до 28%) с участием пыльцы *Pinus*, *Sequoia*, *Tsuga*. В группе пыльцы покрытосеменных доминирует *Quercus*, *Juglans*, *Fagus*. Отмечена пыльца *Carya*, *Castanea*, *Engelhardtia*, *Palmae*, *Araliaceae*.

СПК VI. Верхний майкоп. Выделен в отложениях пачки № 14 общей мощностью 63 м и представлен единичными ассоциациями нижнемиоценовых диноцист *Tuberculodinium vancampoae* (Ross.), *Operculodinium israelianum* (Ross.), *Spiniferites bentorii* (Ross.), *Chiropteridium galea* (Maier.), *Leiosphaeridia* spp. Возрастает роль *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata*.

Комплекс отличается увеличением количества пыльцы семейства Betulaceae (до 11%) – *Alnus* (6%), *Betula* (3%) и Juglandaceae – *Juglans* sp. (16%), *Juglans polyporata* Vojcel (5%), *Pterocarya* sp. (3%). Пыльца семейства Fagaceae (29%), представленная *Quercus* (14%), *Fagus* (10%), *Castaneam* sp. (5%), продолжает доминировать. Единично отмечается пыльца *Laurus, Palmae*. Содержание пыльцы голосеменных, в основном *Taxodium,* уменьшается до 3%. Единично отмечена пыльца *Cedrus* и *Pinus*.

Разрез Исламдаг относится к серии разрезов Гобустанской области и охватывает отложения нижнего и верхнего майкопа. Мощность – 162 м. Литологический состав (рис. 5) представлен чередованием коричневато-бурых слоистых глин с ярозитовой присыпкой и тонкими прослойками тонкозернистого песчаника. Палеонтологически отложения охарактеризованы ихтиофауной (чешуя, зубы, кости) и остатками обуглившейся древесины.

Спорово-пыльцевые спектры разреза Исламдаг (рис. 6) характеризуются преобладанием пыльцы древесных пород (от 100% до 96 %) в группе общего состава. Пыльца травянистых единична. Споры (Polypodiaceae) встречены спорадически в образцах № 3, 4, 5, 6. По распределению пыльцы в разрезе Исламдаг выделяется 5 спорово-пыльцевых комплексов (СПК).

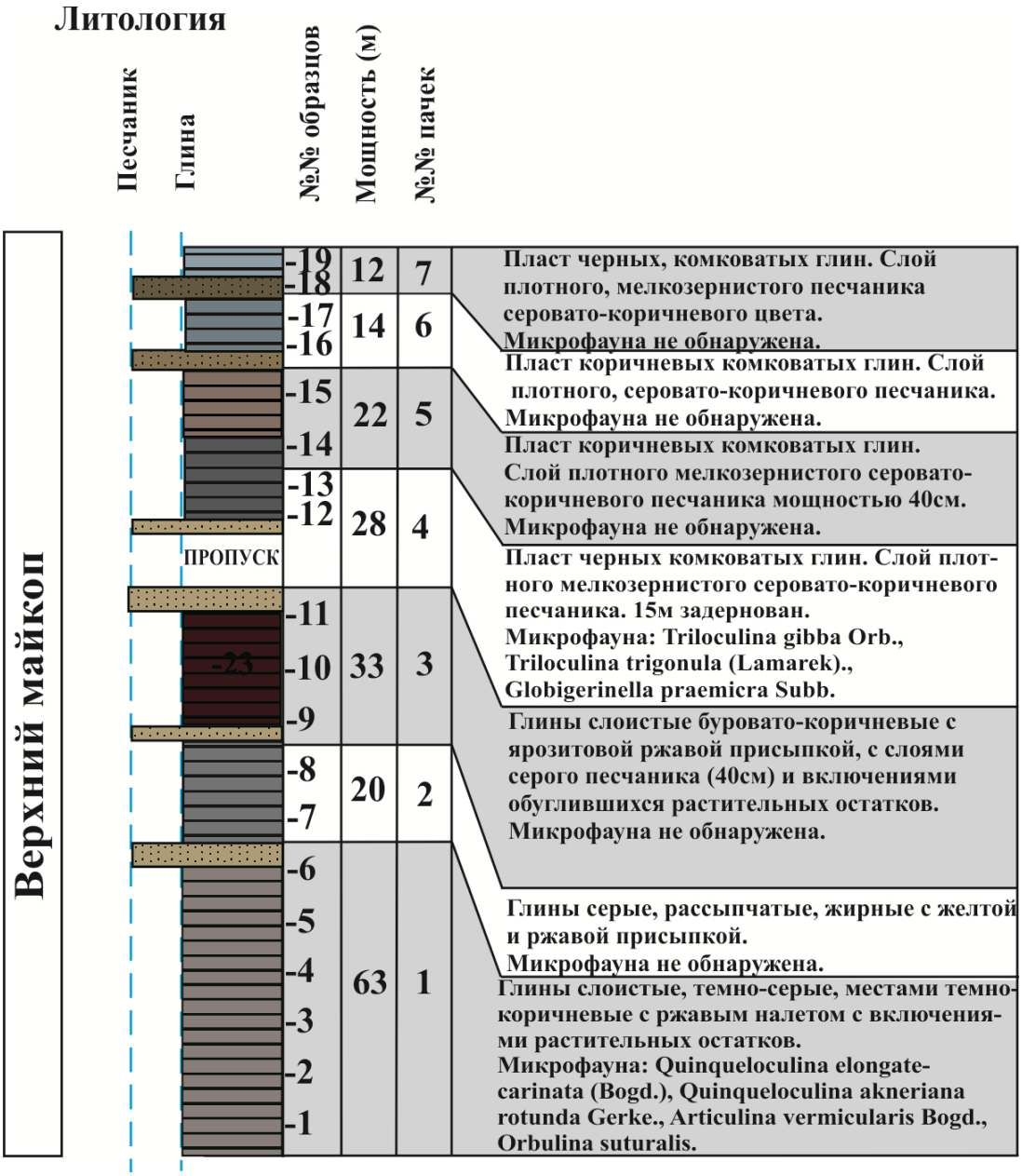


Рис. 5. Литологическая колонка разреза Исламдаг

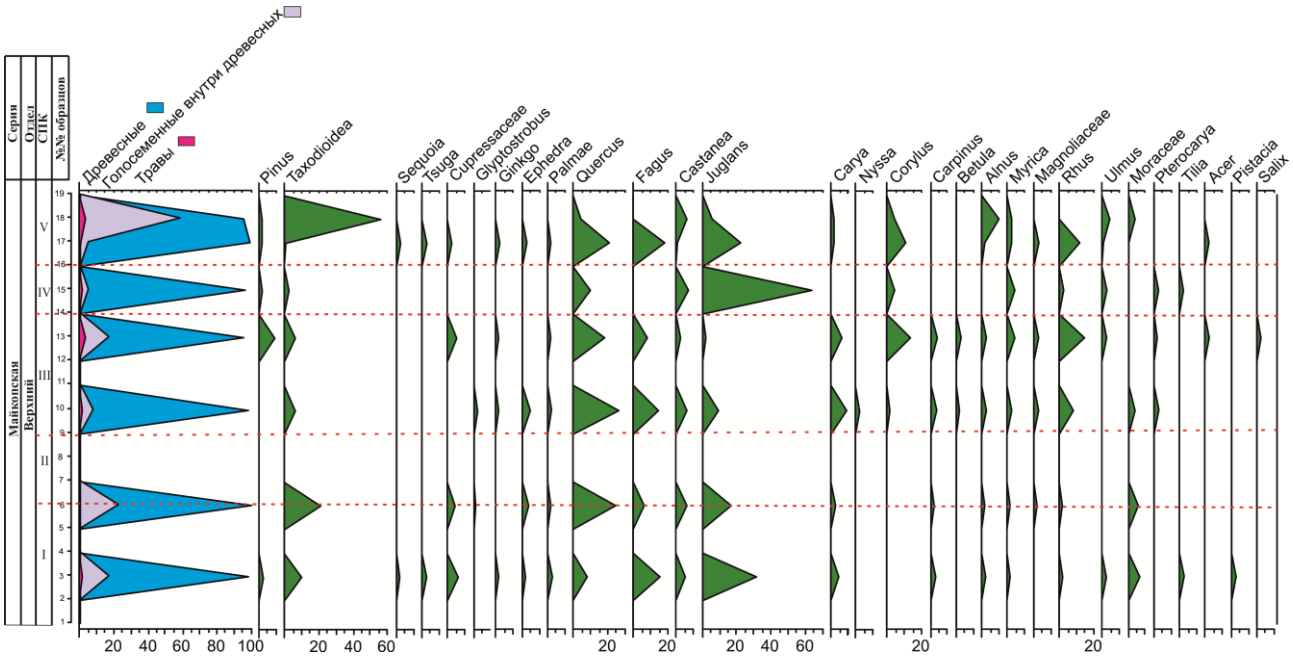


Рис. 6. Спорово-пыльцевая диаграмма майкопских отложений разреза Исламдаг

СПК I. Нижний майкоп – хатский ярус. Выделен в интервале пачки № 1. В спектре присутствуют в единичных экземплярах зеленые водоросли *Tasmanites*, диноцисты *Batiacasphaera, Chiropteridium partispinatum* (Gerlch), *Deflandrea spinulosa* f. *Majcopica* Alberti. Характеризуется высоким содержанием (до 16%) пыльцы голосеменных в группе древесных с преобладанием Taxodioideae (10%), *Cupressus* (2%), *Ephedra* (2%) и участием до 1% *Pinus, Sequoia, Ginkgo, Tsuga*. Среди покрытосеменных доминирует пыльца *Juglans* (32%), *Fagus* (15%), *Quercus* (8%), Moraceae (7%). Содержание пыльцы *Palmae* (3%) максимально для всего разреза. Пыльца остальных пород разнообразна по составу, но в незначительном количестве встречаются *Castanea, Carya, Carpinus, Alnus, Myrica, Ulmus, Tilia* и другие. Пыльца ксерофитных растений как древесных, так и травянистых (*Rhus, Pistacea, Ephedra,* Chenopodiaceae) присутствует в спектре до 2% (Bayramova, 2015).

СПК II. Нижний майкоп. Выделен в пачке № 2 по присутствию ассоциаций диноцист с участием *Spiniferites bentorii* (Ross.), *Hystrichospaeropsis* Hab., *Lingulodinium machaerophorum* (Defl. et Coook), *Operculodium israelianum* (Ross.), *Ovoidites* sp. Здесь наряду с *Chiropteridium partispinatum* единично отмечается *Chiropteridium galea* (Maier). Единичное участие *Tasmanites* и *Batiacasphaera* продолжается.

Содержание пыльцы хвойных пород возрастает до 22% за счет Taxodioideae (до 21%) с участием *Cupressus* (1%), *Glyptostrobus* (1%). Среди покрытосеменных преобладает пыльца *Quercus* (25%), *Juglans* (17%) с высоким участием пыльцы *Fagus, Castanea*, Moraceae (по 6%), а также *Carya, Carpinus*, Magnoliaceae, *Myrica, Palmae, Rhus* (2-1%).

СПК III. Верхний майкоп – кавказский регионарус. Выделен в пачках № 3 и 4. В спектре доминируют ассоциации диноцист *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. Micropapillata* Stov., *B. Hirsuta* Stov. с участием *Chiropteridium galea* (Maier.), *Tuberculodinium vancampoae* (Ross.), *Operculodium centrocarpum* (Ross.), *Spiniferites bentorii* (Ross.), ***Hystrichospaeropsis*** Hab., *Lingulodinium machaerophorum* (Defl. et Coook).

В палинологических спектрах содержание пыльцы хвойных пород сокращается, при этом уменьшается количество пыльцы Taxodioideae (до 6%) и максимально возрастает содержание пыльцы *Pinus* (9%). Среди хвойных отмечена также пыльца Cupressaceae, *Ginkgo*. В группе покрытосеменных растений доминирует пыльца *Quercus* (26%), возрастает количество *Fagus* (14%), содержание *Juglans* уменьшается до 2%. Единично присутствует пыльца Magnoliaceae, *Palmae, Corylus, Carpinus*. Для комплекса характерно максимальное присутствие по разрезу пыльцы представителей семейства Betulaceae – *Corylus* (13%), *Betula* (2%) и пыльцы листопадного дерева *Nyssa* (2%). Увеличивается присутствие пыльцы представителей прибрежных и рипарийных ассоциаций – *Carya* до 9%, *Alnus* до 3%, *Myrica* до 4%, *Pterocarya* (2%). Наряду с этим увеличивается и содержание пыльцы ксерофильных растений *Rhus* до 15%, *Ephedra* – до 5%, а в группе травянистых отмечается макси-

мальное содержание пыльцы ксерофитов Chenopodiaceae (4%).

СПК IV. Верхний майкоп – кавказский регионарус. Выделен в пачках № 5 и 6, где наряду с присутствием фитопланктона *Batiacasphaera* и *Ovoidites* появляется единично верхне-кавказский вид диноцист *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil & Norris).

Спектры характеризуются сокращением до 4% пыльцы хвойных пород за счет Taxodioideae и *Pinus*. Единично присутствует пыльца *Glyptostrobus, Sequoia, Cupressaceae, Ginkgo, Tsuga*. Пыльца покрытосеменных растений разнообразна по составу, доминантами выступают *Juglans* (22%), *Quercus* (21%), *Fagus* (18%), а также *Rhus* (12%), *Corylus* (11%) с участием *Castanea*, Magnoliaceae, *Palmae*, *Myrica, Carpinus, Ulmus, Acer, Carya, Pterocarya, Tilia* и др.

СПК V. Верхний майкоп – кавказский – сакараульский регионарусы. Выделен в отложениях пачки № 7. В спектрах присутствуют Tasmanites consinnus (Krivan-Hutter), *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata*, *Gerdiocysta*, *Operculodium centrocarpum* (Ross.), *Spiniferites bentorii* (Ross.), *Hystrichospaeropsis* Hab., *Lingulodinium machaerophorum* (Defl. et Coook), *Pentadinium*, чуть увеличивается роль *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil & Norris).

Содержание пыльцы в комплексе незначительное. В группе древесных пород преобладает пыльца хвойных (58%), которые представлены исключительно пыльцой Taxodioideae и единично *Pinus*. Среди пыльцы покрытосеменных растений выделяются *Alnus* (10%), *Juglans* (6%), *Castanea* (6%), *Quercus, Ulmus, Corylus*, Moraceae по 4% и *Carya*, *Myrica* по 2%.

Разрез Хильмили охватывает отложения, соответствующие верхнему отделу майкопа, фаунистически охарактеризованные остракодами. Отложения разреза общей мощностью 185 м литологически представлены темными глинами от серых до черных с прослойками слюды и остатками стволов деревьев (рис. 7).

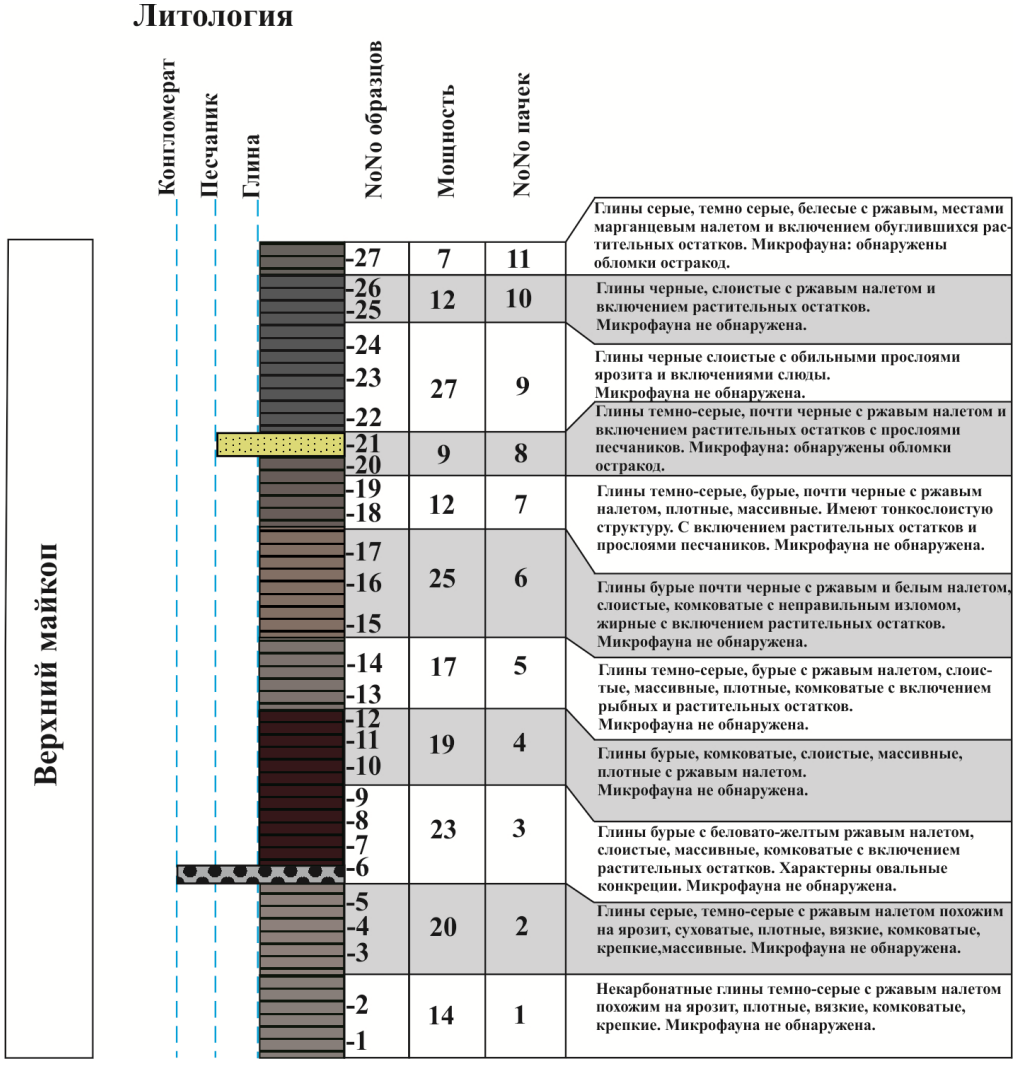


Рис. 7. Литологическая колонка разреза Хильмили

Спорово-пыльцевые спектры (рис. 8) разреза характеризуются преобладанием пыльцы древесных растений, содержание пыльцы трав и спор единично. Присутствие пыльцы голосеменных в группе древесных носит подчиненный характер (8-24%). В спектрах снизу вверх выделяется 4 спорово-пыльцевых комплекса (СПК). По преобладанию на всем протяжении разреза ассоциаций диноцист *Batiacasphaera sphaerica* Stoven., *B. Hirsute* Stoven., *B. Micropapillata* Stoven., *Chiropteridium galea* (Maier), *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil & Norris) все СПК отнесены к верхнему майкопу.

СПК I. Верхний майкоп. Выделен в пределах пачек № 1, 2. Здесь наряду с *Chiropteridium partispinatum* единично отмечается *Chiropteridium galea* (Maier), как и в спектрах пачки № 2 разреза Исламдаг.

В группе древесных преобладает пыльца покрытосеменных растений, голосеменные составляют 11,5%. Среди покрытосеменных доминирует пыльца *Engelhardtia* (23%), *Broussonetia* (26%), *Juglans* (13%), *Quercus* (9%) с участием *Fagus* (6%), *Castanea* (8%), Moraceae (6%). Единично (2-3%) отмечены *Carya, Corylus, Betula, Alnus, Palmae*. Пыльца голосеменных представлена незначительным доминированием Taxodioideae (8%) наряду с Pinaceae (2%), Cupressaceae (1%), *Ginkgo* (2%), *Tsuga* (3%).

СПК II. Верхний майкоп. Охарактеризован пачками № 3, 4, 5. В спектрах комплекса в большом количестве появляется нижнемиоценовый фитопланктон *Batiacasphaera*. В группе покрытосеменных преобладает пыльца лесообразующих пород *Fagus* (10-30%), *Quercus* (12-16%), *Juglans* (11-15%). Участие пыльцы *Engelhardtia* (11%), *Broussonetia* (11%) заметно уменьшается. Отмечено максимальное присутствие *Laurus* (3-9%), Moraceae (4-7%), *Alnus* (5-9%), а также *Palmae* (2%). Единично представлена пыльца *Betula*. Впервые по разрезу отмечена пыльца Magnoliaceae (2%), Ericaceae (2%). Процентное содержание голосеменных в группе древесных пород возрастает (15-18%) и увеличивается их разнообразие. Преобладает пыльца Taxodioideae (5-8%) и *Tsuga* (6%) вместе с *Ginkgo* (3%), Cupressaceae (1-2%), Pinaceae (1%). Впервые встречена здесь пыльца *Larix* (7%), *Sequoia* (1%) и *Ephedra*.

СПК III. Верхний майкоп – кавказский регионарус. Представлен в пачках № 6, 7, 8. Массовая встречаемость *Batiacasphaera* сохраняется, одновременно отмечается присутствие верхнекавказского вида диноцист *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil & Norris). Комплекс характеризуется сокращением пыльцы голосеменных пород (3-8%) в группе древесных за счет Taxodioideae, *Ginkgo, Tsuga*, но несколько возрастает содержание Pinaceae (4%).

Среди пыльцы покрытосеменных преобладает *Quercus, Engelhardtia, Corylus, Broussonetia* (Moraceae). Содержание пыльцы *Juglans, Fagus, Alnus, Laurus* сокращается, относительно предыдущей палинозоны. Присутствие *Palmae* остается неизменным (1%). Отмечена пыльца травянистых растений Compositae, Chenopodiaceae.

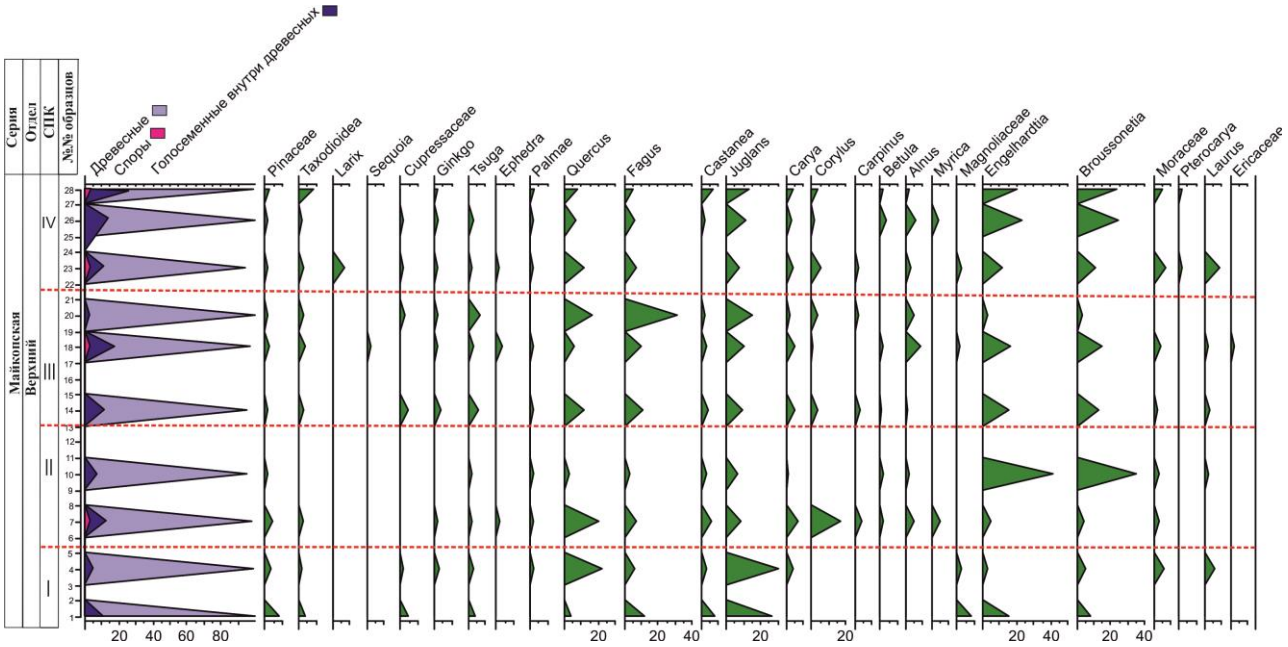


Рис. 8. Спорово-пыльцевая диаграмма майкопских отложений разреза Хильмили

СПК IV. Верхний майкоп – кавказский регионарус. Представлен в пачках № 9, 10. Диноцисты *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil & Norris) продолжают присутствовать в спектрах. Комплекс характеризуется преобладанием пыльцы *Juglans* (30%), *Quercus* (22%) *Fagus* (12%) среди покрытосеменных, с участием *Engelhardtia* (15%), *Castanea* (8%), Magnoliaceae (8%), *Broussonetia* (8%), *Laurus* (6%). Доля пыльцы голосеменных растений возрастает (15-24%) за счет Pinaceae (8%), *Tsuga* (4%), Cupressaceae (4%), Taxodioideae (4%).

Разрез Шихзагирли располагается в северо-восточном крыле одноименной антиклинали и на границе литофаций верхнего майкопа Шамаха-Гобустанского района – северной глинистой и южной песчано-глинистой. Майкопская серия здесь литологически представлена комплексом песчано-глинистых отложений (рис. 9).

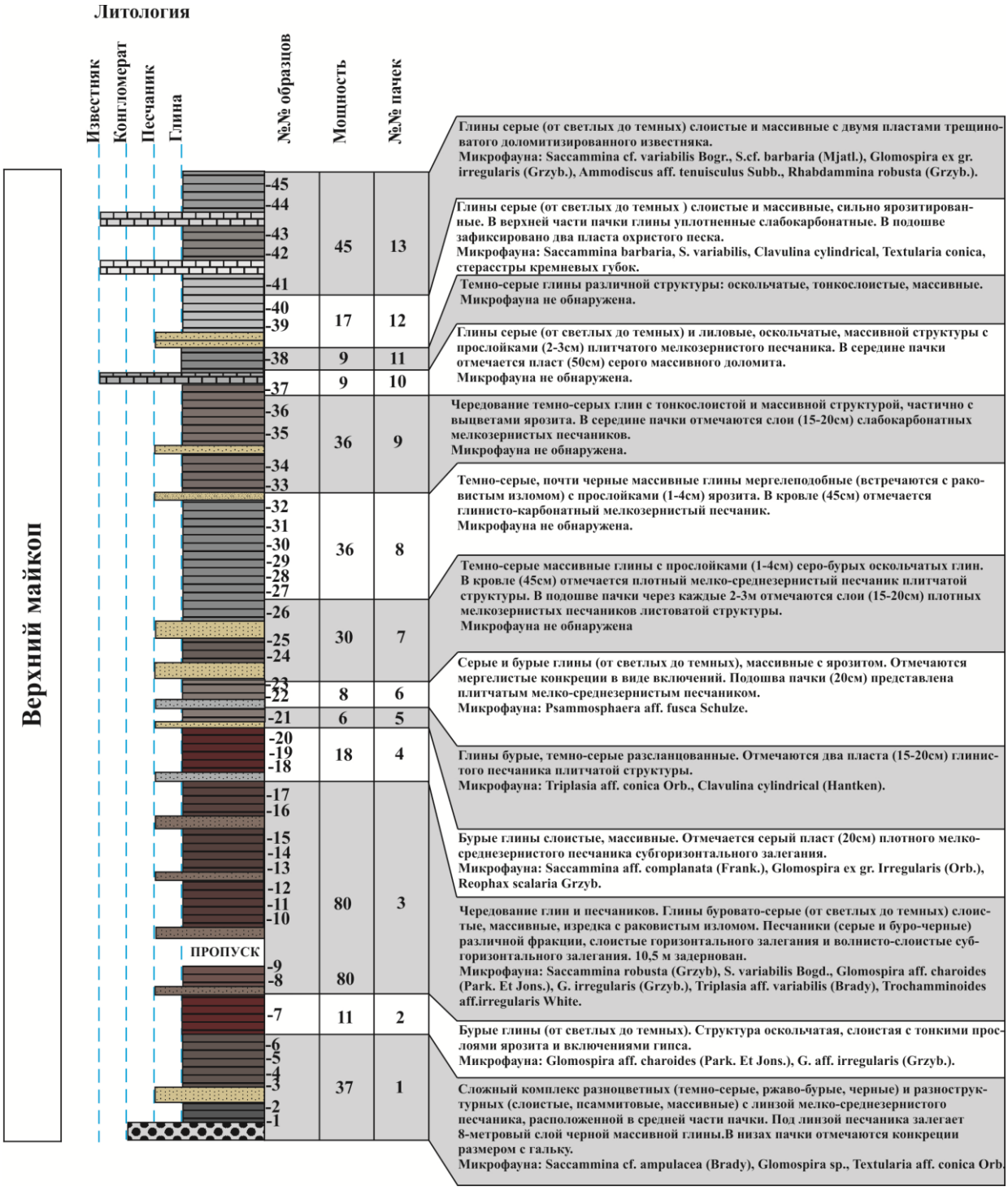


Рис. 9. Литологическая колонка разреза Шихзагирли

Глины серые (от светлых до темных) и бурые, слоистые, массивные, местами разланцованные. Песчаники мелко-среднезернистые плотные, в 12-ой пачке отмечен несцементированный песок. Верхняя часть разреза, начиная с 8-ой пачки, отличается присутствием карбонатного материала, а в пачках № 10, 13 – отдельных пластов доломита и известняка. В нижней части разреза отмечены конкреции и включения гипса. По всему разрезу отмечается присутствие ярозита. Общая мощность обнаженной части майкопских отложений в пределах Шихзагирлинской складки составляет 342 м. Фаунистически разрез охарактеризован фораминиферами: *Textularia conica, Glomospira charoides, Saccammina robusta, Clavulina cylindrical* и др. В разрезе Шихзагирли верхний контакт майкопских отложений с тарханским и плавно отбивается по массовому появлению *Globigerinatarchansis, Bolivinatarchansis* и др.

Отложения верхнего майкопа (нижний миоцен) представлены в разрезе кавказским, сакараульским и коцахурским региоярусами. В половине из отобранных проб пыльца и споры не обнаружены. Спорово-пыльцевые спектры характеризуются преобладанием пыльцы древесных пород (100-92%), соотношение голосеменных колеблется от 9 до 40% с доминированием пыльцы Taxodioideae. Единично и спорадически встречается пыльца травянистых растений (Compositae) и споры папоротников (Polypodiaceae, Cyatheaceae). Подсчет пыльцы в отдельно взятом образце в среднем составлял от 100 до 260 зерен, в пробах же с низким содержанием пыльцы встречена исключительно пыльца голосеменных растений и пальм. Так, в обр. № 3, 4, 17, 18 с подсчетом 30-35 пыльцевых зерен отмечены представители Taxodioideae, *Pinus, Ephedra, Palmae*, а в обр. № 14, 22, 23 с подсчетом 10 зерен – только пыльца *Ginkgo*. Учитывая летучесть пыльцы хвойных и перенос ее на дальние расстояния, а также отсутствие мало летучей пыльцы покрытосеменных в этих образцах, мы предполагаем, что в это время происходило расширение прибрежной зоны, соответствующее трансгрессивной фазе морского бассейна. В разрезе выделено 8 спорово-пыльцевых комплексов (СПК) с учетом малопродуктивных в пыльцевом отношении (рис. 10).

СПК I. Верхний майкоп – нижний миоцен. Характеризует отложения пачек № 1 и 2. В комплексе доминирующими таксонами диноцист являются *Labyrintodinium truncatum, Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. Micropapillata* Stov. и *Operculodinium*. Присутсвуют единичные формы диноцист – *Impagidinium, Thalassifora pelagica., Selenopemphix* sp., *Aptenodinium* sp., *Paleocystodinium*, а также по одному *Rombodinium* в пробах № 3, 6. Из празинофит найдены *Cymatiosphaera* и *Lingulodinium*. В нижней пробе № 3 встречена *Deflandreaspinulosa* af. *Majcopica* Alb., которая встречается в приграничных отложениях верхнего олигоцена.

В палиноспектре преобладает пыльца покрытосеменных растений – *Quercus, Fagus, Betula, Castanea, Juglans*. Единично представлена пыльца Magnoliaceae, *Palmae*. Среди голосеменных растений, составляющих 9-22%, встречена пыльца Taxodioideae, Cupressaceae, Pinaceae с участием *Tsuga* (рис. 10).

СПК II. Верхний майкоп – нижний миоцен. Представлен в пачке № 3. Диноцисты обнаружены в малом количестве в образцах № 8, 10, 13, 16. Продолжают доминировать *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. Micropapillata* Stov., *B. Hirsuta* Stov. и *Operculodinium*. Единично встречен переходный вид *Thalassifora pelagica* (обр.№ 8), *Pentadinium* sp., *Leptodinium*. Также единично отмечены зеленые водоросли и акритархи.

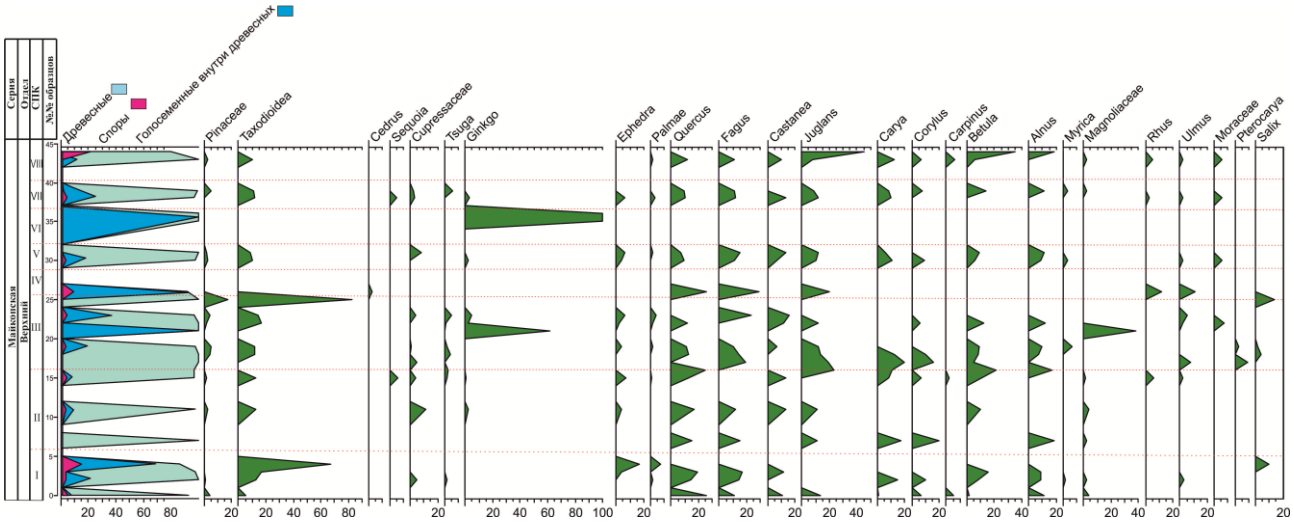


Рис. 10. Спорово-пыльцевая диаграмма майкопских отложений разреза Шихзагирли

Комплекс охарактеризован только пыльцой голосеменных растений: Taxodioideae (67%), *Palmae* (7%) и Ephedraceae (17%). Пыльца покрытосеменных отсутствует.

СПК III. Верхний майкоп – кавказский региоярус. Выделен в интервале пачек № 4-7. Количество и разнообразие диноцист в комплексе возрастает. Продолжают доминировать *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. Micropapillata* Stov., *B.hirsute* Stov. и *Operculodinium*. Обнаружены *Hystrichostrogilon, Selenopemphix* sp., *Thalassifora, Pentadinium, Deflandrea, Distatodinium, Chiropteridium*. В образце № 22 отмечено присутствие (5 шт.) кавказского вида динофлагеллят *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil & Norris). В обр. № 21 обнаружены переотложенные олигоценовые виды *Wetzeliella gochtii* и *Rombodinium*. Отмечены единичные *Tasmanites, Pterospermella* и акритархи. Образцы № 24 и 25 содержат много растительного детрита.

В палиноспектре среди покрытосеменных доминирует пыльца *Quercus* (11-25%), *Fagus* (10-23%), *Betula* (10-21%), *Juglans* (11-23%), *Castanea* (7-16%), *Carya* (11-20%) единично *Palmae, Magnolia*. Среди голосеменных преобладает пыльца Taxodioideae (12-17%), с участием *Cupressus* (1-11%), *Sequoia* (6%), *Tsuga, Pinus* (по 2-5%), *Ginkgo* (1-5%), Ephedraceae (2-7%).

СПК IV, СПК V, СПК VI, СПК VII отнесены к сакараульскому региоярусу по характерному для этого возраста комплексу диноцист – *Operculodinium, Hystrichostrogilon, Selenopemphix* sp., *Impadinium, Pterospermella, Brigantinium, Deflandrea, Sumatradinium soucouyantiae* (deVerteuil & Norris) и *Cousteaudinium aubryae* (deVerteuil & Norris). В образцах из пачек № 9, 10, 11 и 12 пыльцы очень мало.

СПК IV. Верхний майкоп – сакараульский региоярус. Комплекс характеризует верхние слои пачки № 9. Единичные зерна представлены исключительно пыльцой хвойных пород – Taxodioideae (83%) и Pinaceae (17%).

СПК V. Верхний майкоп – сакараульский региоярус. Комплекс выделен из отложений пачки № 10. Преобладает пыльца *Fagus* (11-29%), *Juglans* (10-20%), *Quercus* (7-26), *Castanea* (7-13%), *Betula* (6-9%), *Carya* (6-11%), единично встречена пыльца *Palmae*. Среди голосеменных присутствует пыльца Taxodioideae (10%), Cupressaceae (8%), Pinaceae (3%), *Ephedra* (4-6%) и единично *Cedrus, Ginkgo* (рис. 10).

СПК VI. Верхний майкоп – сакараульский региоярус. Выделен из отложений пачки № 11. Пыльца представлена исключительно пыльцевыми зернами *Ginkg*o (10 штук).

СПК VII. Верхний майкоп – сакараульский региоярус. Выделен из отложений пачек № 12. В комплексе доминирует пыльца *Quercus* (9-12%), *Fagus* (11-12%), *Juglans, Carya* (по 8-12%), *Castanea* (10-13%), *Betula* (6-14%), а также *Magnolia, Palmae* и др. Голосеменные представлены пыльцой Taxodioideae (10-12%), Pinaceae (3-5%), *Sequoia* (5%), *Tsuga* (6%), *Ephedra* (6%) с участием *Ginkgo*, Cupressaceae.

СПК VIII. Верхний майкоп – коцахурский региоярус. Представлен отложениями пачки № 13. В большом количестве здесь присутствуют *Batiacasphaera*. Помимо зеленых водорослей *Tasmanites* и фитопланктона в спектрах образца 41 присутствуют диноцисты коцахурского возраста *Cousteaudinium aubryae* (deVerteuil & Norris). В палиноспектре хвойные отсутствуют, среди покрытосеменных преобладает пыльца *Juglans* (45%), *Betula* (35%), *Alnus* (20%). Среди спор отмечено максимальное по разрезу присутствие папоротников тропического семейства Cyatheaceae.

Обсуждение результатов

По микрофаунистическим исследованиям граница майкопских отложений с подстилающими эоценовыми прослеживается по исчезновению *Subbotina eocenica irregularis, Globorotalia praebulloides* и резкому сокращению *Globigerina ofisinalis* в разрезе Перекишкюль. В нижней части майкопской серии выделяется хадумский горизонт по наличию *Globigerina* exgr. *bulloides, G. postcretacea, Globigerina micra, G. Volute* и полному исчезновению *Globigerina officinalis*.

Верхний контакт майкопских отложений с тарханскими прослеживается в разрезе Шихзагирли и проявляется по массовому появлению *Globigerina tarchansis, Bolivina tarchansis* и др. В комплексе фораминифер верхней подсерии майкопа встречены формы сакараульского региояруса *Saccammina zuramakensis* и *Globigerina* aff. *fissicostata* (Халилов, 2000).

Стратиграфические единицы основания майкопской серии (хадумский горизонт), нижний и низы верхнего отдела майкопа представлены в разрезах Перекишкюль и частично в разрезе Исламдаг (верхи нижнего и низы верхнего майкопа).

Верхний подотдел майкопской серии (кавказский и сакараульский региоярусы) характеризуют разрезы Шихзагирли и частично разрез Хильмили (верхний майкоп).

В изученных отложениях майкопа выделяется восемь комплексов диноцист. Первый комплекс установлен для хадумского (СПК I Перекишкюль); 2-ой для рюпеля (СПК II, III Перекишкюль); 3-ий для хаттского (СПК IV Перекишкюль, СПК I Исламдаг); 4-ый переходный комплекс диноцист от нижнего к верхнему майкопу (СПК II Исламдаг, СПК I Хильмили, СПК I,II Шихзагирли); 5-ый для кавказского яруса

(СПК V,VI Перекишкюль, СПК III,IV Исламдаг, СПК II,III,IV Хильмили, СПК V Шихзагирли); 6-ой переходный комплекс диноцист от кавказского к сакараульскому ярусу (СПК V Исламдаг, СПК IV Шихзагирли); 7-ой для сакараульского яруса, (СПК V,VI,VII Шихзагирли); 8-ой для коцахурского яруса (СПК VIII Шихзагирли).

Изученные спорово-пыльцевые комплексы (СПК) майкопской серии по разрезам Перекишкюль, Исламдаг, Шихзагирли и Хильмили явились основой для установления **условных палинокомплексов** (ПК) – подразделений провинциального ранга – Шамахы-Гобустанской области. Корреляция (рис. 11) изученных разрезов опиралась на ПК и выделенные в ходе исследования комплексы органикостенного фитопланктона (цисты зеленых водорослей и динофлагеллят), а также на уже имеющиеся данные по литологии, фауне, флоре и палеоклимату палеогена Кавказского региона (Кузнецова, 1959; Зубаков, 1990; Popov et al., 2008; Попов и др., 2019; Ализаде и др., 2014).

В отложениях майкопской серии пород Шамаха-Гобустанского района установлена последовательность 9 палинокомплексов (ПК): для нижнего майкопа – 5 ПК, для верхнего майкопа – 4 ПК (рис. 11).

Нижний майкоп – олигоцен характеризуют пять ПК, два из которых соответствуют рюпельскому ярусу и два – хаттскому. Пятый ПК является переходным и охватывает верхние слои хатта и нижние слои кавказского ярусов.

Рюпельский регионарус. Хадумский горизонт. I ПК установлен в разрезе Перекишкюль (СПК I**)** и соответствует низам нижнего олигоцена согласно характерной микрофауне – *Globigerina* ex gr. *bulloides, G. postcretacea, Globigerina micra* (Cole), *G. Volute* (Халилов, 1967). Характеризуется относительно холодными условиями, на что указывает разнообразие хвойных обитателей горных областей – *Tsuga, Cedrus, Abies*, Cupressaceae. Среди широколиственных пород увеличивается количество пыльцы более холодостойкой породы – *Fagus* по сравнению с *Juglans.* Среди мелколиственных единично участвуют архаичные роды *Betula, Alnus, Corylus*.

Органикостенный фитопланктон представлен единичными формами тонкостенных видов *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. baculata, Hysrichospheredinium, Gerdiocysta, Ovoidites*sp., *Crassasphora consinica, Leiosphaeridia* spp., что указывает на начало опреснения бассейна в раннем рюпеле (Запорожец, Ахметьев, 2017; Sachsenhofer et al., 2017).

Рюпельский регионарус. II ПК установлен в нижних отложениях разреза Перекишкюль (СПК II**)** по ассоциациям зеленых водорослей *Tasmanites consinnus* (Krivan-Hutter), *Tasmanites* cf. *globulus* (O. Wetzel) и *Paucilobimopha triradiata* (De Coninck) и диноцист *Wetzeliella symmetrica* Weilier. Доминируют *Batiacasphaera*. Комплекс хорошо коррелируется с диноцистовой зоной *Wetzeliella symmetrica*, установленной в (Запорожец, Ахметьев, 2017) в пшехском горизонте Предкавказья. Эта палинозона характеризует теплые и влажные условия с первыми признаками иссушения на расширяющихся участках суши при регрессивной фазе бассейна (Batı, 2015; Sachsenhofer et al., 2017). Среди широколиственных пород доминируют *Juglans, Quercus*, участие Fagus уменьшается. Значительное участие в составе растительности принимают представители тропической (*Palmae,* Cyatheaceae) и влажной средиземноморской флоры (*Carya,* Magnoliaceae, *Laurus, Sarcoccoca*). Среди хвойных пород расширяется ареал влаголюбивых Taxodioideae с участием *Tsuga, Cedrus, Sequoia, Cupressaceae, Ginkgo, Glyptostrobus, Pinus*. Отмечены кустарниковые и травянистые формы, произрастающие в сухих условиях (*Rhus,* Pistaceae, *Ephedra,* Chenopodiaceae). Комплекс соответствует «наиболее длительному потеплению в раннем олигоцене (рюпельский ярус)» (Борзенкова, 1992).

Хаттский регионарус. III ПК. Установлен в разрезах Перекишкюль (СПК III) и Исламдаг (СПК I) по ассоциациям диноцист хаттского яруса *Deflandrea spinulosa* f. *majcopik*a Alb., *Chiropteridium partispinatum* (Gerlach.) (Запорожец и Ахметьев, 2017).

В комплексе доминируют более теплолюбивые породы наряду с участием умеренных и теплоумеренных представителей, что говорит о теплых и влажных климатических условиях. Ареал хвойных пород расширяется за счет Taxodioideae и участия *Ginkgo, Cedrus, Sequoia, Tsuga, Glyptostrobus*. Среди широколиственных пород преобладают *Juglans, Quercus, Engelhardtia*, ареал *Fagus* сокращается. Присутствуют также *Castanea, Carya, Carpinus, Betula, Alnus, Corylus, Ulmus,* Moraceae, Magnoliaceae, *Laurus, Nissa, Palmae*.

Этот комплекс коррелируется с периодом кратковременного потепления (Борзенкова, 1992) между первой и второй волной «хатт-аквитанского» похолодания и соответствует низам хаттского яруса. В это время известны тектонические подвижки и склоновые проявления в калмыцком горизонте Предкавказья (Хаин, 1950).

Хаттский регионарус. IV ПК. Прослеживается в разрезе Перекишкюль (СПК IV). В спектрах продолжают присутствовать динофлагелляты *Deflandrea spinulosa* f. *majcopika* Alb. и *Chiropteridium partispinatum* (Gerlach.), характерные для хаттского яруса. Палинокомплекс коррелируется с диноцистовой зоной *Chiropteridium partispinatum*, установленной Н.И. Запорожец (1999) в калмыцком горизонте Восточного Паратетиса (рис. 2).

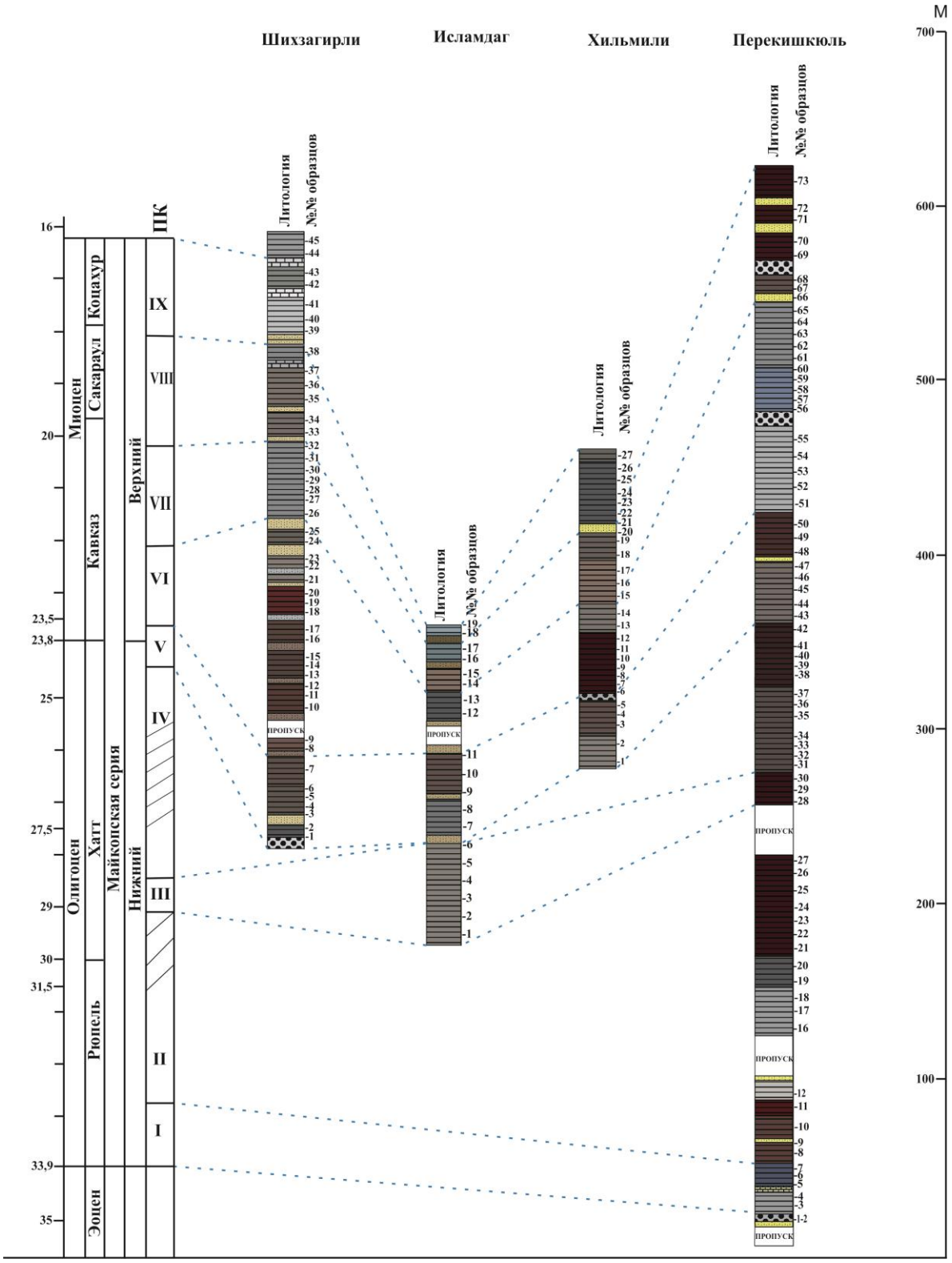


Рис. 11. Корреляция палинологически изученных разрезов Шамаха-Гобустанского района

Этот комплекс характеризует относительно холодные и сухие условия. Ареал распространения Taxodioideae сокращается, появляются новые более холодолюбивые представители хвойных – *Cedrus*, *Pinus*, *Larix* наряду с разнообразными восточно-азиатскими, североамериканскими и средиземноморскими представителями – *Thuja*, *Juniperus*, *Sequoia*, *Glyptostrobus*, *Cupressus*, *Ginkgo*, *Tsuga*, *Ephedra*. Среди широколиственных пород преимущество получают *Fagus*, *Quercus* с участием *Juglans*, *Castanea*. Увеличивается разнообразие мелколиственных пород *Carya*, *Corylus*, *Betula*, *Myrica*. Отмечается пыльца Magnoliaceae, *Ulmus*, Moraceae, *Ptero-*

carya, Tilia, Alnus, а также *Palmae*. Присутствие *Engelhardtia, Laurus* заметно сокращается. Появляются ксерофильные представители среди кустарничков (*Rhus, Ephedra*) и трав (Chenopodiaceae). Комплекс сопоставляется со второй волной похолодания, отмечаемого многими авторами во второй половине хаттского времени (Зубаков, 1990).

Верхний майкоп – нижний миоцен. Переходная зона. V ПК. Характеризуется спорово-пыльцевыми комплексами разрезов Перекишкюль (СПК V), Исламдаг (СПК II), Хильмили (СПК I), Шихзагирли (СПК I-II) и отнесен к хаттскому ярусу по диноцистам *Deflandrea spinulosa* f. *Majcopika* Alb., которые встречаются в приграничных отложениях верхнего олигоцена, и по единичному участию нижнекавказского вида *Chiropteridium galea* (Maier.) (Запорожец, Ахметьев, 2017). Здесь содержание пыльцы Taxodioideae уменьшается до минимума относительно предыдущих палинозон. Подчиненную роль в растительном покрове играют *Pinus, Glyptostrobus, Sequoia*, Cupressaceae, *Ginkgo, Tsuga, Ephedra*. Среди лиственных пород доминантами выступают *Quercus, Corylus* с участием *Castanea*, Magnoliaceae, *Palmae, Myrica, Carpinus, Ulmus, Acer, Carya, Pterocarya, Tilia*. Данные спорово-пыльцевых комплексов соответствуют накоплению отложений верхней части хаттского яруса и характеризуют переходные условия от холодных и сухих в предыдущем комплексе к установлению более влажных и менее холодных.

Кавказский регионарус. VI ПК. Охарактеризован спорово-пыльцевыми комплексами разрезов Перекишкюль (СПК VI), Исламдаг (СПК III), Хильмили (СПК II) и Шихзагирли (СПК III). Установлен по присутствию ассоциаций диноцист с участием *Spiniferites bentorii* (Ross.), *Hystrichospaeropsis* Hab., *Lingulodinium machaerophorum* (Defl. et Coook), *Operculodium israelianum* (Ross.), *Chiropteridium galea* (Maier.), которые коррелируются с диноцистовой зоной *Chiropteridium galea* по Н.И.Запорожец (1999), установленной в караджалинском горизонте Предкавказья. ПК представляет самые низы нижнемиоценовых отложений (кавказский регионарус). Ареал голосеменных пород вновь расширяется за счет пыльцы Taxodioideae и *Sequoia* с участием *Pinus, Glyptostrobus*, Cupressaceae, *Ginkgo, Tsuga, Ephedra*. Среди пыльцы широколиственных пород преобладают *Juglans, Quercus, Fagus, Corylus, Castanea*. Единично встречена пыльца *Engelhardtia, Carya, Carpinus, Alnus, Ulmus, Pterocarya, Palmae, Rhus, Betula*. Этот комплекс характеризует относительную стабилизацию климатических условий после обширного периода похолодания, отмечаемого во второй половине хатта.

Верхи кавказского регионаруса. VII ПК. Характеризуется спорово-пыльцевыми комплексами разрезов Исламдаг (СПК IV-V), Хильмили (СПК III-IV) и Шихзагирли (СПК IV-V) и установлен по диноцистам *Chiropteridium galea*, характеризующим отложения кавказского регионаруса (Запорожец, Артемьев, 2017). Теплые и умеренно-теплые климатические условия на фоне повышенного увлажнения сохраняются. В группе древесных пород преобладает пыльца *Quercus, Fagus, Juglans, Betula, Carya, Castanea*. Хвойные породы немногочислены и представлены Taxodioideae, Cupressaceae, Pinaceae.

Сакараульский регионарус. VIII ПК. Выделяется в разрезе Шихзагирли (СПК IV-VI) по появлению зеленых водорослей *Pterospermella, Tasmanites* и диноцист *Batiacasphaera sphaerica* Stov., *B. Hirsuta* Stov., *Sumatradinium soucouyantiae* (de Verteuil&Norris), присущих верхнему кавказу и нижнему сакараулу. Эта диноцистовая зона *Sumatradinium soucouyantiae* установлена в сакараульском регионарусе Восточного Паратетиса (de Verteuil, Norris, 1996). В данном комплексе участие умеренных и теплоумеренных представителей флоры наряду со средиземноморскими закрепляется, что, очевидно, связано с ростом гор и высотной дифференциацией растительности. Среди пыльцы покрытосеменных доминирует *Quercus, Fagus, Betula, Juglans, Castanea, Carya*, единично *Palmae, Magnolia*. Среди голосеменных преобладает пыльца Taxodioideae с участием *Cupressus, Sequoia, Tsuga, Pinus, Ginkgo*, Ephedraceae.

Коцахурский регионарус. IX ПК. Представлен в разрезе Шихзагирли (СПК VII-VIII). Отнесен к коцахурскому регионарусу по характерным для этого возраста диноцистам *Cousteaudinium aubryae* (de Verteui l& Norris) и зеленым водорослям *Pterospermella, Tasmanites*. В большом количестве здесь присутствуют *Batiacasphaera*. Дифференциация растительности по высотным поясам продолжается в установившихся теплых и влажных условиях. Пыльца широколиственных пород представлена доминированием *Quercus, Fagus, Juqlans, Carya, Castanea, Betula*, а также *Magnolia, Palmae* и др. Средиголосеменных преобладает Taxodioideae, Pinaceae, *Sequoia, Tsuga, Ephedra* и единично *Ginkgo*, Cupressaceae. Среди спор отмечено максимальное на протяжении спектра присутствие папоротников семейства Cyatheaceae. Соответствует регрессивной стадии морского бассейна по Sachsenhofer и др. (2017).

Заключение

– Выделенные спорово-пыльцевые комплексы (СПК) разрезов Перекишкюль, Исламдаг, Шихзагирли, Хильмили майкопской серии пород Юго-Восточного окончания Большого Кавказа (Шамахы-Гобустанский район) совместно с восемью комплексами диноцист характеризуют все подразделения майкопа, за исключением самых верхних слоев рюппельского и верхов хаттского ярусов (отсутствие данных). Проведенная корреляция спорово-пыльцевых комплексов (СПК) совместно с ассоциациями микрофитопланктона выявила 9 условных палинологических комплексов (ПК).

– Резких изменений в составе флоры не выявлено. Для всех разрезов характерно преобладание пыльцы древесных пород покрытосеменных растений с преобладанием *Quercus, Fagus, Juglans, Castanea, Carya, Myrica*. Доминантом среди голосеменных пород выступает пыльца Taxodioideae. Содержание пыльцы сосны незначительно, единовременный ее максимум (9% от пыльцы древесных) отмечен в отложениях кавказского регионаруса разреза Исламдаг. Пыльца травянистых в спектрах единична (Chenopodiaceae, *Compositа,* Gramineae), что говорит о незначительной роли открытых пространств в это время. Споровые также единичны (Polypodiaceae, Cyatheaceae).

– Переходная зона (ПК V) от нижнего к верхнему майкопу в изученных разрезах проявляется увеличением процентного содержания пыльцы мелколиственных панголарктических пород – березы, ольхи наряду с участием представителей полтавской (*Palmae, Ginkgo*, Cyatheaceae) и средиземноморской флоры (*Magnolia, Laurus, Cupressus, Carya*). Эти изменения свидетельствуют о снижении температур и уменьшении влажности в регионе в начале раннего миоцена, что совпадает с тенденцией общего похолодания на протяжении раннего миоцена (Долуханов, 1988).

– Почти во всех палинологических спектрах ассоциации микрофитопланктона не многочисленны. По изменениям содержания доминирующих групп диноцист, приуроченных к различным экологическим группам, установлена динамика солености палеобассейна. Увеличение количества представителей *Batiacasphaera* указывает на опреснение бассейна в раннемайкопское время – ПК II (рюпель) и позднемайкопское время – ПК IX (коцахур), что сопровождается процентным увеличением пыльцы водно-болотной растительности (Taxodioideae).

ЛИТЕРАТУРА

Ализаде Ак.А., Тагиева Е.Н., Байрамова Ш.Ш. Палиностратиграфия и условия формирования майкопской свиты Шамаха-Гобустанской области Азербайджана. Вестник Пермского Универ., Палеонтология и стратиграфия, вып. 4 (25), 2014, с. 8-19, http://dx.doi.org/10.17072/ psu.geol.25.8.

Ализаде К.А., Ализаде А.А., Шихалибейли Э.Ш. и др. Региональная стратиграфическая схема палеогена Азербайджана. Элм. Баку, 1989, 307 с.

Аллахвердиева Х.А. Этапность развития планктонных фораминифер и зональное расчленение палеогеновых отложений Гобустана – западного Абшерона. Седиментология и стратиграфия нефтегазоносных бассейнов, НАНА, Науки о Земле, Баку, 2013, No. 1, с. 24-36, http://www.isjss.com/view.php?lang=en&menu=archives&type=2&num=11.

Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., Головина Л.А., Попов С.В., Сычевская Е.К., Эфендиева М.А., Фейзуллаев А.А., Алиев Ч.С. Новые данные по стратиграфии майкопских отложений Центрального Гобустана. Стратиграфия и седиментология нефтегазоносных бассейнов, НАНА, Науки о Земле, Баку, No. 1, 2007, с. 32-53, http://www.isjss.com/view.php?lang=en&menu=archives&type=2&num=1.

Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н. Палиностратиграфия и палеогеография Абшеронского района майкопских отложений. Седиментология и стратиграфия нефтегазоносных бассейнов, НАНА, Науки о Земле, Баку, 2009, No. 1, с. 24-32, http://www.isjss.com/view.php?lang=ru&menu=archives&type=2&num=3.

Богданович К.И., Губкин И.М., Прокопов К.А., Черноцкий С.И. Отчет о деятельности геол. ком. за 1911 г. Изв. Геол. ком., Т. 31, 1912, 57 с.

Борзенкова И.И. Изменение климата в кайнозое. Гидрометеоиздат. Санкт-Петербург, 1992, 247 с., http://library.

REFERENCES

Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I., Golovina L.A., Popov S.V, Sychevskaya E.K., Efendiyeva M.A., Feizullayev A.A., Aliyev Ch.S.New data on stratigraphy of Maykopian deposits in the central Gobustan**.** Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins, ANAS, Earth Sciences, Baku, No. 1, 2006, pp. 32-53, http://www.isjss.com/view.php?lang=en&menu=archives&type= 2&num=1 (in Russian).

Alizadeh Ak.A., Tagiyeva E.N., Bayramova Sh.Sh. Palynostratigraphy and environments of formation of Maykop suite of the Shamakha-Gobustan region of Azerbaijan. Bulletin of Perm University, Palaeontology and Stratigraphy, Vol. 4, No. 25, 2014, pp. 8-19, http://dx.doi.org/10.17072/ psu.geol.25.8 (in Russian).

Alizadeh K.A., Alizadeh A.A., Shikhalibeyli E.Sh. et al. Regional stratigraphic scheme of paleogene of Azerbaijan. Elm. Baku, 1989, 307 p. (in Russian).

Allahverdiyeva H.A. Developmental stages of planktonic foraminifers and zonal division of the Paleogene deposits of Gobustan-Western Absheron. Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins, ANAS, Earth Sciences, Baku, No. 1, 2013, pp. 24-36, http://www.isjss.com/view.php?lang=en&menu=archives &type= 2&num=11 (in Russian).

Bati Z. Dinoflagellate cyst biostratigraphy of the upper Eocene and lower Oligocene of the Kirmizitepe Section, Azerbaijan, South Caspian Basin. Review of Palaeobotany and Palynology, Vol. 217, 2015, pp. 9-38, https://doi.org/10.1016/ j.revpalbo. 2015. 03.002.

Bayramova Sh.S., Tagieva E.N. Palynostratigraphy and paleogeography of the Absheron area of Maykop sediments. Sedimentology and stratigraphy of oil and gas-bearing basins, ANAS, Earth Sciences, Baku, 2009, No. 1, pp. 24-32 http://www.isjss.com/view.php?lang=ru&menu=archives&type=2&num=3 (in Russian).

univer.kharkov.ua/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:5533/Source:default.

Долуханов П.М. История средиземных морей. Наука. Москва, 1988, 144 с.

Джафарова Ж.Д. Камбалы в отложениях майкопской серии Апшеронского полуострова. Докл. АН Аз.ССР, Т. 22, No. 5, 1966, с. 73-76.

Запорожец Н.И. Палиностратиграфия и зональное расчленение по диноцистам среднеэоценовых-нижнемиоценовых отложений р. Белой (Северный Кавказ). Стратиграфия. Геол. Корреляция, Т. 7, No. 2, 1999, с.61-78.

Запорожец Н.И., Ахметьев М.А. Палеоботаническое изучение разреза майкопской серии олигоцен-нижнего миоцена по р. Белая выше города Майкопа, Предкавказье. Стратиграфия. Геол. Корреляция, Т. 25, No. 6, 2017, с. 61-83, https://elibrary.ru/item.asp?id=30729637.

Зубаков В.А. Глобальные климатические события неогена. Гидрометеоиздат. Ленинград, 1990, 223 с., https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-globalnye-klimaticheskie-sobytiya-neogena.pdf.

Каревская И.А. Спорово-пыльцевой анализ при палеогеографических и геоморфологических исследованиях. Палеопалинология. Т. 1, 2. Недра. Ленинград, 1966, 351 с., https://sng1lib.org/book/2653629/285321.

Кузнецова З.В. Географическое распространение микроископаемых в верхнем майкопе Азербайджана и их стратиграфическое значение. ВПО, труды II сессии, Москва, 1959, с. 105-110.

Мирчинк М.Ф. Шурыгин А.М. Формирование структуры третичных и меловых отложений юго-восточного погружения Кавказа. Наука. Москва, 1972, 160 с.

Подобина В.М. Микропалеонтология. Учебное пособие. Изд-во ТГУ. Томск,1985, 181 с.

Покровская И.М. Методика камеральных работ. Палеопалинология. Т. 1. Недра. Ленинград, 1966, с. 32-50.

Попов С.В., Табачникова И.П., Банников А.Ф., Сычевская Е.К., Пинчук Т.Н., Ахметьев М.А., Запорожец Н.И., А. ван ден Боон, Крайшман В., Столяров А.С., Крховски Я. Лектостратотип майкопской серии по р. Белая выше г. Майкопа (Западное Предкавказье) в его олигоценовой части. Стратиграфия. Геологическая корреляция, Т. 27, No. 3, 2019, с. 70-92, https://doi.org/10.31857/S0869-592X27370-92.

Салаев С.Г. Олигоцен-миоценовые отложения юго-восточного Кавказа и их нефтегазоностность. Изд. АН Азерб. ССР. Баку, 1961, 253 с.

Сеидов А.Г. Литология Майкопской свиты Азербайджана. Изд. АН Азерб.ССР. Баку, 1962, 282 с.

Хаин В.Е. Геотектоническое развитие Юго-Восточного Кавказа. Азнефтеиздат (тип."Кр. Восток"). Баку, 1950, 224 с.

Халилов Г.А. Палеогеоморфология Азербайджанской части Большого Кавказа в олигоцен-раннемиоценовой эпохе неотектонического этапа. Вестник БГУ, Серия естественных наук, No.1, 2000, с. 204-211.

Халилов Д.М. Микрофауна и стратиграфия палеогеновых отложений Азербайджана. Изд. АН Аз.ССР. Баку, 1967, 287 с.

Bayramova Sh.Sh. Correlation of sections of Maykop series by palynology data for south-eastern part of the Greater Caucasus. Proceedings of ANAS, No. 1, 2015, pp.76-81.

Bati Z. Dinoflagellate cyst biostratigraphy of the upper Eocene and lower Oligocene of the Kirmizitepe Section, Azerbaijan, South Caspian Basin.Review of Palaeobotany and Palynology, Vol. 217, 2015, pp. 9-38, https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2015.03.002.

Grimm E.S. TILIA AND TILIA GRAPH. Pollen spreadsheet and graphics program. 8th International Palynological Congress. Programm and Abstracts. Aix-en-Provence, France, 1992, 56 p.

Bayramova Sh.Sh. Correlation of sections of Maykop series by palynology data for south-eastern part of the Greater Caucasus. Proceedings of ANAS, No. 1, 2015, pp. 76-81.

Bogdanovich K.I., Gubkin I.M., Prokopov K.A., Chernotsky S.I. Report on the activities of the Geological Committee for 1911. Proceedings of the Geological Committee, Vol. 31, 1912, 57 pp. (in Russian).

Borzenkova I.I. Climate change in the Cenozoic. Gidrometeoizdat. St. Petersburg, 1992, 247 p., http://library.univer.kharkov.ua/OpacUnicode/index.php?url=/notices/index/IdNotice:5533/Source:default (in Russian).

Grimm E.S. TILIA AND TILIA GRAPH. Pollen spreadsheet and graphics program. 8th International Palynological Congress. Programm and Abstracts. Aix-en-Provence. France, 1992, 56 p.

Dolukhanov P.M. History of the Mediterranean Seas. Nauka. Moscow, 1988, 144 p. (in Russian).

Jafarova J.D. Flounders in sediments of the Maykop series of the Apsheron Peninsula. Dokl. AN Az.SSR, Vol. 22, No. 5, 1966, pp. 73-76 (in Russian).

Karevskaya I.A. Spore-pollen analysis in paleogeographic and geomorphological studies. Paleopalinology. Vol. 1, 2. Nedra. Leningrad, 1966, 351 p., https://sng1lib.org/book/2653629/285321 (in Russian).

Khain V.E. Geotectonic development of the South-Eastern Caucasus. Aznefteizdat (printing house"Kr. Vostok"), 1950, 224 p. (in Russian).

Khalilov D.M. Microfauna and stratigraphy of Paleogene deposits of Azerbaijan. Publishing House of AS of Az.SSR. Baku, 1967, 287 p. (in Russian).

Khalilov G.A.Paleogeomorphology of the Azerbaijani part of the Greater Caucasus in the Oligocene-Early Miocene of the Neotectonic Stage. Vestnik BSU, Series of Natural Sciences. No 1, 2000, pp. 204-211 (in Russian).

Kuznetsova Z.V. Geographic distribution of microfossils in the Upper Maykop of Azerbaijan and their stratigraphic significance. All-Union Paleontological Society, Proceedings of the II session, Moscow, 1959, pp.105-110 (in Russian).

Mirchink M.F. Shurygin A.M. Formation of the structure of Tertiary and Cretaceous deposits of the southeastern plunge of the Caucasus. Nauka. Moscow, 1972, 160 p. (in Russian).

Podobina V.M. Micropaleontology. Textbook. Tomsk State University Publishig House. Tomsk, 1985, 181 p. (in Russian).

Pokrovskaya I.M. Methods of cameral works. Paleopalynology. Nedra. Leningrad, Vol. 1, 1966, pp. 32-50 (in Russian).

Popov S.V., Sychevskaya E.K., Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I., Golovina L.A. Stratigraphy of the Maikop Group and Pteropoda Beds in Northern Azerbaijan. Stratigraphy and Geological Correlation, Vol. 16, No. 6, 2008, pp. 664-677, https://link.springer.com/article/10.1134/S0869593808060063.

Popov S.V., Tabachnikova I.P., Bannikov A.F., Sychevskaya E.K., Pinchuk T.N., Akhmet'ev M.A., Zaporozhets N.I., A. Van den Boon, Krijgsman W., Stolyarov A.S., Krhovsky J. Lectostratotype of the Maykopian series along the Belaya River upstream of the town of Maikop (Western Ciscaucasia) in its Oligocene part. Stratigraphy. Geological correlation, Vol. 27, No. 3, 2019, pp. 70-92, https://doi.org/10.31857/S0869-592X27370-92 (in Russian).

Sachsenhofer R.F., Popov S.V., Akhmetiev M.A., Bechtel A., Gratzer R., Groß D., Horsfield B., Rachetti A., Rupprecht B., Schaffar W.B.H, Zaporozhets N.I. The type section of the Maikop Group (Oligocene-lower Miocene) at the Belaya River (North Caucasus): Depositional environment and hydrocarbon potential. Journal AASP Bulletin, Vol. 101, No. 3, 2017, pp. 289-319, https://www.researchgate.net/deref/ http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1134%2FS0869593808060063.

Salaev S.G. Oligocene-Miocene sediments of the southeastern Caucasus and their oil and gas content.Publishing House of AS of Az.SSR. Baku, 1961, 253 p. (in Russian).

Popov S.V., Sychevskaya E.K., Akhmetiev M.A., Zaporozhets N.I., Golovina L.A. Stratigraphy of the Maikop Group and Pteropoda Beds in Northern Azerbaijan. Stratigraphy and Geological Correlation, Vol. 16, No. 6, 2008, pp. 664-677, https://link.springer.com/article/10.1134/S0869593808060063.

Sachsenhofer R.F., Popov S.V., Akhmetiev M.A., Bechtel A., Gratzer R., Groß D., Horsfield B., Rachetti A., Rupprecht B., Schaffar W.B.H, Zaporozhets N.I.The type section of the Maikop Group (Oligocene-lower Miocene) at the Belaya River (North Caucasus): Depositional environment and hydrocarbon potential. Journal AASP Bulletin, Vol.101, No. 3, 2017, pp. 289-319, https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1134%2FS0869593808060063.

Seidov A.G. Lithology of Maykop formation of Azerbaijan. Publishing House of AS of Az.SSR. Baku, 1962, 282 p. (in Russian).

Zaporozhets N.I. Palynostratigraphy and zonal dissection by dinocysts of the Middle Eocene-Lower Miocene deposits of the Belaya River (Northern Caucasus). Stratigraphy. Geol. Correlation, Vol. 7, No. 2, 1990, pp. 61-78 (in Russian).

Zaporozhets N.I., Akhmetiev M.A. A paleobotanical study of the section of the Maykopian Oligocene-Lower Miocene series along the Belaya River above the town of Maykop Ciscaucasia. Stratigraphy. Geol. Correlation Vol. 25, No. 6, 2017, pp. 61-83, https://elibrary.ru/item.asp?id=30729637 (in Russian).

Zubakov V.A. Global climatic events in the Neogene. Gidrometeoizdat. Leningrad, 1990, 223 p., https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-globalnye-klimaticheskie-sobytiya-neogena.pdf (in Russian).

МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МАЙКОПСКОЙ СЕРИИ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ОКОНЧАНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА (АЗЕРБАЙДЖАН)

Байрамова Ш.Ш.[1], Тагиева Е.Н.[2], Бабазаде А.Д.[1]
[1]Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г.Джавида, 119: shafaqbayram@rambler.ru
[2]Институт географии им. Г.Алиева НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, Азербайджан, просп. Г.Джавида, 115: tagelena@rambler.ru

Резюме. Приведены результаты комплексного палеоботанического **(**пыльца, споры, цисты динофлагеллят**)** и микрофаунистического исследований четырех разрезов майкопской серии пород (олигоцен-нижний миоцен) Шамахы-Гобустанского района Азербайджана (Юго-Восточное окончание Большого Кавказа). По данным микрофауны отбиты верхние и нижние контакты майкопской серии. Нижняя граница майкопских отложений в изученных разрезах с подстилающими эоценовыми отбита по исчезновению таких видов фораминифер, как *Subbotina eocenica irregularis, Globorotalia praebulloides* и резкому сокращению *Globigerina ofisinalis* Subb. Массовое появление *Globigerina tarchansis, Bolivina tarchansis* и др. определило контакт верхней границы майкопа с тарханскими отложениями. Выделено 9 условных палинокомплексов (ПК) и восемь комплексов диноцист, характеризующих все подразделения майкопа, за исключением самых верхних слоев рюппельского и верхов хаттского ярусов. Проведена корреляция разрезов, привязанная к зональной смене диноцист и комплексам микрофауны. Для выделенных ПК характерно преобладание пыльцы древесных пород покрытосеменных растений (*Quercus, Fagus, Juglans, Castanea, Carya, Myrica*) с подчиненным участием голосеменных, в основном Taxodioideae. Переход от нижнего к верхнему майкопу (олигоцен-нижний миоцен) протекал в относительно холодную фазу и характеризуется возрастанием содержания пыльцы березы, ольхи и кипарисовых наряду с участием представителей полтавской *(Palmae, Ginkgo*) и средиземноморской флоры. По изменению содержания доминирующих групп диноцист установлено изменение солености палеобассейна. Увеличение представителей Batiacasphaera указывает на опреснение в раннемайкопское время – ПК II (рюпель) и позднемайкопское время – ПК IX (коцахур), что одновременно сопровождается процентным увеличением содержания пыльцы водно-болотной растительности (Taxodioideae).

***Ключевые слова*:** *майкопская серия, олигоцен, нижний миоцен, палинокомплексы, диноцисты, Шамаха-Гобустан, палиностратиграфия*

BÖYÜK QAFQAZIN CƏNUB-ŞƏRQ QURTARACAĞININ MAYKOP SERİYASININ MİKROPALEONTOLOJİ TƏDQİQATLARI (AZƏRBAYCAN)

Bayramova Ş.Ş.[1], Tağıyeva Y.N.[2], Babazadə A.D.[1]
[1]AMEA Geologiya və Geofizika Institutu
AZ1143, Bakı, Azərbaycan, H.Javid prosp., 119: shafaqbayram@rambler.ru
[2]AMEA H.Əliyev adına Goğrafiya Institutu
AZ1143, Bakı, Azərbaycan, H.Javid prosp., 115: tagelena@rambler.ru

Xülasə. Azərbaycanın Şamaxı-Qobustan rayonunun (Böyük Qafqazın cənub-şərq qurtaracağı) maykop seriyasına aid dörd kəsilişinin paleobotanik (tozcuq, spor, dinoflagelliat sistaları) və mikrofauna tədqiqatlarının nəticəsi göstərilmişdir. Mikrofauna məlumatlarına əsasən maykop seriyasının alt və üst kontaktları vurulmuşdur. Maykop çöküntülərinin alt sərhədi öyrənilən kəsilişlərdə *Subbotina eocenica irregularis, Globorotalia praebulloides* növlərinin yox olması və *Globigerina ofisinalis* Subb.-nın kəskin azalmasına əsasən vurulmuşdur. *Globigerina tarchansis, Bolivina tarchansis* və s. nin kütləvi əmələ gəlməsi maykopun üst sərhədinin tarxan çöküntüləri ilə kontaktını müəyyən etmişdir. Rupel və xatt mərtəbəsinin üst qatları istisna olmaqla, maykopun bütün bölgülərini səciyyələndirən 9 şərti palinokompleks (PK) və 8 dinosist kompleksi ayrılmışdır. Dinosist və mikrofauna komplekslərinin zonal növbələnməsinə əsaslanan korrelyasiya aparılmışdır. Ayrılmış PK üçün örtülütoxumlu ağac bitkiləri (*Quercus, Fagus, Juglans, Castanea, Carya, Myrica*), çılpaqtoxumlu bitkilərdən isə əsasən Taxodioideae fəsiləsinə aid nümayəndələrin tozcuqları üstünlük təşkil edir. Alt maykopun üst maykopa keçidi (oliqosen-alt miosen) nisbətən soyuq fazada baş vermişdir və tozağacı, qızılağac, sərv, palmakimilər və aralıqdəniz florasının tozcuqlarının artması ilə səciyyələnir. Dominant dinosist qruplarının tərkibinin dəyişilməsinə əsasən, paleohövzənin duzluluğunun dəyişilməsi tərtib olunmuşdur. *Batiacasphaera* nümayəndələrinin sayının artması erkən maykop dövründə şirinləşmənin göstəricisidir – PK II (rupel) və gec maykop dövrü – PK IX (kosaxur), eyni zamanda su-gölməçə bitkiləri (Taxodioideae) tozcuqlarının faiz göstəricilərinin artması ilə paralel gedir.

***Açar sözlər**: maykop seriyası, oliqosen, alt miosen, palinokomplekslər, dinosistlər, Şamaxı-Qobustan, palinostratiqrafiya*

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2021

Theory and practice of oil and gas fields development

http://www.journalesgia.com

УТОЧНЕНИЕ ГИДРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧИСТО ТРЕЩИНОВАТОГО ПЛАСТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СМЕСИ

Джалалов Г.И., Мирзоева Д.Р.

Институт Нефти и Газа НАН Азербайджана

AZ1000, Баку, Азербайджан, ул.Ф.Амирова, 9

HYDROTHERMODYNAMIC SIMULATION CLARIFICATION OF A PURELY-FRACTURED STRATA AT FILTRATION OF A GAS-CONDENSATE MIXTURE

Dzhalalov G.I., Mirzayeva D.R.

ANAS Institute of Oil and Gas

9 F.Amirov str., Baku, Azerbaijan, AZ1000

***Keywords**: temperature, identification, gas-condensate reservoir, heat and mass transfer, numerical algorithm*

Summary. In management of development processes, it is important to take into account the relationship of thermodynamic and hydrodynamic phenomena in the reservoir and well, as well as each specific field. The thermal field of a fractured reservoir during field development is little studied. During development, the temperature change in the fractured reservoir will occur mainly due to convective heat transfer and heat exchange between the fluid moving through the fractures and the blocks. In most cases, the practice of oil production deals with multiphase flows. In this regard, it is relevant to study the features of non-stationary heat and mass transfer in the reservoir, taking into account phase transitions and thermodynamic effects in the flow of gas-condensate mixture and on this basis the development of a method for assessing the thermophysical and filtration parameters of the reservoir. Within the framework of models of non-stationary heat and mass transfer during non-stationary filtration of gas-condensate mixture under gas mode, the problem of identification of thermal and filtration properties of rocks in purely fractured medium is solved. The temperature change curves at the borehole bottom are used as the initial information. The sought parameters were specified on the basis of gradient procedures using the methods of optimal control theory. Based on the model, an algorithm was developed and a program for numerical simulation of non-stationary hydrodynamic processes was created. It is shown that taking into account the non-isothermicity of the process one can estimate the desired reservoir parameters, can check the quality of interpretation and reduce the level of uncertainty in conditions of incomplete initial data.

© 2021Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

I. Введение

Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что в залежах углеводородов существует широкое разнообразие термодинамических и реологических условий. Научно обоснованное управление процессами разработки немыслимо без учета взаимосвязи термодинамических и гидродинамических явлений в пласте и скважине, для каждого конкретного месторождения.

Источником информации о тепловых процессах в нефтегазоносных пластах является скважина. В последние годы по мере развития компьютерных технологий и техники глубинных исследований подземные температурные процессы оказались доступными для непосредственных измерений. Температура наряду с давлением определяет термодинамические процессы в пласте. Аналитическая зависимость между изменениями пластовых температур и давлений во времени и пространстве при стационарном режиме работы скважины была установлена в работе (Чекалюк,1975). На основе этой зависимости был развит метод термодинамического зондирования для оценки фильтрационных параметров пласта.

Изменение температурного режима фильтрации в глубинных пластах может быть обусловлено действием температурного эффекта Джоуля-Томпсона, эффекта адиабатического расширения

жидкостей, газов и самого коллектора, эффекта фазовых переходов, а при достижении давления ниже давления насыщения нефти и газа – действием эффекта разгазирования нефти.

Исследованию в процессе разработки влияния изменения температурного режима и термодинамических аномалий для изучения характеристик фильтрационных потоков посвящено достаточное количество работ. Подробный анализ приведен в работах (Абасов и др., 1993; Алишаев и др.,1985; Валиуллин и др.,1998; Вахитов и др.,1984; Духовная, 1984; Карачинский,1975; Паршин, 2012; Рамазанов, 2004; Филиппов и Ахметова, 2011и др.).

Тепловое поле трещиноватого коллектора при разработке месторождений изучено мало.

Механизм изменения температуры в трещиноватых средах весьма сложный в силу особенностей фильтрации флюидов, обусловленной строением рассматриваемых коллекторов (Духовная,1984 и др.).

При разработке изменение температуры в трещиноватом пласте будет происходить преимущественно за счет конвективного переноса тепла и теплообмена между движущейся по трещинам жидкостью и блоками. При этом нельзя принять допущение о мгновенном выравнивании температуры между закачиваемой жидкостью и скелетом трещиноватого пласта как в случае пористой среды. Определение теплового потока при теплообмене между жидкостью и блоками связано с преодолением существенных трудностей при решении задач о тепловом поле трещиновато-пористого коллектора.

Фильтрация в чисто трещиноватых средах качественно такая же, как и в обычных пористых, лишь с небольшими количественными отклонениями (Духовная,1984).

Анализ многочисленных опытных данных показал, что кривая зависимости проницаемости при деформации коллектора с большой степенью точности описывается эмпирической формулой (Абасов и др., 1991):

$$k(p) = k_0 \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\beta_k}, \qquad (1)$$

где $k(p)$ – значение проницаемости при давлении p; k_0– значение проницаемости при начальном пластовом давлении; $\beta_к$ – коэффициент, характеризующий изменение проницаемости в зависимости от пластового давления p.

В большинстве случаев практика нефтедобычи имеет дело с многофазными потоками. Так, например, наиболее сложные течения наблюдаются при исследовании пластов газоконденсатных месторождений. Анализ термограмм скважинных исследований показывает, что методики интерпретаций, ранее разработанные для случаев однофазных потоков, в таких условиях неприменимы.

В связи с этим актуальным является изучение особенностей нестационарного тепло- и массопереноса в пласте с учетом фазовых переходов и термодинамических эффектов в условиях течения газоконденсатной смеси и на этой основе развитие метода оценки теплофизических и фильтрационных параметров пласта.

Цель работы – совершенствование гидродинамических методов расчетов залежей при неизотермических условиях фильтрации газоконденсатной смеси с учетом особенностей процессов тепломассопереноса в деформируемых чисто трещиноватых средах путем воспроизведения свойств объекта.

II. Постановка задачи

Определение термодинамических и фильтрационных параметров для рассмотренной модели фильтрации ставится как вариационная задача минимума функционала $J(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2, \alpha_k)$ по измеренным и рассчитанным значениям температуры на забое скважины в различные моменты времени (Абасов и др., 2012 и др.):

$$J(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2, \alpha_k) = \int_0^{\tau} \left[T(R_q, t) - T_q(t)\right]^2 dt + \\ + \varepsilon_0(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \eta_1^2 + \eta_2^2 + \alpha_k^2) \qquad (2)$$

где $T(R_c, t)$ и $T_c(t)$ – соответственно измеренные и расчетные значения температуры на забое скважины; ε_0 – параметр регуляризации; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2$ – соответственно коэффициенты Джоуля-Томсона и адиабатические коэффициенты жидкой и газовой фаз, τ – срок разработки пласта.

Функционал $J(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2, \alpha_k)$ является показателем качества и определяет степень точности математической модели, описывает реальный физический процесс, характеризующийся значениями параметра $T_c(t)$. При этом показатели качества управления определяются по параметрам $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2$ и α_k

Забойная температура $T(R_c, t)$ рассчитывается согласно краевой задаче, описывающей пространственную неизотермическую фильтрацию газоконденсатной смеси к центральной скважине с радиусом R_c эксплуатируемого пласта с дебитом $q(t)$. Внешняя граница пласта $r = R_k$ считается непроницаемой. До пуска скважины в эксплуатацию во всех точках пласта давление – P_0, конденсатонасыщенность – S_0, а температура – T_0.

Предполагается:

–порода термически изотропная;

–капиллярные эффекты не учитываются;

–скважина совершенная и по характеру, и по степени вскрытия, полностью охватывает мощность горизонтального пласта достаточно большой длины;

–граница кровля-подошва пласта непроницаема;

–фильтрация газа и жидкого конденсата подчиняется закону Дарси;

–влияние изменения температуры пласта на параметры, характеризующие пласт и жидкость, не учитывается;

–температура пористой среды и флюида одинакова в любой точке пласта;

–плотность и вязкость конденсата и газовой фазы зависят только от давления;

–влияние переноса тепла через кровлю и подошву к пластовой температуре не учитывается;

–особенности теплопередачи среды и баротермических эффектов на температурное поле пласта учитываются.

В такой постановке задача идентификации параметров $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2$ иα_k приводится к выбору таких значений, которые бы дали минимум функционала

$$J(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \eta_1, \eta_2, \alpha_k) \rightarrow \min.$$

Расчетное значение температуры $T(R_c, t)$определяется из решения следующей краевой задачи (Абасов и др., 1991; Абасов и др., 2012; Алишаев и др.,1985; Карачинский,1975):

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[A(\alpha_k, p, s, T) r \frac{\partial p}{\partial r}\right] = \frac{\partial B(p,s,T)}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[C(\alpha_k, p, s, T) r \frac{\partial p}{\partial r}\right] = \frac{\partial D(p,s,T)}{\partial t}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[C^{**}(p,s,T)] - E(\alpha_k, p, s, T)\frac{\partial p}{\partial r}\frac{\partial T}{\partial r} - G(\alpha_k, p, s, T)\left(\frac{\partial p}{\partial r}\right)^2 - M(p,s,T)\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{r}\left(\frac{\partial}{\partial r}(r\lambda^*(p,s,T)\frac{\partial T}{\partial r})\right), \quad (5)$$

$$p(r,t)\big|_{t=0} = p_0,\ s(r,t)\big|_{t=0} = s_0,\ T(r,t)\big|_{t=0} = T_0, \quad (6)$$

$$2\pi h\left[A(\alpha_k, p, s, T) + C(\alpha_k, p, s, T)\right] r \frac{\partial p}{\partial r}\bigg|_{r=R_q} = q(t), \quad (7)$$

$$-\lambda^* \frac{\partial T}{\partial r}\bigg|_{r=R_q} = \alpha^*(T - T_q), \quad (8)$$

$$T(r,t)\big|_{r=R_k} = T_0, \quad (9)$$

где

$$A(\alpha_k, p, s, T) = k(p)\left[\frac{F_q(s)p[1 - C(p)\gamma(p)]}{\mu_q(p)z(p)p_{at}} \cdot \frac{293}{T + 273} + \frac{F_k(s)S_k(p)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right];$$

$$C(\alpha_k, p, s, T) = k(p)\left[\frac{F_q(s)pC(p)}{\mu_q(p)z(p)p_{at}} \cdot \frac{293}{T + 273} + \frac{F_k(s)}{\mu_k(p)a_k(p)}\right];$$

$$B(p,s,T) = Q(p,T) + sN(p,T);$$

$$N(p,T) = m\left[\frac{S_k(p)}{a_k(p)} - \frac{p[1 - C(p)\bar{\gamma}(p)]}{z(p)p_{at}} \cdot \frac{293}{T + 273}\right];$$

$$Q(p,T) = m\frac{p[1 - C(p)\bar{\gamma}(p)]}{z(p)p_{at}} \cdot \frac{293}{T + 273};$$

$$D(p,s,T) = \overline{M}(p,T) + s\overline{B}(p,T);$$

$$\overline{B}(p,T) = m\left[\frac{1}{a_k(p)} - \frac{pC(p)}{z(p)p_{at}} \cdot \frac{293}{T + 273}\right];$$

$$\overline{M}(p,T) = m\frac{pc(p)}{z(p)p_{at}} \cdot \frac{293}{T + 273};$$

$$E(\alpha_k, p, s, T) = k(p)\left[\frac{F_q(s)c_2(p,T)\rho_2(p,T)}{\mu_q(p)} + \frac{F_k(s)c_1(p,T)\rho_1(p,T)}{\mu_k(p)}\right];$$

$$G(\alpha_k, p, s, T) = k(p)\left[\frac{F_q(s)c_2(p,T)\rho_2(p,T)}{\mu_q(p)}\varepsilon_2(p,T) + \frac{F_k(s)c_1(p,T)\rho_1(p,T)}{\mu_k(p)}\varepsilon_1(p,T)\right];$$

$$M(p,s,T) = m[c_2(p,T)\rho_2(p,T)(1-s)\eta_2(p,T) + c_1(p,T)\rho_1(p,T)s\eta_1(p,T)];$$

$$C^*(p,s,T) = m\sum_{i=1}^{2} s_i c_i \rho_i + (1-m)c_0\rho_0;$$

$$C^{**} = C^*(p,s,T)T;$$

$$\lambda^*(p,s,T) = m\sum_{i=1}^{2} s_i\lambda_i + (1-m)\lambda_{l0};\ \ \sum_{i=1}^{2} s_i = 1;$$

$p(r,z,t)$ – давление; $s(r,z,t)$ – конденсатонасыщенность; $T(r,z,t)$ – температура; $F_г(s)$, $F_k(s)$ – соответственно относительные фазовые проницаемости газовой и жидкой фаз; $c(p)$ – количество конденсата в газовой фазе; $\bar{\gamma}(p)$ – отношение удельных весов конденсата в жидкой и газовой фазах при нормальных условиях; $S_k(p)$ – количество газа, растворенного в единице объема жидкости; $\alpha_k(p)$ – объемный коэффициент пористости горный породы пласта; к – коэффициент абсолютной проницаемости горной породы пласта;

t – время; p_{atm}– атмосферное давление; β,$z(p)$ – соответственно коэффициенты температурной поправки и сверхсжимаемости газовой фазы; $\mu_г(p)$, $\mu_k(p)$ – соответственно вязкости газовой и жидкой фаз; r,z – пространственные координаты; $i = 1$ – индекс, относится к конденсату; $i = 2$ – к газу; c_i – удельная теплоемкость фаз; ε_i – коэффициент Джоуля-Томсона; ρ_i – плотность фаз; λ_i – теплопроводность -ой фазы; C^* – общая теплоемкость; λ^*– общий коэффициент теплопроводности; η_i – адиабатический коэффициент i-ой фазы; ρ_i – плотность породы.

Обратная задача решается с помощью сопряженного градиентного метода с использованием функциональных производных от функционала (1) по параметрам ε_1, ε_2, η_1, η_2 и $\alpha_к$.

Оптимальные значения параметров

$$\alpha_1 = \varepsilon_1\,,\ \alpha_2 = \varepsilon_2\,,\ \alpha_3 = \eta_г, \alpha_4 = \eta_2, \alpha_4 = \beta_k$$

определяются по следующей итерационной формуле (Алишаев и др.,1985; Абасов и др., 2012 и др.):

$$\alpha_i^{k+1} = \alpha_i^k - \lambda_k \frac{\partial J(\alpha_1^k,\dots,\alpha_4^k)}{\partial \alpha_i}, \quad i = \overline{1,5} \qquad (10)$$

где $n = 0, 1, 2$ ...– номера итерации, λ_n– шаг в направлении градиента.

Таким образом, алгоритм решения обратной задачи по определению термодинамических параметров будет в следующем виде:
задается начальное значение параметра $\alpha_l\,(l = 1{,}5)$, прямая задача (3) – (9) по известной [0,τ] истории разработки пласта решается методом конечных разностей и расчетным путем определяется распределение пластового давления, температуры и конденсатонасыщенности для различных моментов времени (Азиз и Сеттари, 1982). Затем на основании известных решений решается сопряженная краевая задача. По результатам решений прямой и сопряженной задачи определяется значение градиента функционала (2).

Параметры оптимизации находятся путем итерации из (10).

Итерационная процедура определения параметров продолжается до тех пор, пока разность значений функционала для двух соседних итераций не обеспечит заданную точность.

III. Анализ результатов расчетов

Алгоритм идентификации термодинамических и фильтрационных параметров апробирован на пластовой модели, которая характеризуется начальными данными, приведенными в таблице.

Таблица

Начальные данные физических параметров

Физические параметры	Единицы измерения	Численные значения и выражения
T_0	^{0}C	65
p_0	МПа	40
s_0		0
q	м^3/сут	$1\cdot10^6$
m_0		0.2
R_4	м	1000
H	м	60
r_c	м	0.1
λ^0	Дж·м^2/(кг·с·^{0}C)	2.28
C^0	Дж/(кг·^{0}C)	1800
c_1	Дж/(кг·^{0}C)	1880
c_2	Дж/(кг·^{0}C)	3200
$\propto$	Вт/(м$^{2.0}$C)	10
k_0	м^2	$0.05\cdot10^{-12}$
ρ_1	кг/м^2	691.997
ρ_2	кг/м^2	230.666
ρ_l	кг/м^2	2200
$\mu_г(p)$	мПа·с	$0.0126+0.257\cdot10^{-4}\rho+0.1633\cdot10^{-7}\rho^2$
$\mu_c(p)$	мПа·с	$0.6-0.3295\cdot10^{-2}\rho+0.1044\cdot10^{-4}\rho^2-0.1558\cdot10^{-7}\rho^3+0.85\cdot10^{-11}\rho^4$
z(p)		$1.0-0.1162\cdot10^{-2}\rho+0.3744\cdot10^{-5}\rho^2-0.2965\cdot10^{-9}\rho^3-0.1975\cdot10^{-11}\rho^4$
c(p)	м^3/м^3	$0.637\cdot10^{-4}-0.5057\cdot10^{-6}\rho+0.6265\cdot10^{-8}\rho^2-0.1595\cdot10^{-10}\rho^3+0.13\cdot10^{-13}\rho^4$
$a_k(p)$	м^3/м^3	$1.116+0.1157\cdot10^{-2}\rho+0.23674\cdot10^{-6}\rho^2$
$S_k(p)$		0.814286ρ
$\bar{\gamma}(p)$		$194.899-0.42974\cdot10^{-1}\rho+0.1335\cdot10^{-4}\rho^2-0.6053\cdot10^{-6}\rho^3+0.622\cdot10^{-9}\rho^4$
$F_г(s)$		$-0.0396s^3+0.8978\ s^2-1.7303s+0.867$
$F_k(s)$		$0.8712\ s^2-0.0326s+0.0045$

При решении задачи значение коэффициентов в первом приближении приняты:

$$\varepsilon_г = 0.25 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};\ \varepsilon_к = 0.1 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};$$
$$\eta_г = 0.12 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};\ \eta_к = 0.3 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};$$
$$\beta_к = 0.1 \frac{1}{МПа}$$

Для получения действительных значений

$$\varepsilon_г = 0.02 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};\ \varepsilon_к = -0.3 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};$$
$$\eta_г = 0.02 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};\ \eta_к = 0.03 \cdot 10^{-5} \frac{С^0}{Па};$$

$\beta_к = 0.35 \frac{1}{МПа}$ с заданной точностью потребовалось шестнадцать итераций (рис.1.), при первой итерации J= 0.913. В конце процесса итерации J=0.000153.

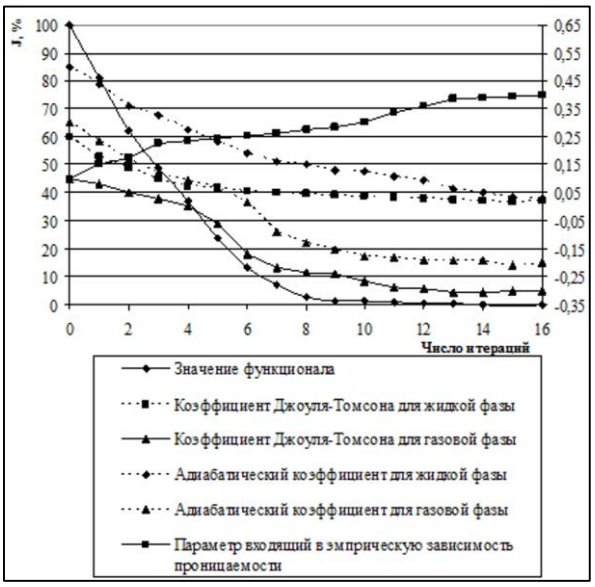


Рис. 1. Определение точного значения параметров в зависимости функционала от процесса итерации

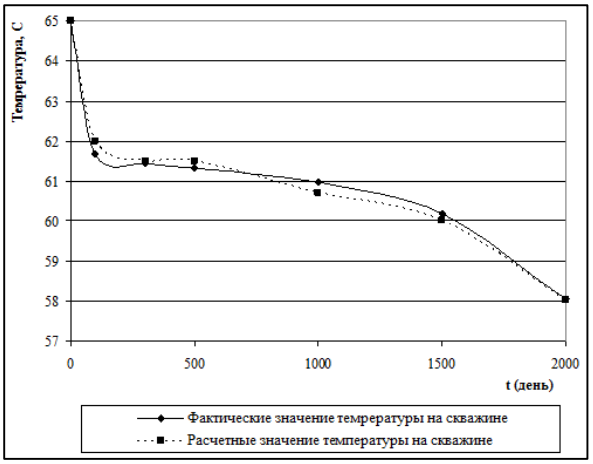


Рис. 2. Изменение во времени фактических и расчетных значений температуры в скважине

Для рассмотренного случая при сохранении аналогичных значений начальных данных дано сравнение значений изменения идентифицируемой функции проницаемости от давления со значениями этой величины для изотермического процесса (рис. 3).

Во втором случае идентификация функции проницаемости проводилась в соответствии с согласованностью расчетных и фактических значений давления в пласте (рис.4).

По сравнению с изотермическим процессом при неизотермическом процессе установлена еще большая интенсивность темпа падения проницаемости деформируемого пласта.

При неизотермическом процессе фильтрации за счет определенного снижения температуры в пласте более интенсивное оседание ретроградного конденсата в призабойной зоне уменьшает фазовую проницаемость по газу и конденсату, что приводит, по сравнению с изотермической фильтрацией, к уменьшению общей проницаемости пласта с ещё большей скоростью (рис.3).

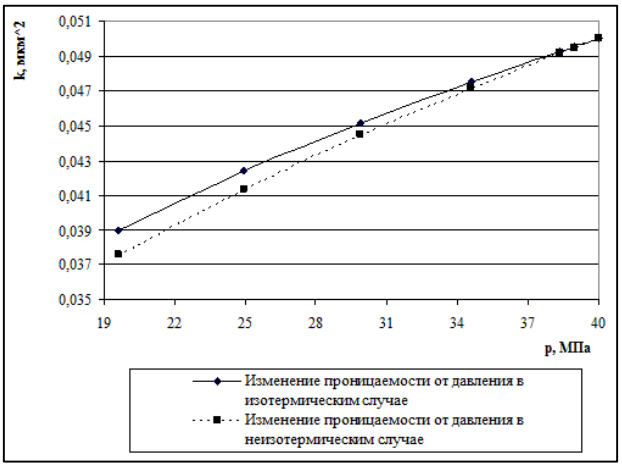


Рис. 3. Зависимость функция проницаемости от давления

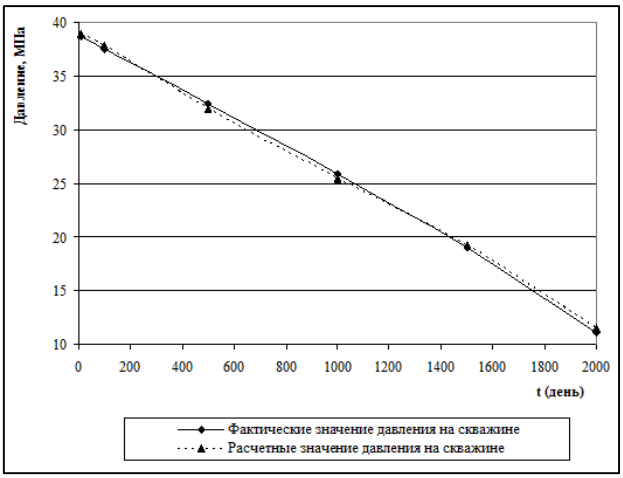


Рис. 4. Изменение во времени фактических и расчетных значений давления в скважине

Выполненные расчетные эксперименты показывают принципиальные возможности совместного определения проницаемости породы и термодинамических параметров при фильтрации газоконденсатной смеси.

Таким образом, предлагается вариационный метод осуществления соответствующей реальным условиям идентификации термодинамических и фильтрационных параметров породы по изменениям фактических данных температуры пласта при его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

Абасов М.Т., Азимов Э.Х., Кулиев А.М. Гидротермодинамические исследования скважин глубокозалегающих месторождений. Азербайджанское Государственное Издательство. Баку, 1993,170 с.

Абасов М.Т., Джалалов Г.И., Ибрагимов Т.М., Мамедов А.М., Мамиев В.С. Гидрогазодинамика глубокозалегающих деформируемых коллекторов месторождений нефти и газа. Труды института геологии НАНА, No. 39, Нафта-Пресс. Баку, 2012, 530 с.

Абасов М.Т., Расулов М.А., Фейзуллаев Х.А. Численное решение задач фильтрации газоконденсатной смеси. Изв. АН Азербайджана. Серия наук о земле, 1991, No. 1-2, с. 21-32.

Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. Пер. с английского. Недра. Москва, 1982, 407 с.

Алишаев М.Г., Розенберг М.Д., Теслюк Е.В. Неизотермическая фильтрация при разработке нефтяных месторождений. Недра. Москва, 1985, 271 с.

Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Шарафутдинов Р.Ф. Термометрия пластов с многофазными потоками. Изд-во Башк. Ун-та. Уфа, 1998, 115 с.

Вахитов Г.Г., Гаттенбергер Ю.П., Лутков В.А. Геотермические методы контроля за разработкой нефтяных месторождений. Недра. Москва, 1984, 240 с.

Духовная П.А. Совершенствование методов гидродинамических расчетов неизотермической фильтрации воды при проектировании заводнения нефтяных залежей в трещиноватых коллекторах. Дис. на соискание уч. степени к.т.н. Фонды Северо-Кавказского Государственного научно-исследовательского и проектного института нефтяной промышленности "СевКавНИПИнефть", Грозный, 1984, 230 с.

Карачинский В.Е. Методы геотермодинамики залежей газа и нефти. Недра. Москва, 1975, 168 с.

Паршин А.В. Исследование нестационарных температурных полей в нефтегазовых пластах применительно к термометрии скважин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.Фонды Башкирского Гос.Ун-та, Уфа, 2012, 23 с.

Рамазанов А.Ш. Теоретические основы термогидродинамических методов исследования нефтяных пластов. Дис. на соискание уч. степени д.т.н. Фонды Башкирского Гос.Ун-та, Уфа, 2004, 269 с.

Филиппов А.И., Ахметова О.В. Температурное поле в пласте и скважине. Гилем. Уфа, 2011, 329 с.

Чекалюк Э.Б. Термодинамика нефтяного пласта. Недра. Москва, 1975, 240 с.

REFERENCES

Abasov M.T., Azimov E.Kh., Kuliev A.M. Hydrothermodynamic studies of wells in deep-seated fields. Azerbaijan State Publishing House. Baku, 1993, 170 p. (in Russian).

Abasov M.T., Jalalov G.I., Ibrahimov T.M., Mamedov A.M., Mamiyev V.S. Hydro-gas-dynamics of deep-seated deformable reservoirs of oil and gas fields. Proceedings of the Geology institute of Azerbaijan National Academy of sciences, No. 39, Nafta-press. Baku, 2012, 530 p. (in Russian).

Abasov M.T., Rasulov M.A., Feyzullaev Kh.A. Numerical solution of problems of gas-condensate mixture filtration. Proceedings of the Academy of Sciences of Azerbaijan Republic, Sciences of Earth Series, 1991, No 1-2, pp. 21-32 (in Russian).

Aziz H., Settari E. Mathematical modeling of reservoir systems. Trans. from English. Nedra. Moscow, 1982, 407 p. (in Russian).

Alishaev M.G., Rosenberg M.D., Teslyuk E.V. Non-isothermal filtration in the development of oil fields. Nedra. Moscow, 1985, 271 p. (in Russian).

Chekalyuk E.B. Thermodynamics of the oil reservoir. Nedra. Moscow, 1975, 240 (in Russian).

Dukhovnaya P.A. Improvement of methods of hydrodynamic calculations of non-isothermal water filtration in the design of water flooding of oil reservoirs in fractured reservoirs. Thesis for the degree of candidate of technical sciences. Funds of the North Caucasus State Research and Design Institute of the Oil Industry "SevKavNIPIneft",Grozny,1984, 230 p. (in Russian).

Filippov A.I., Akhmetova O.V. Temperature field in the reservoir and the well. Gilem. Ufa, 2011, 329 p. (in Russian).

Karachinsky V.E. Methods of geothermodynamics of gas and oil deposits. Nedra. Moscow, 1975, 168 p. (in Russian).

Parshin A.V. Research of non-stationary temperature fields in oil and gas reservoirs as applied to well thermometry. Abstract of the thesis for the degree of candidate of technical sciences. Funds of Bashkir State University, Ufa, 2012, 23 p. (in Russian).

RamazanovA.Sh. Theoretical bases of thermohydrodynamic methods of oil reservoirs research. Thesis for the degree of doctor of technical sciences. Funds of Bashkir State University, Ufa, 2004, 269 p. (in Russian).

Vakhitov G.G., Gattenberger Yu.P., Lutkov V.A. Geothermal methods of control over the development of oil fields. Nedra. Moscow, 1984, 240 p. (in Russian).

Valiullin R.A., Ramazanov A.Sh., Sharafutdinov R.F. Thermometry of reservoirs with multiphase flows. Publishing house of Bashk. University. Ufa, 1998, 115 p. (in Russian).

УТОЧНЕНИЕ ГИДРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧИСТО ТРЕЩИНОВАТОГО ПЛАСТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗОКОНДЕНСАТНОЙ СМЕСИ

Джалалов Г.И.,Мирзоева Д.Р.

Институт нефти и газа НАН Азербайджана
AZ1000, Азербайджан, Баку, ул.Ф.Амирова, 9

Резюме. При управлении процессами разработки необходимо учитывать взаимосвязи термодинамических и гидродинамических явлений в пласте и скважине, а также конкретное месторождение. Тепловое поле трещиноватого коллектора при разработке месторождений изучено мало. При разработке изменение температуры в трещиноватом пласте будет происходить преимущественно за счет конвективного переноса тепла и теплообмена между движущейся по трещинам жидкостью и блоками. В большинстве случаев практика нефтедобычи имеет дело с многофазными потоками. В связи с этим актуальным является изучение особенностей нестационарного тепло- и массопереноса в пласте с учетом фазовых переходов и термодинамических эффектов в условиях течения газоконденсатной смеси и на этой основе развитие метода оценки теплофизических и фильтрационных параметров пласта.

Цель работы – совершенствование гидродинамических методов расчетов залежей при неизотермических условиях фильтрации газоконденсатной смеси с учетом особенностей процессов тепломассопереноса в деформируемых чисто трещиноватых средах путем воспроизведения свойств объекта.

В рамках моделей нестационарного тепломассопереноса при нестационарной фильтрации газоконденсатной смеси при газовом режиме, в чисто трещиноватой среде решена задача идентификации теплофизических и фильтрационных свойств горных пород. В качестве исходной информации используются кривые изменения температуры на забое скважины.

Искомые параметры уточняются на основе градиентных процедур с использованием методов теории оптимального управления. На основе модели разработан алгоритм и создана программа для численного моделирования нестационарных гидродинамических процессов. Показано, что учет неизотермичности процесса позволяет оценивать искомые параметры пласта и проверку качества интерпретации, снизить уровень неопределенности в условиях неполноты исходных данных.

Ключевые слова: *температура, идентификация, газоконденсатный пласт, тепломассообмен, численный алгоритм*

QAZ-KONDENSAT QATIŞIĞININ SÜZÜLMƏSİ ŞƏRAİTİNDƏ XALİS ÇATLI LAYIN HİDROTERMODİNAMİKİ MODELİNİN DƏQİQLƏŞDİRİLMƏSİ

Calalov Q.İ., Mirzəyeva D.R.
AMEA-nın Neft və Qaz İnstitutu
AZ1000, Azərbaycan, Bakı şəh., F.Əmirov küç., 9

Xülasə. Hər bir konkret yataq üçün işlənilmə proseslərini idarə edərkən, lay və quyuda baş verən həm termodinamik,həm də hidrodinamik proseslərin nəzərə alınması vacibdir.

İşlənilmə prosesində layın istilik rejiminin dəyişkənliyinin və bu zaman yaranan istilik anomaliyalarının süzülmə axınlarına təsirinin öyrənilməsinə kifayət qədər elmi işlər həsr edilmişdir.

Çatlı lay mühitində temperaturun dəyişmə mexanizmi layların quruluşundan asılı olaraq mayenin süzülmə xüsusiyyətlərinə görə çox mürəkkəbdir.

İşlənilmə zamanı çatlı laylarda temperatur dəyişikliyi əsasən çat və bloklar boyunca hərəkət edən maye arasında konvektiv istilik ötürülməsi nəticəsində baş verir.

Əksər hallarda, neftçıxarma təcrübəsi çoxfazalı axınlarla bağlıdır. Məsələn, ən mürəkkəb axınlar qaz-kondensat yataqlarının istismarı zamanılaylarda müşahidə olunur.

Bu baxımdan, qaz-kondensat qarışığının axını şəraitində faza keçidlərini və yaranan termodinamik effektləri nəzərə alaraq laylardakı qeyri-stasionar istilik və kütlə ötürülməsinin xüsusiyyətlərini öyrənmək və bunun əsasında laylarda teplofiziki və süzülmə parametrlərinin qiymətləndirilməsi aktuallıq təşkil edir.

İşin məqsədi deformasiyaya uğramış sırf çatlı mühitlərdə istilik və kütlə ötürmə proseslərinin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla qaz-kondensat qarışığının qeyri-izotermik süzülməsi şəraitində yataqların hidrodinamiki modelinin ədədi həll üsullarının təkmilləşdirilməsindən ibarətdir.

Məqalədə kollektoru deformasiya olunan layda qaz-kondensat qatışığının qaz rejimində quyuya qərarlaşmamış süzülməsi şəraitində yaranan termohidrodinamiki effektlərin layın kollektor və temperatur xüsusiyyətlərinə təsiri öyrənilmişdir. Verilmiş alqoritm əsasında ədədi həll üsulu seçilmiş və proqram paketi yaradılaraq çoxsaylı riyazi eksperimentlər aparılmışdır. Alınmış nəticələr quyu məlumatlarının etibarlılığının və dəqiqliyinin artırılması üçün istifadə edilə bilər.

Açar sözlər: *temperatur, qaz-kondensat layı, istilik-kütlə öturmə, ədədi alqoritm*

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2021

Theory and practice of oil and gas fields development

http://www.journalesgia.com

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НАНОЧАСТИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ ПИКЕРИНГА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Сулейманов Б.А., Велиев Э.Ф., Алиев А.А.

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR

AZ1122, Азербайджан, Баку, ул. Г.Зардаби, 88A: Baghir.Suleymanov@socar.az

IMPACT OF NANOPARTICLE STRUCTURE ON THE EFFECTIVENESS OF PICKERING EMULSIONS FOR EOR APPLICATIONS

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Aliyev A.A.

Oil gas scientific research project Institute, SOCAR

H.Zardabi str. 88A, Baku, Azerbaijan, AZ 1122: Baghir.Suleymanov@socar.az

***Keywords**: Pickering emulsion, mesoporous nanoparticles, enhanced oil recovery, mature oilfields*

Summary. Today, the amount of residual oil in the world averages more than 70% of the original geological reserves. With increasing number of mature oil fields, exploitation of these reserves becomes an important task. In this context, Enhanced oil recovery (EOR) techniques, represented by a wide range of modern technologies, are becoming more and more important year by year. The majority of implementations are occupied by physical and chemical EOR methods based on the injection of chemical compounds into formations. One of the most promising and effective technologies of mentioned methods is "oil-in-water" inverse emulsions. However, this technology has serious limitations for implementation in high temperature reservoirs. This issue requires development of new emulsion types which overcome these drawbacks. One of the promising technologies in this regard is so-called Pickering emulsions application. In this research Pickering emulsions composition stabilized by SiO_2 nanoparticles had been obtained. The impact of nanoparticles structure was evaluated within the frame of emulsion stabilization. To this end, experiments were performed to determine the zeta potential, particle size distribution of the dispersed phase, rheological properties at different temperature conditions. Sand pack displacement experiments showed a high potential of oil recovery increase while practical implementation of the proposed compositions.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

На сегодняшний день количество остаточной нефти в мире по разным подсчетам составляет в среднем более 70% от первоначальных геологических запасов (Green and Willhite, 1998; Mansour et al., 2017; Muggeridge et al., 2006). На фоне увеличивающегося фонда месторождений, находящихся на поздней стадии разработки введение в эксплуатацию данных запасов является достаточно актуальной задачей (Sheng, 2017; Xu et al., 2020; Shafiai, Gohari, 2020). В этой связи методы увеличения нефтеотдачи (МУН), представленные достаточно широким спектром современных технологий, из года в год приобретают все большее значение (Suleimanov et al., 2017; Сулейманов и др., 2019b; Сулейманов и др., 2014; Велиев, 2020; Suleimanov et al., 2019a). Доминирующее большинство по количеству внедрений занимают физико-химические МУН, основанные на закачке в пласт различных химических соединений. Одной из наиболее перспективных и эффективных технологий данной группы является применение обратных эмульсий типа "масло в воде". Однако, несмотря на ее эффективность, она имеет серьезные ограничения по внедрению в условиях высоких пластовых температур. Причиной является то, что с увеличением температуры растёт коалесценция дисперсной фазы, что в свою очередь приводит к ухудшению фильтрационных характеристик, вязкоупругих свойств на границе раздела фаз и падению значений кэффициента извлечения нефти (КИН) (Fortuny et. al., 2007).

Вышеописанная проблематика требует разработки новых типов эмульсионных систем, лишенных изложенных недостатков. Перспек-

тивным в этом отношении является применение с этой целью так называемых эмульсий Пикеринга, то есть эмульсий, стабилизированных твердыми частицами, которые, адсорбируясь на границе раздела фаз, предотвращают коалесценцию дисперсной фазы, играя роль электростатического или стерического барьера (Duffus et al., 2016). Применение в качестве твердых частиц наноразмерных соединений, обладающих частичной смачиваемостью в каждой из фаз (т.е. нефти и воде), существенно изменяет течение ряда поверхностных явлений (Pickering, 1907; Binks, 2002).

Несмотря на хорошую изученность эмульсий Пикеринга, применение их для повышения нефтеотдачи пластов практически не рассматривалось. Физико-химические свойства, в значительной степени влияющие на эффективность применения эмульсий в МУН, такие как процесс эмульгирования, подбор концентрации твердых частиц, распределение размеров частиц дисперсной фазы, термическая стабильность, реологические показатели, в пластовых условиях не были достаточно детально изучены.

В рамках представленного исследования были получены эмульсии Пикеринга, стабилизированные наночастицами SiO_2, и рассмотрено влияние структуры используемых наночастиц на стабильность полученных эмульсий. С этой целью были проведены эксперименты по определению дзета потенциала, распределению размеров частиц дисперсной фазы, изучены реологические свойства при различных температурных условиях. Эксперименты по вытеснению нефти, проведенные на насыпных моделях пласта, показали высокий потенциал увеличения коэффициента извлечения нефти (КИН) при практическом внедрении предложенных составов.

Экспериментальная часть

Поверхностно активное вещество (ПАВ). В качестве поверхностно-активного вещества был использован анионоактивный ПАВ додецилбензолсульфонат натрия со значением гидрофильно-липофильного баланса (HLB), равным 9.5.

Полимер. В качестве полимера был использован частично гидролизованный полиакриламид со степенью гидролиза в 15%. Выбор степени гидролиза был обусловлен тем фактом, что с увеличением степени гидролиза полиакриламида происходит падение вязкости водного раствора в присутствии двухвалентных ионов. Данный эффект трудно контролируется в условиях высокой минерализации пластовых вод и негативно сказывается на процессе вытеснения нефти. Применение водорастворимого полимера дополнительно увеличило стабильность эмульсий в силу формирования устойчивой трехмерной полимерной структуры путем необратимого связывания полимерных цепей с наночастицами.

Нефть. Для экспериментов по вытеснению нефти была использована нефть с месторождения Азери-Чираг-Гюнешли, основные свойства которой приведены в табл. 1, 2.

Деионизированная вода. Для приготовления всех водных растворов использовалась деионизированная вода.

Наночастицы SiO_2 с мезопористой структурой. Средний размер частиц – 100 нм, площадь удельной поверхности – 742 $м^2/г$, коэффициент вариации – 14.6 %. Данный продукт был приобретен у компании NanoComposix, США.

Таблица 1

Основные месторождения Азери-Чираг-Гюнешли

Вязкость API	Вязкость нефти в пластовых условиях, (сП)	Вязкость нефти при температуре 20^0C, (сП)	Тип коллектора	Давление насыщения, (МПа)
32	0.96	4	песчаник	23.3
Мощность пласта, (м)	Средняя проницаемость, (мД)	Средняя пористость	Температура, ^{0}C	Текущее давление пласта, (МПа)
66.5	195	27%	62	16

Таблица 2

Свойства нефти и пластовой воды

Наименование	Нефть	Пластовая вода
Вязкость в скважинных условиях (сП)	0.96	0.48
Вязкость при 20^0C, (сП)	4	1.001
Плотность, ($кг/м^2$)	705	1075

Наночастицы SiO_2 с цельной структурой. Средний размер частиц – 100 нм, площадь удельной поверхности – 25-35 $м^2/г$, коэффициент вариации – 16.2 %. Данный продукт был приобретен у компании Nano Composix, США.

Синтез эмульсий Пикеринга. Процесс приготовления эмульсии Пикеринга состоял из трех этапов:

- **1 Этап.** Водный раствор полимера смешивали с ПАВ в течение 30 мин при температуре в 25^0C. Концентрация ПАВ выбиралась согласно значению критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Применяемые в исследовании концентрации ПАВ превышали ККМ на 15% с целью нивелировать потери ПАВ при адсорбции.
- **2 Этап.** Полученный на первом этапе раствор смешивался с 15 мл синтетического минерального масла (плотность 0.75 г/мл) для получения 100 мл эмульсии.
- **3 Этап.** На данном этапе добавляли наночастицы SiO_2 при постоянном перемешивании в течение 30 мин и температуре 25^0C.

Измерение поверхностного натяжения и критической концентрации мицеллообразования. Значения поверхностного натяжения и критическая концентрация мицеллобразования (ККМ) определялись на тензиометре компании Kruss модель DSA30 методом висячей капли. ККМ определяли как минимальное значение концентрации ПАВ, превышение которой не приводит к изменениям значения поверхностного натяжения.

Определение размера капель дисперсной фазы в эмульсиях и измерение дзета-потенциала. Размер капель синтезированной эмульсии Пикеринга и дзета потенциал определяли методом динамического рассеяния света (DLS) с использованием прибора Zetasizer (Nano-S90, Nanoseries Malvern Panalytical). Длина волны лазера и угол рассеяния составляли 235 нм и 90^0 соответственно.

Реологические измерения. Вязкость и вязкоупругие свойства эмульсий измеряли с помощью реометра Physica MCR 301 компании Anton Paar GmbH, Австрия. Определение реологических показателей проводилось при скоростях сдвига от 1 до 1000 $с^{-1}$.

Вытеснение нефти на насыпных моделях пласта. Данная серия экспериментов проводилась согласно методике, описанной в работе (Suleimanov et al., 2020). Схематическое изображение насыпной модели показано на рис. 1. Пористость насыпной модели составила 24.3%, а абсолютная проницаемость – 950 мД. Эмульсия закачивалась оторочкой в 0.5 поровых объемов.

Результаты и обсуждение

Измерения поверхностного натяжения и определение критической концентрации мицеллообразования. Критическая концентрация мицеллообразования была отмечена при 0.035 масс.% содержании ПАВ в растворе (рис. 2). С увеличением температуры проведения измерений наблюдалось падение значений поверхностного натяжения исследуемых образцов в силу уменьшения когезионных сил с ростом тепловой активности.

Добавка наночастиц также привела к снижению значений поверхностного натяжения полученных эмульсий на 15-35% в зависимости от их структуры (табл.3). Частицы с мезопористой структурой в сравнении с цельной имеют большую площадь удельной поверхности и меньшую плотность, что, по всей видимости, и приводит к их повышенной концентрации на границе раздела фаз. В свою очередь это создает более ярко выраженный «эффект кувшинки», описанный в работе (Suleimanov et al., 2011). Адсорбированные на границе раздела флюид-воздух наночастицы снижают поверхностную энергию эмульсии Пикеринга, уменьшая тем самым межфазную область. Безусловно, полученные результаты имеют синергический характер в силу наличия ПАВ в эмульсионной системе.

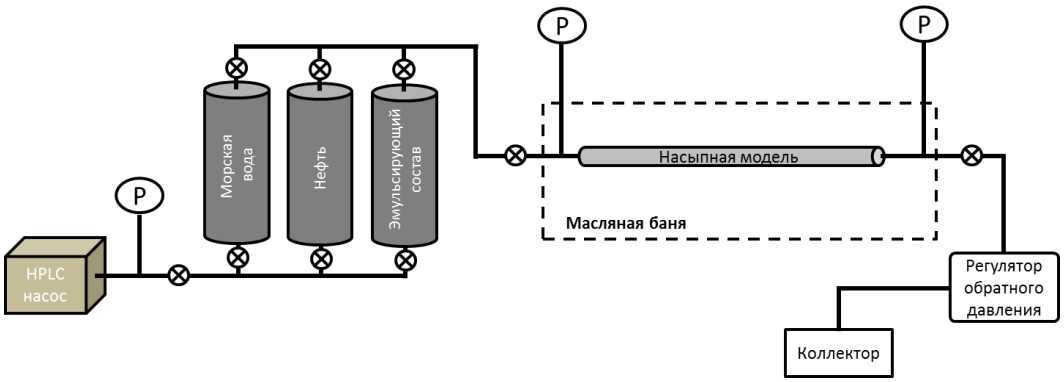


Рис. 1. Схематическое изображение насыпной модели

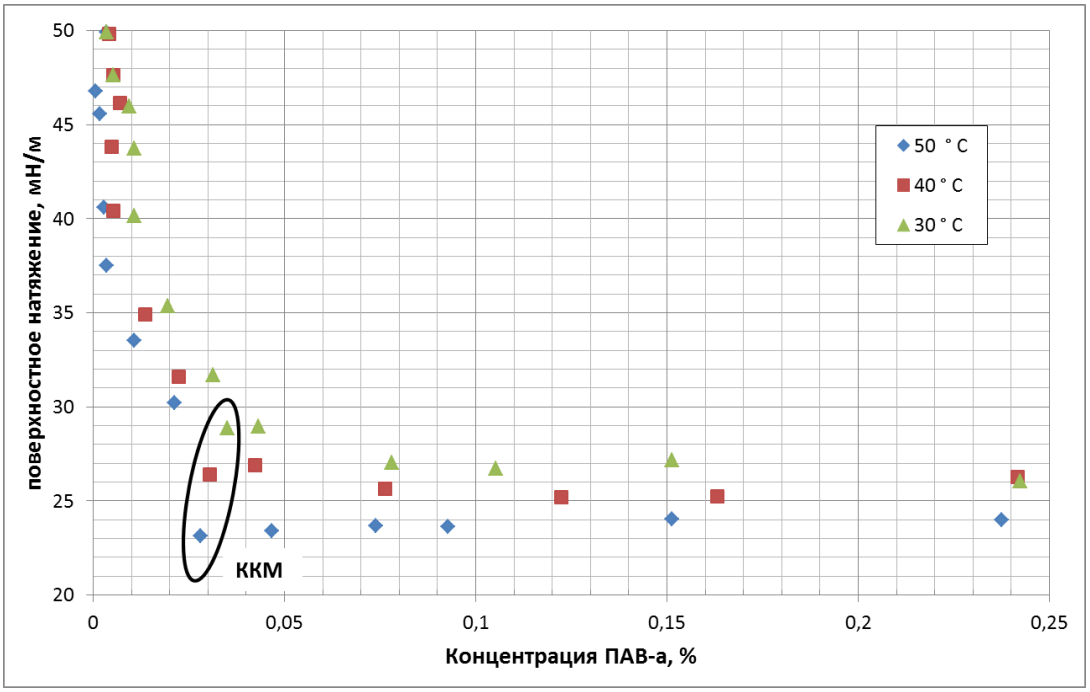


Рис. 2. Зависимость значений поверхностного натяжения от концентрации ПАВ

Таблица 3

Динамика изменения поверхностного натяжения эмульсий
в зависимости от структуры стабилизирующих наночастиц

Название	Полимер, млн$^{-1}$	ПАВ, млн$^{-1}$	Наночастицы, млн$^{-1}$	Поверхностное натяжение
ЦН	1500	400	0	35.06+-0,31
ЦН-1	1500	400	1000	34.00+-0,26
ЦН-2	1500	400	1500	29.71+-0,22
ЦН-3	1500	400	2000	29.64+-0,28
МН-1	1500	400	1000	25.8+-0,56
МН-2	1500	400	1500	22.79+-0,18
МН-3	1500	400	2000	22.7+-0,42

*ЦН – эмульсии, стабилизированные наночастицами с цельной структурой, МН – эмульсии, стабилизированные наночастицами с мезопористой структурой

При этом в ходе экспериментов была установлена и критическая концентрация наночастиц, превышение которой к уменьшению поверхностного натяжения не приводило.

Определение размера капель дисперсной фазы в эмульсиях. Стабильность эмульсии обратно пропорциональна размеру капель дисперсной фазы, то есть с уменьшением данного показателя увеличивается стабильность эмульсии. Средний размер капель дисперсионной фазы определялся методом динамического рассеивания света. Результаты измерений представлены на рис. 3. Образец ЦН, не содержащий добавок наночастиц, показал наибольший средний диаметр капель (4.4 мкм). Наименьшим размером дисперсной фазы обладал образец, содержащий наночастицы с мезопористой структурой 2.3 мкм, что объясняется снижением когезионной силы между каплями эмульсии из-за накопления наночастиц на поверхности капель. Механический барьер, образованный частицами, предотвращает коагуляцию капель и повышает стабильность эмульсии. Результаты данной серии экспериментов хорошо согласуются с полученными ранее данными. Так, средний размер капель дисперсионной фазы остается практически неизменным при превышении критической концентрации содержания наночастиц.

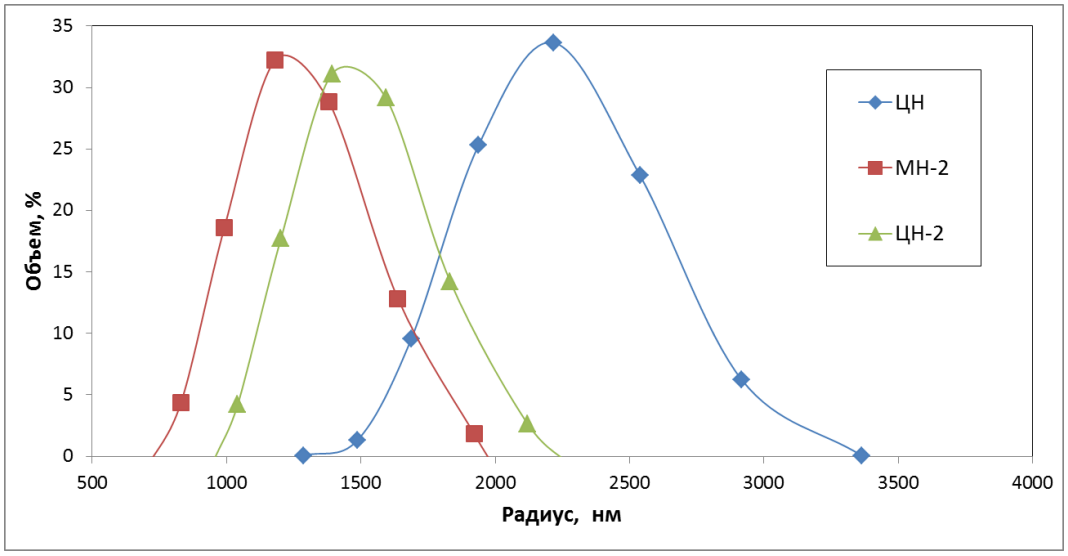


Рис. 3. Распределение размера капель дисперсионной фазы

Дзета-потенциал. Дзета-потенциал является наиболее часто применяемым параметром для описания стабильности коллоидных растворов в силу простоты и доступности измерений. Принимая значения как с положительным, так и отрицательным знаком, дзета-потенциал выше 30 мВ вне зависимости от знака характеризует эмульсию как достаточно стабильную (Greenwood and Kendall, 1999). Эмульсии с величиной потенциала ниже 30 мВ в конечном итоге агрегируют из-за межчастичного взаимодействия Ван-Дер-Ваальса. Наибольшие значения дзета-потенциала в 43.25 мВ были получены для эмульсии, содержащей наночастицы с мезопористой структурой. Однако следует отметить, что эмульсия, содержащая наночастицы с цельной структурой, показала практически идентичные значения дзета-потенциала 41.58. С увеличе-нием концентрации наночастиц значения дзета-потенциала несколько уменьшались, но оставались выше 30 мВ. По всей видимости, механизм наблюдаемого явления вполне согласуется с механизмом, описанным Юном. Юн предположил, что полимер покрывает наночастицы за счет Ван-дер-Ваальсова притяжения, а ПАВ образует слой вокруг полимерного покрытия, превращая его в прочный, стабильный интерфейс и изменяя смачиваемость, что и способствует адсорбции наночастиц на границе раздела фаз (Yoon et al., 2016). Таким образом, положение частиц на межфазной плоскости определяется их смачиваемостью (Aveyard et al., 2003). Минимизация межфазной энергии (поверхностной энергии) поверхностно-активным веществом удерживает наночастицы на границе раздела фаз в эмульсии Пикеринга (Dudchenko et al., 2015). Межфазная энергия определяет период пребывания наночастиц на границе раздела фаз.

Измерение реологических показателей. Изначально высокая вязкость эмульсий Пикеринга позволяет рассматривать их как потенциально эффективные агенты для выравнивания профиля приемистости скважин или фронта вытеснения. Концентрация наночастиц существенного влияния на данный параметр не оказала, и наблюдаемые колебания в полученных данных находились в пределах возможной погрешности проводимых измерений. В связи с этим изучалось лишь изменение реологических показателей в зависимости от концентрации полимера. Реологические измерения показали псевдопластичность полученных эмульсий и вполне предсказуемое увеличение вязкости эмульсий с увеличением концентрации полимера и ее уменьшение с ростом температуры (рис. 4 и 5).

Механизм снижения вязкости при увеличении скорости сдвига связан с выравниванием макромолекул вдоль линии потока и распутыванием макромолекул при увеличении силы сдвига (Samanta et al., 2010). В силу псевдопластичности полученных эмульсий высокая скорость потока в призабойной зоне приведет к снижению вязкости эмульсий и увеличению приемистости скважины. В глубоких зонах пласта, напротив, снижение скорости фильтрации вызовет увеличение вязкости и, как следствие, приведет как к выравниванию фронта вытеснения, так и изменению направления фильтрационных потоков (Lee, 2011). Оба выше описанных явления положительно скажутся на увеличении нефтедобычи.

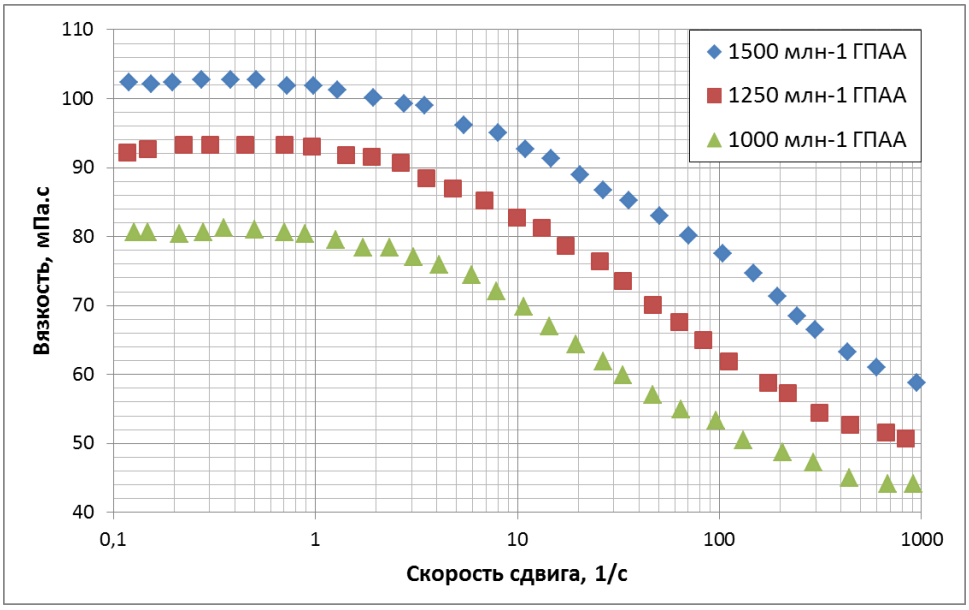


Рис. 4. Динамика изменения вязкости эмульсии при 25^0 С и 1 атм

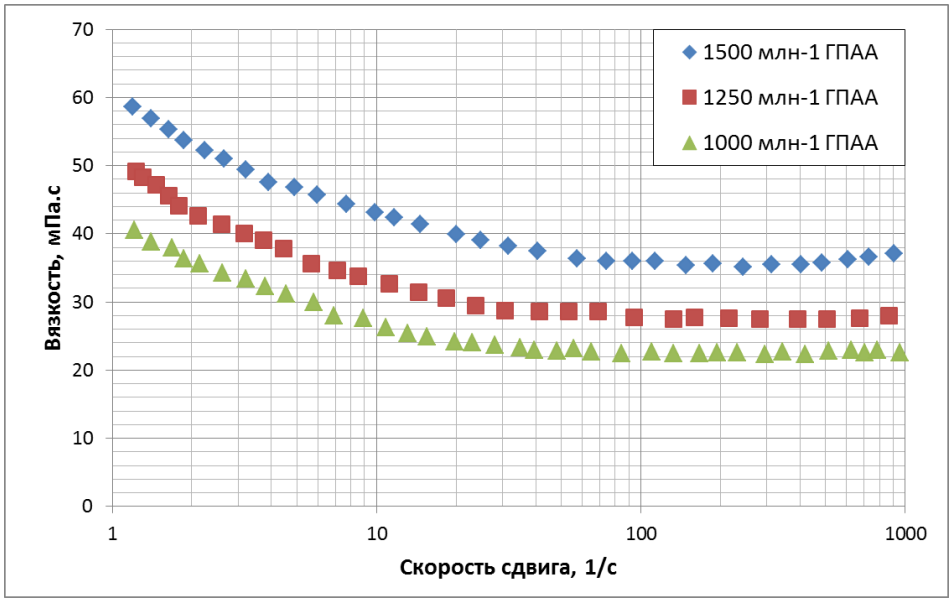


Рис. 5. Динамика изменения вязкости эмульсии при 95^0 С и 45 атм

Результаты осцилляционного режима измерения показали вязкоупругое поведение эмульсий при концентрации полимера более 1000 млн$^{-1}$. По всей видимости, при более низких концентрациях полимера не наблюдается формирования вязкоупругой системы. Несмотря на то, что длина диапазона линейной вязкоупругости остается практически идентичной у образцов с концетрацией как 1500, так и 1000 млн$^{-1}$ при комнатной температуре, с увеличением температуры и давления данная картина меняется (рис.6,7). Как видно из рис.7, наблюдается прямая зависимость между величиной предела текучести с увеличением концентрации полимера, что в принципе объясняется ростом значений модуля накоплений. Предел текучести также увеличивается при применении наночастиц с мезопористой структурой, что объясняется высокой площадью удельной поверхности.

Вытеснение нефти на насыпных моделях пласта

Для данного эксперимента был отобран образцы ЦН-2 и МН-2 из-за наиболее перспективных показателей с точки зрения МУН. Первичное вытеснение проводилось синтетической морской водой до 95% обводненности фильтрата, а коэффициент извлечения нефти при этом был практически идентичен для обеих моделей,

составив около 45%. Дальнейшая закачка образцов ЦН-2 и МН-2 привела к увеличению нефтедобычи на 23% и 31.5% соответственно (рис. 8 и 9). Оба образца закачивались в количестве 0.5 поровых объемов. Большие значения КИН при закачке образца МН-2 объясняются увеличением предела текучести эмульсии при добавлении наночастиц с мезопористой структурой. Данное утверждение подтверждает тот факт, что, несмотря на наблюдаемый кратковременный скачок дифференциального давления при закачке обоих образцов, для образца МН-2 эти значения были выше на 15%. В дальнейшем в силу псевдопластичности обоих вытесняющих агентов наблюдалось снижение дифференциального давления. Таким образом, закачка эмульсионной системы, несмотря на вязкоупругое поведение, не вызывает долгосрочного повышения дифференциального давления в призабойной зоне.

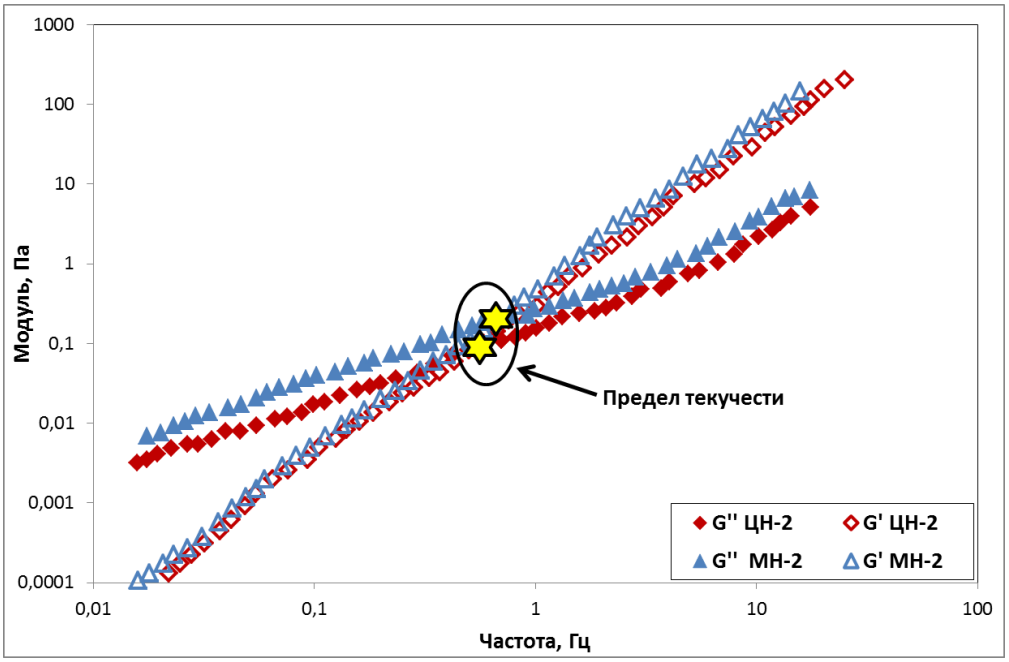


Рис. 6. Динамика изменения вязкоупругих свойств при 25^0 С и 1 атм

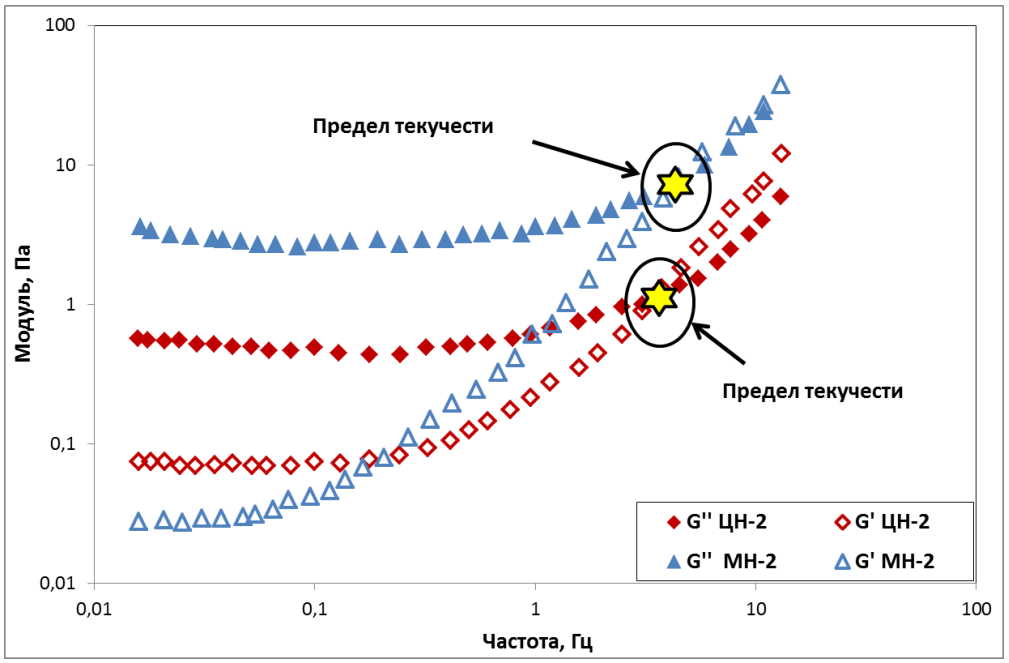


Рис. 7. Динамика изменения вязкоупругих свойств при 95^0 С и 45 атм

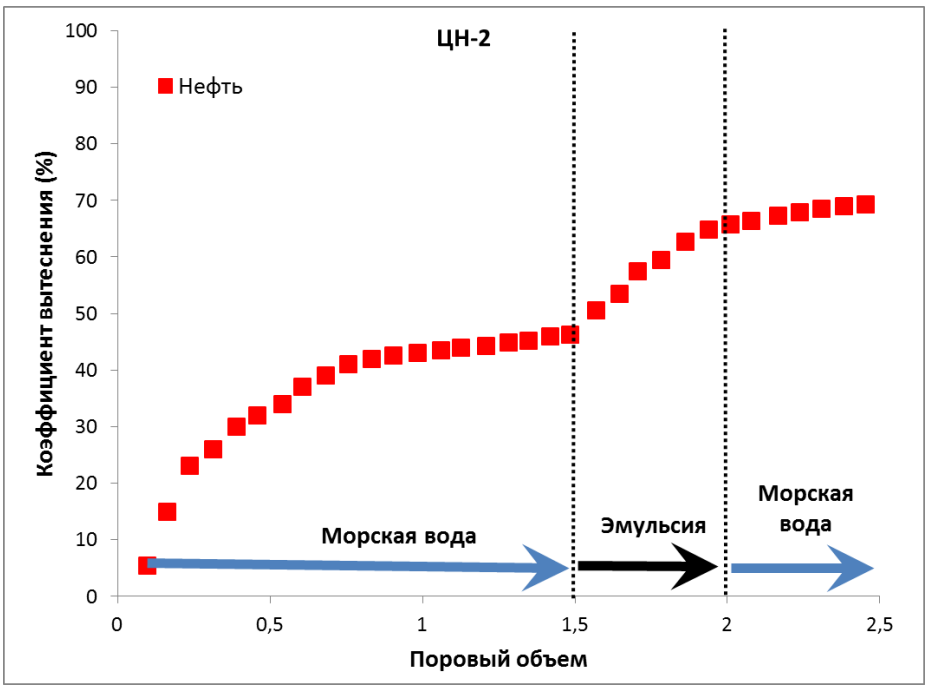


Рис. 8. Динамика изменения КИН

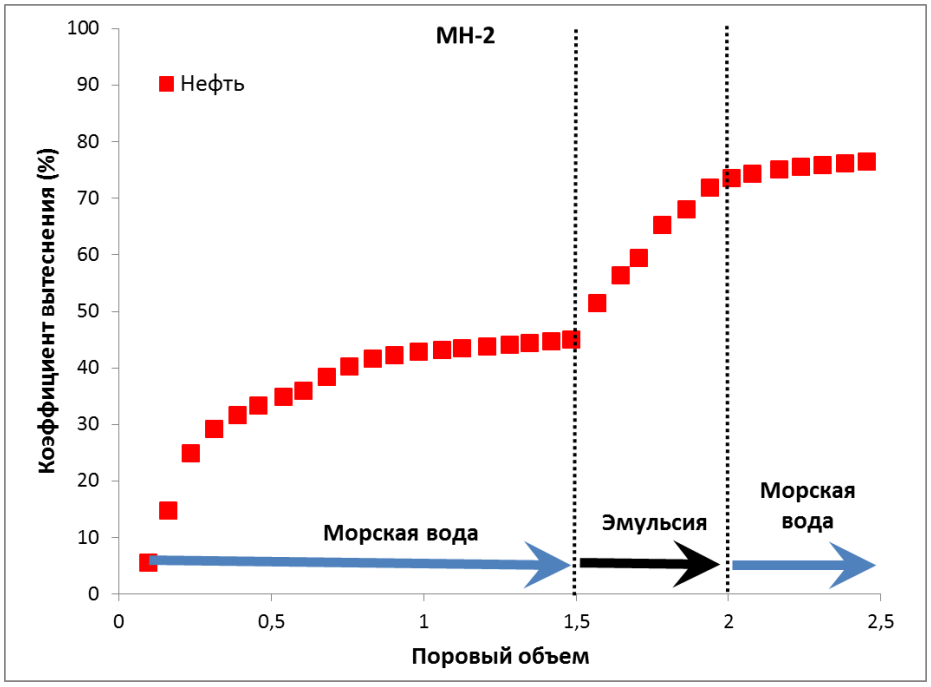


Рис. 9. Динамика изменения КИН

Тем не менее в глубинных зонах пласта в силу уменьшения дифференциального давления и псевдопластичности разработанных эмульсий их полное вытеснение из пласта займет достаточно долгий промежуток времени, что положительно скажется как на дебите нефти, так и ее обводненности. Полученные результаты согласуются с данными предыдущих экспериментов, показывая большой потенциал применения эмульсий Пикеринга для увеличения нефтедобычи.

Выводы

- Добавка наночастиц SiO_2 привела к уменьшению значений поверхностного натяжения полученных эмульсий на 15-35% в зависимости от их структуры. Наночастицы с мезопористой структурой частиц более эффективно снижают поверхностное натяжение. В ходе экспериментов была выявлена критическая концентрация наночастиц, превышение которой к уменьшению поверхностного натяжения не приводило.

- Наименьшим размером дисперсной фазы (2.3 мкм) обладала эмульсия, содержащая наночастицы с мезопористой структурой, что объясняется снижением когезионной силы между каплями эмульсии из-за адсорбции наночастиц на поверхности капель дисперсной фазы.
- Несмотря на высокую стабильность полученных эмульсий Пикеринга, значения дзета потенциалов исследуемых образцов вне зависимости от структуры используемых наночастиц значительно не отличались. Данный эффект объясняется наличием полимера в эмульсии. Полимер покрывает наночастицы за счет Ван-дер-Ваальсова притяжения, а ПАВ образует слой вокруг полимерного покрытия, превращая его в прочный, стабильный интерфейс и изменяя смачиваемость, что и способствует адсорбции наночастиц на границе раздела фаз.
- Эксперименты, по вытеснению нефти, проведённые на насыпных моделях, показали, что закачка образцов ЦН-2 и МН-2 привела к увеличению нефтедобычи на 23% и 31.5% соответственно. Полученные результаты согласуются с данными предыдущих экспериментов, показывая большой потенциал применения эмульсий Пикеринга для увеличения нефтедобычи.

ЛИТЕРАТУРА

Aveyard R., Binks B.P., Clint J.H. Emulsions stabilised solely by colloidal particles. Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 100-102, 2003, pp. 503-546.

Binks B.P. Particles as surfactants-similarities and differences. Current opinion in colloid and interface science, Vol. 7. No.1-2, 2002, pp. 21-41.

Dudchenko A.V., Rolf J., Shi L., Olivas L., Duan W., Jassby D. Coupling underwater superoleophobic membranes with magnetic pickering emulsions for fouling-free separation of crude oil/water mixtures: an experimental and theoretical study. ACS nano, Vol. 9, No.10, 2015, pp. 9930-9941.

Duffus L.J., Norton J.E., Smith P., Norton I.T., Spyropoulos F. A comparative study on the capacity of a range of food-grade particles to form stable O/W and W/O Pickering emulsions. Journal of colloid and interface science, Vol. 473, 2016, pp. 9-21.

Fortuny M., Oliveira C.B., Melo R. L., Nele M., Coutinho R.C., Santos A.F. Effect of salinity, temperature, water content, and pH on the microwave demulsification of crude oil emulsions. Energy and Fuels, Vol. 21, No. 3, 2007, pp. 1358-1364.

Green D.W., Willhite G.P. Enhanced oil recovery. Vol. 6. Richardson, TX: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers. 1998, pp. 143-154.

Greenwood R., Kendall K. Selection of suitable dispersants for aqueous suspensions of zirconia and titania powders using acoustophoresis. Journal of the European Ceramic Society, Vol. 19, No.4, 1999, pp. 479-488.

Xu Z.X., Li S.Y., Li B.F., Chen D.Q., Liu Z.Y., Li Z.M. A review of development methods and EOR technologies for carbonate reservoirs. Petroleum Science, Vol. 17, No. 4, 2020, pp. 990-1013.

Lee K.S. Performance of a polymer flood with shear-thinning fluid in heterogeneous layered systems with crossflow. Energies, Vol. 4, No. 8, 2011, pp. 1112-1128, doi:10.3390/en408111

Mansour A., Gamadi T., Emadibaladehi H., Watson M. Limitation of EOR applications in tight oil formation. In SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference. Society of Petroleum Engineers, 2017, October.

Muggeridge A., Cockin A., Webb K., Frampton H., Collins I., Moulds T., Salino P. Recovery rates, enhanced oil recovery and technological limits. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 372, No. 2006, 2014.

Pickering S.U. CXCVI.– emulsions. Journal of the Chemical Society, Transactions, Vol. 91, 1907, pp. 2001-2021.

REFERENCES

Aveyard R., Binks B P., Clint J.H. Emulsions stabilised solely by colloidal particles. Advances in Colloid and Interface Science, Vol. 100-102, 2003, pp. 503-546.

Binks B.P. Particles as surfactants-similarities and differences. Current opinion in colloid and interface science, Vol. 7, No. 1-2, 2002, pp. 21-41.

Dudchenko A.V., Rolf J., Shi L., Olivas L., Duan W., Jassby D. Coupling underwater superoleophobic membranes with magnetic pickering emulsions for fouling-free separation of crude oil/water mixtures: an experimental and theoretical study. ACS nano, Vol. 9, No.10, 2015, pp. 9930-9941.

Duffus L.J., Norton J.E., Smith P., Norton I.T., Spyropoulos F. A comparative study on the capacity of a range of food-grade particles to form stable O/W and W/O Pickering emulsions. Journal of colloid and interface science, Vol. 473, 2016, pp. 9-21.

Fortuny M., Oliveira C.B., Melo R.L., Nele M., Coutinho R.C., Santos A.F. Effect of salinity, temperature, water content, and pH on the microwave demulsification of crude oil emulsions. Energy and Fuels, Vol. 21, No. 3, 2007, pp. 1358-1364.

Green D.W., Willhite G.P. Enhanced oil recovery. Vol. 6. Richardson, TX: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers. 1998, pp. 143-154.

Greenwood R., Kendall K. (). Selection of suitable dispersants for aqueous suspensions of zirconia and titania powders using acoustophoresis. Journal of the European Ceramic Society, Vol. 19, No. 4, 1999, pp. 479-488.

Xu Z.X., Li S.Y., Li B.F., Chen D.Q., Liu Z.Y., Li Z.M. A review of development methods and EOR technologies for carbonate reservoirs. Petroleum Science, Vol. 17, No. 4, 2020, pp. 990-1013.

Lee K.S. Performance of a polymer flood with shear-thinning fluid in heterogeneous layered systems with crossflow. Energies, Vol. 4, No. 8, 2011, pp. 1112-1128, doi:10.3390/en408111

Mansour A., Gamadi T., Emadibaladehi H., Watson M.. Limitation of EOR applications in tight oil formation. In SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference. Society of Petroleum Engineers. 2017, October.

Muggeridge A., Cockin A., Webb K., Frampton H., Collins I., Moulds T., Salino P. Recovery rates, enhanced oil recovery and technological limits. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 372, No. 2006, 2014.

Pickering S.U. CXCVI.– emulsions. Journal of the Chemical Society, Transactions, Vol. 91, 1907, pp. 2001-2021.

Samanta A., Bera A., Ojha K., Mandal A. Effects of alkali, salts, and surfactant on rheological behavior of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions. Journal of Chemical & Engineering Data, Vol. 55, No.10, 2010, pp. 4315-4322.

Shafiai S.H., Gohari A. Conventional and electrical EOR review: the development trend of ultrasonic application in EOR. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2020, pp. 1-23, DOI:10.1007/s13202-020-00929-x

Sheng J.J. Critical review of field EOR projects in shale and tight reservoirs. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 159, No. 11, 2017, pp. 654-665.

Suleimanov B.A., Feyzullayev K.A., Abbasov E.M. Numerical simulation of water shut-off performance for heterogeneous composite oil reservoirs. Applied and Computational Mathematics, Vol. 18, No. 3, 2019a, pp. 261-271.

Suleimanov B.A., Ismailov F.S., Veliyev E.F. Nanofluid for enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 78, No. 2, 2011, pp. 431-437.

Suleimanov B.A., Latifov Y.A., Veliyev E.F., Frampton H. Low salinity and low hardness alkali water as displacement agent for secondary and tertiary flooding in sandstones. In SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers. Baku, 2017, November.

Suleimanov B. A., Veliyev E. F., Azizagha A.A. Colloidal dispersion nanogels for in-situ fluid diversion. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 193, 2020, 107411.

Yoon K.Y., Son H.A., Choi S.K., Kim J.W., Sung W.M., Kim H.T. Core flooding of complex nanoscale colloidal dispersions for enhanced oil recovery by in situ formation of stable oil-in-water pickering emulsions. Energy & Fuels, Vol. 30, No. 4, 2016, pp. 2628-2635.

Велиев Э.Ф. Обзор современных методов увеличения нефтеотдачи пласта с применением потокоотклоняющих технологий. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР, No. 2, 2020, с. 50-66.

Сулейманов Б.А., Исмайлов Ф.С., Велиев Э.Ф. О влиянии наночастиц металла на прочность полимерных гелей на основе КМЦ, применяемых при добыче нефти. Нефтяное хозяйство, No.1, 2014, с. 86-88.

Сулейманов Б.А., Лятифов Я.А., Велиев Э.Ф. Применение умягченной воды для повышения нефтеотдачи пласта. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР, No.1, 2019б, с.19-28.

Samanta A., Bera A., Ojha K., Mandal A. (). Effects of alkali, salts, and surfactant on rheological behavior of partially hydrolyzed polyacrylamide solutions. Journal of Chemical & Engineering Data, Vol. 55, No.10, 2010, pp. 4315-4322.

Shafiai S.H., Gohari A. Conventional and electrical EOR review: the development trend of ultrasonic application in EOR. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 2020, pp. 1-23, DOI:10.1007/s13202-020-00929-x

Sheng J.J. Critical review of field EOR projects in shale and tight reservoirs. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 159, No. 11, 2017, pp. 654-665.

Suleimanov B.A., Feyzullayev K.A., Abbasov E.M. Numerical simulation of water shut-off performance for heterogeneous composite oil reservoirs. Applied and Computational Mathematics, Vol. 18, No. 3, 2019a, pp. 261-271.

Suleimanov B.A., Ismailov F.S., Veliyev E.F. Nanofluid for enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 78, No. 2, 2011, pp. 431-437.

Suleimanov B.A., Ismailov F.S., Veliyev E.F. On the metal nanoparticles effect on the strength of polymer gels based on carboxymethyl cellulose applying at oil recovery. Oil Industry, No. 1, 2014, pp. 86-88 (in Russian).

Suleimanov B. A., Latifov Y.A., Veliyev E.F. Softened water application for enhanced oil recovery. SOCAR Proceedings, No.1, 2019b, pp. 19-28 (in Russian).

Suleimanov B.A., Latifov Y.A., Veliyev E.F., Frampton H. Low salinity and low hardness alkali water as displacement agent for secondary and tertiary flooding in sandstones. In SPE Annual Caspian Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, Baku, 2017, November.

Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Azizagha A.A. Colloidal dispersion nanogels for in-situ fluid diversion. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 193, 2020, 107411.

Veliyev E.F. Review of modern in-situ fluid diversion technologies. SOCAR Proceedings, No. 2, 2020, pp. 50-66 (in Russian).

Yoon K.Y., Son H.A., Choi S.K., Kim J. W., Sung W.M., Kim H.T. Core flooding of complex nanoscale colloidal dispersions for enhanced oil recovery by in situ formation of stable oil-in-water pickering emulsions. Energy & Fuels, Vol. 30, No. 4, 2016, pp. 2628-2635.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ НАНОЧАСТИЦ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ ПИКЕРИНГА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Сулейманов Б.А., Велиев Э.Ф., Алиев А.А.
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR
AZ1122, Азербайджан, Баку, ул. Г.Зардаби, 88А: Baghir.Suleymanov@socar.az

Резюме. На сегодняшний день количество остаточной нефти в мире составляет в среднем более 70% от первоначальных геологических запасов. На фоне увеличивающегося фонда месторождений, находящихся на поздней стадии разработки введение в эксплуатацию данных запасов является достаточно актуальной задачей. В этой связи методы увеличения нефтеотдачи (МУН), представленные достаточно широким спектром современных технологий из года в год приобретают все большее значение. Доминирующее большинство по количеству внедрений занимают физико-химические МУН, основанные на закачке в пласт различных химических соединений. Одной из наиболее перспективных и эффективных технологий данной группы является применение обратных эмульсий типа "масло в воде". Однако, несмотря на ее эффективность, она имеет серьезные ограничения по внедрению в условиях высоких пластовых температур. Вышеописанная проблематика требует разработки новых типов эмульсионных систем, лишенных изложенных недостатков. Перспективным в этом отношении является применение с этой целью так называемых эмульсий Пикеринга. В рамках представленного исследования были получены эмульсии Пикеринга, стабилизированные наночастицами SiO_2, и рассмотрено влияние структуры используемых наночастиц на стабильность полученных эмульсий. С этой целью были проведены эксперименты по определению дзета потенциала, распределению размеров частиц дисперсной фазы, изучены реологические свойства при различных температурных условиях. Эксперименты по вытеснению нефти, проведенные на насыпных моделях пласта, показали высокий потенциал увеличения коэффициента извлечения нефти при практическом внедрении предложенных составов.

Ключевые слова: *эмульсия Пикеринга, мезопористые наночастицы, увеличение нефтеотдачи, месторождения на поздней стадии разработки*

NANOHİSSƏCİKLƏRİN STRUKTURUNUN NEFTVERİMİNİN ARTIRILMASINDA TƏTBİQ OLUNAN PİKERİNQ EMULSİYASININ EFFEKTİVLİYİNƏ TƏSİRİ

Süleymanov B.A., Vəliyev E.F., Əliyev Ə.A.
Neftqaz elmi tədqiqat layihə İnstitutu, SOCAR
H.Zərdabi 88A, Bakı, Azərbaycan, AZ1122: Baghir.Suleymanov@socar.az

Xülasə. Bu gün dünyada qalıq neftin miqdarı ilkin geoloji ehtiyatların 70% -dən çoxunu təşkil edir. Işlənilmənin son mərhələsində olan neft yataqlarının sayının artması ilə qalıq ehtiyatlarının çıxarılması daha da aktual məsələyə çevrilmişdir. Beləliklə, bir çox müasir texnologiyaları özündə birləşdirən neftverimin artırılması üsullarının əhəmiyyəti ildən-ilə artır. Neftverimin artırılması üsulları arasında müxtəlif reagentlərin laya vurulmasına əsaslanan fiziki və kimyəvi üsullar üstünlük təşkil edir. Sözügedən üsullar arasında ən perspektivli və effektiv texnologiyalardan biri tərs emulsiyalardır (neftin suda emulsiyası). Lakin bu texnologiyanın yüksək temperaturlu laylarda tətbiqi özünü kifayət qədər doğrultmamışdır. Beləliklə, çatışmazlıqları aradan qaldırmaq üçün yeni emulsiya növlərinin tətbiqi tələb olunur. Pikerinq emulsiyası bu cəhətdən xüsusi diqqətə layiqdir. Hazırki tədqiqatda SiO2 nanohissəcikləri ilə stabilləşdirilmiş Pikerinq emulsiyası tərkibləri təqdim olunmuşdur. Həmçinin, nanohissəciklərin struktur quruluşunun emulsiyanın stabilləşməsinə təsiri ətraflı araşdırılmışdır. Bu məqsədlə zeta potensial, dispers fazanın hissəciklərinin ölçü paylanması, reologiya kimi parametrlər müxtəlif temperatur və təzyiqlərdə laboratoriyada tədqiq olunmuşdur. Qum ilə doldurulmuş lay modelində aparılan sınaqlar da həmçinin, təklif olunan kompozisiyaların yüksək neftverimin artırılması potensialını göstərmişdir.

Açar sözlər: *Pikerinq emulsiyası, mezoməsaməli nanohissəciklər, neftverimin artırılması, işlənilmənin son mərhələsində olan yataqlar*

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2021

Geography

http://www.journalesgia.com

VISUALIZING THE LIGHTNING FLASHES OVER THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN BY ANALYZING THE LIGHTNING IMAGING SENSOR DATA

Mammadov R.[1], Rasouli A.A.[2], Safarov S.[1], Safarov E.[1]

[1]Institute of Geography, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan
115, H.Javid ave., Baku, Azerbaijan, AZ1143
[2]Department of Environmental Sciences, Macquarie University, Sydney, Australia
Level 4, 12 Wally's Walk, Macquarie University,
North Ryde, Sydney, Australia: aarasuly@yahoo.com

***Keywords**: Azerbaijan, lightning, temporal-spatial patterns, lightning hazard map*

Summary. Available lightning data from the Lightning Imaging Sensor (LIS) was analyzed to determine the temporal variation and spatial distribution of lightning strikes (flashes) over the Republic of Azerbaijan. Each detectable flash is considered an atmospheric event. Nearly about 2074 flashes for the warm and cold months from 2017 to 2020 were combined to form four years "lightning dataset" of a thundery-warned region, with its scattered cities and districts with a population of nearly 10 million. A "GIS-oriented procedure" was intently applied by importing all lightning observations to create appropriate distinct digital layers needed for the subsequent temporal-spatial analysis. A range of analytic tools mainly for analyzing and mapping existing spatial patterns among data layers have been applied. The resulting spatial indexes have established various temporal-spatial patterns, indicating clusters of lightning frequency and associate values, statistically significant inside of Azerbaijan lands. Lastly, in recognizing the most flash risk areas, a combined fuzzy membership operator was applied to the raster database, based on Kendal Density output layers.

The final results indicated that more than 99% of the flashes occur from April to September with a single peak in June and substantial lightning activity takes place in summer months, indicating a prominent diurnal afternoon peak, in the region. Also, spatial patterns illustrated that the most frequent and energetic lightning events, with the highest radiance values and longest durations, happen over the western and northern parts of the country, mainly over the elevated areas of Karabakh and Caucuses mountains, indicating the highest lightning strike risky areas.

© 2021 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Introduction

Lightning is the occurrence of a natural electrical discharge of very short-duration and high voltage between a cloud and the ground or within a cloud, as a common atmospheric electricity phenomenon (Mackerras et al., 1998; Williams, 2005). The American Meteorological Society defines lightning as "the series of electrical processes taking place continuously by which charge is transferred along discharge channels between electric charge centers of opposite sign" (Peterson, 2016). Normally, violent and sudden electrostatic discharge generates a bright flash and thunder (Koehler, 2020). Scientists believe that it starts when an electric current forms in a cloud when the ground is hot and heats the air directly above it (Albrecht et al., 2016). Flashes are produced mainly from cumulonimbus clouds, which form through four mechanisms: buoyant warm air rising due to intense surface heating, strong heating contrast between surfaces, frontal lifting, or by the uplift of air parcels due to orographic lifting (Changery, 1981). All of these processes may trigger convection and, hence, a lightning activity which originates around 3-4 km above sea level and is effectively caused by a charge separation that takes place within the negatively charged reservoir of the cloud and the positive electric field of the ground surface (Cooray, 2015). The resulting discharge is negative, positive, or cloud-to-cloud stroke (Rakov, 2016).

Information concerning the characteristics of flashes in different geographical regions is of interest and augment research on the interaction between

the radiative properties of the surface and the atmosphere (Bruning and Thomas, 2015). Lightning activities have been detected by traditional classic techniques and space-borne observation methods (Wanke, 2014). Lightning Image System (LIS) as one of the recent methods is invented to observe and measure different parameters of the lightning action (NASA EOSDIS..., 2013). The LIS is a NASA Earth Observing System (EOS) instrument on the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) platform designed to acquire and investigate the distribution and variability of total lightning observation (Christian et al., 1992).Understanding the mechanism and characteristics of the lightning reader may refer to basic researches (Rakov, 2016; Bitzer, 2017).

Previous studies have shown that the thunderstorms and associated phenomenon of lightning are very important in Azerbaijan (Safarov and Mekhtieva, 2017). Despite considerable researches done, there is yet very little understanding of the spatial distribution of lightning-related features such as flash frequency, radiance, and duration values. Also, it seems that the relationship between lightning strikes and surface characteristics of elevation, vegetation type, and other surface in-homogeneities, such as fire scars, burned areas are not being precisely under accurate investigations inside Azerbaijan. Meanwhile, according to a few investigations, it was found that lightning activities appear to be increasing during recent years (Gashimov et al., 2020). Flashes of lightning could result in several widespread severe thunderstorms around the country by introducing infrequent torrential precipitation, super hailstones, high-speed gusty-winds. These may cause extensive damages to the country's natural environment and the city's infrastructures. Accordingly, in the present study in the first stage, the authors attempt to visualize tempo-spatial distributions of lightning flashes, on the country scale based on the available LIS database.

Study Area

The LIS data was analyzed to make this paper more sensible in the largest and most populous country in the Southern Caucasus. Geographically the Republic of Azerbaijan is dominated by the Caspian Sea forming its eastern border, the Greater Caucasus Mountain range to the north, the Lesser Caucasus in the southwest, the Talish Mountains to the south, and the extensive Aran lowlands in the center of the country (Mammadov and Budagov, 1996). Azerbaijan lands are dominated by the river basins of the Kura and the Araz rivers as the most watery tributary. Nearly about 60 percent of the country consists of mountains and their foothills; the elevation changes over a relatively short distance from lowlands to highlands (Fig. 1). The climate varies from dry and hot in the central and eastern parts of the country to the humid climate types in the south-east. At higher elevations of the Caucasus and Karabakh mountains cold and wet climate is expected. At the same time, the temperate climate along the shores of the Caspian Sea is dominated. In such diverse climates, the possibility of initiating thunderstorms accompanied by flashes of lightning is very likely particularly during hot and wet months of the year (Safarov, 2007).

Data Analysed

In the detection of geographic distributions of flashes on a regional-scale, LIS observation was obtained from the Earth data – Global Hydrology Resource Center and then a database has been created, with high temporal and spatial accuracy (Blakeslee, 1998). As of 2017, the LIS-orbit coverage was extended to the higher latitudes, and flash data are currently being accessed for later analysis, as it has been done in current research. The LIS data consists of information on the date, time, duration, location, number of events and radiance values (Cecil et al., 2014). To compare the existing temporal-spatial changes, the vector and raster layers were clipped, as much as its major cities, districts, and a Digital Elevation Model (DEM) inside a GIS setting (Fig. 1).

Accordingly, the cold and warm months dataset were incorporated into a database set to allow for the exploration of flashes with its temporal-spatial characteristics, such as the number of flashes, flash radiance, and durations for the different time-scales using ArcMap version 10.5 (Understanding Spatial Statistics in ArcGIS, 2006). From 2017 to 2020, entirely, 2074 flashes precisely were recorded over Azerbaijan during time. Exactly 20 flashes were observed (less than 1 percent of total flashes) in the study area during the cold months, which were not analyzed due to statistical insufficiency.

Methods Applied

A few primary to advance techniques were stepwise applied to the created datasets according to the current study aims. To manage different sorts of data layers, sequences of entering, editing, database-creation, querying, analyzing, modeling and mapping processes have been progressively introduced (Gelfand, 2010).

First, a definition query was applied to explore LIS tempo-spatial occurrences on the features' attributes. For some SQL-based functions it is possible to check all datasets and look at the relations of LIS types in the attribute tables (Rasouli et al., 2015). In the second step, a Nearest Neighbor Index (NNI), as a spatial analyst tool, was applied (Ord and Getis, 1995) to illustrate probable spatial patterns in the data. The null hypothesis for this kind of analysis states

that there is no pattern, i.e. the LIS expected pattern is one of hypothetical random chance (Haining, 2010). The Z score, which is a measure of standard deviation and a test of statistical significance that helps decide whether or not to reject the null hypothesis, was calculated for all sorts of analyses (Fischer and Getis, 2010). To understand how to calculate the coefficients of the NNI functions note the ESRI guide (How Fuzzy Overlay works, 2020).

Then, for generalizing the localized incident geographic locations of lightning occurrence to an entire area a Kernel Density Interpolation estimator was introduced. A Kernel density tool calculates the density of point features such as lightning occurrence locations in a search radius around all similar features (Kelsall and Diggle, 1995). More details on the subject could be found in the relevant sources. Lastly, a combined fuzzy membership function was applied to the rasters data together, based on lightning extracted parameters such as flash density, flash radiance and flash duration layers (Zimmermann, 2001). The Fuzzy Overlay tool allows the analysis of the possibility of a phenomenon (for instance, flash duration) belonging to multiple sets in a multi-criteria overlay analysis. Not only does fuzzy overlay determine what sets the phenomenon is possibly a member of, but it also analyzes the relationships between the members of the multiple sets. Applying a fuzzy overlay method made possible to identify high-risk areas of lightning by combining and equally-weighted raster layers distribution (How Fuzzy Overlay works, 2020). All the above-mentioned spatial analyses were settled and executed in a Model Builder framework, automating the standard ArcGIS software (Scott and Janikas, 2010).

Results and Discussion

a) Temporal-Spatial Variations

Inside the Azerbaijan lands, the total number of flashes (2017-2020) was described for different time-scale periods. Fig. 2a shows the yearly counts of flashes inside the Azerbaijan border for each year. Remarkable inter-annual variations are not obvious in the number of flashes, whereas the highest lightning activity is observed in 2018 and the lowest in 2017 inside the study area. Areas with a higher number of flashes each year are red-violet; areas with a lower number of flashes are clear. Flashes are most frequent over the western and northern parts of Azerbaijan than over the lowlands and eastern parts. Lightning seems to happen more often closer to the elevated regions. On a seasonal basis, there is a considerable contrast across the country by peak densities occurring in spring wet months and then in the summer warm months, as the total number of flashes for the study period are presented (Fig. 2b).

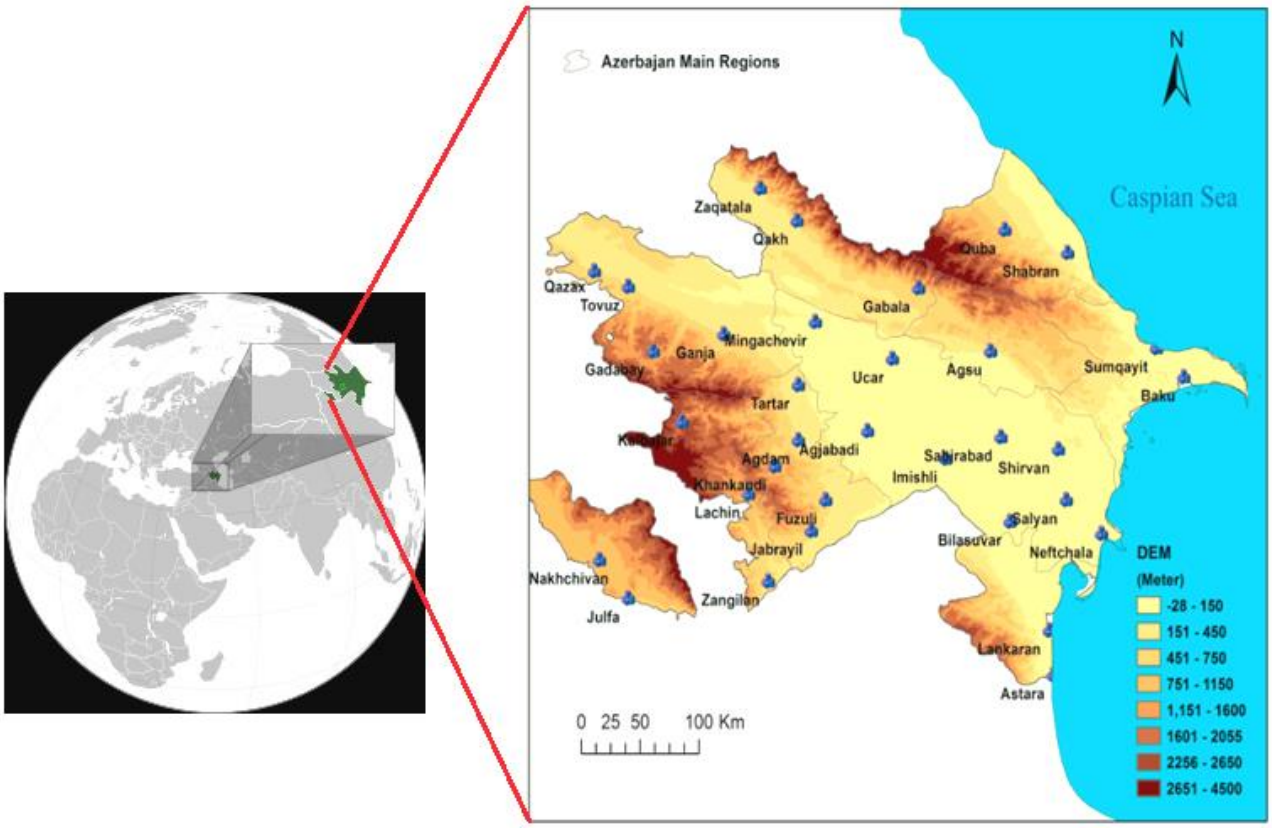


Fig. 1. The location map of the Republic of Azerbaijan, including main cities, overlaid on a DEM map

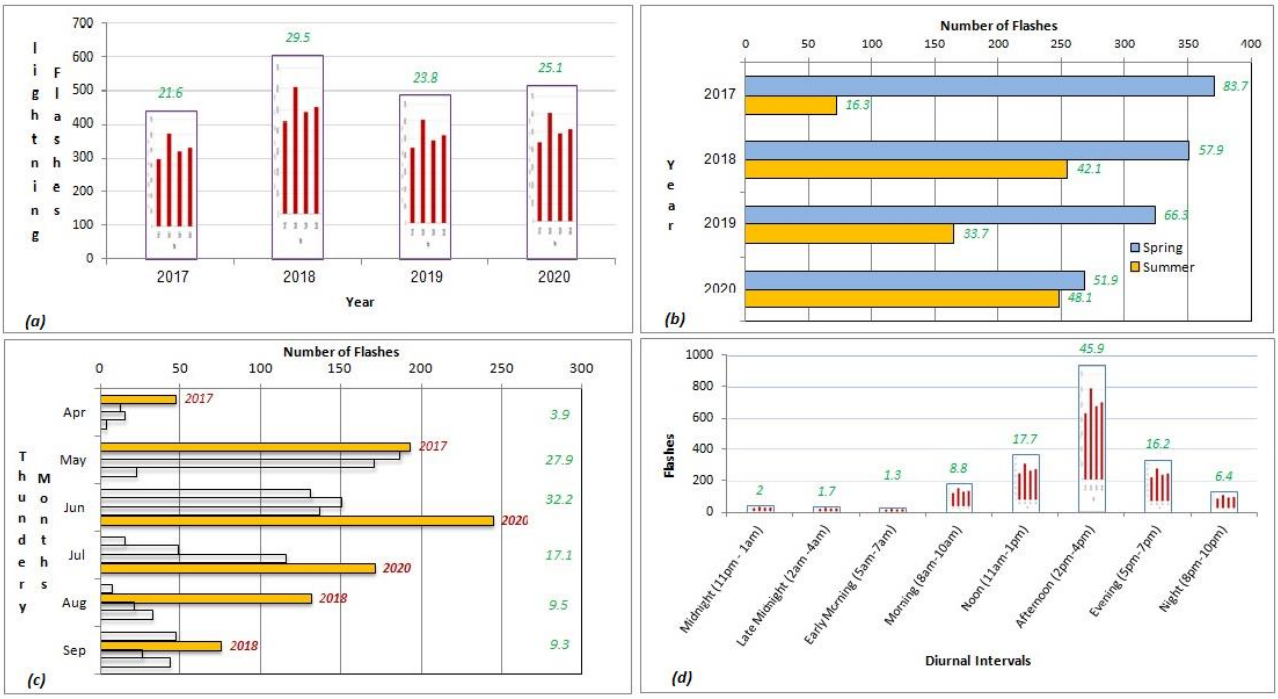


Fig. 2. Lightning flashes temporal variations for yearly (a), seasonal (b), monthly (c), and diurnal time-scales (d) inside Azerbaijan; percentages are indicated in green figures

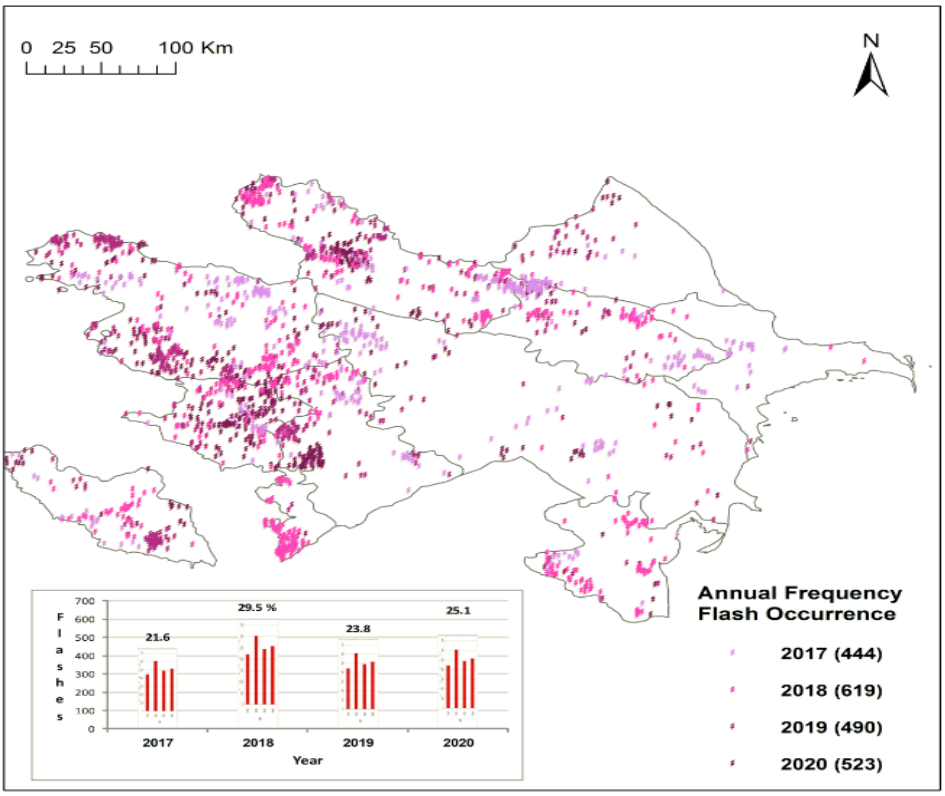
During the wet-warm seasons, flashes are not uniformly distributed across Azerbaijan, though the lowlands and eastern regions have less frequent flashes (Fig. 3).

Time-scales on the monthly and diurnal distributions of flashes are illustrated in Figs. 2c,d respectively. The greatest number of flashes were observed during June, May, and July with 32.2, 27.9 and 17.3% respectively (Fig. 2c). Note that once again an asymmetric spatial distribution is recognizable during wet-warm months, particularly in spring. Fig. 2d shows the diurnal variation of lightning activity in percentage with one peak at 2-4 pm (45.9%) and two secondary peaks at 11 am-1 pm (17.7 %) and at 5-7 pm (16.2 %). The lightning activity is strong in the afternoons and weak during mid-nights and early mornings (nearly about 2%). Lightning flashes (for day-time and night-time) are characterized by remarkably large inter-diurnal variability and abrupt changes. The highest number of flashes was observed at about 942 in the afternoon, whereas the lowest number 26 was reported for the early morning. Fig. 4a,b highlights warm months and diurnal temporal-spatial variation of lightning flashes over Azerbaijan.

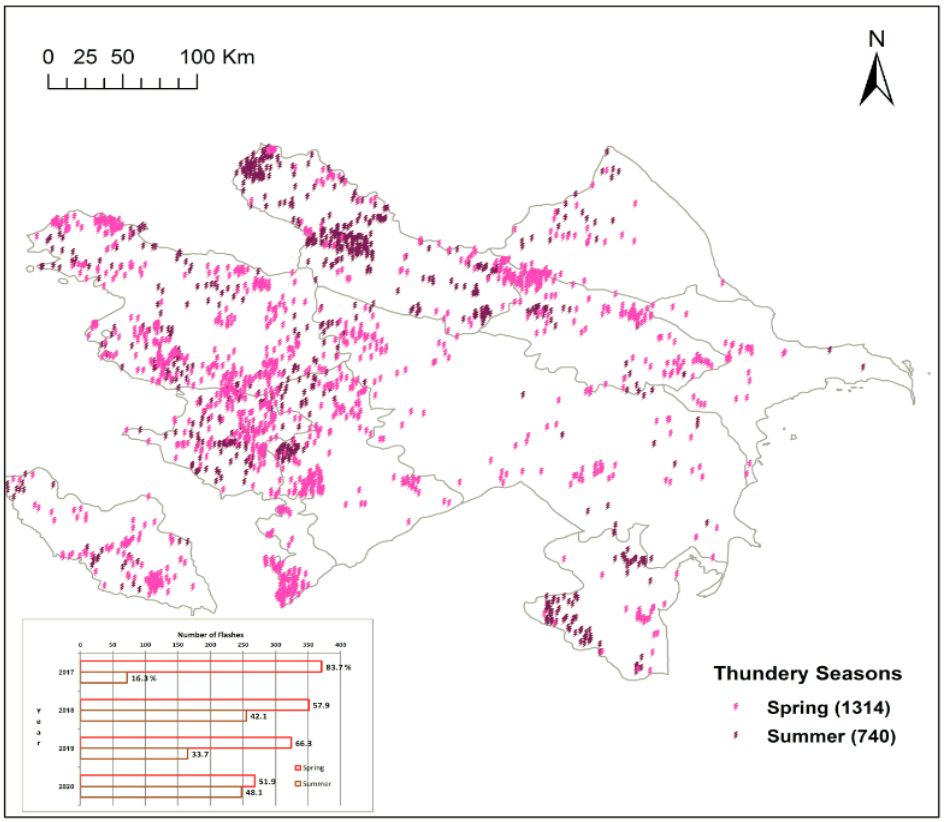
b) Spatial Patterns

The results of the spatial analysis are given according to the main aims of the study by implementing a few appropriate techniques. The NNI appears as 0.99 which is indicative of a significant clustering pattern. As it indicates there is less than 1 percent likelihood that this clustered pattern of flashes distribution could be the result of random chance. To test the significance, the value of Z is compared with a normal distribution, as the NNI and standard normal deviates (Z score=-27.82) of the lightning dataset indicate that the flashes exhibit a clear significant degree of clustering inside Azerbaijan statistically. Then, a Kernel Density function was applied to the spring season and afternoon pick-time data with four lightning elements to visualize the spatial distribution of flashes over Azerbaijan. This includes the number of flashes (a), the flash frequency (b), flash radiance values (c), and flash duration (d), by weighting the attribute fields to their geographic locations on a nominal scale (see fig. 5, 6).

Related raster-based spring season distribution patterns indicate that the highest lightning occurrence is seen in the western and northern parts of the country over the higher elevations and lower values – in the middle and eastern parts of the study area (Fig. 5a,b). By careful inspecting of lightning distribution patterns, two more incidence causeways could be visually recognized; one passage starts from the north-west curved over the Caucasus Mountains, crossing to the south-east. Another track tops some parts of the Karabakh Mountains. In contrast, it seems that the Caspian Sea coastal areas experience less lightning activities, except for some small parts of the Lankaran District. There, particularly over the Nakhchivan District, would appear as several small-scaled pockets with relatively more flashes during the time considered (Fig. 5 c,d).

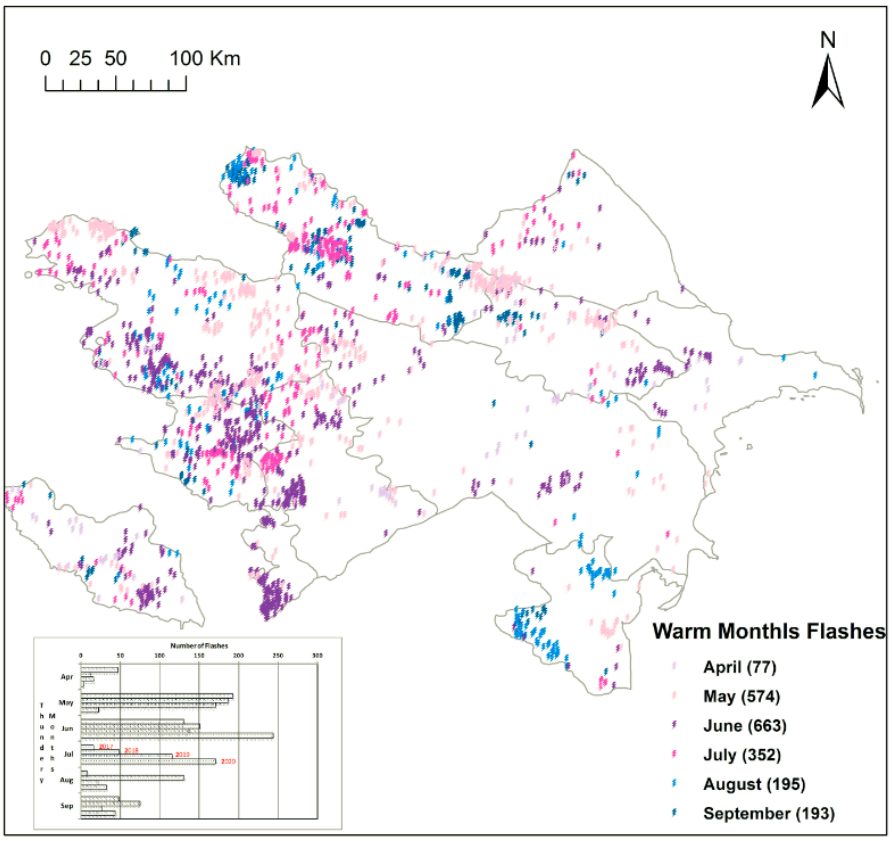


a

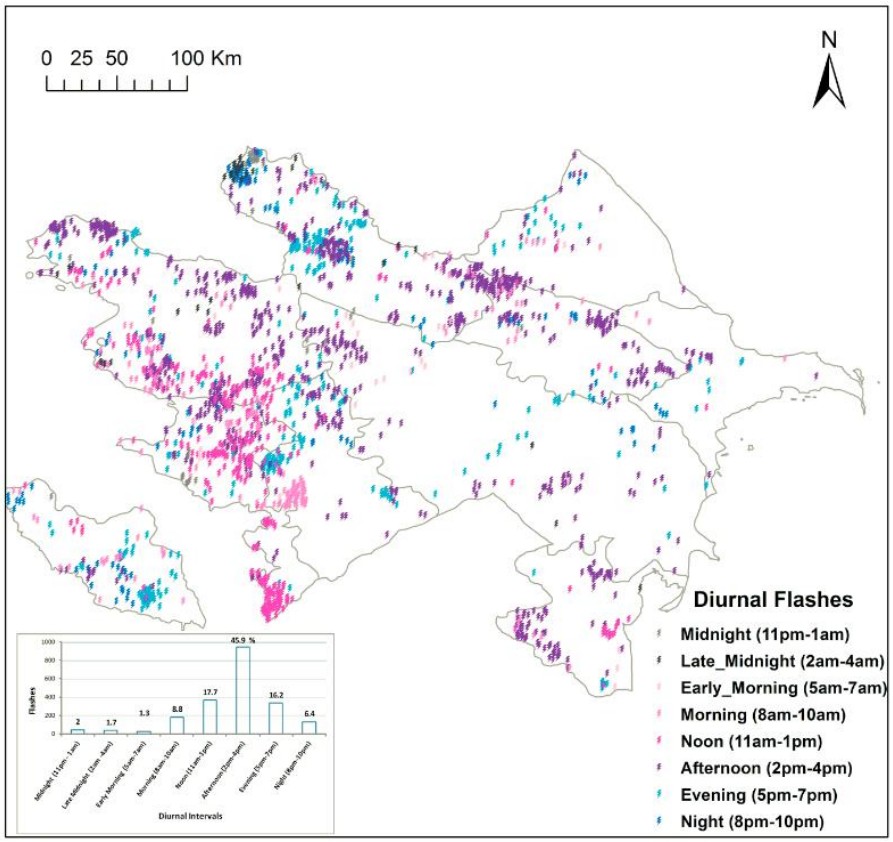


b

Fig. 3. Yearly (a) and thundery seasons (b) spatial distribution of lightning flashes inside Azerbaijan. The percentages of temporal distributionsare shown by linked histograms



a



b

Fig. 4. Warm months (a) and diurnal (b) variation of lightning flashes over Azerbaijan. The percentages of temporal distributions are shown by linked histograms

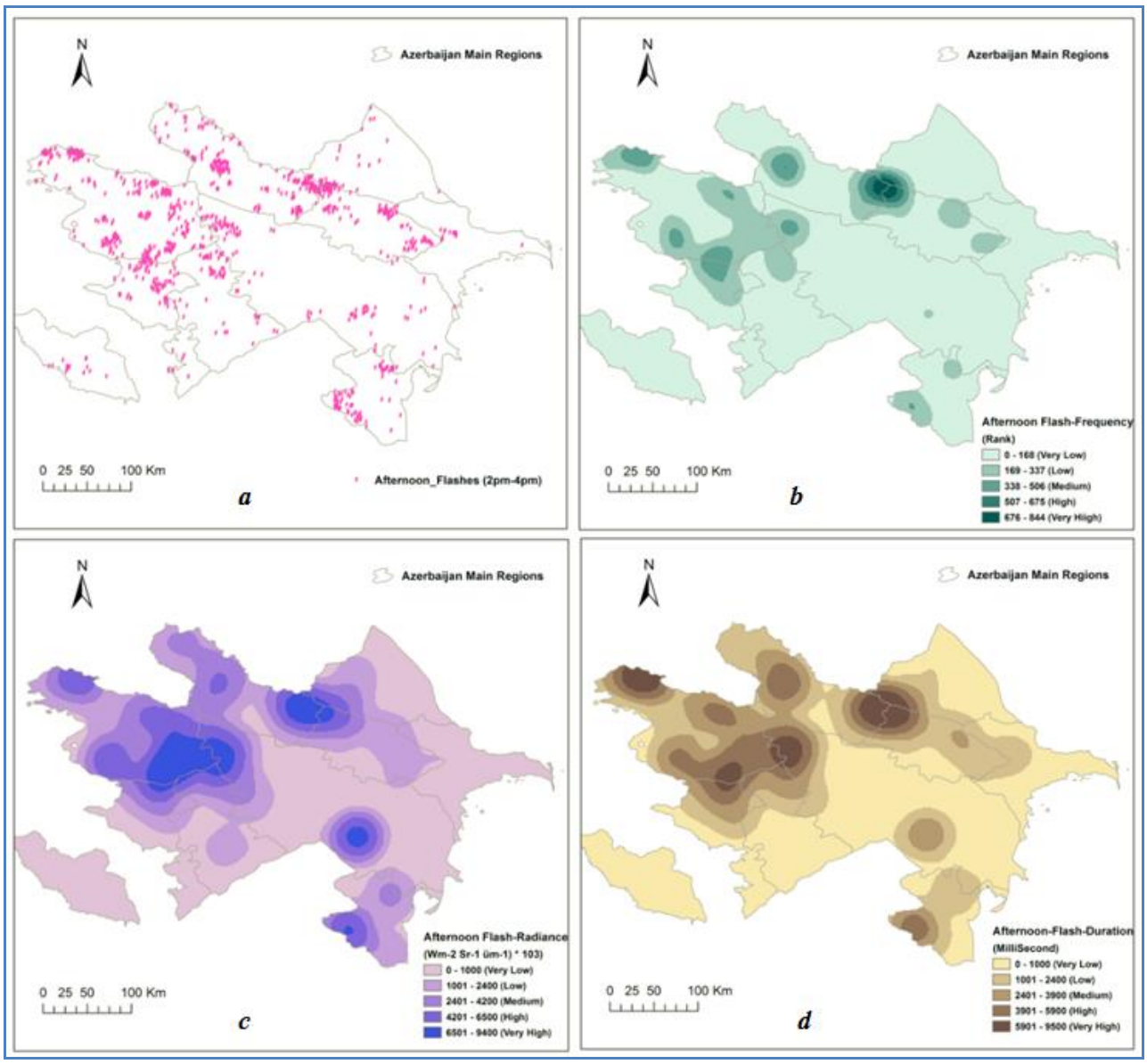


Fig. 5. The Kernel Density outputs for lightning elements as **a, b, c** & **d** indicating flash occurrence, frequency, radiance and duration respectively during the afternoon pick-time (2-4pm)

Once again, a Kernal Density was applied to map June and afternoon time-period (2 pm-4 pm) flash data (Fig. 6). It seems that the lightning magnitudes; the number of flashes (a) flash frequency (b), flash radiance values (c) and flash duration (d) appear similar to warm months distributions, at the same time with some differences. For instance, during June, the month with the highest number of flashes, the spatial distribution changes somewhat.

The highest number of flashes are detected in the Karabakh region, with low density and weaker flash duration around the region. As expected, the peak hour for flashes country-wide is between 2-4 pm. Although the general pattern of the afternoon lightning distribution (Fig. 5) is similar to the warm months, the study area receives fewer flashes with weaker flash radiances. To compare the final results, the flashes properties such as frequency, radiance and duration statistics are given in Table 1 for different temporal-scales inside the study area. It is evident from the statistics given in Table 1, the greatest number of flashes was observed over Azerbaijan during the warm months in the spring, in June, and the afternoon period (2-4 pm). Nevertheless, the uppermost values of flash radiance and duration statistics may differ to some degree (notice inside the brackets in Table 1).

c) Lightning Hazard Map

Fig. 7 visualizes the spatial changes in lightning risks over the study area, by applying a fuzzy overlay function. “The lightning hazard map” highlights the local threat of lightning in Azerbaijan by scaling the lightning frequency, radiance, and duration flash values related to their attribute fields' and geographic locations (Yair et al., 2014).

Table 1

Total number of flashes derived from LIS-dataset and flash properties for dissimilar temporal scales

Temporal Scale Pick-Periods	**Flash Frequency Number (%)**	**Flash Radiance (Wm-2 Sr-1 üm-1) * 10^3**			**Flash Duration (MilliSecond)**		
Statistics	Count	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
Warm Months (Apr-Sep)	2054 (99)	4	354.9	97134 (13Jun 2020)	0.1	206.8	2716 (28 May 2019)
Spring (Apr-Jun)	1313 (64)	4	429.1	97134 (13Jun 2020)	0.1	221.8	2716 (28 May 2019)
Summer (Jul-Sep)	741 (36)	4	223.3	3528 (18Jul 2018)	0.1	180.2	1321 (23 Aug 2020)
June	663 (32)	4	527.7	97134 (13Jun 2020)	0.1	203.6	1716 (05 Jun2018)
Afternoon (2pm-4pm)	942 (46)	4	232.5	4084 (06Jun 2020)	0.1	201.2	2716 (28May 2019)
Autumn (Oct-Dec)	17 (0.8)	5	191.3	948 (03 Oct 2020)	0.1	181.1	608 (03Oct2020)
Winter (Jan-Mar)	3 ((0.2)	4.4	1118.7	3011 (30Mar 2020)	0.1	406	973 (30Mar 2020)

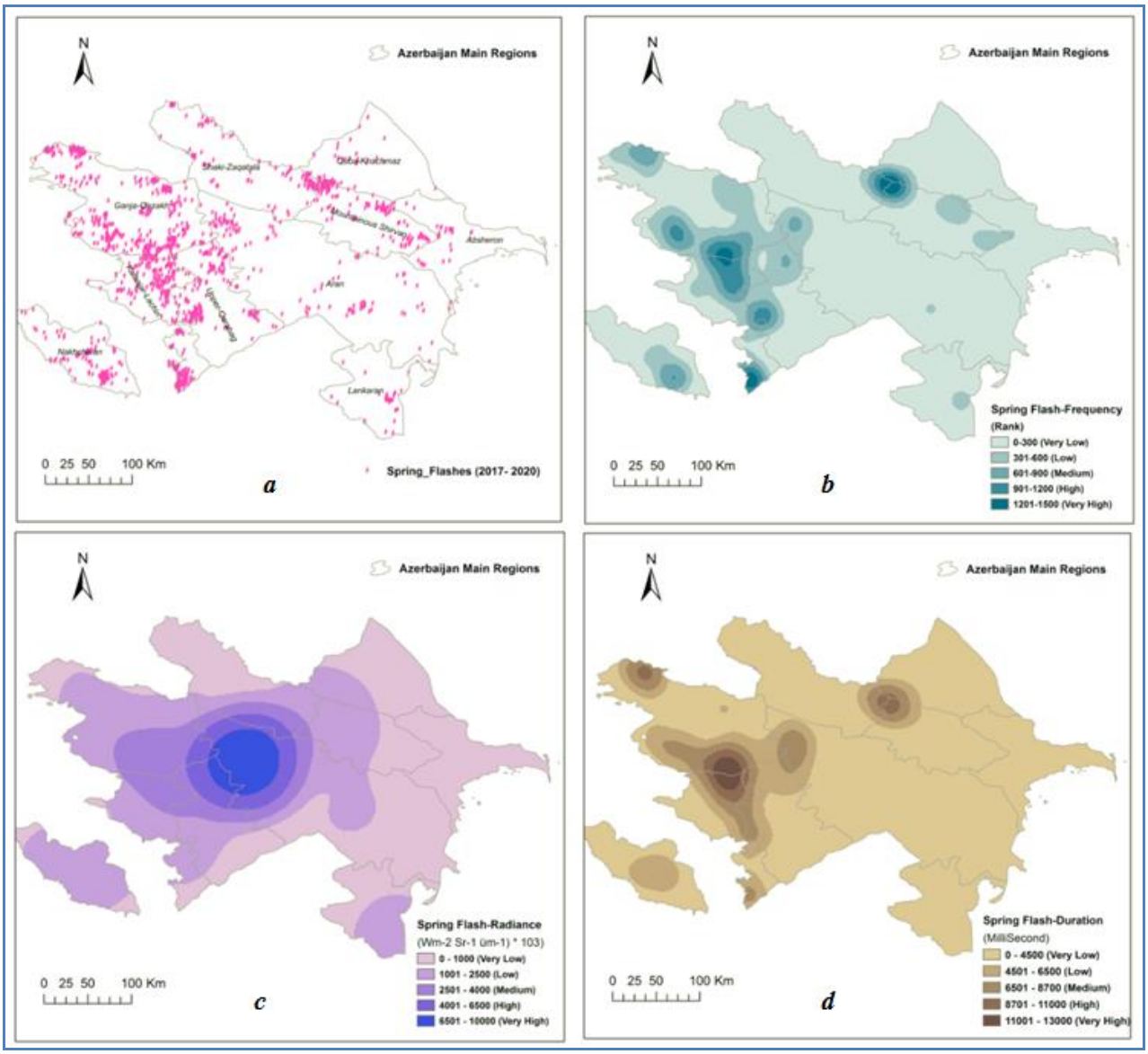


Fig. 6. The Kernel Density outputs for lightning elements as **a, b, c** & **d** indicating flash occurrence, frequency, radiance and duration respectively during the spring season

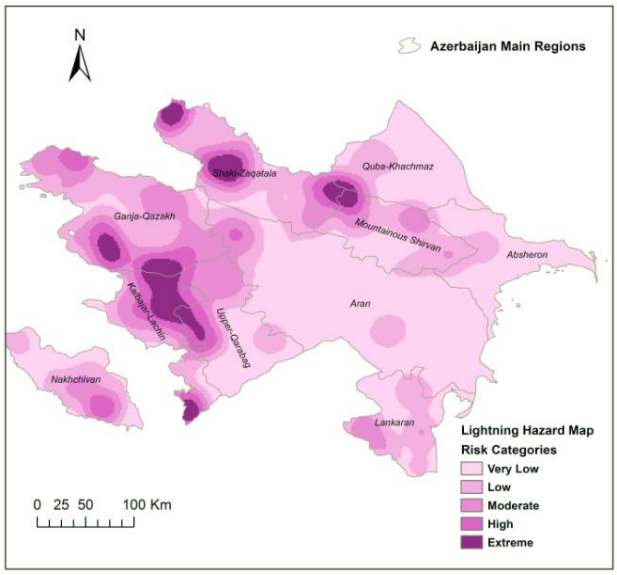


Fig. 7. "The lightning hazard map" highlights the nation-wide threat of flashes in Azerbaijan

As it is shown in Fig. 7, the "lightning hazard map" delineates the local threat of lightning for all districts in Azerbaijan. With emphasis, areas located around the Caucuses Mountains such as Balaken, Zagatala, Gazakh, Gabala, Agstafa, Ismayilli, and Sheki have the highest risk from lightning. Similarly, Gadabay, Lachin, Dashkasan, Kalbajar, Shusha, Khojaly and Zangilan districts, largely located near or around the Karabakh Mountains, are exposed to the extreme or high risks from lightning. With a high probability, during the thunderstorm activity, many Azerbaijanians may be struck by lightning activities and they may be killed or suffer from permanent neurological disabilities. In contrast, other districts located in lowlands or the eastern parts of the country, with emphasis on Sumgayit, Baku, Khizi, Shabran, Neftchala and Salyan may expose to the lowest risks from flashes of lightning during the year. If we have trustable precise temporal-spatial information on the lightning occurrences throughout the country, most targeted could be saved (Safarov, 2008).

The current paper results indicate that most of the lightning flashes occur during the spring and summer months, mostly during the afternoon times. Lightning occurs more often in these timescales because there to be high amounts of moisture in the air along with warm rising air. There must be instability in the atmosphere, particularly during the warmer months, when the humidity is much higher. Weather systems, such as cold airmasses, the Kara and Scandinavian arctic anticyclones, the temperate Siberian anticyclones, and the maritime Azores, may affect the lightning activity in the region (Mammadov et al., 2009). The air masses may enter the country in different ways thanks to its varied geography. With a higher chance, during warm and humid months, for instance, in June, the Azerbaijan climate could be influenced by the humid subtropical air masses, or even a cold front, when you may expect hot weather and thereafter thunderstorm events from time to time. Therefore, thunderstorms and lightning are most common during convective periods, when there is a strong influence from the wet weather systems; those have a significant role in distributing moisture throughout the region.

Furthermore, the temporal-spatial analysis indicated that the highest occurrence of lightning activities is confined to the higher elevated parts of the Karabakh region and Caucuses Mountains while the Kura-Aras lowlands and the Caspian Sea coastal areas have the lowest lightning flash occurrences. There are also clear differences and meaningful spatial polarization of lightning activities during the west and north-west of the country, particularly during the wet and warm seasons. One main outcome of the study was an up-to-date knowledge of the LIS-database about regional lightning distributions by applying a "GIS oriented procedure". As the NNI indicates, there are some significant clustering patterns, as there is less than 1 percent likelihood that this clustered pattern of lightning distribution could be the result of random chance. Moreover, based on the density maps, various calculations regarding the coherence between lightning activity and altitude could be made. Thereby, high positive correlations could be seen in the districts located around the Caucasus Mountains and the Karabakh region. In general, the correlations strongly depended on the relief of the considered regions. Areas with a quite low altitude, such as the lowlands in the middle of the country and the Caspian Sea coastal areas, show very low positive correlations, whereas mountainous regions tended to very high positive correlations.

The assumption of high lightning activities at convex mountain tops or ridges could be highlighted in the coming investigations. Additionally, due to the emergence of the climate change signatures around Azerbaijan, the phenomena related to severe thunderstorms have to be considered at local, regional, and nationwide levels (Second national communication..., 2010; Safarov et al., 2017). There is a certain need that among the other thunderstorms phenomenon such as destructive hail events and intensive flash-flooding rainfalls should be extensively considered by researchers and decision-makers (Rasouli and Cheung, 2013; Mammadov, 2015).

Conclusion

This initial study brings out the following conclusions:

- ✓ The lightning activity should be seen as the output of thunderstorm activity that could strike far more frequently under the Azerbaijan climatic circumstances, particularly over the Caucuses and Karabakh mountains and less nearby the Caspian Sea and lowlands.
- ✓ There are many pieces of evidence showing meaningful differences in the frequency of flashes during the last four years (2017-2020). They are much active during wet and warm months, particularly during spring and early afternoons.
- ✓ Spatial models showed some differences, at least on a regional scale. Nevertheless, these models can reveal the interaction between the strong influence of humid air masses and topographic features of the terrain, which affect the control of extensive severe thunderstorm processes, which, in turn, can be attributed to the same category of active synoptic weather system.
- ✓ In most cases, on the ground, such storms have catastrophic and significant expensively impacts upon the natural environment and social community in those districts, mostly located over high-elevated areas in the current circumstances.
- ✓ If the consensus of climate change is accepted, then meteorologists and climatologists have to pay much attention to the advanced methods of lightning observation. These may lead to intense thundery rainfalls leading to flash flooding, destructive hail events, hurried winds, and suspect tornadoes by estimating the heat energy available to "fuel" severe thunderstorm clouds.
- ✓ By year, in Azerbaijan, several deaths resulting from lightning activities are reported. They could affect telecommunications, power utilities, aviation, and the insurance industry, among other socio-economic impacts. Therefore, quantification and mapping of lightning activity have become important areas of research throughout the country that should use in risk management analysis, lightning protection analysis, and township planning projects.

Acknowledgment:

The data was provided by the NASA Lightning Imaging Sensor (LIS) instrument team and the LIS data center via the Global Hydrology Resource site. We would like to appreciate many scientists who made such valuable data achievable. We like to appreciate the head and academics from the Department of Environmental Sciences, the University of Macquarie in Australia for their great scientific assistants. Spatial thanks go to our kind colleagues from the Institute of Geography of the Azerbaijan National Academy of Sciences, who sincerely assisted us in various scientific ways.

REFERENCES

Albrecht R.I., Goodman S.J., Buechler D.E., Blakeslee R.J., Christian H.J. Where are the lightning hotspots on Earth? Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 97, No.11, 2016, pp. 2051-2068.

Bitzer P.M. Global distribution and properties of continuing current in lightning. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 122, No. 2, 2017, pp. 1033-1041.

Blakeslee R.J. Lightning Imaging Sensor (LIS) on TRMM science data Dataset available online from the NASA global hydrology center DAAC. Huntsville, AL 10.5067/LIS/LIS/DATA, 1998, 201 p.

Bruning E.C., Thomas R.J. Lightning channel length and flash energy determined from moments of the flash area distribution. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 120, No. 17, 2015, pp. 8925-8940.

Cecil D.J., Buechler D.E., Blakeslee R.J. Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description. Atmospheric Research, Vol. 135-136, 2014, pp. 404-414.

Changery M.J. National thunderstorm frequencies for the Contiguous United States. NUREG/CR, National Climatic Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, Vol. 2252, 1981, 57 p.

Christian H.J., Blakeslee R.J., Goodman S.J. Lightning Imaging Sensor (LIS) for the Earth-observing system. NASA TM-4350, available from the National Technical Information Service, Springfield, VA. 22161-2171, 1992, 36 p.

Cooray V. An introduction to lightning. Springer. 2015, 262 p.

LITERATURE

Albrecht R.I., Goodman S.J., Buechler D.E., Blakeslee R.J., Christian H.J. Where are the lightning hotspots on Earth? Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 97, No.11, 2016, pp. 2051-2068.

Bitzer P.M. Global distribution and properties of continuing current in lightning. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 122, No. 2, 2017, pp. 1033-1041.

Blakeslee R.J. Lightning Imaging Sensor (LIS) on TRMM science data Dataset available online from the NASA global hydrology center DAAC. Huntsville, AL 10.5067/LIS/LIS/DATA, 1998, 201 p.

Bruning E.C., Thomas R.J. Lightning channel length and flash energy determined from moments of the flash area distribution. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 120, No. 17, 2015, pp. 8925-8940.

Cecil D.J., Buechler D.E., Blakeslee R.J. Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description. Atmospheric Research, Vol. 135-136, 2014, pp. 404-414.

Changery M.J. National thunderstorm frequencies for the Contiguous United States. NUREG/CR, National Climatic Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, Vol. 2252, 1981, 57 p.

Christian H.J., Blakeslee R.J., Goodman S.J. Lightning Imaging Sensor (LIS) for the Earth-observing system. NASA TM-4350, available from the National Technical Information Service, Springfield, VA. 22161-2171, 1992, 36 p.

Cooray V. An introduction to lightning. Springer. 2015, 262 p.

Fischer M.M., Getis A. Handbook of applied spatial analysis – software, tools, methods and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010, 805 p.

Gashimov A.M., Khidirov F.L. Babayeva A.R. Strength of the lightning activity in the territory of Azerbaijan Republic. International Symposium on Modern Electric Power Systems (MEPS), 2010, pp. 1-4.

Gelfand A.E., Diggle P., Guttorp P. Fuentes M. Handbook of spatial statistics. CRC press. 2010, 619 p.

Haining R. Spatial data analysis: theory and practice. Cambridge University Press. UK, 2010, 432 p.

How Fuzzy Overlay works. ArcGIS for Desktop. ESRI. 2020, 288 p.

Kelsall J.E., Diggle P.J. Kernel estimation of relative risk. Bernoulli, Vol. 1, No. 1-2, 1995, pp. 3-16.

Koehler T.L. Cloud-to-ground lightning flash density and thunderstorm day distributions over the Contiguous United States derived from NLDN measurements: 1993-2018. Monthly Weather Review, Vol. 148, No.1, 2020, pp. 313-332.

Mackerras D., Darveniza M., Orville R.E., Williams E.R., Goodman S.J. Global lightning: total, cloud and ground flash estimates. Journal of Geophysical Research, Vol.103, No. 16, 1998, pp.19791-19809.

Mammadov R. Impact of climate changes on the Caspian Sea level. Journal of Resources and Ecology, Vol. 6, No. 2, 2015, pp. 87-92.

Mammadov R., Budagov B. The constructive geography of the Azerbaijan Republic. Elm. Baku, 1996, 245 p.

Mammadov R., Safarov S.G., Safarov E.S. Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan. Geography and Natural Resources, Vol. 30, No. 4, 2009, pp. 403-407.

NASA EOSDIS Global Hydrology Resource Center, GHRC User Services Office National Space Science and Technology Center, USA, 2013.

Ord J.K., Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. Geographical Analysis, Vol. 27, No. 4, 1995, pp. 286-306.

Peterson M., Deierling W. Liu C. Mach D., Kalb C. The properties of optical lightning flashes and the clouds they illuminate. J. Geophys. Res. Atmos., 2016, 121 p.

Rakov V.A. Fundamentals of lightning. Cambridge University Press. 2016, 257 p.

Rasouli A.A., Cheung K. Spatial distribution of severe thunderstorm rainfall events throughout the GMSTWA and adjacent the Tasman Sea. The 7th Annual CAWCR Workshop, Observing, Estimating and Forecasting Rainfall: From Science to Application. 21-23 October 2013, Melbourne, Australia.

Rasouly A.A., Cheung K., McBurney B. Hail events across the Greater Metropolitan Severe Thunderstorm Warning Area. Natural Hazards Earth System Science, Vol.15, 2015, pp. 973-984.

Safarov S.H. The trend of changes in the frequency of hail in different regions of Azerbaijan. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, 2008, No. 6, pp. 60-64 (in Russian).

Safarov S.H. Thunderstorms on the territory of Azerbaijan. Hydrometeorology and Ecology, Almaty, No. 3(46), 2007, pp. 44-54 (in Russian).

Safarov S.H., Mekhtieva G.Sh. The real situation with lightning on the territory of Azerbaijan. GESJ: Physics, No. 2(18), 2017, pp. 25-32 (in Russian).

Safarov S.H., Nasibli A.A., Huseynov J., İbrahimova İ.V. Influence of climate warming on hail events in the Western Part of Azerbaijan. Proceedings of International Scientific Conference on Sustainable Development Goals 24-25 November 2017, Baku, Azerbaijan, pp. 83-89.

Fischer M.M., Getis A. Handbook of applied spatial analysis – software, tools, methods and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010, 805 p.

Gashimov A.M., Khidirov F.L. Babayeva A.R. Strength of the lightning activity in the territory of Azerbaijan Republic. International Symposium on Modern Electric Power Systems (MEPS), 2010, pp.1-4.

Gelfand A.E., Diggle P., Guttorp P. Fuentes M. Handbook of spatial statistics. CRC press. 2010, 619 p.

Haining R. Spatial data analysis: theory and practice. Cambridge University Press. UK, 2010, 432 p.

How Fuzzy Overlay works. ArcGIS for Desktop. ESRI. 2020, 288 p.

Kelsall J.E., Diggle P.J. Kernel estimation of relative risk. Bernoulli, Vol. 1, No. 1-2, 1995, pp. 3-16.

Koehler T.L. Cloud-to-ground lightning flash density and thunderstorm day distributions over the Contiguous United States derived from NLDN measurements: 1993–2018. Monthly Weather Review, Vol. 148, No.1, 2020, pp. 313-332.

Mackerras D., Darveniza M., Orville R.E., Williams E.R., Goodman S.J. Global lightning: total, cloud and ground flash estimates. Journal of Geophysical Research, Vol.103, No. 16, 1998, pp.19791-19809.

Mammadov R. Impact of climate changes on the Caspian Sea level. Journal of Resources and Ecology, Vol. 6, No. 2, 2015, pp. 87-92.

Mammadov R., Budagov B. The constructive geography of the Azerbaijan Republic. Elm. Baku, 1996, 245 p.

Mammadov R., Safarov S.G., Safarov E.S. Current changes of the atmospheric precipitation regime on the territory of Azerbaijan. Geography and Natural Resources, Vol. 30, No. 4, 2009, pp. 403-407.

NASA EOSDIS Global Hydrology Resource Center, GHRC User Services Office National Space Science and Technology Center, USA, 2013.

Ord J.K., Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. Geographical Analysis, Vol. 27, No. 4, 1995, pp. 286-306.

Peterson M., Deierling W. Liu C. Mach D., Kalb C. The properties of optical lightning flashes and the clouds they illuminate. J. Geophys. Res. Atmos., 2016, 121 p.

Rakov V.A. Fundamentals of lightning. Cambridge University Press. 2016, 257 p.

Rasouli A.A., Cheung K. Spatial distribution of severe thunderstorm rainfall events throughout the GMSTWA and adjacent the Tasman Sea. The 7th Annual CAWCR Workshop, Observing, Estimating and Forecasting Rainfall: From Science to Application. 21-23 October 2013, Melbourne, Australia.

Rasouly A.A., Cheung K., McBurney B. Hail events across the Greater Metropolitan Severe Thunderstorm Warning Area. Natural Hazards Earth System Science, Vol.15, 2015, pp. 973-984.

Safarov S.H., Nasibli A.A., Huseynov J., İbrahimova İ.V. Influence of climate warming on hail events in the Western Part of Azerbaijan. Proceedings of International Scientific Conference on Sustainable Development Goals 24-25 November 2017, Baku, Azerbaijan, pp. 83-89.

Scott L.M., Janikas M.V. Spatial statistics in ArcGIS. In: Fischer M.M., Getis A. (eds) Handbook of applied spatial analysis. Springer. Berlin, Heidelberg and New York, 2010, pp. 27-41.

Second national communication to the United Nations framework convention on climate change. Ministry of Ecology and Natural Resources. Baku, Republic of Azerbaijan, 2010, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Azerbaijan.

Understanding Spatial Statistics in ArcGIS. Vol. 1. ESRI Press. 2006, 312 p.

Scott L.M., Janikas MV. Spatial statistics in ArcGIS. In: Fischer M.M., Getis A. (eds) Handbook of applied spatial analysis. Springer. Berlin, Heidelberg and New York, 2010, pp. 27-41.
Second national communication to the United Nations framework convention on climate change. Ministry of Ecology and Natural Resources. Baku, Republic of Azerbaijan, 2010, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Azerbaijan.
Understanding Spatial Statistics in ArcGIS. Vol. 1. ESRI Press. 2006, 312 p.
Wanke E., Andersen R., Volgnandt T. A Worldwide low-cost community-based time-of-arrival lightning detection and lightning location network. Blitzortung.org, 2014, 95 p.
Williams E.R. Lightning and climate: a review. Atmospheric Research, Vol. 76, 2005, pp. 272-287.
Yair Y., Shalev S., Erlich Z., Agrachov A., Katz E. Lightning flash multiplicity in eastern Mediterranean thunderstorms. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 14(2), 2014, pp. 165-173.
Zimmermann H.J. Fuzzy set theory and its applications. Fourth Edition. Kluwer Academic Publishers. Boston, Dordrecht, London, 2001, 441 p.

Wanke E., Andersen R., Volgnandt T. A Worldwide low-cost community-based time-of-arrival lightning detection and lightning location network. Blitzortung.org, 2014, 95 p.
Williams E.R. Lightning and climate: a review. Atmospheric Research, Vol. 76, 2005, pp. 272-287.
Yair Y., Shalev S., Erlich Z., Agrachov A., Katz E. Lightning flash multiplicity in eastern Mediterranean thunderstorms. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 14(2), 2014, pp. 165-173.
Zimmermann H.J. Fuzzy set theory and its applications. Fourth Edition. Kluwer Academic Publishers. Boston, Dordrecht, London, 2001, 441 p.

Сафаров С.Г. Грозовые явления на территории Азербайджана. Гидрометеорология и экология, Алматы, No. 3(46), 2007, с. 44-54.
Сафаров С.Г., Мехтиева Г.Ш. Реальное положение с молниями на территории Азербайджана. ГЭНЖ: Физика, No. 2(18), 2017, с. 25-32.
Сафаров С.Г. Тенденция изменения повторяемости града в различных регионах Азербайджана. Ученые записки РГМУ, Санкт- Петербург, 2008, No. 6, с. 60-64.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МОЛНИЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПО ДАННЫМ С ДАТЧИКА ОТОБРАЖЕНИЙ МОЛНИЙ

Мамедов Р.В.[1], Расули А.А.[2], Сафаров С.[1], Сафаров Э.[1]
[1]Институт Географии им. акад. Г.Алиева НАНА
AZ1070, г.Баку, просп. Г.Джавида, 115
[2]Департамент наук об окружающей среде, Университет Маккуари, Сидней, Австралия
Австралия, Сидней, Нот Райд, Воллиз Вок,12, Уровень 4: aarasuly@yahoo.com

Для определения временной вариации и пространственного распределения ударов молний (вспышек) по районам Азербайджана были проанализированы имеющиеся данные о молниях, полученные с помощью датчика отображений грозовых разрядов. Каждая обнаруженная вспышка считается атмосферным событием. Почти 2074 вспышки за теплые и холодные месяцы с 2017 по 2020 год были объединены в четырехгодичную “сеть данных о молниях”, происходящих на территории грозоопасного региона с разрозненно расположенными в нем городами и селами с населением около 10 миллионов человек. ГИС методика целенаправленно применялась путем ввода данных всех проявлений молний для создания соответствующих четких цифровых слоев, необходимых для последующего пространственно-временного анализа. Был применен ряд методов обработки главным образом с целью анализа и картирования существующих пространственных закономерностей между слоями данных. Были установлены различные временные и пространственные закономерности, показывающие кластеры (группы) значений частоты молний и других параметров, статистически значимых для территории Азербайджана. В заключение для выявления областей с высокой вероятностью вспышек молнии при создании растрового банка данных был применен комбинированный нечеткий оператор на основе метода Кендалла (выходные слои плотности). В результате было установлено, что более 99% вспышек происходит в период с апреля по сентябрь с единичным пиком в июне и значительной грозовой активностью в летние месяцы, что подтверждает ярко выраженный дневной пик в регионе. Кроме того, пространственные индексы показали, что наиболее частые и энергичные вспышки молний происходят над западными и северными районами страны, в основном над возвышенными районами Карабаха и Кавказских гор, что указывает на районы повышенного риска.

Ключевые слова: *Азербайджан, молния, временно-пространственные закономерности, карта опасности воздействия молний*

ILDIRIM SAYĞACLARINDAN ALINMIŞ MƏLUMATLAR ƏSASINDA AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ƏRAZİSİNDƏ İLDIRIMLARIN VİZUALLAŞDIRILMASI

Məmmədov R.V.[1], Rasuli A.A.[2], Səfərov S.[1], Səfərov E.[1]
[1]AMEA akad. H.Əliyev ad. Coğrafiya İnstitutu
AZ 1143, Bakı ş., H.Cavid prosp., 115
[2]Ətraf mühitə dair elmlər departamenti, Makkuari Universiteti, Avstraliya, Sidney
Avstraliya, Sidney, Makkuari Universiteti, North Ryde, Wally's Walk, 12, səviyyə 4: aarasuly@yahoo.com

Xülasə. Azərbaycanın rayonlar üzrə ildırım zərbələrinin (işartılarının) zaman variasiyasının və məkanca paylanmasının müəyyən edilməsi üçün tufan boşalmaları sayğacının təsvirlərinin köməyi ilə ildırımlara dair alınmış mövcud məlumatlar təhlil edilmişdir. Aşkar edilən hər bir işartı atmosfer hadisəsi hesab olunur. 2017-2020-ci illərin ilıq və soyuq ayları üçün 2074 işartı dördillik “ildırımlara dair məlumatlar şəbəkəsi”ndə birləşdirilmişdir. Bu işartılar təxminən 10 milyon əhalisi olan pərakəndə yerləşmiş şəhər və kəndlərlə tufan təhlükəli regionun ərazisində baş vermişdir. Növbəti məkan-zaman təhlili üçün lazımi müvafiq səlis rəqəmli təbəqələrin yaradılması üçün ildırımların bütün təzahürlərinin məlumatlarının daxil olunması yolu ilə klimatoloji istiqamətlənmiş GİS məqsədəuyğun şəkildə tətbiq edilmişdir

Məlumat təbəqələri arasında mövcud məkan qanunauyğunluqlarının, əsas etibarilə, təhlili və xəritələnməssi məqsədilə məkan statistikasının və analizinin tam bir sıra vasitələri tətbiq edilmişdir.

Azərbaycan ərazisi üçün statistik əhəmiyyət daşıyan ildırımların tezliyinin və digər göstəricilərin klasterlərini (qrupları) göstərən müxtəlif zaman və məkan qanunauyğunluqları müəyyən edilmişdir. Yekündə ildırım işartılarının ən yüksək ehtimallığına malik əraziləri aşkar etmək üçün məlumatlar bankı yaradılanda Kendall metodu (sıxlığın çıxış təbəqələri) əsasında kombinə edilmiş qeyri-səlis operator tətbiq edilmişdir. Nəticədə muəyyən olunmuşdur ki, işartıların 99%-dən çoxu iyunda (yazda apreldən iyunadək) vahid pik olmaqla apreldən sentyabradək dövrdə baş verir. Mühüm tufan aktivliyi yay aylarında regionda kəskin fadə olunmuş gündüz piki ilə təsdiq olunur. Bundan əlavə, məkan indeksləri göstərir ki, ən tez-tez və ciddi ildırım işartıları ölkənin qərb və şimal rayonlarının üzərində, əsasən Qarabağın və Qafqaz dağlarının yuksək rayonları üzərində baç verir. Bu isə ölkə daxilində yüksək riskli rayonları göstərir.

Açar sözlər: *Azərbaycan, LİS, GİS məlumat bazaları, məkan-zaman qanunauyğunluqları, ildırım təhlükəsi xəritəsi*

ANAS Transactions Earth Sciences 1 / 2021

Contents

http://www.journalesgia.com

MÜNDƏRİCAT

Geologiya və geofizika

Əliyeva E., Mustafayev K. – Cənubi Xəzər hövzəsinin qərb bortunun miosen çöküntülərinin petroqrafik və həcmi-filtrasiya xüsusiyyətləri 3-15
Senin B.V., Kərimov V.Y., Mustayev R.N., Əliyeva S.A. – Xəzər regionunda çöküntü hövzələrinin formalışmasının və yerləşməsinin litoloji və paleocoğrafi şəraiti 16-28
Cavadova A.S. – Neft-ana süxurlarının xüsusiyyətləri və karbohidrogenlərin generasiyası, Bakı arxipelaqı, Cənubi Xəzər hövzəsi, Azərbaycan 29-42
Feyzullayev Ə.Ə., Əliyev Ç.S., Bağırlı R.C., Mahmudova F.F. – Talış regionunun (Azərbaycan) yaşayış və qeyri-yaşayış yerlərində radon qazının konsentrasiyasının qiymətləndirilməsi 43-46
Altınoğlu F.F. – Maqnit və qravitasiya məlumatlarından istifadə etməklə Qərbi Anadolunun Buldan regionunun struktur interpretasiyası 47-55
Bayramova Ş.Ş., Tağıyeva Y.N., Babazadə A.D. – Böyük Qafqazın cənub-şərq qurtaracağının maykop seriyası çöküntülərinin mikropaleontoloji tədqiqatları (Azərbaycan) 56-74

Neft və qaz yataqlarının işlənilməsinin nəzəriyyə və praktikası

Calalov Q.İ., Mirzəyeva D.R. – Qaz-kondensat qatışığının süzülməsi şəraitində xalis çatlı layın hidrotermodinamiki modelinin dəqiqləşdirilməsi 75-81

Süleymanov B.A., Vəliyev E.F., Əliyev Ə.A. – Nanohissəciklərin strukturunun neftveriminin artırılmasında tətbiq olunan Pikerinq emulsiyasının effektivliyinə təsiri 82-92

Coğrafiya

Məmmədov R.V., Rasuli A.A., Səfərov S., Səfərov E. – İldırım sayğaclarından alınmış məlumatlar əsasında Azərbaycan Respublikası ərazisində ildırım proseslərinin vizuallaşdırılması 93-105

CONTENTS

Geology and geophysics

Aliyeva E., Mustafayev K. – Petrographic and filtration-volume features of Miocene deposits of the western flank of the South Caspian Basin 3-15
Senin B.V., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Aliyeva S.A. – Lithological and paleogeographic conditions for the formation and location of sedimentary basins of the Caspian region..... 16-28
Javadova A.S. – Petroleum source rock characterization and hydrocarbon generation, Baku archipelago, South Caspian Basin, Azerbaijan..... 29-42
Feyzullayev A.A., Aliyev Ch.S., Baghirli R.J., Mahmudova F.F. – Assessment of indoor and outdoor radon concentrations in Talysh, Azerbaijan..... 43-46
Altınoğlu F.F. – Structural interpretation of Buldan region in Western Anatolia by using magnetic and gravity data 47-55
Bayramova Sh.S., Taghiyeva Y.N., **Babazadeh A.D. –** Micropaleontological studies of the Maykop series, south-eastern edge of the Greater Caucasus (Azerbaijan)..... 56-74

Theory and practice of oil and gas fields development

Dzhalalov G.I., Mirzayeva D.R. – Hydrothermodynamic simulation clarification of a purely-fractured strata at filtration of a gas-condensate mixture 75-81
Suleimanov B.A., Veliyev E.F., Aliyev A.A. – Impact of nanoparticle structure on the effectiveness of Pickering emulsions for EOR applications 82-92

Geography

Mammadov R., Rasouli A.A., Safarov S., Safarov E. – Visualizing the lightning flashes over the Republic of Azerbaijan by analyzing the lightning imaging sensor data 93-105

ОГЛАВЛЕНИЕ

Геология и геофизика

Алиева Э., Мустафаев К. – Петрографические и емкостно-фильтрационные особенности миоценовых отложений западного борта Южно-Каспийского Бассейна 3-15
Сенин Б.В., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Алиева С.А. – Литологические и палеогеографические условия формирования и размещения осадочных бассейнов Каспийского региона 16-28
Джавадова А.С. – Характеристика нефтематеринских пород и генерация углеводородов, Бакинский архипелаг, Южно-Каспийский бассейн, Азербайджан 29-42
Фейзуллаев А.А., Алиев Ч.С., Багирли Р.Дж., Махмудова Ф.Ф. – Оценка концентрации радона внутри и вне жилых помещений в Талышском регионе (Азербайджан) 43-46
Алтыноглу Ф.Ф. – Структурная интерпретация региона Булдан Западной Анатолии с использованием магнитных и гравитационных данных 47-55
Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н., Бабазаде А.Д. – Микропалеонтологические исследования отложений майкопской серии юго-восточного окончания Большого Кавказа (Азербайджан) 56-74

Теория и практика разработки нефтяных и газовых месторождений

Джалалов Г.И., Мирзоева Д.Р. – Уточнение гидротермодинамической модели чистотрещиноватого пласта при фильтрации газоконденсатной смеси 75-81
Сулейманов Б.А., Велиев Э.Ф., Алиев А.А. – Влияние структуры наночастиц на эффективность применения эмульсий Пикеринга для увеличения нефтеотдачи..... 82-92

География

Мамедов Р., Расули А.А., Сафаров С., Сафаров Э. – Визуализация молниевых процессов на территории Азербайджанской республики по данным с датчика отображений молний 93-105