



КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА И ПОДБОР МЕТОДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕГАРЕЗЕРВУАРОВ (БЛОК ХАЯН, ПАЛЬМИРИДСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

В.Л. ШУСТЕР¹, О.В. ТЮКАВКИНА^{2*}, И. КАРТАЛ²

¹ *Институт проблем нефти и газа РАН
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия*

² *ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведен анализ параметров данных геофизических исследований скважин (ГИС), которые были применены в пределах месторождения Джихар (блок Хаян, Пальмиридский складчатый пояс) для установления границ коллектора формации «Куррачайн-Доломит». В связи со сложной обстановкой в Сирии исследования данной территории проводятся в крайне ограниченном количестве.

Цель. Провести комплексную обработку данных ГИС, в том числе с применением корреляционной матрицы, для оценки возможности использования полученных данных в качестве экспресс-метода для интерпретации данных ГИС и установления границ формации «Куррачайн-Доломит» в пределах блока Хаян и прилегающих территорий.

Материалы и методы. Скважинные данные для проведения эмпирических исследований предоставлены Сирийской нефтяной компанией. В работе получены корреляционные матрицы между каротажными данными: CAL, AC, GR, RD, RS, RHOV, PE, что позволило установить хорошую корреляционную связь между их числовыми значениями и результатами лабораторных исследований керна, проведенных для установления литологических характеристик и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов на территории северо-западной части блока Хаян.

Результаты. Обработанные материалы позволили подобрать наиболее эффективный комплекс ГИС для выделения границ и зон выклинивания отложений формации «Куррачайн-Доломит», рассматриваемой как мегарезервуар, и выделять первоочередные объекты разработки, аналогичные по геологическому строению и коллекторским свойствам.

Заключение. Предложенный метод обработки промыслово-геофизических материалов (построение корреляционных матриц и статистическая обработка геолого-промысловых данных) может быть использован при подборе оптимального комплекса ГИС для выделения границ распространения и количественной оценки ФЕС коллектора формации «Куррачайн-Доломит» (мегарезервуар блока Хаян), а также для повышения эффективности разработки месторождения Джихар.

Ключевые слова: мегарезервуар, Пальмиридский складчатый пояс, блок Хаян, коэффициент корреляции, корреляционная матрица

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены по теме Госзадания 122022800253-3 «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла». Институт проблем нефти и газа РАН (ИПНГ РАН).

Для цитирования: Шустер В.Л., Тюкавкина О.В., Картал И. Комплексная обработка и подбор методов геофизических исследований для детализации геологического строения

мега-резервуаров (блок Хаян, Пальмиридский складчатый пояс). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):66—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-66-78>

Статья поступила в редакцию 28.10.2023

Принята к публикации 18.12.2023

Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

COMPLEX PROCESSING GEOPHYSICAL SURVEY AND SELECTION OF METHODS FOR DETAILING THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF MEGA-RESERVOIRS (HAYAN BLOCK, OF THE PALMYRIDE FOLD BELT)

VLADIMIR L. SCHUSTER¹, OLGA V. TYUKAVKINA^{2,*}, IBRAHIM KARTAL²

¹ Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Background. An analysis was conducted out to establish the boundaries of the Kurrachi-Dolomite formation reservoir (Jihar field, Hayan block, Palmyra fold belt). In the process of research, data from geophysical surveys of wells were used and statistical processing of the obtained data was carried out. Currently, due to the difficult situation in Syria, scientific research in this area is extremely limited.

Aim. To conduct a combined processing of geophysical well data (GWD), including by using a correlation matrix, and to assess the applicability the results obtained as an express method for interpreting geophysical data and identifying the boundaries of the Kurrachine-Dolomite formation within the Hayan block and adjacent areas.

Materials and methods. The well data for the empirical study was provided by the Syrian Petroleum Company. Correlation matrices were obtained between the following logging data: CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, and PE. This allowed a good correlation to be determined between their numerical values and the results of core studies, which were carried out to establish lithological characteristics and reservoir properties of the area under study (northwestern part of the Hayan block).

Results. The processed materials made it possible to select the most effective GWD combination for identifying the boundaries and fringe zones of sediments in the Kurrachine-Dolomite formation, considered as a mega reservoir, and to identify priority development objects similar in geological structure and reservoir properties.

Conclusion. The proposed method for processing field geophysical materials (construction of correlation matrices and statistical processing of geological and field data) can be used in selecting an optimal combination of GWD for establishing the reservoir boundaries of the Kurrachine-Dolomite formation, quantifying the reservoir properties, and increasing the efficiency of the Jihar field development (mega reservoir of the Hayan block).

Keywords: mega reservoirs, Palmyra fold belt, Hayan block, correlation coefficient, correlation matrix

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the research was carried out on the topic of State Assignment 122022800253-3 “Scientific and methodological foundations for searching and exploring oil and gas accumulations associated with mega-reservoirs of the sedimentary cover”. Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

For citation: Schuster V.L., Tyukavkina O.V., Kartal I. Complex processing geophysical survey and selection of methods for detailing the geological structure of mega-reservoirs (Hayan block, of the Palmyride fold belt). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):66—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-66-78>

Manuscript received 28 October 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Современный этап поисков и разведки месторождений нефти и газа позволяет проводить обработку полученных геолого-промысловых данных посредством применения программных продуктов или отдельных модулей, которые направлены на исследование различных изменений свойств горной породы непрерывно с глубиной. Пакет прикладных программ для решения прикладных и технических задач «Матлаб» позволяет представить анализируемые параметры в виде матрицы, в которую вносятся определенные предикторы, полученные как при геолого-промысловых исследованиях, так и испытаниях скважин. Возможность получения корреляционных зависимостей, применение современных программных комплексов для статистической обработки данных являются актуальными направлениями исследований для площади месторождений, разбуренных как большим количеством, так и ограниченным числом скважин.

Материалы исследований

В данной статье представлен только первый этап работы, который позволил провести первичные исследования, обработку и группировку параметров, полученных по результатам геофизических исследований скважин (ГИС). Исследования проведены по параметрам, полученным в результате ГИС: кавернометрия (CAL), акустический каротаж (AC), гамма-каротаж (GR), удельное электрическое сопротивление породы (RD, RS), плотностной каротаж (RHOB), параметры фотоэлектрического эффекта (PE). Для решения поставленных задач использовался пакет прикладных программ — система «Матлаб» [2], который занимает особое место при выполнении исследовательских проектов, связанных с обработкой разновариантной геолого-промысловых информации. «Матлаб» выбран нами как инструмент решения научных задач геофизики, а именно задачи исследования и анализа данных, необходимых для проведения корреляции параметров

каротажных кривых, полученных при бурении скважин на нефтегазовом месторождении Джихар.

Особенности геологического строения исследуемой территории. Сирия расположена на северо-западном участке Аравийской плиты, вблизи ее западной и северной активных границ (рис. 1) [1].

Основные месторождения углеводородов в Сирии расположены в позднепалеозойских или мезозойских бассейнах, которые позднее, в кайнозой, были деформированы в результате тектонической активности территории [4]. Основными тектоническими областями на территории Сирии являются: Пальмиридский складчато-надвиговый пояс (в центре); Абд-эль-Азиз-Синджар (грабены на северо-востоке); грабен Евфрат (на востоке); Прибрежный хребет — Левантийский разлом (система разломов Мертвого моря на западе) [5, 6, 10].

Для проведения исследований использовались промысловые данные, полученные по результатам исследования скважин, расположенных в пределах блока Хаян, который является частью района Пальмирид (центральная часть Сирии), где в настоящее время активно проводятся региональные поисковые работы на нефть. Зона Пальмирид представляет собой внутриконтинентальный складчато-надвиговый пояс длиной 400 км и шириной 100 км, простирающийся от зоны разлома Мертвого моря (на западе) до системы разломов Евфрата (на востоке) [5, 6, 11].

Пальмириды принято подразделять на юго-западные и северо-восточные Пальмириды, разделенные разломом Джихар [5, 6]. Юго-западные Пальмириды представлены поясом складок и надвигов, тогда как северо-восточные Пальмириды включают блоки Билас и Бишри. Между разломом Джихар и складками южных Пальмирид расположен низкорельефный бассейн Аль-Дау длиной более 100 км и шириной около 20 км [5, 6, 11, 18]. Блок Хаян приурочен частично к территории бассейна Аль-Дау и простирается в сторону блока Билас. Геофизические аномалии,

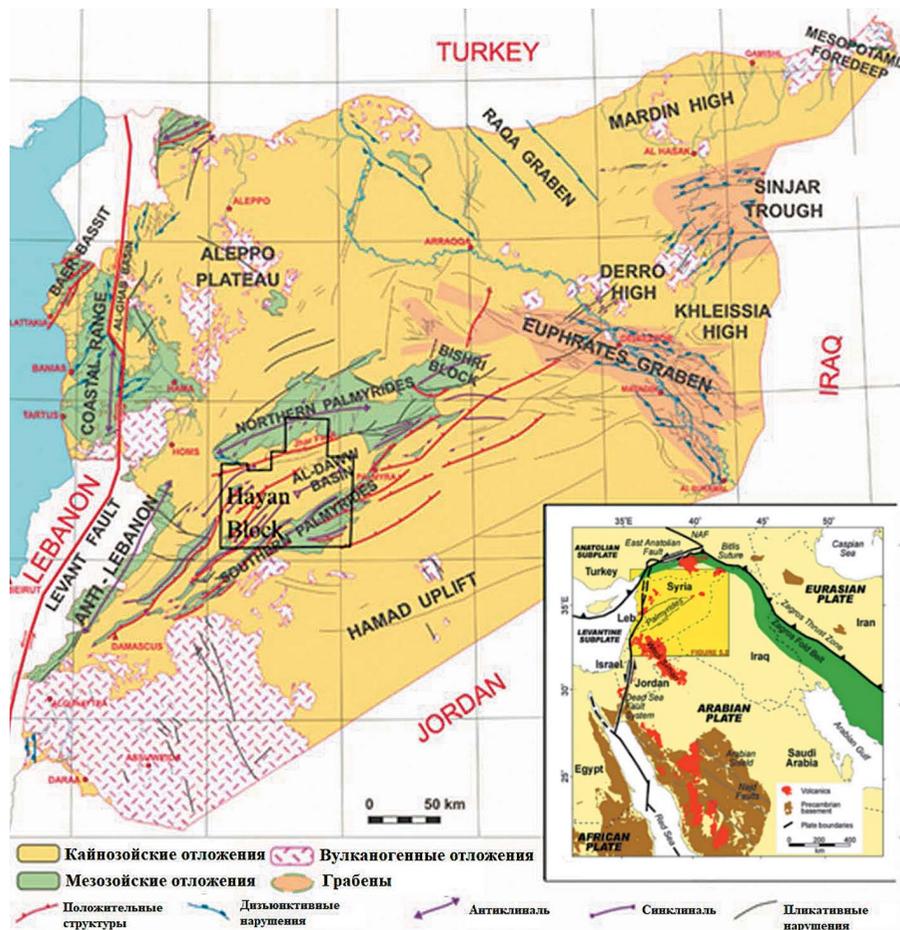


Рис. 1. Основные структурно-тектонические зоны территории Сирии. Основные системы разломов: грабен Евфрат, прогиб Синджар, Пальмириды и Левантийский трансформный разлом (справа — региональная тектоническая карта северной части Аравийской плиты и прилегающих регионов (приуроченность территории Сирии ко многим активным границам тектонических плит); слева — исследуемая территория, блок Хаян, Lebanon — Северо-Анатолийский разлом [5, 6])

Fig. 1. The main structural and tectonic zones of the territory of Syria. The main fault systems: the Euphrates graben, the Sinjar trough, the Palmyrids and the Levantine transform fault (on the right — a regional tectonic map of the northern part of the Arabian Plate and adjacent regions (the territory of Syria is confined to many active boundaries of tectonic plates); on the left — the study area, the Hayan block, Lebanon — North Anatolian Fault [5, 6])

выявленные по результатам сейсмических исследований в пределах Пальмиридского складчато-надвигового пояса и вокруг прилегающих к нему территорий, показывают, что в течение палеозоя, мезозоя и части кайнозоя данная территория была тектонически нестабильной [5—7, 9, 18].

В работе использованы промысловые скважинные данные для проведения исследований, которые получены по территории месторождения Джихар, расположенного в зоне большого разлома Джихар, представляющего собой сдвиговый тип нарушения, который разделяет зону Пальмиридского складчатого пояса на северную и южную с вклинившимся между ними бассейном Аль-Дау

[14]. Исследование проведено для пород формации «Куррачайн-Доломит»: карбонатные отложения среднего триаса с ритмичным чередованием доломита, известняка, эвапорита и сланца. Сирийское главное нефтяное управление [17] условно разделило породы данной формации на несколько продуктивных пластов-коллекторов: С2, D1, D2-1 и D2-2. Из них коллектор С2 представляет собой серию ритмично переслаивающихся доломита, известняка, аргиллита/сланца. Коллектор D1 равномерно разработан практически по всей площади и состоит из микрокристаллического известняка, классифицируемого как доломитовый известняк и сланец. Коллектор

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

D2-1 представлен известняками, доломитовыми известняками и доломитами с прослоями аргиллита. Солевой интервал (D2) разделяет коллекторы D2-1 и D2-2, которые обладают различными гидродинамическими свойствами. Коллектор D2-2 состоит из прослоев алевритового сланца и вариаций отложений известняка и доломита. Нижнетриасовая (скифская) формация «Аманус-Сланец» представлена аргиллитовыми сланцами, глинистыми породами, песчаниками, алевролитами, известняками и доломитами. Песчаники и алевролиты характеризуются наличием прослоев сланца (глины) и доломита, они преобладают в пермской формации «Аманус-Песок». Каменноугольная формация «Маркада» — обломочная толща, состоящая в основном из сланца с прослоями глинистых пород, которая местами характеризуется наличием пропластков песчаника, известняка и доломита, толщина которых достигает нескольких метров [8,12,15].

Центральная часть Пальмирид представляет собой складчатые сооружения, которые изучены до глубины 3500—4000 м и согласно стратиграфической шкале представлены отложениями карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена и четвертичными образованиями (рис. 2).

Фактический материал для проведения исследований

Для проведения обработки результатов исследований использовались скважинные данные (результаты каротажа с шагом изменения по глубине 0,1 м).

В процессе бурения были получены параметры кавернометрии, удельного электрического сопротивления породы, потенциала самопроизвольной поляризации, плотности породы, акустического каротажа, гамма-каротажа, нейтронного каротажа и количественные параметры

фотоэлектрического эффекта. Некоторые из представленных данных удалось записать только на небольших участках (по глубине), поэтому объектами исследований являлись интервалы, охваченные максимальным комплексом ГИС: кавернометрии (CAL), акустического каротажа (AC), гамма-каротажа (GR), удельного электрического сопротивления породы (RD, RS), плотностного каротажа (RHOB), фотоэлектрического эффекта (PE). По площади месторождения Джихар наиболее полный комплекс ГИС получен только по трем скважинам: 1, 2, и 6 (табл. 1).

Обработка результатов ГИС выполнялась с целью устранения «статистических выбросов», которые в рассмотренных файлах встречаются двух типов: 1 — каротажная система в бурильной колонне не может определить значение какого-либо параметра, она записывает в файл специальное значение -999,25 или -9999, свидетельствующее об отсутствии данных в этой точке; 2 — в файл может быть записано значение, явно превышающее максимально возможное и сильно отличающееся от значений в близлежащих точках. Во втором случае имеет место «выброс». Для поиска выбросов определялось пороговое значение, превышение которого по модулю приводило к признанию данного значения параметра «выбросом». Оба случая в данной работе были обработаны по принципу — невалидные значения были заменены на 0 [3].

Так же необходимо отметить, что если в исходных файлах прописано разное количество точек замеров, то для вычисления коэффициентов корреляции необходимо исключить часть точек, чтобы оставшееся их количество в исследуемых файлах было одинаковым.

По обработанным данным в ПК «Матлаб» были построены графики изменения исследуемых параметров (рис. 3).

Таблица 1. Исходные скважинные данные для обработки
Table 1. Initial well data for processing

Информативные данные	скв. Джихар-1	скв. Джихар-2	скв. Джихар-6
Координаты	X: 343469.82 Y: 296607.4	X: 350740.89 Y: 295240.3	X: 348225.52 Y: 296056
GL, м	601,88	584,52	622,55
T.D., м	3200	4168	4400
KB, м	609,48	592,14	630,17
Шаг записи данных в файл, м	0,1	0,1	0,1
Данные каротажа скважин	CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE		
Компания, проводившая бурение скважин и ГИС	INA		

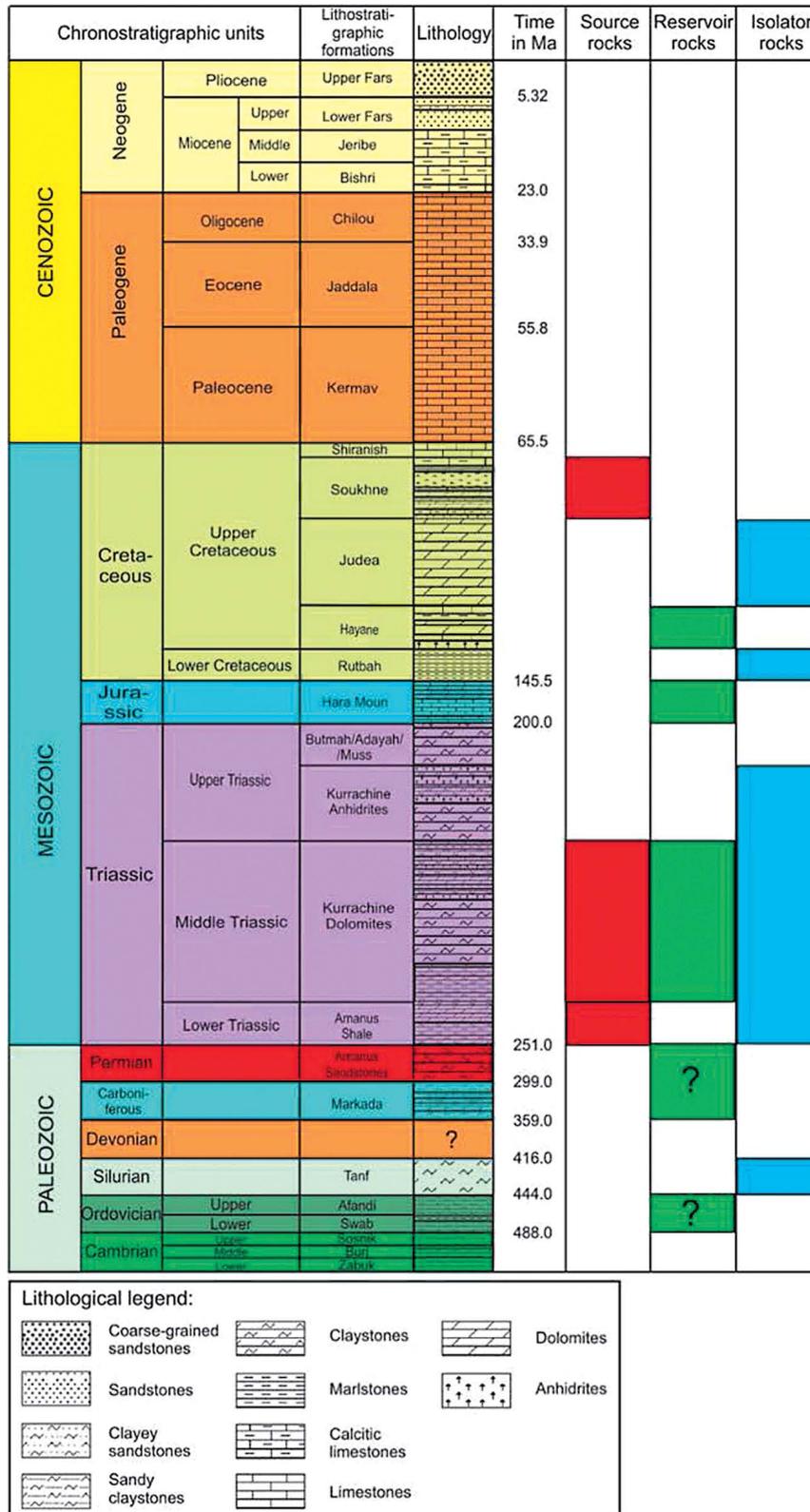


Рис. 2. Стратиграфическая колонка отложений Пальмирского складчатого пояса (Сирия). Графический материал И.Футивича (2011) [8, 13]

Fig. 2. Stratigraphic column of sediments of the Palmyrid fold belt (Syria). Graphic material by I. Futivich (2011) [8, 13]

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ /
 GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

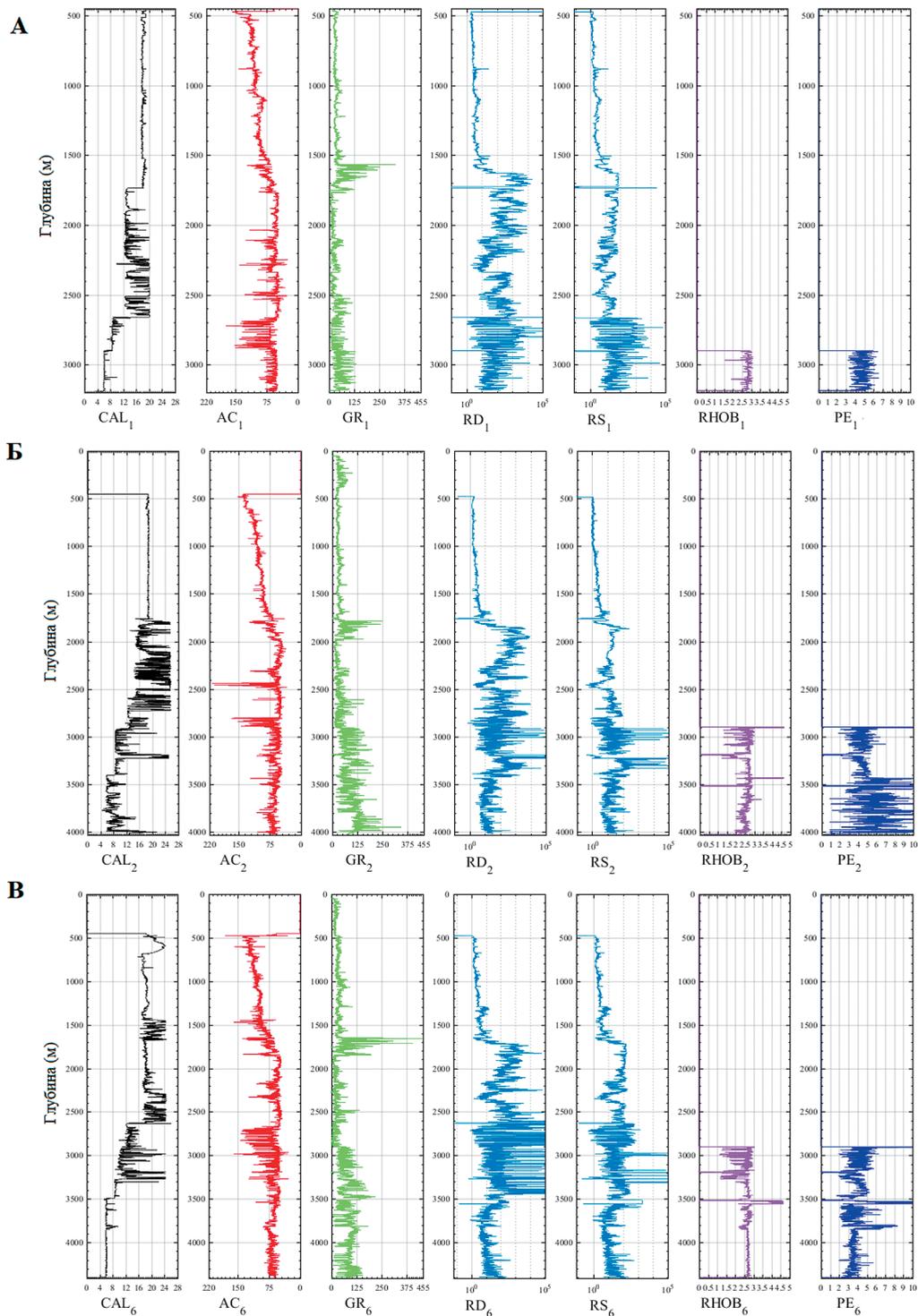


Рис. 3. Исходные графические данные ГИС для проведения обработки результатов по скважинам: А — скважина 1; Б — скважина 2; В — скважина 6

Fig. 3. Initial graphical GWD data for processing results for wells: A — well 1; B — well 2; B — well 6

Анализ данных ГИС для построения корреляционных матриц

При изучении комплекса полученных каротажных параметров были поставлены задачи: 1) определить местонахождение коллектора (отметки кровли и подошвы); 2) провести литолого-петрографическое описание интервала зоны коллектора; 3) определить насыщенность коллектора (вода, нефть, газ).

При интерпретации данных и установлении морфологических границ коллектора за основу были приняты данные гамма-каротажа (низкие показания гамма-излучения). Высокие показатели гамма-излучения, скорее всего, указывали на наличие зон сланцеватых пород. Значения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллектора получены при расчете пористости — общая эффективная пористость устанавливалась комплексом плотностного, нейтронного и акустического каротажей.

Определение насыщенности коллектора (нефть, газ или вода) является достаточно сложной задачей, при решении которой нами использованы результаты испытаний скважин и параметры удельного электрического сопротивления (УЭС) пород. Основную сложность представляли интервалы, в которых установлена достаточно высокая соленость пластовых вод (более 200 г/л).

Анализ полученных каротажных диаграмм показал, что данные семи видов каротажей существенно отличаются друг от друга, за исключением измерений фотоэлектрического эффекта и плотностного каротажа. Фотоэлектрический каротаж в комплекс ГИС был введен компанией «Шлюмберже» в качестве каротажной кривой литоплотности, которая используется в стандартном комплексе ГИС. Установлено, что параметры RD и RS наиболее эффективно определяют границы нефтеносных интервалов. Высокие сопротивления, полученные при RD и RS, могут указывать на наличие зон, соответствующих коллекторам [13].

По результатам исследований каротажных кривых в пределах площади месторождения Джихар были рассчитаны коэффициенты корреляции между одинаковыми параметрами ГИС, взятыми из разных скважин (табл. 2).

В таблице 2 исключены избыточные значения коэффициентов корреляции по результатам интерпретации значений: 1 — коэффициенты корреляции по диагонали равны 1, поскольку каждая переменная идеально коррелирует сама с собой. Эти ячейки бесполезны для интерпретации (желтый цвет), остальные коэффициенты корреляции

указывают на корреляцию между различными парными комбинациями переменных; 2 — без построения корреляционной таблицы сложно оценить взаимосвязь между исследуемыми переменными, а обработанные данные с помощью определения коэффициента корреляции позволяют отобрать параметры (предикторы) для дальнейших детальных исследований. Такие параметры были использованы для подбора комплекса ГИС, наиболее эффективного для выделения отложений разных по генезису.

После выбора параметров с максимальным значением коэффициента корреляции был применен подход установления суммарного коэффициента корреляции между двумя соседними скважинами, который стал основой для принятия решения по наличию границы в изучаемом разрезе и определению глубины залегания границы (пласта, литологической формации). Для установления границ зоны D1 формации «Куррачайн-Доломит» были вычислены коэффициенты корреляции по соответствующим данным ГИС между двумя соседними скважинами (рис. 4).

Аналогичные результаты исследования корреляционных зависимостей для зоны D1 формации «Куррачайн-Доломит» были проведены между скважинами Джихар 2 и Джихар 6, Джихар 6 и Джихар 12. Далее по результатам статистической и геолого-промысловой обработки полученных данных были выделены границы формации «Куррачайн-Доломит» (рис. 5) в пределах месторождения Джихар, которые подтверждены данными бурения.

Исследование свойств пород окружающего пласта (например, пустотного пространства пород), может быть проведено посредством применения модуля, который дает возможности измерения, обработки и хранения информации и может включать в себя ядерное измерительное устройство или нейтронный инструмент позволяющий определить пористость окружающего пласта [16].

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что проведение комплексной обработки данных ГИС позволило обосновать границы формации «Куррачайн-Доломит» в пределах месторождения Джихар и представить результаты применения методов статистических исследований для прогноза и обнаружения аналогичных нефтегазоносных интервалов в пределах всего мегарезервуара Пальмиридского складчатого пояса.

Таблица 2. Корреляционная матрица каротажных параметров скважин 1, 2, 6 (месторождение Джихар)
 Table 2. Correlation matrix of logging parameters of wells 1, 2, 6 (Jihar field)

	CAL ₁	AC ₁	GR ₁	RD1	RS1	RHOB ₁	PE ₁	CAL ₂	AC ₂	GR ₂	RD2	RS2	RHOB ₂	PE ₂	CAL ₆	AC ₆	GR ₆	RD6	RS6	RHOB ₆	PE ₆	
CAL ₁	1,0000																					
AC ₁	0,4419	1,0000																				
GR ₁	-0,0241	0,1400	1,0000																			
RD1	-0,0817	-0,1101	-0,0597	1,0000																		
RS1	-0,1274	-0,0545	-0,0547	0,1076	1,0000																	
RHOB ₁	-0,6800	-0,2595	0,2688	-0,0396	0,0381	1,0000																
PE ₁	-0,6731	-0,2624	0,2482	-0,0376	0,0435	0,9903	1,0000															
CAL ₂	0,6828	0,1488	-0,1789	-0,0478	-0,0869	-0,6732	-0,6648	1,0000														
AC ₂	0,5625	0,7446	0,0005	-0,1002	-0,0652	-0,2912	-0,2891	0,2843	1,0000													
GR ₂	-0,3952	-0,2827	0,1497	0,0269	0,0466	0,5344	0,5254	-0,3111	-0,1514	1,0000												
RD2	-0,1071	-0,1598	-0,0843	0,0268	0,0118	0,0070	0,0107	-0,0648	-0,1602	0,0646	1,0000											
RS2	-0,0444	-0,0225	0,0054	-0,0004	0,0020	0,0555	0,0581	-0,0154	-0,0236	0,0553	0,1419	1,0000										
RHOB ₂	-0,6714	-0,2549	0,2693	-0,0398	0,0352	0,9868	0,9821	-0,6665	-0,2897	0,5088	0,0054	0,0419	1,0000									
PE ₂	-0,6545	-0,2487	0,2627	-0,0393	0,0313	0,9636	0,9615	-0,6480	-0,2868	0,4722	0,0084	0,0424	0,9853	1,0000								
CAL ₆	0,7062	0,1776	-0,1146	-0,0595	-0,1125	-0,6085	-0,6004	0,5709	0,3268	-0,3420	-0,0392	-0,0357	-0,6002	-0,5854	1,0000							
AC ₆	0,4579	0,8091	0,0323	-0,0778	-0,0313	-0,2748	-0,2726	0,1693	0,7608	-0,2527	-0,1762	-0,0248	-0,2728	-0,2672	0,2600	1,0000						
GR ₆	-0,0635	-0,0364	0,3031	0,0266	-0,0080	0,3130	0,3082	-0,1598	0,0248	0,2424	-0,1041	0,0043	0,3064	0,2965	-0,0883	0,1246	1,0000					
RD6	-0,2306	-0,0742	-0,0116	0,0757	0,0854	0,0129	0,0143	-0,1450	-0,1423	0,0325	0,0196	0,0025	0,0103	0,0124	-0,2500	-0,1413	-0,1713	1,0000				
RS6	-0,0613	-0,0399	0,0015	0,0024	0,0042	0,0716	0,0753	-0,0509	-0,0401	0,0579	0,0024	-0,0002	0,0526	0,0455	-0,0587	-0,0470	-0,0014	0,0858	1,0000			
RHOB ₆	-0,6738	-0,2546	0,2696	-0,0399	0,0351	0,9895	0,9804	-0,6697	-0,2896	0,5233	0,0082	0,0582	0,9843	0,9653	-0,6199	-0,2862	0,2963	0,0201	0,0756	1,0000		
PE ₆	-0,6495	-0,2467	0,2588	-0,0395	0,0286	0,9557	0,9521	-0,6377	-0,2789	0,4923	0,0128	0,0572	0,9730	0,9702	-0,5891	-0,2782	0,2743	0,0249	0,0709	0,0756	1,0000	

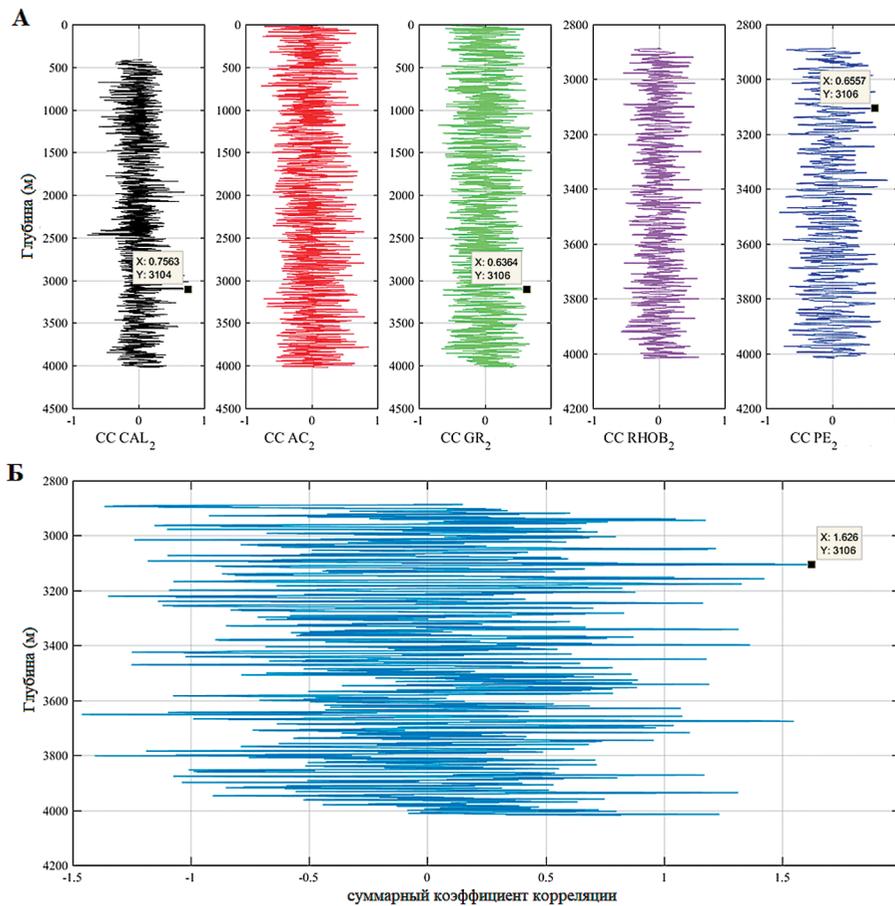


Рис. 4. Определение коэффициента корреляции: А — установление корреляционной связи по параметрам CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE между скважиной Джихар 1 (зона D1) и скважиной Джихар 2; Б — определение суммарного коэффициента корреляции между скважиной Джихар 1 (зона D1) и скважиной Джихар 2
Fig. 4. Determination of the correlation coefficient: A — establishment of a correlation relationship according to the parameters CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE between the Dzhikhar 1 well (zone D1) and the Dzhikhar 2 well; B — Determination of the total correlation coefficient between the Dzhikhar 1 well (zone D1) and the Dzhikhar 2 well

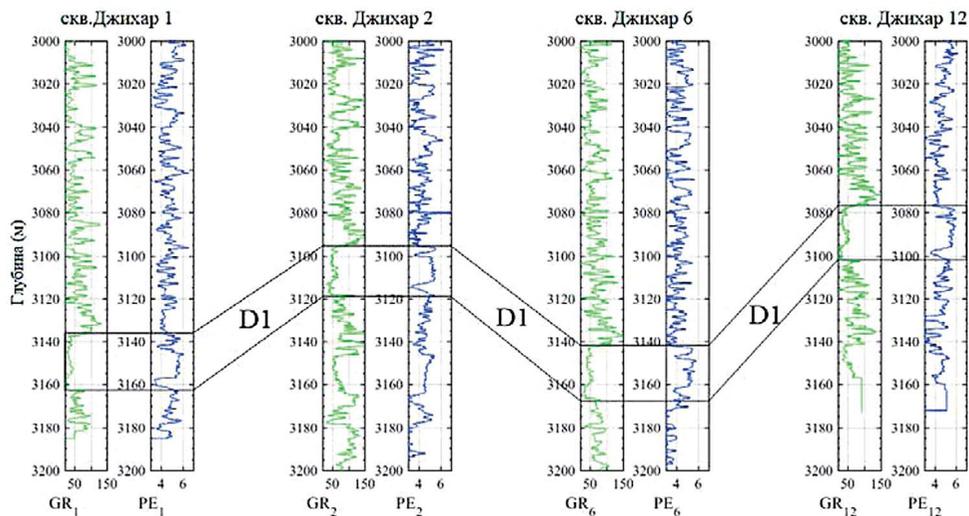


Рис. 5. Корреляция зоны D1 формации «Куррачайн-Доломит» по линии скважин Джихар 1—Джихар 12
Fig. 5. Correlation of zone D1 of the Kurrachain-Dolomite formation along the line of wells Jihar 1—Jihar 12

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

На основании анализа данных проведенных исследований сделаны следующие основные выводы:

- детализировано геологическое строение месторождения Джихар: обоснованы границы нефтегазоносной формации «Куррачайн-Доломит» и дан прогноз аналогичных нефтегазоносных интервалов в разрезе всего мегарезервуара Пальмирского складчатого комплекса;
- представленный подход к обработке данных, полученных комплексом ГИС (CAL, AC, GR, RD, RS, RNOB, PE), позволяет применять предложенный алгоритм (метод) для обнаружения нефтегазоносных отложений аналогичных по литологическому составу формации «Куррачайн-Доломит» в пределах всего нефтегазоносного мегарезервуара блока Хаян;
- предложенный метод обработки промыслово-геофизических материалов, заключающийся

в построении корреляционных матриц и статистической обработки геолого-промысловых данных, может быть использован при выборе оптимального комплекса ГИС для установления и анализа насыщенности коллектора формации «Куррачайн-Доломит» (мегарезервуар блока Хаян), а также для повышения эффективности разработки месторождения Джихар;

- корреляционные матрицы являются одним из способов количественной оценки связи между двумя переменными (коэффициент корреляции Пирсона);
- применяя алгоритмы математической статистики, можно установить корреляционную связь между более чем одной парой переменных и в дальнейшем обосновать эффективность комплекса ГИС для решения задач установления морфологических границ пласта-коллектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Девяткин Е.В., Додонов А.Е., Доброва М.Р., Копп М.Л., Кузнецова К.И., Леонов Ю.Г., Шарков Е.В.* Очерки геологии Сирии. Труды ГИН РАН. Вып. 526. М.: Наука, 2000. 204 с.
2. *Потемкин В.Г.* Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x. В 2 тт. М.: Диалог — МИФИ, 1999. Т. 1. 366 с. Т. 2. 304 с.
3. *Ширяев П.Р., Цветков Г.А.* Исследование корреляции каротажных параметров, полученных при бурении скважин на соседних территориях с одинаковой геологической структурой, на примере скважин в округах Расселл и Эллис штата Канзас, США // Вестник Пермского университета. 2016. Вып. 4(33). С. 41—49.
4. *Barrier E., Machhour L. Blaizot M.* Petroleum systems of Syria / In L. Marlow, C. Kendall, L. Yose (eds.). Petroleum systems of the Tethyan region. AAPG Memoir 106, 2014. P. 335—378.
5. *Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A.K., Sawaf T.* Tectonic and geologic evolution of Syria // GeoArabia. 2001. No. 6/4. P. 573—616.
6. *Brew G.E.* Tectonic evolution of Syria interpreted from integrated geophysical and geological analysis // PhD Thesis, Cornell University. Ithaca, New York, 2001. 323 p.
7. *Chaimov T.A., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A.* Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the south-western intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria. // Geol. Soc. Am. Bull. 1992. No. 104. P. 704—715. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(192\)104](https://doi.org/10.1130/0016-7606(192)104).
8. *Ivica Vulama.* Source rock generative potential and volumetric characteristics of the Kurrachine Dolomite Formation, Hayan Block, central Syrian Palmyrides // Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2011. P. 259—272.
9. *Križ J., Foršek G., Ivković Ž., Lučić, D.* Hydrocarbon discoveries in Syria-Carboniferous, Permian and Triassic petroleum systems // In: Velić I., Vlahović I., Biondić, R. (eds.). Proceedings, Third Croatian Geological Congress, Opatija, Croatia, 2005. P. 79—80.
10. *Litak R.K., Barazangi M., Brew, G., Sawaf T., Al-Youssef W.* Structure and evolution of the petroliferous Euphrates graben system, southeast Syria // AAPG Bulletin. 1998. No. 82/6. P. 1173—1190.
11. *Lučić D., Foršek G.* Palmyride evolution: geologic, stratigraphic and structural overview (Central Syria) / In: Vlahović I., Biondić R. (eds.). Proceedings, Second Croatian Geological Congress, Cavtat, Croatia, 2000. P. 311—316.
12. *Lučić D., Maretić S., Foršek G., Takač D., Mesić I.* Mesozoic Carbonate Facies and Reservoirs in Central Palmyrides, Syria // Abstract, Cd, American Association of Petroleum Geologists Conference, Cairo, 2002. 311 p.
13. *Malvić T., et al.* INA Plc. exploration and production activities in Syria, successful achievement of hydrocarbon discoveries and developments // NAFTA. 2011. No. 62. P. 297—302.
14. *Mouty M., Al-Maleh, K.* The geological study of the Palmyridian chain using ideal geological sections for exploration purposes and geological survey // General Establishment of Geology and Mineral Resources, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus, Syria, 4, 1983. 950 p.
15. North American Commission On Stratigraphic Nomenclature — NACSN North American Stratigraphic Code // AAPG Bulletin. 2005. No. 89(11). P. 1547—1591.
16. Patent US 8664587 B2. Non-rotating logging-while-drilling neutron imaging tool, 2014.

17. Syrian Oil Company. Final reports on the wells of the Jihar field. unpublished study Damascus, Syria, 2002.
18. Tomljenović B., Veseli V., Takač D. Surface and subsurface structural styles in central Syria. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2008. 81 p.

REFERENCES

1. Devyatkin E.V., Dodonov A.E., Dobrova M.R., Kopp M.L., Kuznetsova K.I., Leonov Yu.G., Sharkov E.V. Essays on the geology of operations. / (Tr. GIN RAS; Issue 526), Moscow: Nauka, 2000. 204 p. (In Russian).
2. Potemkin V.G. System of engineering and scientific calculations MATLAB 5.x. In 2 volumes. Moscow: Dialogue — MEFHI, 1999. Vol. 1. 366 p. Vol. 2. 304 p. (In Russian).
3. Shiryaev P.R., Tsvetkov G.A. Study of the correlation of logging parameters obtained when drilling wells in neighboring territories with the same geological structure, using the example of wells in Russell and Ellis counties, Kansas, USA // Bulletin of Perm University. 2016. Issue 4(33). P. 41—49 (In Russian).
4. Barrier E., Machhour L. Blaizot M. Petroleum systems of Syria / In L. Marlow, C. Kendall, L. Yose (eds.). Petroleum systems of the Tethyan region. AAPG Memoir 106, 2014. P. 335—378.
5. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A.K., Sawaf, T. Tectonic and geologic evolution of Syria // GeoArabia. 2001. No. 6/4. P. 573—616.
6. Brew G.E. Tectonic evolution of Syria interpreted from integrated geophysical and geological analysis // PhD Thesis, Cornell University. Ithaca, New York, 2001. 323 p.
7. Chaimov T.A., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A. Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the south-western intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria. // Geol. Soc. Am. Bull. 1992. No. 104. P. 704—715. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(192\)104](https://doi.org/10.1130/0016-7606(192)104).
8. Ivica Vulama. Source rock generative potential and volumetric characteristics of the Kurrachine Dolomite Formation, Hayan Block, central Syrian Palmyrides // Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2011. P. 259—272.
9. Križ J., Foršek G., Ivković Ž., Lučić, D. Hydrocarbon discoveries in Syria-Carboniferous, Permian and Triassic petroleum systems // In: Velić I., Vlahović I., Biondić, R. (eds.). Proceedings, Third Croatian Geological Congress, Opatija, Croatia, 2005. P. 79—80.
10. Litak R.K., Barazangi M., Brew, G., Sawaf T., Al-Youssef W. Structure and evolution of the petroliferous Euphrates graben system, southeast Syria // AAPG Bulletin. 1998. No. 82/6. P. 1173—1190.
11. Lučić D., Foršek G. Palmyride evolution: geologic, stratigraphic and structural overview (Central Syria) / In: Vlahović I., Biondić R. (eds.). Proceedings, Second Croatian Geological Congress, Cavtat, Croatia, 2000. P. 311—316.
12. Lučić D., Maretić S., Foršek G., Takač D., Mesić I. Mesozoic Carbonate Facies and Reservoirs in Central Palmyrides, Syria // Abstract, Cd, American Association of Petroleum Geologists Conference, Cairo, 2002. 311 p.
13. Malvić T., et al. INA Plc. exploration and production activities in Syria, successful achievement of hydrocarbon discoveries and developments // NAFTA. 2011. No. 62. P. 297—302.
14. Mouty M., Al-Maleh, K. The geological study of the Palmyridian chain using ideal geological sections for exploration purposes and geological survey // General Establishment of Geology and Mineral Resources, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus, Syria, 4, 1983. 950 p.
15. North American Commission On Stratigraphic Nomenclature — NACSN North American Stratigraphic Code // AAPG Bulletin. 2005. No. 89(11). P. 1547—1591.
16. Patent US 8664587 B2. Non-rotating logging-while-drilling neutron imaging tool, 2014.
17. Syrian Oil Company. Final reports on the wells of the Jihar field. unpublished study Damascus, Syria, 2002.
18. Tomljenović B., Veseli V., Takač D. Surface and subsurface structural styles in central Syria. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2008. 81 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Шустер В.Л. — разработал концепцию статьи, провел структуризацию материала, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Shuster V.L. — development of the concept of the article, structuring of the material, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Тюкавкина О.В. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, провела моделирование и статистическую обработку параметров ГИС (работа в ПК Petrel, Statistica-Base), утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Картал И. — собрал фактический материал, провел моделирование (работа в ПК Petrel, Techlog), утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tyukavkina O.V. — development of the concept of the article, preparation of the text of the article, modeling and statistical processing of GWD parameters (work in Petrel, Statistica-Base), approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Kartal I. — collecting factual material, conducting modeling (working in PC Petrel, Techlog), approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шустер Владимир Львович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института проблем нефти и газа РАН.

3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

e-mail: tshuster@mail.ru

SPIN-код: 6887-7740

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6809-0135>

Vladimir L. Shuster — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Chief Researcher Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences.

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

e-mail: tshuster@mail.ru

SPIN-code: 6887-7740

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6809-0135>

Тюкавкина Ольга Валерьевна* — доктор технических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

e-mail: tov.sing@mail.ru

тел.: +7-932-416-39-83

SPIN-код: 7884-6870

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1607-531X>

Olga V. Tyukavkina — Dr. of Sci. (Tech.), Professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: tov.sing@mail.ru

tel.: +7-932-416-39-83

SPIN-code: 7884-6870

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1607-531X>

Картал Ибрагим — обучающийся программы магистратуры ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: ibrahimkartal940@gmail.com

Kartal Ibrahim — master's program student Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: ibrahimkartal940@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author