

Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 6. С. 27-42. ISSN 2073-0128 (print)

Petroleum Engineering. 2023. Vol. 21. No. 6. P. 27-42. ISSN 2073-0128 (print)

Научная статья

УДК 552.143

DOI: 10.17122/ngdelo-2023-6-27-42

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕНОСНОСТИ ШЕЛЬФОВОГО БАСЕЙНА ПАССИВНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ НЕОТЕТИСА

Давид Дамирович Сулейманов¹, Михаил Васильевич Рыкус^{1,2}

¹ООО «РН-БашНИПинефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку

Михаил Васильевич Рыкус, RykusMV@bnipi.rosneft.ru

Аннотация. Рассматриваемая территория приурочена к сеноманско-раннетуронской пассивной континентальной окраине Аравийской плиты Неотетиса с шельфовыми бассейнами, благоприятными для накопления карбонатных пород-коллекторов. В осадочных образованиях установлены седиментологические и палеоэкологические признаки, указывающие на принадлежность карбонатных отложений к моноклинальному рампу, охватывающему батиметрические обстановки от приливно-отливной литорали и прибрежного мелководья до открытой и относительно глубокой сублиторали. Выделено 10 микрофаций, характеризующих внешнюю, среднюю и внутреннюю зоны карбонатного рампа и показано упорядоченное чередование фациальных ассоциаций, обусловленное цикличностью и проградационным режимом осадконакопления. Фациальные последовательности имеют в основном неполный двухкомпонентный порядок с ритмично чередующимися фациями только внешнего и среднего рампа, что объясняется малой амплитудой колебаний уровня моря в ходе накопления карбонатных отложений. Полные трехкомпонентные циклы, включающие все три батиметрические зоны карбонатного рампа, отмечаются лишь в области прибрежного мелководья, благоприятного для проградации даже при незначительных изменениях уровня моря.

Наибольшая продуктивность карбонатонакопления приурочена к хорошо освещенной мелководной части проксимальной зоны среднего рампа и дистальной зоны внутреннего рампа с благоприятными условиями для развития бентосной органики. Здесь локализованы лучшие породы-коллекторы с межзерновой пустотностью, сложенные водорослевыми оолитовыми и биокластовыми грейнстоунами динамически подвижного мелководья.

Совокупный анализ фациальных обстановок и геодинамического развития бассейна позволил высказать обоснованные представления о перспективах нефтеносности карбонатных отложений и выделить в их пределах потенциально продуктивную область, контролируемую зернистыми литотипами внутреннего рампа и поперечными разрывными нарушениями.

Для цитирования

Сулейманов Д.Д., Рыкус М.В. Обстановки осадконакопления и перспективы нефтеносности шельфового бассейна пассивной континентальной окраины неотетиса // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21, № 6. С. 27-42. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-6-27-42>.

Ключевые слова

пассивная континентальная окраина; шельфовый бассейн; карбонатный рамп; микрофация; цикличность; фильтрационно-емкостные свойства; нефтеносность

Original article

THE DEPOSITIONAL SETTINGS AND THE HYDROCARBON POTENTIAL OF THE NEOTETHYS PASSIVE CONTINENTAL MARGIN

David D. Suleymanov¹, Mikhail V. Rykus^{1,2}¹RN-BashNIPIneft LLC (Rosneft Oil Company), Ufa, Russia²Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia

Corresponding author

Mikhail V. Rykus, RykusMV@bnipi.rosneft.ru

Abstract. The study area is associated with the outer passive wing of the foreland trough that was formed due to collisional-orogenic deformations of the Neotethys Arabian Plate. The sedimentological and paleoenvironmental features of the Cenomanian formation indicate that the carbonate sediments were deposited in a homoclinal ramp depositional settings. The depositional area comprises different bathymetric settings from the intertidal littoral and coastal shallow water to the open and relatively deep sublittoral. Microfacies analysis was performed based on the cores and thin sections observations to investigate the sedimentary and diagenesis evolution. Ten microfacies types are identified showing that carbonates deposited in three major sedimentary facies belts: outer ramp, middle ramp and inner ramp. In response to the relative sea level changes during sedimentation the section comprises of several sedimentary sequences. The sequences mainly reflect the prevailing of two-component depositional pattern, i.e., middle ramp and outer ramp, which is a result of low fluctuation of the relative sea level. The complete three-component sequences are associated with predominantly shallow areas that favorable for progradation event even under the low fluctuations of the relative sea level.

The highest sedimentation rate is confined to the proximal shallow part of the middle ramp and to the distal part of the inner ramp with favorable conditions for the development of benthic organics due to abundant sunlight and nutrition supply. The best reservoir rocks with intergranular voids, composed of algal oolitic and bioclast grainstones of high dynamic shoal zone.

This study provides an insight into reservoir quality prediction and prospect area evaluation of the oil bearing formation in the southern part of stable shelf which is controlled by spatial extension of grain supported deposits of inner ramp and transverse faults.

Keywords

Arabian Plate; passive continental margin; carbonate ramp; microfacies; cyclicity; filtration-capacity properties; oil-bearing capacity

For citation

Suleymanov D.D., Rykus M.V. Osadkonakopleniya i perspektivy neftenosnosti shel'fovogo bassejna passivnoj kontinental'noj okrainy neotetisa // [The depositional settings and the hydrocarbon potential of the neotethys passive continental margin] // *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2023, Vol. 21, No. 6. pp. 27-42. [in Russian]. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-6-27-42>.

Введение

Бассейны шельфового типа являются благоприятными структурами для образования мощных скоплений карбонатных отложений, достигающих десятков и сотен метров. Эти бассейны возникают вдоль пассивных континентальных окраин в результате растяжения и пострифтового термального охлаждения, в ходе которого на обширной территории морского шельфа происходит длительное погру-

жение земной коры и образование устойчивого пространства свободного осадконакопления [1]. На проксимальной стороне бассейна образуется полого наклоненная поверхность морского дна — рамповая структура, с широкими и выдержанными зонами осадконакопления и последовательно меняющимся аккомодационным пространством, определяющим закономерное распределение карбонатных фаций вдоль батиметрического профиля.

Рамповые системы осадконакопления относятся к области мелководного шельфа, расположенной между основанием волн нормальной погоды и базисом штормового воздействия [2]. Эта область находится в пределах фотической зоны и обычно характеризуется большим разнообразием известкового водорослевого и раковинного бентоса, способного производить большие объемы карбонатных отложений, в том числе и детритовых/оолитовых песков, благоприятных для создания высококачественных резервуаров с межзерновой пористостью.

Рассматриваемая территория представляет собой часть сеноманско-раннетуранского шельфового бассейна, имеющего характерные черты рампового карбонатонакопления. В составе отложений нет высокеемких органогенных построек, в основном это пластовые тела мелкозернистых мелоподобных и мергелистых известняков, сформировавшихся во внешней относительно глубокой части открытого шельфа [3]. Подобные обстановки осадконакопления имеют меньший потенциал нефтеносности, однако успешные результаты разведочного бурения последних лет на рассматриваемой территории позволяют предполагать значительные скопления углеводородов в сеноманских карбонатных отложениях, что вызывает необходимость их тщательного изучения и промысловой оценки.

В статье приведены первые результаты седиментологического и микропалеонтологического анализа карбонатных отложений, выполнена интерпретация и реконструкция об-

становок карбонатонакопления и с актуалистических позиций обоснована концептуальная рамповая модель. Полученные новые данные существенно уточняют и дополняют прежние генетические представления и позволяют в свою очередь подойти к обсуждению возможных перспектив нефтеносности малоизученной структуры карбонатного рампа.

Геологическое строение региона

Шельфовый бассейн подразделяется на ряд тектонических зон [4]: стабильный шельф, включающий рассматриваемую территорию, нестабильный шельф, состоящий из складчатых и надвиговых структур и шовная зона северо-восточного падения (рисунок 1).

Все три зоны являются неотъемлемой частью складчато-надвигового пояса и образуют асимметричный форландовый бассейн с его крутым внутренним складчатым и пологим внешним платформенным крыльями [5]. Прогиб представляет собой вытянутую в северо-западном направлении эпиконтинентальную впадину, образовавшуюся над более ранней позднепермско-раннемеловой пассивной континентальной окраиной Неотетиса в результате позднемеловой коллизии между Аравийской и Евразийской плитами [6–9].

Позднемеловая обдукция тяжелой офиолитовой океанической коры на край пассивной континентальной окраины привела к изгибу континентальной литосферы в ответ на избыточную нагрузку надвигающегося складчатого пояса и образованию характерных для

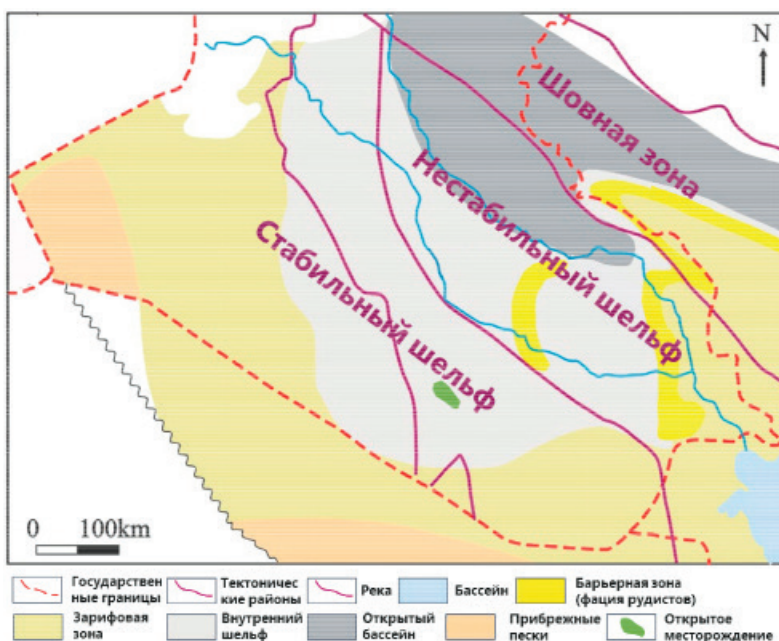


Рисунок 1. Расположение изучаемой территории, тектоническое районирование и палеогеографические обстановки позднесеноманского времени (составлено на основе [4])

Figure 1. Location of the study area, tectonic zoning, and the paleogeographic setting of the Late Cenomanian (compiled by [4])

форландовых бассейнов тектонических элементов (рисунок 2): приподнятой зоны передовой складчатости с обдущированными офиолитами и связанным с ними глубоководным меланжем; предгорной впадины с глубокой частью, примыкающей к зоне передовой складчатости, переходящей в недеформированную мелководную область, и мелкого шельфа.

Накопленные в бассейне отложения достигают максимальной мощности на северо-востоке вблизи фронта передовой складчатости и постепенно утончаются к юго-западу по направлению к недеформированному внутреннему шельфу, придавая бассейну характерный для форландовых прогибов клиновидный профиль [5]. Мезозойская толща пассивной континентальной окраины, представляющая собой почти полную непрерывную последовательность отложений без существенных перерывов, начинается с триасовых эвапоритов и лагунных карбонатов, переходит вверх в открытые и мелководные морские карбонаты с подчиненными эвапоритами юрского возраста, затем к чередованию карбонатов и песчаников, за которыми следуют карбонаты мелового возраста открытого морского бассейна (рисунок 3). Burchette [10] отмечал, что коллизия литосферных плит сопровождалась возникновением структурного поднятия вдоль юго-восточного края Аравийской плиты, что способствовало в сеномане раннем туроне формированию развитой карбонатной платформы с ее обильными органогенными постройкиками, а Murtis [11] обратил внимание на наиболее яркий итог этой коллизии — образование необычайно обширного шельфа Северо-Аравийской окраины, достигающего в ширину около 2000 км. Этот мелководный шельф в течение мезозоя находился в тропических

широтах с высокой продуктивностью карбонатонакопления и благоприятными фациальными обстановками для образования высококачественных резервуаров углеводородов в широком географическом диапазоне.

Карбонатные толщи с включениями тонких прослоев глин накапливались в серии неглубоких внутришельфовых бассейнов, разделенных широкими отмелями, где доминировали обломочные карбонаты, банки и рифы, содержащие лучшие породы-коллекторы; периодическое ограничение циркуляции воды на этом очень обширном шельфе приводило к отложению эвапоритов [11].

Форландовый бассейн в течение своего развития подвергался тектоническим напряжениям и деформациям, содержит целый ряд погребенных тектонических структур, включая складки и разломы, многие из которых проявляют активность и в настоящее время [5]. Наиболее широко распространены простые складки продольного изгиба, которые образовались на северо-востоке в результате регионального сжатия, вызванного кайнозойским столкновением Аравийской и Евразийской плит [15]. Складки вытянуты в северо-западном направлении, следуя региональному простиранию складчато-надвигового пояса; на удалении от коллизионной зоны эти складки закономерно выполаживаются вплоть до образования слабо деформированных структур с углами наклона крыльев менее 5° .

Коллизия на краю Аравийской плиты сопровождалась распространением деформаций далеко на юго-запад форландового бассейна и привела к реактивации докембрийских и палеозойских разломов, а также возникновению новых разрывных нарушений [17]. Большинство из них образуют затухающую к юго-западу систему разломов северо-восточного

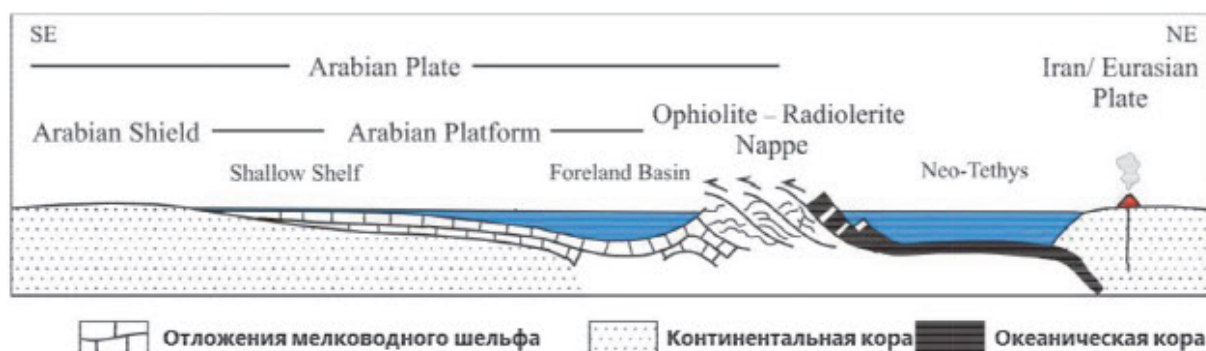
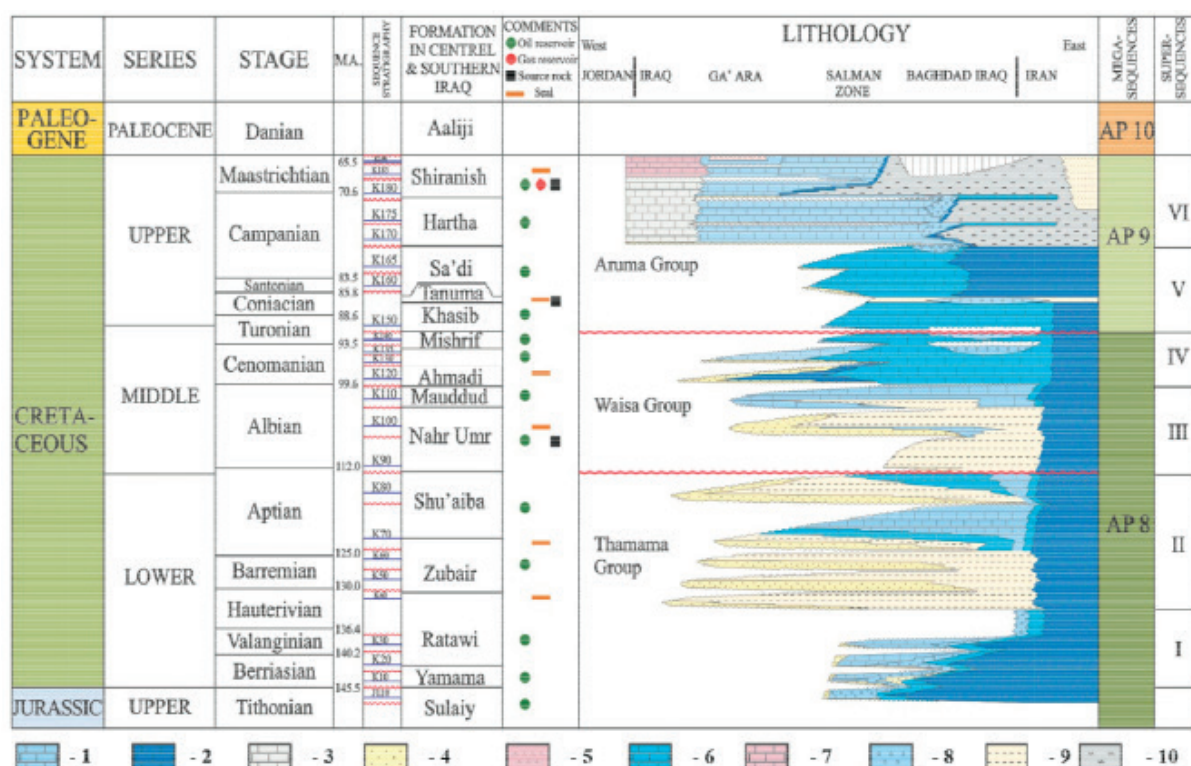


Рисунок 2. Схематический геологический разрез Аравийской плиты к концу позднего мела [6]

Figure 2. Geological scheme of Arabia by the end of the Cretaceous Period [6]



Условные обозначения: 1 — карбонаты мелководного шельфа; 2 — карбонаты глубокого шельфа; 3 — карбонаты и мергели глубокого шельфа; 4 — флювиально-дельтовые песчаники; 5 — ангидриты; 6 — карбонаты области склона; 7 — фосфоритовые карбонаты; 8 — оолитовые известняки; 9 — шельфовые глины; 10 — глинистые известняки

Legend: 1 — Shelf carbonate; 2 — Basinal carbonate; 3 — Basinal carbonate and marl; 4 — Fluvio-deltaic sandstone; 5 — Anhydrite; 6 — Slope carbonate; 7 — Phosphatic carbonate; 8 — Oolitic limestone; 9 — Shelf shales; 10 — Argillaceous limestone.

Рисунок 3. Обобщенные хроностратиграфия, литостратиграфия, седиментологические последовательности и нефтегазоносность осадочного чехла Месопотамского бассейна мелового периода (составлено на основе [12–14])

Figure 3. Generalized Cretaceous chronostratigraphy, lithostratigraphy, sequence stratigraphy framework, and petroleum system elements of the Mesopotamian Basin (compiled by [12–14])

и северо-западного направлений, ограничивающих грабены и полуграбены, частично инвертированные и осложненные малоамплитудными антиклиналями. Рассматриваемая территория представляет собой слабо деформированную падающую на северо-восток моноклираль, осложненную пологими поднятиями и впадинами, сопряженными с вышеупомянутыми системами разломов.

Материалы и методы

Карбонатная толща вскрыта 8 скважинами, в двух из которых, расположенных вкрест простирания, отобран керн, изготовлено 86 шлифов. Подготовка образцов и изготовление шлифов выполнены в лаборатории ООО «РН-БашНИПИнефть» в соответствии с действующими регламентами. Фильтра-

ционно-емкостные свойства пород определялись на подготовленных образцах газовой метрическим методом и методом жидкостенасыщения.

Разрез изучен методами скважинной геофизики, включающими: гамма-каротаж (ГК), акустический каротаж (ДТ), плотностной каротаж (РНОВ), нейтронный каротаж (neutron), резистивиметрию (LLS); имеется профильная и 3Д сейсморазведка суммарной площадью около 1500 км².

Методологической основой для седиментологического анализа служили традиционные представления о наличии линейной связи между энергией среды осадконакопления и первичными характеристиками отложений, такими как средний размер зерен и их сортировка, которые определяют не только обста-

новки осадконакопления карбонатных пород, но и их последующие диагенетические изменения и эволюцию поровой системы. Микроскопические наблюдения осуществлялись с использованием классификаций и терминологии Dunham и Embry [18] & J.E. Klován [19], а также методики описания микрофаций, основанной на комплексной характеристике карбонатных пород, включающей все седиментологические и палеонтологические показатели [20]. Для выявления условий осадконакопления и обеспечения максимальной интерпретационной объективности результатов петрографического анализа использовались палеоэкологические характеристики и актуалистические сравнения, а также известные модели фациальных поясов [21] и связанных с ними стандартных микрофаций [20].

Методы радиометрии, акустического и плотностного каротажей привлекались для увязки геофизических характеристик стратиграфических интервалов с результатами фациальной интерпретации керна, с целью последующего распространения фациальной модели на скважины, в которых керн не отбирался.

Результаты и обсуждение

Микропалеонтологическая характеристика

В разрезе карбонатных отложений встречаются остатки иглокожих, морских зеленых водорослей, бентосных и планктонных фораминифер, остракод и гастропод.

Морские зеленые водоросли. Семейство *Dasycladaceae* является основным представителем морских зеленых водорослей в карбонатных отложениях. В шлифах скелетные остатки встречаются в разрушенном состоянии: в виде окружностей и эллипсов в поперечном разрезе, либо имеют узкую удлиненную форму в продольном (рисунок 4, е). Несмотря на то, что зеленые водоросли редко сохраняются из-за химически нестабильного арагонита, входящего в их состав [22], характерные очертания биокластов и частичное заполнение канальцев микритом позволяют распознать представителя семейства *Dasycladaceae*. Водоросли относятся к группе бентосных организмов, благоприятные условия для их развития формируются на глубине 5–6 м в теплых водах с низкой динамикой среды, например, открытых лагунах) [25].

Иглокожие, в частности криноидеи, встречаются в мадстоунах и вакстоунах центральной части разреза карбонатной толщи. Представляют собой фрагменты ветвей округлой лучеобразной формы в поперечном сечении (рисунок 4, с) и линейно вытянутой в продольном сечении (рисунок 4, d). Размер зерен колеблется в широких пределах от 50 до 500 мкм. Представители этих организмов относятся к пассивным фильтраторам и обычно обитают на относительно небольших глубинах, предпочитая участки с подводными течениями [20, 24]. Так, «региональные энкриниты» [25] — зернистые известняки, образуемые нерастворимыми остатками криноидей — формируются ниже базиса воздействия нормальных волн, но выше базиса штормовых волн, что соответствует условиям среднего рампа.

Фораминиферы. Среди бентосных представителей распространены скелетные остатки фораминифер, обладающих признаками семейства *Nezzazatoidea* [20, 22]. Они представлены характерными раковинами (рисунок 4, f, 4g) округлой, вплоть до овальной, формы, выпуклыми в вентральной части, в срезе закручены в спираль с четко выраженными камерами, размер которых увеличивается по мере удаления от центра. Выявленные особенности строения раковин в образцах соответствуют роду *Nezzazata Omara*, получившему наиболее широкое распространение в сеноманское время [26]. *Nezzazata Omara* предпочитают теплые мелководные обстановки с умеренным волновым режимом, обеспечивающим поступление достаточного количества питательных веществ. Таким образом, наиболее благоприятные для жизнедеятельности обстановки складываются в открытых и полукрытых лагунах теплых бассейнов.

Планктонные фораминиферы в карбонатном разрезе распространены исключительно в глинистых мадстоунах в виде включений, не являясь основным породообразующим компонентом (рисунок 4, а-с). Фораминиферы относятся к роду *Globigerina*, распространение которых ограничивается фотической зоной морских бассейнов. Наиболее обильно представители *Globigerina* развиваются в теплых водах, предпочитая хорошо освещенные участки на удалении от берега [20].

Гастроподы. Хотя гастроподы встречаются во всех батиметрических уровнях мор-

ских бассейнов, их наибольшее изобилие связано с приливно-отливной зоной, где нет недостатка в поступлении пищи. В карбонатной толще скелетные остатки гастропод встречаются в верхней части разреза. Несмотря на то, что аутентичные стенки раковин, как и остальные детали внутреннего строения, были уничтожены в результате диагенетических преобразований, характерные загнутые очертания зерен, напоминающие «позу эмбриона», позволяют диагностировать гастроподы в шлифах (рисунок 4, h, i).

Остракоды. Представители ракушковых встречены в глинистых известняках совместно с планктонными фораминиферами и иглокожими. Скелетные остатки присутствуют в виде тонких обломков раковин дугообразной формы, размерами от 50 до 1000 мкм (рисунок 4, b-d). Большое видовое разнообразие остракод свидетельствует о благоприятной и стабильной во времени экологической обстановке в бассейновых водах [27]. Вместе с тем плохая сохранность отдельных раковин и слабовыраженная линейная слоистость могут указывать на возможную транспортировку и частичное переотложение биокластового материала. Тем не менее, характер распределения остатков остракод в разрезе и их закономерное сонахождение с другими видами органики позволяют интерпретировать среду обитания в пользу относительно глубокой зоны, периодически подвергавшейся штормовому воздействию.

В составе карбонатных отложений кроме вышеописанных скелетных остатков организмов присутствуют полигенетичные включения, представленные пелоидами и интракластами.

Пелоиды встречаются преимущественно в зернистых известняках, в которых их количество сильно изменчиво. Пелоиды преимущественно хорошо отсортированы, сферической или эллиптической формы с размерами зерен от 70 до 200 мкм (рисунок 4, f, g, i). Состоят, в основном, из микро- и скрытокристаллического кальцита без распознаваемой внутренней структуры, интерпретируются как продукты микритизации ооидов и биокластов [22].

В некоторых литотипах присутствуют *интракласты*, большинство из которых характеризуются неоднородной внутренней структурой и неправильной формой зерен размером от 200 до 700 мкм (рисунок 4, h). Они пред-

ставляют собой фрагменты слабо литифицированного карбонатного осадка, состоящего из биокластов, пелоидов и микрита, эродированного и переотложенного в пределах той же зоны осадконакопления.

Микрофации

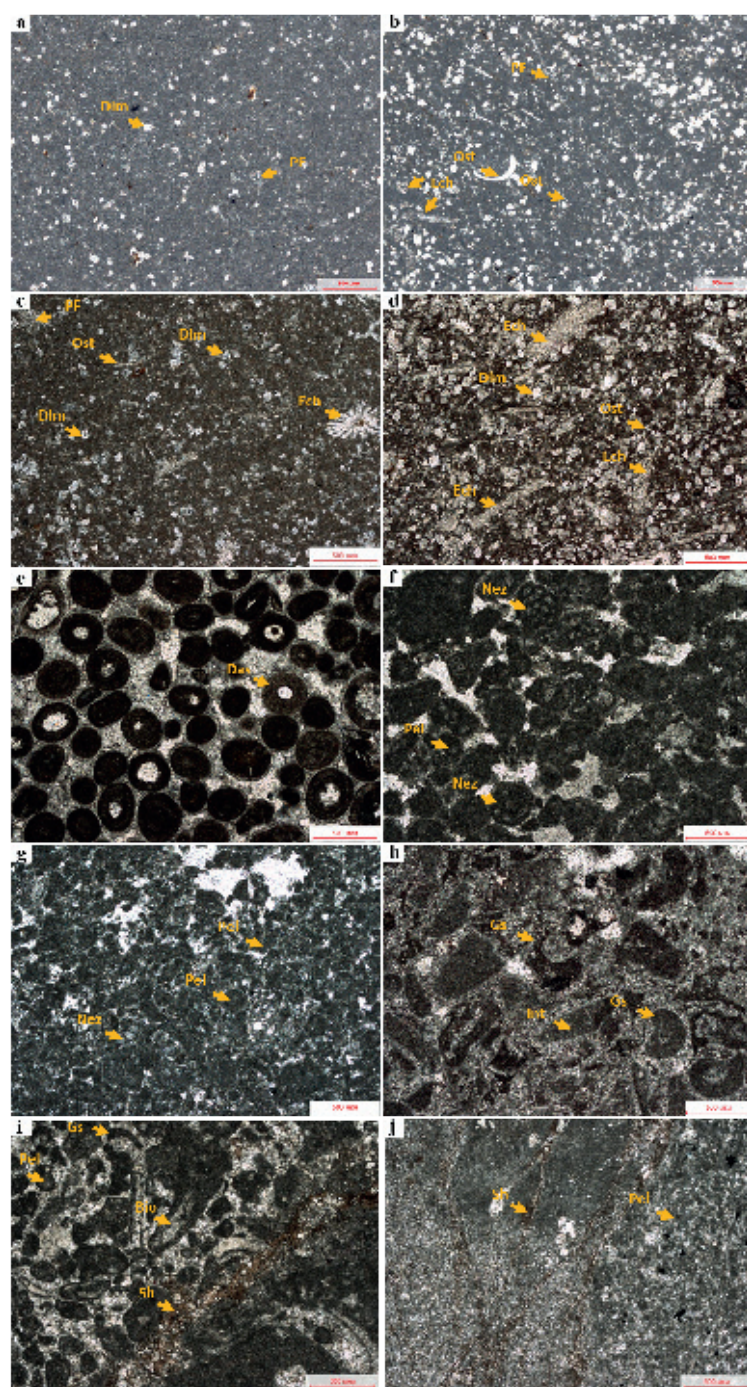
Выделено 10 микрофаций (MF), хорошо сопоставимых со стандартными микрофациями (SMF) тропических обстановок карбонатного осадконакопления [20].

MF1 (рисунок 4, а) является аналогом **SMF3** в модели стандартных микрофаций, представлена микритовыми литотипами — мадстоунами. Однако в отличие от **SMF3** содержание скелетных остатков, в данном случае планктонных фораминифер, более низкое. Порода характеризуется едва различимой мелкопелоидной (менее 10 мкм) структурой, которая является следствием микритизации первичных скелетов фораминифер, отмечаются единичные включения обломков остракод. Мадстоуны содержат редкие включения ромбических кристаллов доломита размером до 50 мкм.

MF2 (рисунок 4, b) также является разновидностью **SMF3** и относится к пелагическим микритовым вакстоунам. Основу ископаемых организмов составляют скелеты планктонных фораминифер, часто встречаются фрагменты раковин остракод, в том числе крупных, а также — единичные спиккулы иглокожих. В отличие от **MF1** породы более доломитизированы.

MF3 (рисунок 4, c) представлена известняками доломитистыми биокластово-микритовыми со структурой мадстоун, является аналогом **SMF2** [20]. Основу органики составляют фрагменты иглокожих и в меньшей степени планктонные фораминиферы, скелеты которых местами образуют мелкопелоидную структуру. Фрагменты раковин остракод имеют подчиненное значение.

MF4 (рисунок 4, d) сложенная биокластовыми доломитизированными вакстоунами, имеет схожие черты с **SMF8** [20]. Один из основных компонентов породы — микрит, его содержание более 40 %. Характерной чертой является сохранность относительно крупных биокластов, представленных преимущественно губками и в меньшей степени раковинами остракод. Микротекстуры беспорядочные с элементами слоистости.



Сокращения: Das — морские зеленые водоросли; Ech — иглокожие; Nez — бентосные фораминиферы; PF — планктонные фораминиферы; Gs — гастроподы; Ost — остракоды; Pel — пелоиды; Int — интракласты; Bio — биокласты; Sh — глинистые включения; Dlm — доломиты.

Abbreviations: Das — green algae; Ech — echinoderm; Nez — benthic foraminifera; PF — planktonic foraminifera; Gs — gastropod; Ost — ostracod; Pel — peloid; Int — intraclast; Bio — bioclast; Sh — shale; Dlm — dolomite.

Рисунок 4. Типы микрофаций, идентифицированных в карбонатных отложениях. а) MF1: фораминиферовые мадстоуны, частично доломитизированные. б) MF2: фораминиферовые микритовые вакстоуны, умеренно доломитизированные. в) MF3: биокластовые микритовые мадстоуны с остатками эхинодерм, фораминифер и остракод, частично доломитизированные; д) MF4 : биокластовые доломитизированные вакстоуны с широко встречающимися остатками эхинодерм и остракод; е) MF5: оолитовые водорослевые грейнстоуны динамически активного мелководья; ф) MF6: фораминиферовые грейнстоуны/пакстоуны динамически активного мелководья; г) MF7: биокластово-пелоидные пакстоуны мелководья со слабой динамикой; h)MF8: биокластовые пакстоуны приливно-отливной зоны; h)MF9: биокластовые флотстоуны/рудстоуны приливно-отливной зоны; j) MF10 глинистые мадстоуны приливно-отливной зоны.

Figure 4. The microfacies types identified in the section. а) MF1: mudstone supported by planktonic foraminifera, partially affected by dolomitization. б) MF2: micritic wackestone supported by planktonic foraminifera and affected by dolomitization; в) MF3: bioclastic micritic mudstone supported by echinoderm and planktonic foraminifera and ostracod, partially affected by dolomitization; д) MF4 : bioclastic micritic wackestone with abundant echinoderm and ostracod remains; е) MF5: shoal grainstone supported by green algae; ф) MF6: shoal grainstone/packstone supported by benthic foraminifera; г) MF7: bioclastic peloidal packstone formed under low hydrodynamic settings; h)MF8: bioclastic tidal packstone; h)MF9: bioclastic tidal floatstone/rudstone; j) MF10 shale enriched tidal mudstone.

MF5 (рисунок 4, е) представлена оолитовыми водорослевыми грейнстоунами/ пакстоунами, аналогом этой фации по классификации [20] является *SMF15*. Порода сложена ооидными известняками со спаритовым цементом, ооиды образованы зелеными водорослями семейства *Dasycladaceae*. Размеры зерен в среднем составляют 300 мкм, в отдельных случаях достигая 1000 мкм в диаметре. Некоторые зерна подверглись процессу выщелачивания с образованием молдических пор, частично залеченных кальцитом.

К *MF6* (рисунок 4, ф) отнесены биокластовые пелоидные грейнстоуны/пакстоуны, сформированные бентосными фораминиферами и в меньшей степени водорослями. Пелоиды крупные, неправильной округлой формы. Большинство зерен подверглись микритизации. Камеры фораминифер залечены кальцитом не полностью, с сохранением части порового пространства. Эти отложения соответствуют *SMF11* [20].

MF7 (рисунок 4, г) образована известковыми пакстоунами биокластово-пелоидными с редкими литокластами и микрит-микроспаритовым цементом. Пелоиды преимущественно мелкие, разнообразной формы, с частичной крустификацией кальцитом, сформированы в результате микритизации бентосных фораминифер. Аналогом является *SMF18* [20].

MF8 (рисунок 4, h) составляют вакстоуны/пакстоуны с крупными био- и литокластами, сцементированными микроспаритовым тонкокристаллическим карбонатом. Биокласты преимущественно представлены скелетными остатками гастропод, имеющими характерную изогнутую форму. Зерна по периферии обрамлены крустификационным кальцитовым цементом. Отложения аналогичны *SMF9* [20].

К *MF9* (рисунок 4, i) отнесены известняковые рудстоуны/флоатстоуны с гранулярным тонкокристаллическим цементом, сложенные неопределимыми биокластами разного размера, формы и разной степени окатанности. Порода разбита литогенетическими микротрещинами, заполненными глинистым веществом. Являются аналогом *SMF24* [20].

MF10 (рисунок 4, j) представлена известняковыми мадстоунами, неравномерно перекристаллизованными с микроспаритовым цементом. Порода неравномерно трещиноватая, литогенетические трещины заполнены

разнокристаллическим кальцитом и глинистым веществом. Аналогом является *SMF23*.

Модель осадконакопления

Судя по набору микрофаций и их латеральному расположению, карбонатные отложения охватывают батиметрические обстановки в диапазоне от уровня прилива/отлива и прибрежного мелководья с низкоэнергетическими лагунными илами или высокоэнергетическими зернистыми литотипами до открытой и относительно глубокой сублиторали. Распределение микрофаций хорошо вписывается в батиметрическую зональность и в полной мере отвечает гидродинамическим условиям осадконакопления, описанным в моделях фациальных поясов карбонатного рампа [2, 20].

В разрезе карбонатной толщи доминируют породы с высоким содержанием микрита, что характерно для седиментационного профиля моноклинально падающих рампов с очень низкими углами наклона [2]. В этом случае фациальная зональность рампа определяется исключительно глубиной бассейна. К основным фациальным зонам относятся (рисунок 5):

Фации внешнего рампа

К относительно глубокому внешнему рампу отнесены отложения микрофаций *MF1* и *MF2*. Порода *MF1* сложена мадстоунами, которые сформировались в среде осадконакопления с низкой гидродинамической активностью. Мелкозернистые биокласты представлены планктонными фораминиферами, которые являются доминирующими представителями биоты в этих отложениях. Планктонные фораминиферы типичны для зоны внешнего рампа, которая располагается ниже базиса воздействия штормовых волн [20, 22].

Породы *MF1* в разрезе перекрываются отложениями *MF2*, представленными вакстоунами с большим количеством и разнообразием биокластического материала, который возможно поступал с более мелких глубин во время штормов. Данные микрофации могут быть отнесены к дальней и ближней зонам внешнего рампа соответственно. Основными свидетельствами их принадлежности к низкоэнергетическому и относительно глубокому дистальному рампу, кроме наличия планктонных фораминифер, являются широко развитые микробиокластические струк-

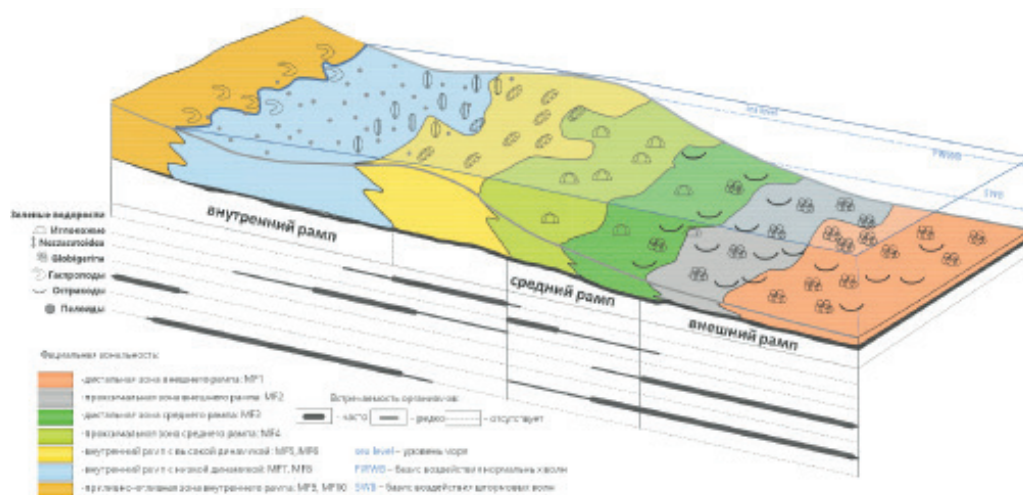


Рисунок 5. Трехмерное представление модели осадконакопления карбонатной толщи с привязкой микрофаций к фациальным поясам

Figure 5. The schematic diagram of the sedimentary belts and corresponding microfacies types and associations of the carbonate formation

туры пород и отсутствие *in situ* мелководной морской фауны.

Фации среднего рампа

К фациям среднего рампа, а именно к его внешнему и внутреннему склону, относятся породы MF3 и MF4, соответственно. Доминирование микритовой составляющей над остальными компонентами MF3 предполагает формирование в гидродинамической среде с преимущественно низкой активностью. MF4, расположенная выше по склону, характеризуется наличием более разнообразного по составу и форме биокластического материала по сравнению с MF3. Крупные, неокатанные биокласты вакстоунов с элементами слоистости предполагают среду с активным воздействием волновых процессов, которые способствуют разрушению и транспортировке биокластического материала с области мелководья в погруженную часть среднего рампа. Обилие и разнообразие скелетных зерен разной крупности и степени сортировки указывают на отложение в мелководной открытой морской среде, расположенной между базисами воздействия нормальных (хорошей погоды) и штормовых волн, характеризующейся более высокой энергией по сравнению с условиями формирования фациальных ассоциаций MF1-MF2.

Фации внутреннего рампа

Представлены наиболее разнообразным набором литотипов, содержащих признаки совместного влияния бассейновых вод прибреж-

ного мелководья и литоральной обстановки с периодической субаэральной экспозицией.

К внешней стороне внутреннего рампа относится зона активного мелководья, в которой сформировались породы MF5, MF6. Водорослевые и фораминиферовые грейнстоуны с хорошо окатанными биокластами предполагают активную гидродинамическую среду осадконакопления с высокой волновой энергией, оптимально подходящей для образования высокопористых коллекторов.

С падением гидродинамической активности бассейна за пределами области мелководья в направлении суши формируются благоприятные условия для накопления осадков, характерных для открытых и полуоткрытых лагунов. Спокойная динамика, небольшая глубина и обилие пищи создают оптимальные условия для развития бентосной органики, составляющей основу пород MF7, MF8.

Непосредственно прилегающая к берегу область приливно-отливной зоны представлена отложениями MF9, MF10. Для биокластов, входящих в состав пород, характерно отсутствие сортировки, разнообразие размера и формы зерен без признаков окатанности, что свидетельствует в пользу среды с низкой динамикой. Периодическое осушение области осадконакопления приводило к формированию литогенетических трещин в обезвоживающихся осадках с последующим их заполнением глинистым материалом во время приливного затопления.

В карбонатном разрезе фации встречаются в единой циклично повторяющейся парагенетической последовательности (снизу-вверх):

микрозернистые планктонные фораминиферы мадстоунов/вакстоунов внешнего рампа (MF1-MF2), переходящие в биокластовые поликомпонентные мадстоуны/вакстоуны среднего рампа (MF3-MF4), а затем в водорослевые пакстоны/грейнстоуны внутреннего рампа с бентосными фораминиферами и водорослями (MF5-MF6), перекрытыми в кровле карбонатной толщи лагунными биокластово-пелоидными фораминиферовыми пакстоунами (MF7) и приливно-отливными биокластовыми литотипами гравийной размерности и мадстоунами (MF8-MF10), завершающими цикл карбонатного осадконакопления. Эта парагенетическая последовательность имеет в основном неполный двухкомпонентный порядок с ритмично чередующимися фациями только внешнего и среднего рампа (рисунок 6), что объясняется малой амплитудой колебаний уровня моря в ходе накопления карбонатных отложений.

Хорошо развитые трехкомпонентные циклы, включающие полный батиметрический профиль рампа, формируются только там, где амплитуды колебаний уровня моря имеют тенденцию превышать величину 30 м, т.е. глубину между основанием волн хорошей погоды и основанием штормовых волн. Таких амплитуд, судя по мощности карбонатных циклов, в рамповом бассейне не было. И лишь в защищенных внутрирамповых водое-

мах, где амплитуды волнового воздействия значительно уменьшаются, колебания уровня моря могли быть относительно небольшими, чтобы генерировать полный трехкомпонентный цикл, как это установлено в скважине S-2. В сторону глубокого рампа характерны только двухкомпонентные циклы, в которых даже при умеренном падении уровня моря литоральные фации не формируются.

Типизация коллекторов

Разрез карбонатной толщи преимущественно состоит из отложений среднего и внешнего рампов. Известняки фациальных зон внутреннего рампа характерны для верхней части разреза. Хотя колебания уровня моря внутри макроцикла осадконакопления не привели к образованию полноценных мелкомасштабных седиментационных последовательностей, их влияние, тем не менее, проявляется в проградационных смещениях, предопределивших внутреннюю архитектуру карбонатного резервуара и характер распределения коллекторов в разрезах скважин. Основные интервалы притока из карбонатной толщи по данным расходомеров могут быть связаны как с верхней, так и центральной частью разреза. Эта особенность позволяет предполагать чередующийся по разрезу и мигрирующий по площади характер распределе-

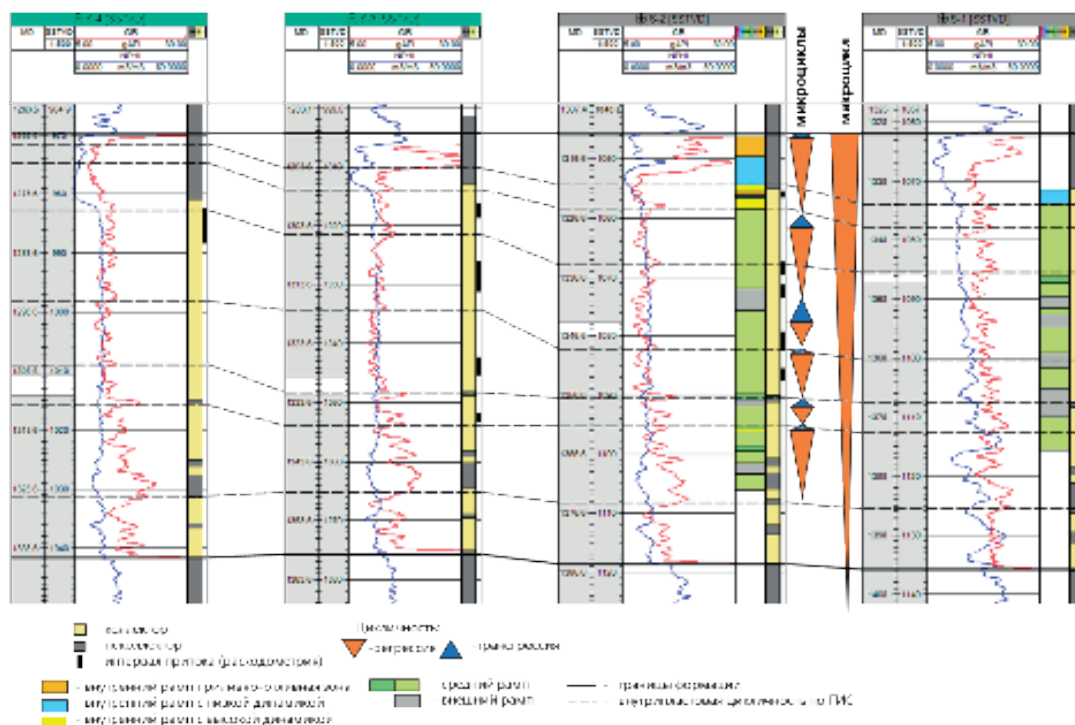


Рисунок 6. Схема корреляции и положение в разрезе фациальных зон карбонатного рампа

Figure 6. Well-to-Well correlation scheme with sedimentary successions of carbonate ramp

ния фациальных зон, а также связанных с ними пород-коллекторов, что существенно увеличивает потенциал нефтеносности карбонатных отложений.

Фильтрационно-емкостные свойства карбонатных коллекторов, изученные по данным керна, характеризуют неоднородное строение резервуара, обусловленное изменчивостью первичных обстановок осадконакопления. Вторичные процессы оказали незначительное влияние на качество коллекторов. Породы преимущественно обладают межзерновым типом пустотного пространства; молдическая, кавернозная, трещинная пористости проявлены незначительно. Лучшие коллекторские свойства связаны с отложениями внутреннего рампа. Наиболее проницаемые интервалы тяготеют к литотипам MF5, породы которых сложены водорослевыми оолитовыми грейнстоунами динамического мелководья. Некоторым ухудшением емкостных свойств характеризуются отложения, приуроченные к биокластовым фораминиферовым грейнстоунам/пакстоунам в нижней части внутреннего рампа (MF6, MF7). Известняки, связанные с зонами внешнего и среднего рампов (MF1-4), формируют собственную петрофизическую зависимость в области низких значений проницаемости (рисунок 7).

Перспективы нефтеносности

Рассматриваемая территория представляет собой рамповую структуру восточного падения, образовавшуюся вдоль пассивной континентальной окраины Аравийской плиты. В бассейнах шельфового типа карбонатные рампы обычно имеют ширину до 100 км, а их длина, определяемая размерами бассейна, мо-

жет распространяться на сотни километров [29], что приводит к лентовидной морфологии карбонатной толщи, вытянутой вдоль мелководного края рампа.

В сеноманско-раннетуронских карбонатах различные фации располагаются поясами, следуя палеобатиметрическому градиенту вдоль моноклиналиного рампа, глубина которого ограничивалась базисом штормовых волн. Скелетные компоненты указывают на постепенное увеличение глубины воды от эвфотических отложений морских зеленых водорослей (MF5, MF6) до афотических тонкодисперсных мадстоунов с редкими планктонными фораминифами (MF1). Карбонатная фабрика располагалась в эвфотической зоне мелководного волнового рампа с обширными водорослевыми лугами и обилием бентосных фораминифер. Самая высокая продуктивность карбонатонакопления пришлась на хорошо освещенную мелководную часть проксимальной зоны среднего рампа и дистальную зону внутреннего рампа. Первичным экологическим контролем в этой обстановке осадконакопления являлось преобладание волновых процессов высокой энергии, благоприятных для развития разнообразных бентосных сообществ.

Анализ фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород различных фаций показывает, что более высокопористые литотипы обычно тяготеют к динамически подвижным зонам внутреннего и среднего рампа с высоким волновым воздействием, способствующим удалению тонкой илистой фракции и вызреванию зернистого осадка. Именно в этих фациальных зонах прогнозируются наилучшие коллекторы с первичной межчастичной

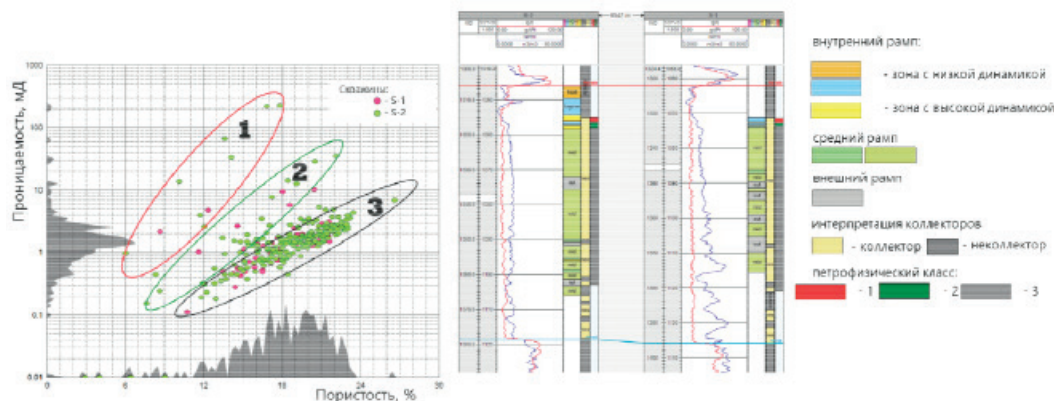


Рисунок 7. Связь между петрофизическими свойствами и фациальными поясами в отложениях карбонатной толщи

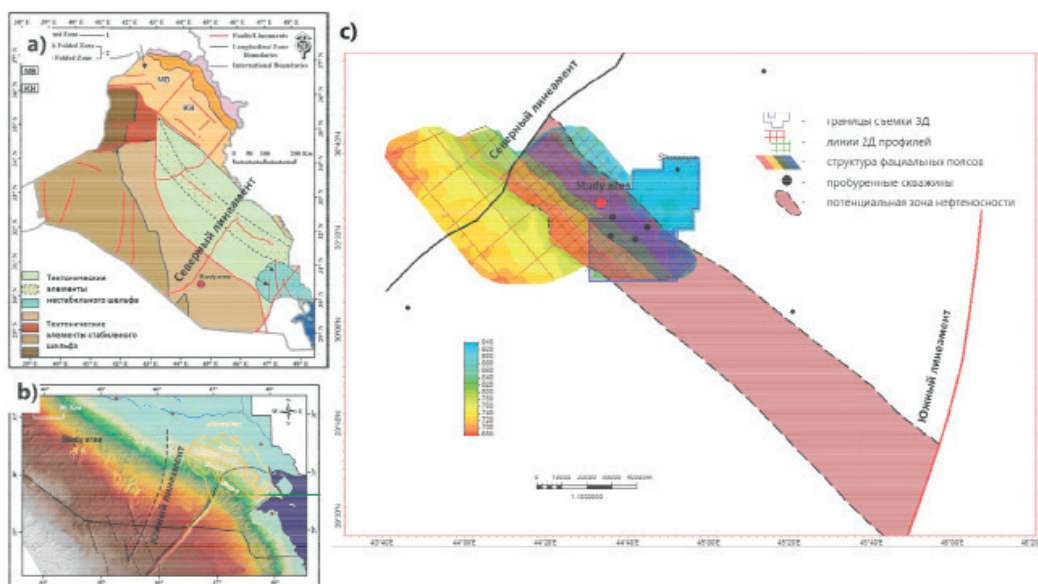
Figure 7. The relationship between sedimentary facies and physical properties of the carbonate formation.

пористостью и повышенной проницаемостью. В сторону дальней зоны среднего рампа размеры карбонатных зерен уменьшаются, а содержание микрита возрастает, что ухудшает первично-седиментационную межчастичную пористость и существенно снижает проницаемость. Тем не менее, и в этой фациальной зоне, как показывает опыт изучения мелового карбоната накопления в форландовом бассейне [30] и результаты поинтервальных испытаний скважин, следует ожидать наличие коллекторов с микропоровым емкостным пространством. Такие резервуары могут быть выявлены в богатых известковым микритом вакстоунах, связанных с регрессивными циклами карбонатной седиментации.

В условиях моноклинального залегания рампа и вытянутости фациальных поясов вдоль края карбонатного бассейна, определить границы перспективной зоны и области локализации запасов, особенно по простиранию структуры, посредством только фациального анализа проблематично. Естественными гидродинамическими барьерами, ограничивающими возможное распространение углеводородов вдоль простирания карбонатного

рампа, могут выступать поперечные региональные тектонические нарушения.

Рассматриваемая территория ограничена линеаментами, приуроченными к древним разломам фундамента на северо-западе и юго-востоке карбонатного рампа. Южный линеамент простирается на 150 км в виде хорошо выраженной в рельефе узкой линейной долины. Его фрагменты хорошо прослеживаются на спутниковых снимках. Согласно геологическим данным [31], этот разлом рассекает мезозойские и четвертичные породы с горизонтальным смещением по обеим сторонам долины, что указывает на сдвиговую природу неотектонических процессов [32]. Северный линеамент, простирается на 200 км к северо-востоку, где он ограничивает тектонический блок и является барьерной зоной для крупнейших нефтяных месторождений [4]. Исходя из аналогий, можно предположить, что упомянутые разломы, пересекая рассмотренные карбонатные отложения, также ограничивают рамповую структуру по простиранию и образуют обособленный тектонофациальный блок размером 200x30 км (рисунок 7), нефтеносность которого в целом



а) положение Северного линеамента по данным Aqrabi et al., 2010 б) положение Южного линеамента по данным Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) 7.5 arc-second. в) Карта-схема палеорельефа бассейна осадконакопления с отображением структуры фациальных поясов и общей зоны перспективности отложений.

а) the location of the Northern fault according to Aqrabi et al., 2010. б) the location of Southern fault according to Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) 7.5 arc-second. в) paleo-topography elevation map of the formation with facies belts pattern and prospect area.

Рисунок 8. Оценка площади потенциальной нефтеносности карбонатных отложений изучаемой тектонической области

Figure 8. The prospect area evaluation of study tectonic area.

уже подтверждена бурением четырех разведочных скважин с промышленно значимыми притоками нефти из карбонатных коллекторов.

Выводы

Изложенные данные свидетельствуют о формировании отложений в обстановке карбонатного моноклиального рампа, возникшего на пассивной тетической окраине Аравийской плиты в сеноман-раннетуронское время. Проведенный литолого-фациальный анализ позволяет лучше понять перспективы нефтеносности этого малоизученного региона и сделать следующие выводы.

1. В строении карбонатных отложений выделено 10 микрофаций, которые формировались в трех крупных фациальных зонах рампа, границы которых контролировались глубиной и динамикой палеобассейна. Распространение коллекторов тесно связано с первичными условиями осадконакопления.

2. Фациальные последовательности образуют закономерные ряды, обусловленные ци-

кличностью осадконакопления и проградацией отложений с их латеральными смещениями по карбонатному рампу, что позволяет ожидать существенное расширение площади потенциально нефтеносных мелководных зернистых литотипов.

3. Установлена тесная корреляция между качественными характеристиками резервуара и микрофациями. Микрофации объединены в три петрофизических группы с собственными зависимостями. Среди коллекторов наилучшими петрофизическими свойствами обладают зернистые отложения, сформировавшиеся в области динамичного мелководья.

4. Морфология шельфового бассейна и батиметрические условия осадконакопления в рамках модели моноклиального рампа предполагают площадной и линейный характер распространения коллекторов с пластовым типом залежей. Границы потенциально перспективной зоны нефтеносности определяются фациальным составом мелководных отложений и контролируются по простиранию поперечными разрывными нарушениями.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Abdulnaby W., Al-Mayahi D. Geometric and Genetic Structural Analysis of Zubair Oil Field, Southern Iraq // *Journal of Al-Qadisiyah for Applied Sciences*. 2010. Vol. 15 (3). P. 89-97.
2. Alavi M. Regional Stratigraphy of The Zagros Fold — Thrust Belt of Iran and its Pro-Foreland Evolution // *American Journal of Science*. 2004. Vol. 304. Issue 1. P. 1–20. DOI: 10.2475/ajs.304.1.1.
3. Al-Hadithi T.M.S., Al-Mehaidi H.M., Photogeological-hydrogeological Survey of the Southern Desert (blocks 1, 2 and 3) // *GEOSURV*. 1983. int. rep. no. 1251.
4. Anadon P., Gliozzi E., Mazzini I. Paleoenvironmental Reconstruction of Marginal Marine Environments from Combined Paleocological and Geochemical Analyses on Ostracods // *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, Geophysical Monograph. 2002. Vol. 131. P. 227–247.
5. Aqrawi A.A.M., Goff J.C., Horbory A.D., Sadooni F.N., The Petroleum Geology of Iraq. Scientific Press Ltd. Beaconsfield: UK, 2010. 424 p.
6. Aqrawi A.A.M., Khaiwka M.H., Depositional environment of Rumaila Formation (Cenomanian) in selected boreholes, central and southern Iraq // *Journal Geol. Soc. Iraq*. 1986. Vol. 19. P. 77–95.
7. Bosence D., A genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic // *Sedimentary Geology*. 2005. Vol. 175. Issue 1-4. P. 49-72. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2004.12.030.
8. Bramkamp A Richard. and Ramirez F Leon, Geology of the Wadi Al Batin quadrangle, Kingdom of Saudi Arabia // *IMAP 203-A*, U.S. Geological Survey. 1959. DOI: <https://doi.org/10.3133/i203A>.

9. Burchette T. P., & Wright V. P. Carbonate ramp depositional systems // *Sedimentary Geology*. 1992. Vol. 79. Issue 1-4. P. 3–57. DOI: 10.1016/0037-0738(92)90003-A.

10. Burchette T.P. Mishrif Formation (Cenomanian-Turonian), southern Arabian Gulf: Carbonate platform growth along a cratonic basin margin. In J.A.T. Simo, R.W. Scott and J.-P. Masse (Eds.) // *Cretaceous Carbonate Platforms*. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1993. No.56. P. 185-199.

11. Daly M.C. Basin analysis and prospectivity of NW Iraq, A plate tectonic model of the Northern Arabian margin // *BP/Idemitsu Study of NW Iraq*. OEC Lib., Baghdad. 1990. Vol. 2.

12. Dunham R.J. Classification of Carbonate Rocks According to Their Depositional Texture // *AAPG Memoir*. 1962. Vol. 1. P. 108–121.

13. Einsele G. Sedimentary basins. Evolution, facies and sediment budget. Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg, 1992. 628 p.

14. Embry A.F. and Klovan J.E. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories // *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1971. Vol. 19 (4). P. 730-781.

15. Fouad S.F.A. Tectonic and structural evolution of the western desert. In: geology of Iraqi western desert // *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*. 2007. Special Issue No. 1. P. 29-50.

16. Fouad S.F.A., Tectonic evolution of the Mesopotamia Foredeep in Iraq // *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*. 2010. Vol. 6. No. 2. P. 41-53.

17. Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application (Second Edition). New York: Springer, Heidelberg Dordrecht London. 2010. 984 p.

18. Hess H., Ausich W.E., Brett C.E., Simms M.J. Fossil crinoids. Cambridge: University Press. 1999. 275 p.
19. Humane S.K., Chaurpagar S.N., Humane S.S. et al. Dasycladalean Algae and Their Depositional Environments in the Sylhet Limestone Formation (Lower-Middle Eocene), Bengal Basin // *Journal of the Geological Society of India*. 2010. Vol. 76. P. 75–85. DOI: 0.1007/s12594-010-0078-9.
20. Jassim S.Z., Goff J.C. *Geology of Iraq*. Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno: Czech Republic, 2006. 341 p.
21. Kozmin V., Ricou L.E., Sbertshikov I.M. Structure and Evolution of the Passive Margin of the Eastern Tethys // *Tectonophysics*. 1986. Vol. 123. P. 153–179. DOI: 10.1016/0040-1951(86)90196-4.
22. Leturmy P., Robinc, (Eds.), *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran During the Mesozoic-Cenozoic*. Special Publication 330 (Geological Society Special Publication). London: Geological Society Of London. 2010. 376 p.
23. Loeblich A.R.Jr., Tappan H. *Sarcodina Chiefly 'Thecamoebians' and Foraminiferida: Treatise on Invertebrate Paleontology*. Pt. C.: Protista. Lawrence: Geological Society of America. 1964. Vol. 2. 900 p.
24. Murris R.J. The Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat // *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 1980. Vol. 64. P. 597-618.
25. Read J.F., Osleger D., Elrick M. Two-dimensional modeling of carbonate ramp sequences and component cycles // *Kansas Geological Survey, Bulletin*. 1991. Vol. 233. P. 473–488.
26. Saffa F.A. Fouad. Tectonic and structural evolution of the Mesopotamia foredeep, Iraq // *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*. 2010. Vol. 6. No. 2. P. 41–53.
27. Sahraeyan M., Bahrami M., Hooshmand M., Ghazi S., Al-Juboury A.I. Sedimentary facies and diagenetic features of the Early Cretaceous Fahliyan Formation in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran // *Journal of African Earth Sciences*. 2013. Vol. 87. P. 59-70. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2013.07.004.
28. Scholle P.A., Ulmer-Scholle D.S. *A Color Guide to The Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis* // *AAPG Memoir*. 2003. Vol. 77. 474 p.
29. Verma M.K., Ahlbrandt T.S., Al-Gailani M. Petroleum Reserves and Undiscovered Resources in the Total Petroleum Systems of Iraq: Reserve Growth and Production Implications // *GeoArabia*. 2004. Vol. 9 (3). P. 51–74. DOI: 10.2113/geoarabia090351.
30. Volery C., Davaud E., Foubert A., Caline B. Shallow-Marine Microporous Carbonate Reservoir Rocks in the Middle East: Relationship with Seawater Mg/Ca Ratio and Eustatic Sea Level // *Journal of Petroleum Geology*. 2009. Vol. 32. Issue 4. P. 313-326. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2009.00452.x.
31. Wilson J.L. *Carbonate Facies in Geologic History*. New York: Springer Verlag. 1975. 471 p.
2. Alavi M. Regional Stratigraphy of The Zagros Fold — Thrust Belt of Iran and its Pro-Foreland Evolution. *American Journal of Science*, 2004, Vol. 304, Issue 1, pp. 1–20. DOI: 10.2475/ajs.304.1.1.
3. Al-Hadithi T.M.S., Al-Mehaidi H.M., Photogeological-hydrogeological Survey of the Southern Desert (blocks 1, 2 and 3). *GEOSURV*, 1983, int. rep. no. 1251.
4. Anadon P., Gliozzi E., Mazzini I. Paleoenvironmental Reconstruction of Marginal Marine Environments from Combined Paleocological and Geochemical Analyses on Ostracods. *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research, Geophysical Monograph*, 2002, Vol. 131, pp. 227–247.
5. Aqrabi A.A.M., Goff J.C., Horbory A.D., Sadooni F.N., *The Petroleum Geology of Iraq*. Scientific Press Ltd. Beaconsfield: UK, 2010. 424 p.
6. Aqrabi A.A.M., Khaiwka M.H., Depositional environment of Rumaila Formation (Cenomanian) in selected boreholes, central and southern Iraq. *Journal Geol. Soc. Iraq*, 1986, Vol. 19, pp. 77–95.
7. Bosence D., A genetic classification of carbonate platforms based on their basinal and tectonic settings in the Cenozoic. *Sedimentary Geology*, 2005, Vol. 175, Issue 1-4, pp. 49-72. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2004.12.030.
8. Bramkamp A Richard. and Ramirez F Leon, *Geology of the Wadi Al Batin quadrangle, Kingdom of Saudi Arabia*. IMAF 203-A, U.S. Geological Survey, 1959. DOI: <https://doi.org/10.3133/i203A>.
9. Burchette T. P., & Wright V. P. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 1992, Vol. 79, Issue 1-4, pp. 3–57. DOI: 10.1016/0037-0738(92)90003-A.
10. Burchette T.P. Mishrif Formation (Cenomanian-Turonian), southern Arabian Gulf: Carbonate platform growth along a cratonic basin margin. In J.A.T. Simo, R.W. Scott and J.-P. Masse (Eds.). *Cretaceous Carbonate Platforms*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1993, No. 56, pp. 185-199.
11. Daly M.C. Basin analysis and prospectivity of NW Iraq, A plate tectonic model of the Northern Arabian margin. *BP/Idemitsu Study of NW Iraq*. OEC Lib., Baghdad, 1990, Vol. 2.
12. Dunham R.J. Classification of Carbonate Rocks According to Their Depositional Texture. *AAPG Memoir*, 1962, Vol. 1, pp. 108–121.
13. Einsele G. *Sedimentary basins. Evolution, facies and sediment budget*. Springer-Verlag. Berlin: Heidelberg, 1992. 628 p.
14. Embry A.F. and Klovan J.E. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1971, Vol. 19 (4), pp. 730-781.
15. Fouad S.F.A. Tectonic and structural evolution of the western desert. In: geology of Iraqi western desert. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 2007, Special Issue No. 1, pp. 29-50.
16. Fouad S.F.A., Tectonic evolution of the Mesopotamia Foredeep in Iraq. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 2010, Vol. 6, No. 2, pp. 41-53.
17. Flügel E. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application (Second Edition)*. New York: Springer, Heidelberg Dordrecht London. 2010. 984 p.

REFERENCES

18. Hess H., Ausich W.E., Brett C.E., Simms M.J. *Fossil crinoids*. Cambridge: University Press. 1999. 275 p.
19. Humane S.K., Chaurpagar S.N., Humane S.S. et al. Dasycladalean Algae and Their Depositional Environments in the Sylhet Limestone Formation (Lower-Middle Eocene), Bengal Basin. *Journal of the Geological Society of India*, 2010, Vol. 76, pp. 75–85. DOI: 0.1007/s12594-010-0078-9.
20. Jassim S.Z., Goff J.C. *Geology of Iraq*. Dolin, Prague and Moravian Museum, Brno: Czech Republic, 2006. 341 p.
21. Kozmin V., Ricou L.E., Sbertshikov I.M. Structure and Evolution of the Passive Margin of the Eastern Tethys. *Tectonophysics*, 1986, Vol. 123, pp. 153–179. DOI: 10.1016/0040-1951(86)90196-4.
22. Leturmy P., Robinc, (Eds.), *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran During the Mesozoic-Cenozoic. Special Publication 330* (Geological Society Special Publication). London: Geological Society Of London. 2010. 376 p.
23. Loeblich A.R.Jr., Tappan H. *Sarcodina Chiefly 'Thecamoebians' and Foraminiferida: Treatise on Invertebrate Paleontology*. Pt. C.: Protista. Lawrence: Geological Society of America. 1964. Vol. 2. 900 p.
24. Murris R.J. The Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1980, Vol. 64, pp. 597-618.
25. Read J.F., Osleger D., Elrick M. Two-dimensional modeling of carbonate ramp sequences and component cycles. *Kansas Geological Survey, Bulletin*, 1991, Vol. 233, pp. 473–488.
26. Saffa F.A. Fouad. Tectonic and structural evolution of the Mesopotamia foredeep, Iraq. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 2010, Vol. 6, No. 2, pp. 41-53.
27. Sahraeyan M., Bahrani M., Hooshmand M., Ghazi S., Al-Juboury A.I. Sedimentary facies and diagenetic features of the Early Cretaceous Fahliyan Formation in the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 2013. Vol. 87, pp. 59-70. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2013.07.004.
28. Scholle P.A., Ulmer-Scholle D.S. A Color Guide to The Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis. *AAPG Memoir*, 2003, Vol. 77, 474 p.
29. Verma M.K., Ahlbrandt T.S., Al-Gailani M. Petroleum Reserves and Undiscovered Resources in the Total Petroleum Systems of Iraq: Reserve Growth and Production Implications. *GeoArabia*, 2004, Vol. 9 (3), pp. 51–74. DOI: 10.2113/geoarabia090351.
30. Volery C., Davaud E., Foubert A., Caline B. Shallow-Marine Microporous Carbonate Reservoir Rocks in the Middle East: Relationship with Seawater Mg/Ca Ratio and Eustatic Sea Level. *Journal of Petroleum Geology*, 2009, Vol. 32, Issue 4, pp. 313-326. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2009.00452.x.
31. Wilson J.L. *Carbonate Facies in Geologic History*. New York: Springer Verlag. 1975. 471 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Давид Дамирович Сулейманов, эксперт ООО «РН-БашНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

David D. Suleymanov, Expert, RN-BashNIPIneft LLC (Rosneft Oil Company), Ufa, Russia

SuleymanovDD@bnipi.rosneft.ru

Михаил Васильевич Рыкус, кандидат геолого-минералогических наук, эксперт, ООО «РН-БашНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия; доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Mikhail V. Rykus, candidate of geological and mineralogical sciences, expert, RN-BashNIPIneft LLC (Rosneft Oil Company), Ufa, Russia, associate professor, Geology and oil and gas field exploration department, Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia

rykusmihail@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.09.2023; одобрена после рецензирования 16.10.2023; принята к публикации 30.11.2023.

The article was submitted 05.09.2023; approved after reviewing 16.10.2023; accepted for publication 30.11.2023.