

РУБРИКА: ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

Анализ типов разрезов и межскважинная корреляция в природных резервуарах со смешанной терригенно-карбонатной седиментацией

Российский сектор Каспийского моря представляет собой один из наиболее перспективных регионов для наращивания ресурсной базы углеводородного сырья. Результаты бурения десятков поисковых и поисково-разведочных скважин, а также комплексный анализ литологических, геофизических, петрофизических и прочих исследований показывают, что основная промышленная нефтегазоносность региона связана титон-берриасским комплексом Центрального Каспия и готерив-барремским (неокомским) комплексом Северного Каспия.

Отложения неокома отличаются высокой степенью изменчивости литологического состава, стратиграфического объема и мощности. Анализ типов разрезов скважин показал, что формирование отложений готерив-баррема происходило в обстановках смешанной терригенно-карбонатной седиментации. Высокая степень песчанистости разреза, интенсивная биотурбация и значительная фациальная изменчивость отложений обусловила латеральную и вертикальную неоднородность пород, что привело к необходимости проведения детальных комплексных исследований и пересмотра традиционных пластово-параллельных геологических моделей резервуара.

В статье представлены результаты комплексного анализа разномасштабных геолого-геофизических исследований при создании концептуальной литолого-фациальной модели и изучении геометрии и внутреннего строения природных резервуаров неокомских отложений. Проведенные литологические исследования керн совместно с анализом сейсморазведочных работ и данных ГИС позволили провести типизацию разрезов скважин, выполнить детальную межскважинную корреляцию вертикальных и горизонтальных скважин и разработать концептуальную геологическую модель, которая учитывает все вышеперечисленные особенности.

Ключевые слова: породы-коллекторы, литотипы, литофации, неокомские отложения, концептуальная литолого-фациальная модель.

Analysis of section types and interwell correlation in natural reservoirs with mixed terrigenous-carbonate sedimentation

The Russian sector of the Caspian Sea is one of the most promising regions for expanding its hydrocarbon resource base. The results of drilling dozens of exploration and prospecting wells, as well as a comprehensive analysis of lithological, geophysical, petrophysical, and other studies, show that the region's primary commercial oil and gas potential is associated with the

Tithonian-Berriasian complex of the Central Caspian and the Hauterivian-Barremian (Neocomian) complex of the Northern Caspian.

Neocomian deposits are characterized by a high degree of variability in lithological composition, stratigraphic volume, and thickness. Analysis of well logs revealed that the Hauterivian-Barremian deposits formed in mixed terrigenous-carbonate sedimentation settings. The high sand content of the section, intense bioturbation, and significant facies variability of the sediments resulted in lateral and vertical heterogeneity of the rocks, necessitating detailed, comprehensive studies and a revision of traditional "layer-parallel" geological reservoir models.

This article presents the results of a comprehensive analysis of multi-scale geological and geophysical studies to create a conceptual lithofacies model and study the proposed geometry and internal structure of natural reservoirs in Neocomian deposits. The lithological core studies, coupled with the analysis of seismic exploration and well logging data, enabled the classification of well sections, detailed interwell correlation of vertical and horizontal wells, and the development of a conceptual geological model that takes into account all of the above-mentioned features.

Keywords: reservoir rocks, lithotypes, lithofacies, Neocomian deposits, conceptual lithofacies model.

Введение

Объектом исследования являются нижнемеловые отложения готерив-барремского возраста терригенного и терригенно-карбонатного состава, к которым приурочены крупные месторождения углеводородов Ракушечно-Широтной системы поднятий в акватории Северного Каспия.

По региональным представлениям, неокомские отложения на исследуемой территории накапливались в прибрежно-морских и мелководно-морских условиях и представлены, как правило, терригенными породами: песчаниками, алевролитами и глинами с различным типом цементации, а также глинисто-карбонатными породами. Отложения готерив-баррема слагают нижнюю, трансгрессивную часть крупной секвенции, залегают с резким несогласием на разновозрастных отложениях верхней юры и перекрываются более выдержанными по площади глинистыми отложениями апта.

Одной из основных особенностей исследуемых отложений является высокая степень песчаности разрезов, что затрудняет проведение детальной межскважинной корреляции и выполнение корректной геометризации резервуара, а также является осложняющим фактором при прогнозе зон развития коллекторов различных типов и оценке их свойств. Второй особенностью является наличие в разрезе высокопористых и высокопроницаемых гравийно-песчаных прослоев, генезис которых интерпретируется по-разному. На текущий момент нет однозначного понимания, образуют ли гравийные прослои относительно протяженные и выдержанные по площади пласты или для них характерно скорее шнурковое строение и они образовались в обстановках смещенных русел [1, 2]. Принятая к настоящему времени геологическая модель подразумевает относительно пластово-параллельное распределение гравийно-песчаных и алевро-песчаных тел по латерали. Вместе с тем результаты проведенных детальных седиментологических исследований опорных разрезов скважин Северного Каспия указывают на более сложную конфигурацию осадочных отложений и их разнообразные условия формирования. Неоднозначность интерпретации фациальной природы высокопористых гравийных прослоев представляет собой серьезную проблему, так как с этими отложениями связаны зоны обводненности, поэтому необходимо понимать латеральную и вертикальную изменчивость этих прослоев, их связанность между собой, генезис и литолого-фациальную характеристику. Еще одной особенностью исследуемого разреза является обилие прослоев, характеризующихся высокой степенью переработки ходами илоедов [3]. Наличие такого рода прослоев осложняет структуру пустотного пространства пород и делает неоднозначной интерпретацию геофизических данных. Часто такие прослои трудно отнести к какому-либо определенному типу пород.

Все это определяет необходимость проведения более детальных комплексных исследований, включающих в себя литологическое изучение керна, анализ данных ГИС и сейсморазведки 3D/2D и, как следствие, разделение разрезов скважин по типам, выделение секвенций и трактов осадочных систем, межскважинную корреляцию и классификацию пород-коллекторов с сегментацией петрофизических связей.

Метод

Межскважинная детальная корреляция представляет собой одну из наиболее сложных и трудоемких задач, поскольку разрез достаточно опесчанен и в нем отсутствуют выдержанные глинистые реперные границы. В связи с этим работа состояла из нескольких этапов:

- анализ региональных данных и результатов интерпретации сейсморазведочных работ;
- анализ результатов детальных литологических исследований скважин, включающий детальное литологическое описание, выделение литологических типов и выявление ключевых особенностей строения разреза;
- детальная межскважинная корреляция, анализ разрезов горизонтальных скважин;
- типизация разрезов скважин, их классификация и выделение секвенций разных порядков.

В литологическом отношении исследуемые отложения представлены следующими основными типами пород: песчаниками мелкозернистыми, мелко-среднезернистыми, средне-крупнозернистыми, гравийно-песчаными отложениями, гравелитами. Выделяются также алевролиты и алевро-глинистые отложения, глинистые отложения. Отличительной особенностью исследуемых отложений является существенный объем пород терригенно-карбонатного и карбонатного состава: песчаников с базальным карбонатным цементом, известняков и мергелей.

Исследуемый разрез характеризуется разнообразным набором текстур, образуемых, как правило, в пределах приливно-отливных областей (рис. 1). Эти отложения образуют циклически повторяющиеся последовательности, которые были выявлены и прослежены на исследуемой территории.

Выявленные по керну структурно-текстурные особенности, ихнофагии, индекс биотурбации, минералогические особенности и включения были оцифрованы и перенесены на детальные седиментологические колонки.

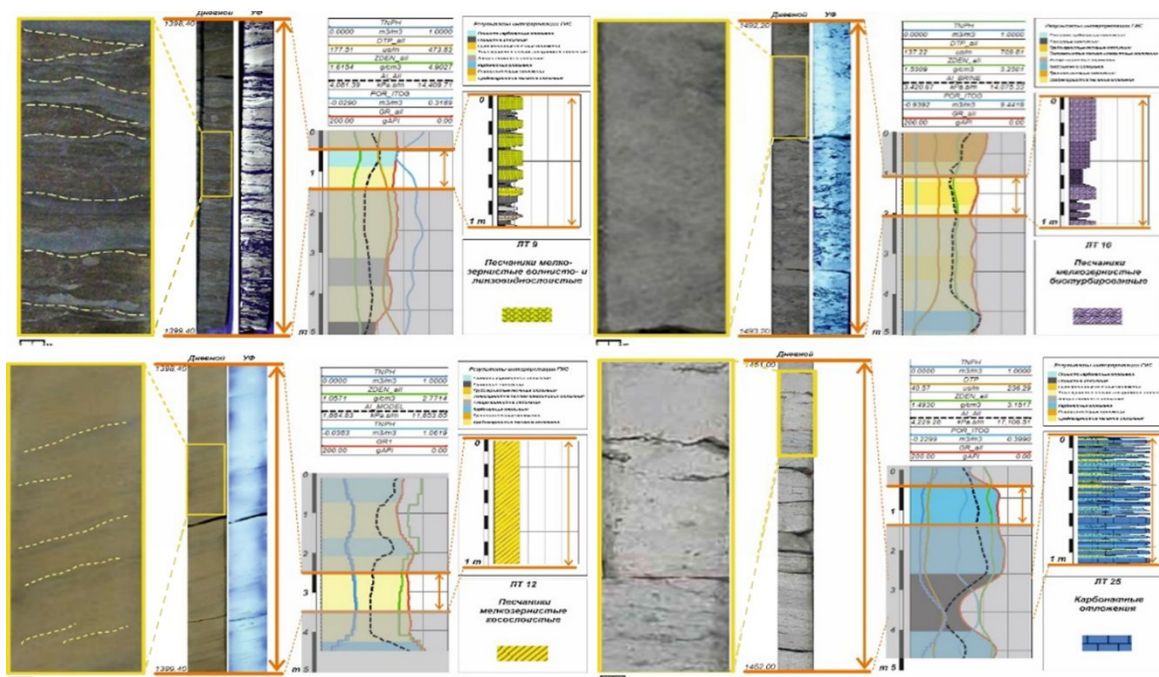


Рисунок 1. Текстурные особенности разрезов

Выполненный анализ позволил дифференцировать песчаные отложения различного генезиса (рис. 2).

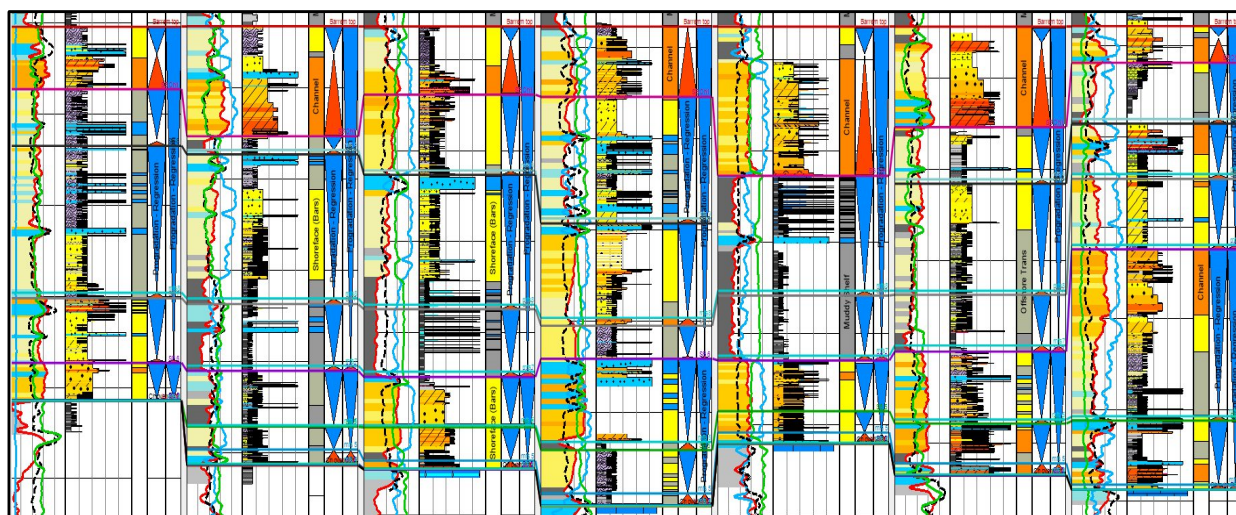
Отправной точкой для корректной межскважинной корреляции явились результаты интерпретации сейсморазведки, согласно которым на сейсмических профилях были четко показаны следы подошвенного налегания сейсмических отражений. Это обстоятельство позволило более обоснованно подойти к межскважинной корреляции, в основе которой был заложен принцип выделения секвенций и парасеквенций (рис. 3).

Выполненная литологическая типизация разрезов скважин совместно с анализом сейсморазведочных работ и данных ГИС позволила обобщить всю имеющуюся информацию и выделить пять основных литофаций:

- приливно-отливное русло;
- песчаные отмели / побережье;
- лагуна / залив / переходная зона;
- глинистый мелководный шельф;
- карбонатный мелководный шельф.

В результате комплексных литологических и литолого-фациальных реконструкций было установлено, что исследуемые песчаные отложения были сформированы в обстановках прибрежно-морских песчаных баров в условиях обширной приливно-отливной равнины. В результате

ретроградации морского бассейна происходило постепенное перемещение аккумулятивных песчаных тел прибрежно-морских баров с юго-восточного направления в северо-западное.



Литотипы

Петротипы	
	глинисто-карбонатные породы
	аргиллиты
	песчаники кр-з
	песчаники ср-з
	алевро-глинистые породы
	карбонатные породы
	гравелиты
	алевролиты/ песчаники м-з

Минералогические особенности

	карбонатизация
	глауконит
	фосфорит
	ОВ
	пирит
	глауконит 1-2%
	окремнение
	сидерит

Фации

	приливно-отливное русло
	песчаные отмели/ бары
	лагуна/залив/переходная зона
	глинистый мелководный шельф
	карбонатный мелководный шельф

	аргиллиты
	алевро-глинистые породы тонкогоризонтальнослоистые
	алевро-глинистые породы биотурбированные
	алевро-глинистые породы массивные, неяснослоистые
	алевролиты тонкогоризонтальнослоистые
	алевролиты линзовидные, лингоидные
	алевролиты биотурбированные
	алевролиты массивные, неяснослоистые
	песчаники мз волнисто- и линзовиднослоистые
	песчаники мз биотурбированные
	песчаники мз массивные, неяснослоистые, прерывистые
	песчаники мз косослоистые
	песчаники м-сз массивные, неяснослоистые, прерывистые
	песчаники м-сз косослоистые
	песчаники с-кз массивные, неяснослоистые, прерывистые
	песчаники с-кз косослоистые
	песчаники интракластовые
	гравийно-песчаные породы биотурбированные
	гравийно-песчаные породы массивные, неяснослоистые
	гравийно-песчаные породы косослоистые
	гравелиты преимущественно косослоистые
	конгломераты гравелитистые
	глинисто-карбонатные отложения
	алевро-песчаные отложения с карбонатным цементом
	карбонатные отложения
	песчаники с-кз волнисто- и линзовиднослоистые

Рисунок 2. Выкопировка схем литотипов нижнемеловых отложений Северного Каспия, анализ форм кривых ГИС и керна

Анализ форм кривых ГИС совместно с исследованиями керна позволил выделить регрессивные и трансгрессивные циклиты (рис. 3). Это дало возможность выделить дополнительные границы врезания и размыва

отложений. Было установлено, что песчаные тела мелко-среднезернистой фракции, как правило, слагают песчаные баровые тела, сформированные во время тракта высокого стояния (HST), в то время как более грубозернистые гравийно-песчаные отложения связаны с фациями приливо-отливных русел, образовавшихся во время тракта низкого стояния (LST), активно перемещавшихся по латерали и формировавших пояса меандрирования.

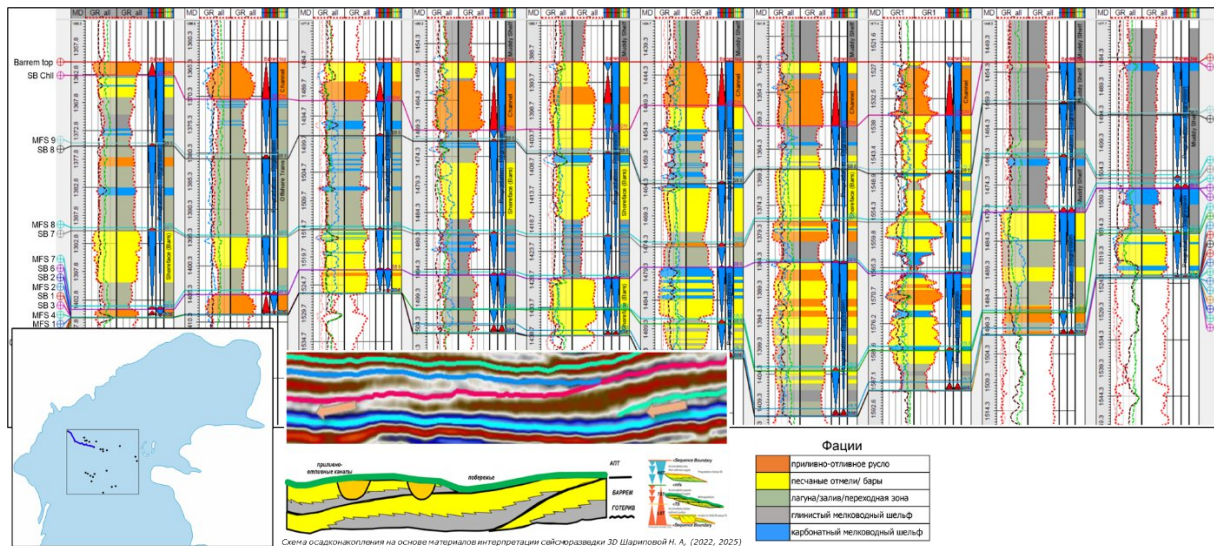


Рисунок 3. Выкопировка из схемы корреляции и комплексная интерпретация литофаций

В целом в пределах исследуемой области удалось выделить несколько типов строения разреза: 1) первый тип — в юго-восточной части района, развиты мощные и выдержанные отложения нижних циклитов преимущественно карбонатного состава; 2) второй тип — в средней части района, где в равных долях представлены как нижние, так и верхние циклы (смешанный тип терригенно-карбонатного состава); 3) третий тип — в северо-западной части района, развит в верхней части разреза, при этом нижние циклиты отсутствуют (преимущественно терригенного состава) (рис. 4). Показано, что формирование продуктивных отложений готерив-баррема связано с фациями песчаного приливно-отливного побережья и мелководных песчаных отмелей. На нескольких стратиграфических уровнях эти отложения рассечены системой приливо-отливных каналов гравийно-песчаного состава, которые формировали достаточно широкие пояса, с признаками латерального смещения. Наиболее активное их развитие отмечается в верхней части разреза.

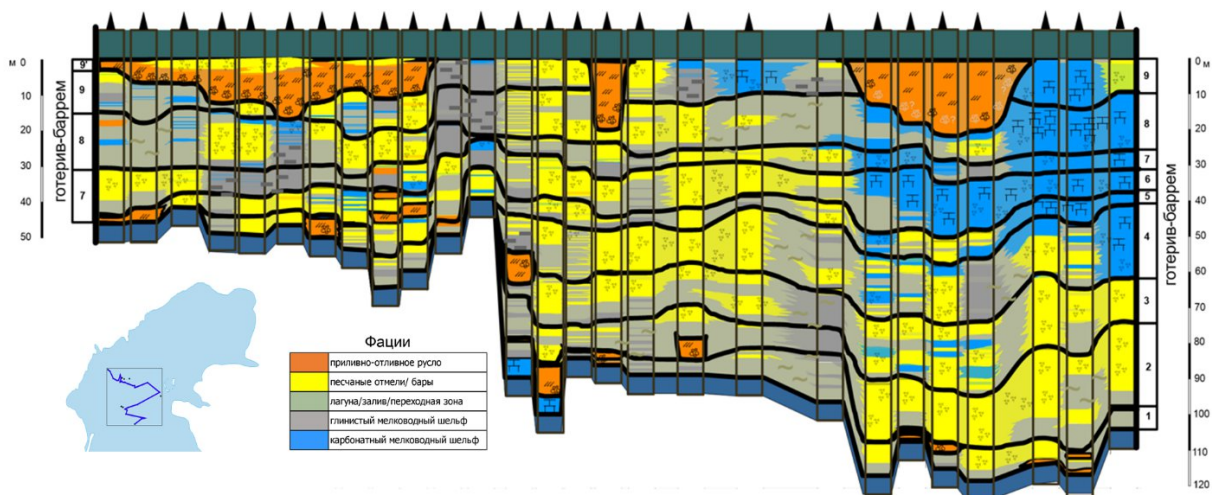


Рисунок 4. Предполагаемая концептуальная модель седиментации

Обработка и интерпретация материалов 3D-сейсморазведки позволили увидеть аномалии руслового характера и закартировать приливо-отливные русла. Так как на рассматриваемой площади работ помимо вертикальных и наклонно-направленных скважин пробурены горизонтальные стволы, в них также удалось провести анализ и выделить основные литофации. Эти данные позволили уточнить выделенные границы палеорусел по сейсмике и детализировать их внутреннее строение (рис. 5). Таким образом, основные тренды распределения гравийно-песчаных тел были определены по данным интерпретации сейсморазведки на качественном уровне, а исследования керна и сиквенс-стратиграфия позволили дифференцировать песчаные отложения отмелей и гравийно-песчаные отложения русел. Анализ разрезов горизонтальных скважин подтвердил предполагаемую концепцию строения резервуара и позволил скорректировать геометрию гравийно-песчаных тел.

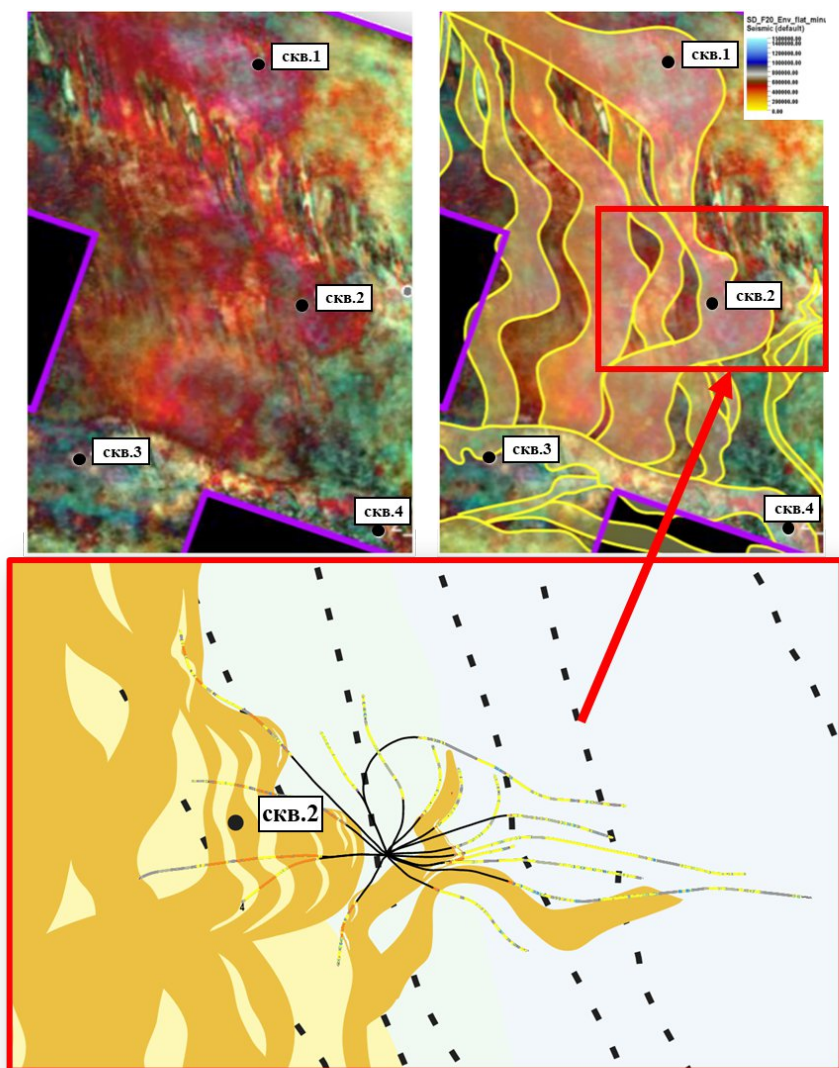


Рисунок 5. Срез атрибута по спектральной декомпозиции с нанесением основных и второстепенных русел. Учет горизонтальных скважин

Результаты

В результате комплексного анализа исследований керна, сиквенс-стратиграфического и литолого-фациального анализа показано, что геометрия и внутренняя неоднородность резервуаров продуктивных нижнемеловых отложений готерив-барремского возраста акватории Северного Каспия в значительной степени обусловлена факторами седиментации: ретроградацией морского бассейна в пределах обширной приливно-отливной равнины с постепенным перемещением аккумулятивных песчаных тел прибрежно-морских баров с юго-восточного направления в северо-западное.

В результате выполненной межскважинной корреляции установлено, что песчаные тела мелко-среднезернистой фракции, как правило, слагают песчаные баровые тела, в то время как более грубозернистые гравийно-песчаные отложения связаны с фациями приливно-отливных

русел, прорезающих нижележащие отложения. Показано, что формирование продуктивных отложений неокома связано с фациями песчаного приливного побережья и мелководных песчаных отмелей. На нескольких стратиграфических уровнях эти отложения рассечены системой приливо-отливных каналов.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования и результаты выполненной межскважинной корреляции позволят по-новому взглянуть на геометризацию исследуемых залежей, наметить области для дальнейшего прогноза коллекторов и геометризации терригенных отложений с различными фильтрационно-емкостными свойствами.

Список литературы

1. Смирнова О. И. Литолого-фациальные особенности готерив-барремских отложений Северного Каспия / Смирнова О. И., Алексеев А. Г., Барабошкин Е. Ю. [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2025. — № 2(398). — С. 14–24.
2. Пошибаев В. В. Природные резервуары неокома Северного Каспия: предполагаемая геометрия и особенности строения на основе результатов седиментологического анализа керна / Пошибаев В. В., Талдыкин С. А., Калугин А. А., Шарипова Н. А. // Экзолит — 2025; Москва, 13–14 ноября 2025 г.: сборник научных материалов. — М.: МАКС Пресс. — 2025. — С. 153–156.
3. Чуркина В. В. Влияние биотурбации на петрофизические характеристики коллекторов на примере нижнемеловых отложений Северного Каспия / Чуркина В. В., Мозговой А. С., Коточкова Ю. А. [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. — 2023. — № 3. — С. 49–62.

References

1. Smirnova O. I. Lithofacies features of the Hauterivian-Barremian deposits of the Northern Caspian / Smirnova O. I., Alekseev A. G., Baraboshkin E. Yu. [et al.] // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. — 2025. — No. 2 (398). — P. 14–24 (in Russ.).
2. Poshibaev V. V. Natural reservoirs of the Neocomian of the Northern Caspian: inferred geometry and structural features based on the results of sedimentological analysis of the core / Poshibaev V. V., Taldykin S. A., Kalugin A. A., Sharipova N. A. // Exolite — 2025; Moscow, November 13–14, 2025: collection of scientific materials. — Moscow: MAKS Press. — 2025. — P. 153–156 (in Russ.).
3. Churkina V. V. The influence of bioturbation on the petrophysical characteristics of reservoirs using the example of Lower Cretaceous deposits of the Northern Caspian Sea / Churkina V. V., Mozgovoy A. S., Kotochkova Yu. A. [et al.] // Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology. — 2023. — No. 3. — P. 49–62 (in Russ.).