

УДК 553.982; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-3.03>
<https://orcid.org/0000-0003-3564-0473>

МИКРОФАЦИИ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КТ-III, ВОСТОЧНЫЙ БОРТ ПРИКАСПИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ



А.А. ЖАНСЕРКЕЕВА,
PhD,

a.zhanserkeyeva@stud.satbayev.university

SATBAYEV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

Глубокозалегающие девонские отложения восточной бортовой зоны Прикаспийской впадины имеют широкое развитие, выделяемые по данным сейсмических исследований верхнедевонские рифогенные образования слабо охарактеризованы kernовым материалом. Изучение условий образования карбонатных отложений, преобладающей биоты и восстановление диагенетической истории позволяет оценить коллекторский потенциал. В работе представлены результаты определения минерального состава, геохимических особенностей, седиментологических (выделение и описание микрофаций) и диагенетических характеристик верхнедевонских карбонатных отложений площади Урихтау (КТ-III).

*Установлены колониальные организмы рифообразователи *Stromatoporoidea*, впервые для КТ-III определены микрофоссилии сине-зеленых водорослей *Renalcis* и *Eryphiton*. Также установлены многочисленные микрофоссилии кальцисфер (*Paleozoic calcispheres*) диаметром 50-200 микрон, являющиеся палеогеографическим индикатором мелководно-морских и лагунных условий внутренней зоны карбонатной рампы. Проведено сравнение микрофаций с синхронными верхнедевонскими рифогенными отложениями Волго-Уральской и Западно-Канадской нефтегазоносных провинций. По структурно-генетической классификации, известняки КТ-III относятся к микробиальным карбонатам (*microbial carbonates*), прогнозируется развитие биогермных образований.*

На основе комплексного анализа изотопно-геохимических характеристик, отложения КТ-III относятся к карбонатитам кальциевого состава, интенсивно кальцитизированные. При прогнозировании коллекторского потенциала карбонатных отложений КТ-III,

необходимо учитывать постседиментационные процессы диагенеза и катагенеза при формировании вторичной пористости проницаемости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: поздний девон, Прикаспийская синеклиза, микробиальные карбонаты, *Renalcis*, *Stromatoporoidea*, *Paleozoic calcispheres*, карбонатная платформа, условия осадконакопления.

КТ-III ЖОҒАРҒЫ ДЕВОН КАРБОНАТТЫ ШӨГІНДЕРІНІҢ МИКРОФАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ, КАСПИЙ МАҢЫ СИНЕКЛИЗИНІҢ ШЫҒЫС БЕТКЕЙІ

A.A. ZHANSERKEYEVA, PhD, a.zhanserkeyeva@stud.satbayev.university

SATBAYEV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., Сәтпаев к-сі, 22

Каспий маңы ойпатының шығыс беткейі аймағының терең іргелес жатқан девон шөгінділері сейсмикалық зерттеулерге сәйкес бөлінетін кең дамыған жоғарғы девон рифогендік түзілімдері негізгі материалмен нашар сипатталған. Карбонатты шөгінділердің қалыптасу жағдайларын, басым биота мен диагенетикалық тарихты қалпына келтіруді зерттеу коллекторлық потенциалды бағалауға мүмкіндік береді. Мақалада Урихтай аймағының (КТ-III) жоғарғы девон карбонатты кен орындарының минералдық құрамын, геохимиялық ерекшеліктерін, седиментологиялық (микрофацияларды анықтау және сипаттау) және диагенетикалық сипаттамаларын анықтау нәтижелері берілген.

Колониялық риф түзетін *Stromatoporoidea* организмдері анықталды, КТ-III үшін алғаш рет көк-жасыл балдырлардың *Renalcis* және *Eryphiton* микрофоссилдері анықталды. Карбонатты рампаның ішкі аймағының таяз-теңіз және лагуналық жағдайларының палеогеографиялық көрсеткіші болып табылатын диаметрі 50-200 мкм калцисфералардың (*Paleozoic calcispheres*) көптеген микрофоссилдері де анықталды. Микрофациялар Еділ-Жайық және Батыс Канаданың мұнай-газ провинцияларының синхронды жоғарғы девон рифогендік шөгінділерімен салыстырылады. Құрылымдық-генетикалық жіктелуі бойынша КТ-III әктастары микробилды карбонаттарға (*microbial carbonates*) жатады, биогермиялық түзілімдердің дамуы болжанады.

Изотоптық-геохимиялық сипаттамаларын кешенді талдау негізінде КТ-III кен орындары қарқынды кальциленген кальций карбонаттарына жатады. КТ-III карбонатты кен орындарының қабаттық әлеуетін болжау кезінде екінші реттік кеуектілік пен өткізгіштіктің қалыптасуы кезіндегі диагенез бен катагенездің постшөгінді үдерістерін ескеру қажет.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: Кейінгі девон, Каспий маңы синеклизасы, микробилды карбонаттар, *Renalcis*, *Stromatoporoidea*, *Paleozoic calcispheres*, строматолиттер, карбонатты платформа, шөгінді жиналу жағдайлары.

MICROFACIES AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE UPPER DEVONIAN KT-III CARBONATE, EASTERN EDGE OF PRECASPIAN BASIN

A.A. ZHANSERKEYEVA, PhD, a.zhanserkeyeva@stud.satbayev.university

SATBAYEV UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty, Satbayev st., 2

Deeply buried Devonian sediments of the eastern edge of Precaspian Basin are widely extended; Upper Devonian reef-like deposits can be identified according to seismic surveys and poorly characterized by core material. In the present study depositional environment, predominant biota and diagenetic characteristics of the KT-III carbonate formation are described in order to evaluate reservoir potential. The paper presents the results of determining the mineral composition, geochemical features, sedimentological (identification and description of microfacies) and diagenetic characteristics of the Upper Devonian carbonate sediments of the Urkhtau area (KT-III).

Colonial reef-forming organisms Stromatoporoidea have been established; for the first time, microfossils of blue-green algae Renalcis and Epyphiton have been identified for KT-III formation. Abundant microfossils of calcispheres (Paleozoic calcispheres) with a diameter of 50-200 microns have also been identified, which are a paleogeographic indicator of the shallow-marine and lagoonal conditions of the inner zone of the carbonate ramp. The microfacies are compared with the synchronous Upper Devonian reef deposits of the Volga-Ural and Western Canadian oil and gas provinces. According to the structural-genetic classification, KT-III limestones can be characterized as microbial carbonates.

Based on a comprehensive analysis of the isotope-geochemical characteristics, the KT-III formation is classified as calcium carbonates, intensely calcitized. When predicting the reservoir potential of KT-III carbonate formation, it is necessary to consider the post-sedimentary processes of diagenesis and catagenesis during the formation of secondary porosity and permeability.

KEY WORDS: Late Devonian, Precaspian Basin, microbial carbonate, Renalcis, Stromatoporoidea, Paleozoic calcispheres, carbonate platform, depositional environment.

Введение. Изучение литолого-геохимических характеристик карбонатных отложений имеет не только прикладное, но и научное значение с целью совершенствования знаний по структурно-генетической классификации карбонатов и исторической геологии.

За последнее десятилетие изучение микробиальных карбонатов за рубежом испытывает настоящий ренессанс, это связано с установлением их экономической значимости в качестве резервуаров углеводородного сырья (Bosenceetal., 2015).

В свою очередь, развитие углеводородной базы Казахстана и России многими исследователями связывается с карбонатными отложениями подсолевого комплекса Прикаспийской впадины, где не смотря на многолетнюю историю геолого-геофизического изучения, доля неразведанных запасов оценивается весьма неоднозначно [1,2]. Открытие таких гигантских месторождений углеводородного сырья как Тенгиз, Карачаганак, Кашаган, Астраханское лишь усиливает дискуссию о перспективах нефтегазоносности глубокозалегающих карбонатных отложений подсолевого комплекса Прикаспийской синеклизы.

В результате поисково-разведочного бурения в 1980-х гг. прошлого столетия в подсолевом комплексе восточной бортовой зоны Прикаспийского осадочного бассейна установлены две карбонатные платформы – Темирская и Жанажол-Тортольская (рисунки 1). Наиболее детально изучены стратиграфия и литология Жанажол-Тортольской карбонатной платформы, стратиграфический диапазон которой принимается от визейского яруса нижнего карбона добашкирского яруса среднего карбона [1-3].

Установленная промышленная нефтегазоносность связана с карбонатными отложениями КТ-I и КТ-II(месторождения Жанажол, Алибекмола, Кожасай, Мортук Восточный). Карбонатные толщи КТ-I и КТ-II разобщены преимущественно терригенной толщей подольского горизонта верхнемосковского подъяруса [2].

На Темирской карбонатной платформе девонские отложения вскрыты скважинами Бактыгарын Г-1, Кумсай П-4, Сев. Бозоба Г-9, максимальная толщина вскрытия девонских отложений составила 1153, 1191 и 235 м соответственно. Девонский разрез сложен известняками верхнего и среднего девона, которые со стратиграфическим несогласием перекрываются карбонатными отложениями верхнего визе.

Перспективный девонский комплекс КТ-III слабо охарактеризован керновым материалом. Впервые КТ-III вскрыт в скв. Акжар Восточный Г-5, в интервале 5675-5801 м, отложения литологически представлены плотными серыми, коричневато-серыми плотными известняками, по архивным описаниям керна отмечаются признаки углеводородов (УВ) на свежем сколе. Интервал 5827-5834 м в скв. Восточный Акжар Г-5 сложен темно-зеленым крепким алевролитом с косыми трещинами (Кан, 2000).

В результате доразведки месторождения Урихтау в 2013-2014 гг. скважиной Урихтау-5 вскрыта кровля фаменских известняков на 1480 м, отбор керна составил 46,4 м. Полученный керновый материал скважины Урихтау-5 содержит ценную информацию и нуждается в детальном комплексном изучении. Литологически известняки светло- и темно-серые, преимущественно микробийальные с незначительным количеством органогенного детрита.

Целью исследования является изучение микрофоссилий и хеостратиграфических особенностей девонских карбонатных отложений, определение условий образования микробийальных известняков КТ-III и степени их постседиментационного изменения. Для исследований использовались актуальные подходы и методики, опубликованные в международных рейтинговых журналах с высоким импакт-фактором [4-9].

Тектоническая позиция. Тектоническое строение изучаемого района с запада на восток включает восточный борт Прикаспийской синеклизы и южный сектор Предуральского прогиба (Актюбинское Приуралье, Западное Примугоджарье). По данным сейсморазведки установлены надвиговые дислокации на уровне подсолевых верхнепалеозойских отложений, выраженные в форме линейных субмеридиональных складок в пределах Актюбинского Приуралья и Остансукского прогиба. Узкая структурно-фациальная зона Остансукского прогиба многими исследователями включается в состав осадочного чехла Прикаспийской впадины и ограничивается с востока Ацисайским разломом, который является одновременно восточным краевым швом Прикаспийской впадины (*рисунок 1*).

Современные представления о формировании Прикаспийской впадины основаны на мобилисткой теории, согласно которой формирование мощной осадочной толщи в позднем палеозое связано с условиями пассивной континентальной окраины Восточно-Европейского палеоконтинента и Уральским палеоокеаном. Раннепалеозойский этап эволюции южной окраины палеозойского Восточно-Европейского континента расшифровывается с определенной долей условности.

Осадконакопление мощных терригенно-карбонатных отложений в позднедевонско-каменноугольное время связано с условиями пассивной континентальной окраины Восточно-Европейского палеоконтинента и Уральского палеоокеана. В результате сближения и столкновения Восточно-Европейской плиты и Казахского континента на протяжении позднего девона-перми, формировались орогены, которые служили областями размыва. Постепенная смена морских условий на при-

брежно-морские вследствие столкновения плит к началу перми привела к закрытию Уральского палеокеана и образованию мощной соленосной толщи в кунгуре в пределах Прикаспийской впадины. Начало позднепермской эпохи сопровождалось значительной перестройкой структурного плана. Интенсивное погружение Восточно-Европейского континента продолжилось до конца турнейского века, некомпенсированное прогибание и нарастание трансгрессии благоприятствовало накоплению битуминозных известковых и глинисто-известковых илов, обогащенных ОВ в пределах глубоководных впадин шельфа и континентального склона. Дальнейшая консервация РОВ обеспечивается за счет слабо окислительных или восстановительных условий водной среды (Антипов, Волож, 2019; Хераскова и др., 2015; Соборнов, 2015; Абилхасимов, 2016; Жолтаев, 2018; Шеин и др., 2020).

Нефтегазонасность. В толще девонских карбонатных отложений по результатам обработки материалов ГИС, в скв. Акжар Восточный-5 в интервале глубин 5688-5715 м, 5758-5771 м и 5792-5860 м, выделены пласты-коллекторы, которые характеризуются коэффициентом пористости от 6 до 16%. При испытании интервала 5792-5810 м получен приток нефти дебитом 0,007 м³/сут., плотностью 0,838 г/см³.

Во время бурения скважины Урихтау 5, отмечались повышенные газопоказания в интервале КТ-III (Ажгалиев, 2017).

Стратиграфия. Стратиграфия подсолевых отложений восточной бортовой зоны, включая Актюбинское Приуралье и Западное Примугодзарье, изучена по результатам параметрического и поискового бурения середины 1980-х гг. прошлого века и данных сейсморазведки.

Разрез скв. Кумсай П-4 для девона наиболее детально охарактеризован палеонтологическими исследованиями и принят за основу при составлении сводного разреза девонских отложений восточного борта Прикаспийского осадочного бассейна и дополнялся данными из других скважин. Стратиграфическая принадлежность КТ-III к девону установлена по палеонтологическим исследованиям Макаровой С.П (ЮУО ВНИГНИ) в скв. Кумсай П-4 и Бактыгарын Г-1 (АО «КазНИГРИ»). Отложения нерасчлененного нижнего девона и эйфельского яруса среднего девона выделены в интервале 5376 - 6024 м толщиной 648 м. Рассматриваемый комплекс представлен микробиальными известняками темно-серого до коричневатого-серого цвета. Вышерасположенный живетский ярус скв. Кумсай П-4 в интервале 5155-5376 м согласно залегает на отложениях эйфельского яруса. Франский ярус верхнего девона установлен в интервале 4830-5155 м. Кровля верхнего девона в скважине Кумсай П-4 проведена по подошве известняковой брекчии на глубине 4830 м.

По материалам ГИС и микропалеонтологическому анализу девонские отложения скв. Сев. Бозоба Г-9 коррелируются с разрезом скв. Кумсай П-4. В скв. Бактыгарын Г-1 вскрыты нерасчлененные нижнедевонско-эйфельские отложения в интервале 5907-6212 м мощностью 305 м. Франско-фаменские отложения верхнего девона выделены в интервале 5480-5907 м и залегают на среднем девоне несогласно. Девонские отложения замещаются карбонатно-терригенными породами верхнего визе. В каждой из рассмотренных скважин мощность и стратиграфическая полнота девонских отложений варьирует в зависимости от структурной приуроченности.

На Жанажол-Торткольском карбонатном массиве девонские известняки вскрыты скважиной Восточный Акжар Г-5 в интервале глубин 5673-5808 м толщиной 135 м и со стратиграфическим несогласием перекрываются толщей терригенных нижнекаменноугольных пород. Нижнедевонский возраст карбонатных отложений в скважине Акжар Восточный Г-5 установлен на основании палеонтологических исследований Л.Н. Ивановой и Д.А. Кухтинова (НВ НИИГиГ). Некоторые исследователи относят данные отложения к КТ-III. Граница девонских и нижнекаменноугольных отложений в скв. Восточный Акжар Г-5 представляет региональное стратиграфическое несогласие, которое также отчетливо прослеживается по данным сейсмоки.

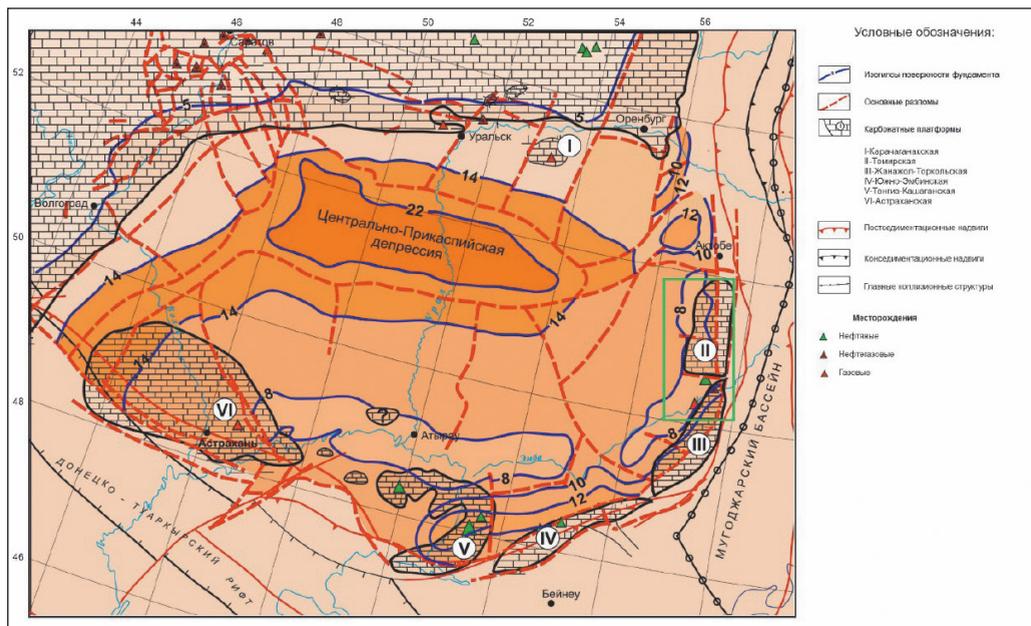


Рисунок 1 – Карбонатные платформы Прикаспийской синеклизы, зеленым цветом показан район исследований (по материалам Пилифосова В.М., Воцалевского Э.С., Шлыгина Д.А., Азербайева Н.А., Шлыгина Т.М., с изменениями)

Материалы и методы исследования. Для определения геохимических и изотопных характеристик карбонатных отложений КТ-II и КТ-III площади Урихтау, проведены аналитические исследования образцов керна скважины Урихтау 5, глубины исследованных образцов приведены в *таблице 1*.

Литолого-фациальные и изотопные исследования проводились в лаборатории Padova University (Италия) совместно с профессором Н. Прето. После очистки, распиловки и шлифовки образцов керна, выполнены фотографии высокого разрешения. Шлифованные образцы также изучены под бинокляром в отраженном свете. Изучены шлифы из верхнедевонских микробинальных карбонатов КТ-III, определены микрофоссилии породообразующих организмов и водорослей (*рисунок 2-4*).

Для *изотопных исследований* автором выполнена подготовка валовых проб, далее перевод твердых проб в диоксид углерода достигался добавлением ортофосфорной кислоты, определение стабильных изотопов углерода $d^{13}C$ и кислорода $d^{18}O$

проводилось на масс-спектрометре DELTA V ADVANTAGE. Калибровка результатов произведена с учетом стандартных международных образцов VPDB и NBS-19, полученные значения изотопного состава нормализованы по отношению к VPDB для проведения дальнейшей интерпретации. Погрешность изотопных анализов с учетом химподготовки составляет $\pm 0,05\%$ для $d13C$ и $\pm 0,10\%$ для $d18O$.

Геохимические исследования проводились на оборудовании Томского регионального центра коллективного пользования Национального исследовательского Томского государственного университета, пиролиз RockEval выполнен в Лаборатории геологии месторождений нефти и газа (Национальный исследовательский Томский политехнический университет) по аттестованным методикам. Результаты аналитических исследований приведены в [2].

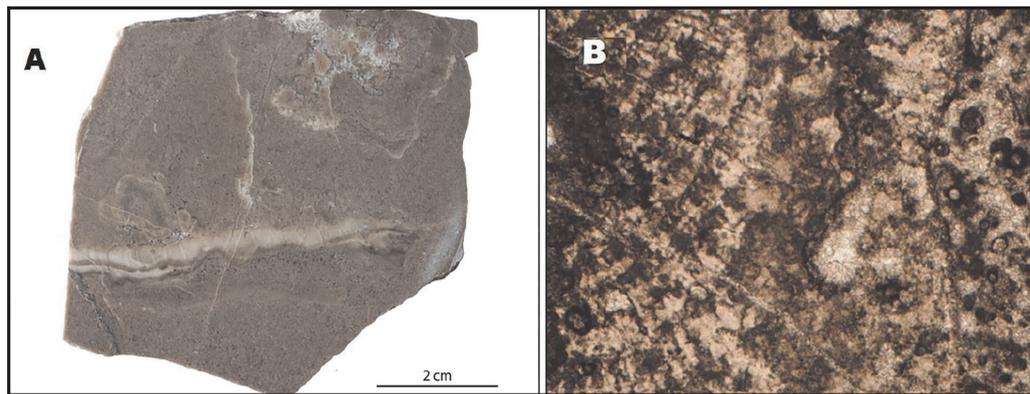
Таблица 1 – Реестр образцов и виды исследований, скважина Урихтау-5

| № п/п | Шифр образца/ sample number | Горизонт/ Formation | Глубина, м/Depth, m | Полировка образца и фото высокого разрешения/ Polishedslabs | Подготовкашлифа/ thin-sections photomicrographs | РСА/ XRD | АЭС/ICP- MS | Изотопия d13C и d18O/ Carbon and Oxygen stable isotopes (V-PDB) | Пиролиз/ RockEval |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|--|---|-------------|----------------|---|----------------------|
| КТ-II | | | | | | | | | |
| 1 | 4919 | КТ-II | 3505,95 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 7006 | КТ-II | 3533,3 | | | | | 1 | |
| 3 | 7007 | КТ-II | 3550,75 | | | | | 1 | |
| 4 | 4926 | КТ-II | 3556,38 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 4931 | КТ-II | 3810,97 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| КТ-III | | | | | | | | | |
| 6 | 4937 | КТ-III | 4975,85 | 1 | 1 | | | 3 | 1 |
| 7 | 4939 | КТ-III | 4980,4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 8 | 4943 | КТ-III | 5095,6 | 1 | 1 | | | 2 | 1 |
| 9 | 4944 | КТ-III | 5097,4 | 1 | 1 | | | 1 | 1 |
| 10 | 4945 | КТ-III | 5099,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 4946 | КТ-III | 5101,13 | 1 | 1 | | | 2 | 1 |
| 12 | 7009 | КТ-III | 5105,1 | 1 | 1 | | | 1 | |
| 13 | 4948 | КТ-III | 5107,5 | 1 | 1 | | | 2 | 1 |
| 14 | 4949 | КТ-III | 5227,4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Всего по КТ-II: | | | | | | 3 | 3 | 5 | 3 |
| Всего по КТ-III: | | | | 9 | 9 | 3 | 3 | 15 | 8 |

Минералогический состав определялся методом рентгеноструктурного анализа (РСА). Общий химический состав определен методом атомно-эмиссионного анализа (АЭС), с использованием эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Termo Fisher Scientific, США). Методика определения элементов на основе АЭС заключается в кислотном разложении образцов с применением фтороводородной, азотной и соляной кислот с помощью системы микроволнового разложения и регистрации спектров определяемых элементов при попадании аэрозоля пробы в источник индуктивно-связанной плазмы, измерении уровня эмиссии атомов и ионов и определении массовой концентрации определяемых элементов при помощи градуировочных графиков. Результатом количественного АЭС является значение концентрации компонента в образце в виде $W\%$ оксидов элементов.

Пиролитический анализ выполнен на установке «Rock-Eval 6 Turbo» в цикле BulkRock, с проверкой стандартного образца IFP 160000. На пиролитические исследования отбиралась измельченная порода с размером зерна менее 0,25 мм.

Результаты и обсуждение. Литолого-фациальные особенности карбонатных девонских отложений. Девонские отложения восточной бортовой зоны Прикаспийской впадины преимущественно представлены известняками, отличительной особенностью которых является незначительная степень доломитизации или полное ее отсутствие.



**Рисунок 2 – (А) Фото полированного образца керна № 4944, глубина керна 5097,4 м, КТ-III (поздний девон), макрокопически определяется фрагмент фоссилии *Stromatoporoidea*, белого цвета. (В) Образец №4944, микрофотография шлифов поляризованном свете, внутреннее концентрическое сечение пластинок строматопороидеи, различимы многочисленные цисты водорослей круглой формы до 0,1 мм в диаметре (*Paleozoic calcispheres*).
Определено А. Жансеркеевой и Н. Прето**

*Figure 2 – (A) High resolution photo of the polished slab, sample №4944, well U-5, core depth 5097,4 m, KT-III Fm. (Upper Devonian), with the white colored fossil of *Stromatoporoidea*. (B) Sample №4944, polarized light thin-section microphotographs of the internal concentric structure *Stromatoporoidea* plates, abundant spherical algal cysts with the diameter up to 0,1 mm (*Paleozoic calcispheres*). Determined by A. Zhanserkeyeva and N. Preto*

По результатам бурения скважины Урихтау-5 на площади Урихтау впервые установлены и определены ископаемые формы сине-зеленых водорослей *Renalcis* и *Epiphyton*, фотографии шлифов показаны на *рисунке 3 и 4*. Для определения использован атлас микрофаций карбонатных пород (Flügel, 2004) и сравнение с хорошо описанными аналогами синхронных верхнедевонских карбонатных построек. Род *Renalcis* относится к колониальным микроорганизмам, являющимся одним из основных представителей эвфотической биоты при карбонатной седиментации и рифообразовании в девоне [2-5].

Микрофоссилии *Renalcis* в продольном сечении имеют древовидное наслоение камер с темной внешней оболочкой, микрофоссилии *Epiphyton* представлены древовидными и кустистыми формами, размером до 1 см в продольном сечении. Различные морфотипы микрофоссилий сине-зеленых водорослей отражают жизненный цикл известковых водорослей (Pratt, 1984).

На основе микрофациальных исследований карбонатные породы преимущественно представлены микробиальными известняками типа грейнстоун, пакстоун, указывающих на мелководно-морские условия шельфовой лагуны. Типы биогермных построек – как внутришельфовые микробиальные холмы, так и биогермные образования по краям карбонатной платформы [9].

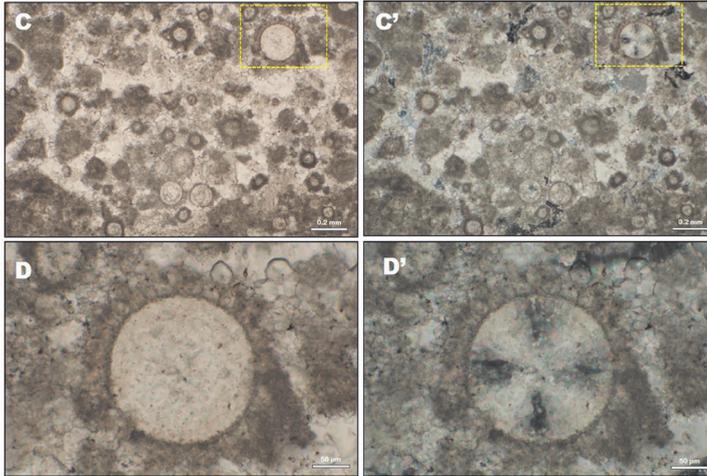


Рисунок 3 – (C, C', D, D') Микрофотографии шлифов, образец № 4944, глубина керна 5097,4 м, КТ-III (поздний девон), скважина Урихтау-5. Многочисленные округлые кальцисферы диаметром 0,03-0,2 мм. (D, D') Микрофотографии внутреннего строения кальцисфер в правом верхнем углу на фото Си С', при одном (D) и скрещенных николях (D'), заполненная микроспаритовым цементом. Предполагаемые цисты водорослей – Paleozoic calcispheres. Определено А. Жансеркеевой и Н. Прето

Figure 3 – (C, C', D, D') Polarized light photomicrographs of microbial limestone, KT-III Fm. (Upper Devonian), sample №4944, well U5, depth 5097,4 m. Abundant Paleozoic calcispheres with the simple wall structures, the diameter is 0,03-0,2 mm (D, D') Internal structure of the hollow sphere, from the photomicrographs C and C', under plane (D) and crossed polars (D') filled with the microsparite. Determined by A. Zhanserkeyeva and N.Preto

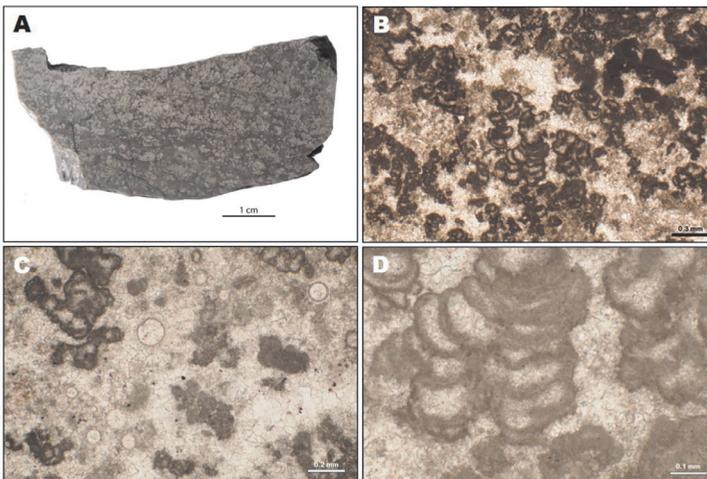


Рисунок4 – (A) Фотография полированного образца № 4937, скважина Урихтау-5, глубина 4975,85 м. (B) Микрофотография микритизированных форм *Renalcis* разной ориентации, КТ-III (верхний девон). (C) Микрофотография микробильного известняка с микрофоссилиями цианобактерий *Renalcis*, сгустки темного цвета. Определены микрофоссилии *Paleozoic calcispheres*, диаметр круглых сечений 0,03-0,12 мм. (D) Микрофотография камерного строения *Renalcis*, границы камер в виде темных сгустков древовидно нарастают с увеличением радиуса в вертикальном направлении. Определено А. Жансеркеевой и Н. Прето

Figure 4 – (A) High resolution photo of the polished slab, sample № 4937, well U-5, core depth 4975,85 m. (B) Polarized light photomicrograph of chambered *Renalcis* preserved by micritization, KT-III Fm. (Upper Devonian). (C) Thin-section microphotographs of microbial limestone with the well-defined microfossils of *Renalcis*. Spherical microfossils with the structured walls have diameter of 0,03-0,12 mm (*Paleozoic calcispheres*). (D) Photomicrographs of the chambers of *Renalcis* with the upward-increasing radius. Determined by A. Zhanserkeyeva and N. Preto

Заключение. По результатам исследования общего химического состава методом АЭС преобладают оксиды кальция CaO с незначительными содержаниями прочих оксидов (менее 1 %). Содержание окиси магния MgO для трех образцов в интервале КТ-III составляет 0,18-0,38%, что также подтверждает отсутствие доломитизации. Результаты АЭС полностью согласуются с результатами РСА. Карбонатные породы классифицируются как карбонатолиты кальциевого класса (Юдович, Кетрис, 2000).

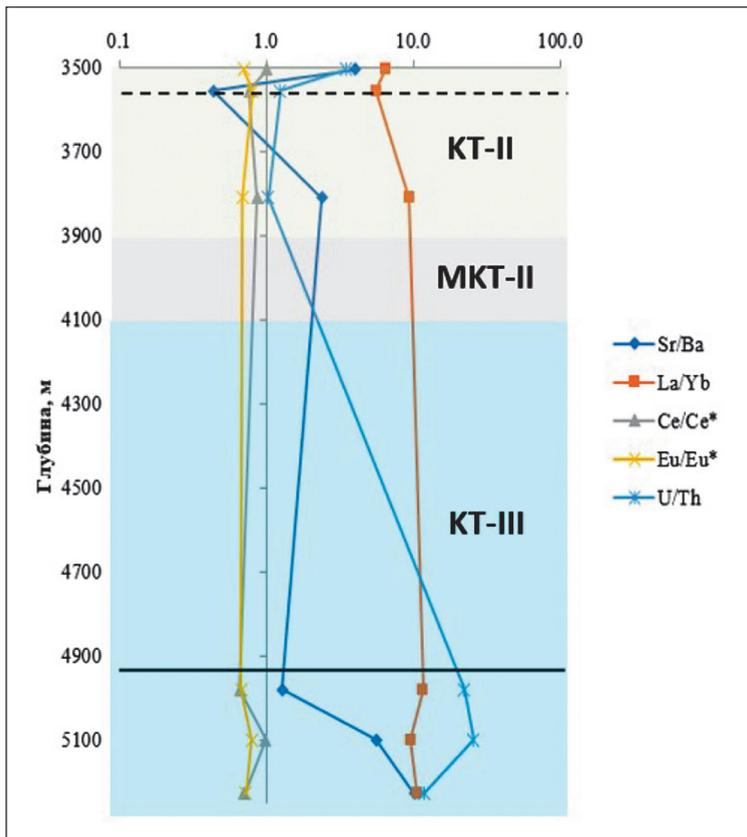


Рисунок 5 – Вариации геохимических индикаторов в разрезе скважины Урихтау-5 по результатам исследования микроэлементного состава методом ИСП-МС

Индикатором изменения палеосолености является отношение Sr/Ba, так как образуясь совместно при химическом выветривании Ba и Sr и попадая в морские водоемы барий быстро связывается с SO_4^{2-} и выпадает в осадок, а стронций не осаждается в прибрежной части и мигрирует в более удаленные части бассейна. Осаждение стронция начинается при концентрации солей в морской воде ~ 15 %, что соответствует условиям шельфовых склонов, зарифовых лагунных и соленым континентальным озерам. По соотношению Sr/Ba в осадках одного возраста (горизонта) можно проследить переход от пресноводных условий осадконакопления к морским. Для пресноводных условий величина отношения Sr/Ba составляет менее 1, для морских – более 1 (Валиев, Усманов, 1971; Глаголева, 1961; Кейт, Дегенс, 1961).

Локальное постепенное уменьшение солености в интервале 5920–4950 м КТ-III может указывать на изменение палеогеографических условий осадконакопления, что может быть связано с сокращением зон испарения и изменением климата вследствие похолодания в конце девона.

Соотношение Fe/Mn демонстрирует низкие значения от 11,4 до 43,6, что позволяет сделать вывод о значительной удаленности области осадконакопления от береговой линии и низкой степени привноса терригенного материала. Показатели $Eu/Eu^*=0,67-0,81$, $U/Th=1,03-25,85$ могут указывать на восстановительные условия осадконакопления обстановки отложений КТ-III (рисунок 4).

Тенденция к увеличению содержания урана и тория по мере омоложения разреза, указывает на увеличение содержания глинистого терригенного материала при карбонатном осадконакоплении вследствие начала орогенеза в конце девона, так как глинистые частицы адсорбируют торий и уран (рисунок 5).

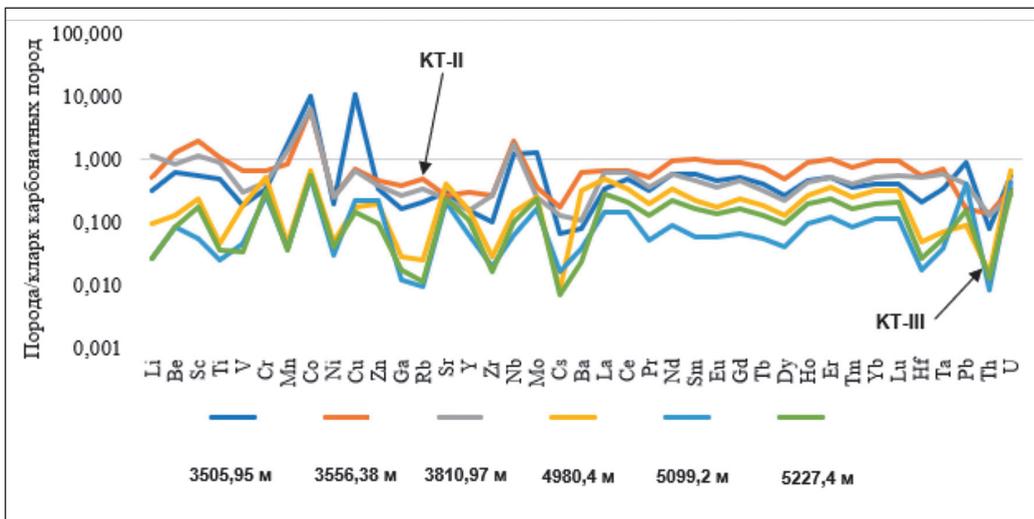


Рисунок 6 – Спайдер-диаграмма распределения элементов к кларку в карбонатных породах в разрезе скважины Урихтау-5 по результатам исследования микроэлементного состава методом ИСП-МС. Номера образцов приведены в таблице 1

На рисунке 6 представлены спектры, нормированные к кларку в карбонатных породах (Григорьев, 2009). Спектры характеризуются практически единообразным видом. Отмечается общая тенденция увеличения содержаний редкоземельных элементов от КТ-III к КТ-II. Основной объем образцов характеризуется значениями ниже кларковых.

По данным пиролиза RockEval в таблице 2 генерационный потенциал (параметр $S1+S2$) для КТ-III низкий и составляет 0,10 - 0,29 мгУВ/г. Степень катагенетической зрелости органического вещества не может быть адекватно оценена в связи с низкими значениями параметра S2. Породы характеризуются низким генерационным потенциалом.

Диагенетические особенности. Изотопный состав углерода и кислорода отражает палеогеографические условия, но также может указывать на степень постседиментационных преобразований [7,8]. Определен изотопный состав по валовым пробам и по кальцитовым прожилкам для 11 образцов из интервала КТ-III.

Таблица 2 – Пиролитические параметры исследованных образцов, скважина Урихтау-5

| № п/п | Шифр образца | Горизонт | Глубина, м | S ₁ , мг УВ/г породы | S ₂ , мг УВ/г породы | T _{max} , °C | ТОС, % | Н ₁ , мг УВ/г Сорг |
|-------|--------------|----------|------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------|-------------------------------|
| 1 | 4919 | КТ-II | 3505,95 | 0,71 | 0,58 | 424 | 0,15 | 387 |
| 2 | 4926 | КТ-II | 3556,38 | 1,16 | 0,73 | 422 | 0,33 | 221 |
| 3 | 4931 | КТ-II | 3810,97 | 1,25 | 1,18 | 427 | 0,27 | 437 |
| 4 | 4937 | КТ-III | 4975,85 | 0,1 | 0,19 | 427 | 0,15 | 317 |
| 5 | 4939 | КТ-III | 4980,4 | 0,06 | 0,16 | 424 | 0,05 | 127 |
| 6 | 4943 | КТ-III | 5095,6 | 0,02 | 0,09 | 428 | 0,02 | 115 |
| 7 | 4944 | КТ-III | 5097,4 | 0,03 | 0,07 | 433 | 0,02 | 350 |
| 8 | 4945 | КТ-III | 5099,2 | 0,06 | 0,16 | 424 | 0,05 | 320 |
| 9 | 4946 | КТ-III | 5101,13 | 0,02 | 0,09 | 442 | 0,02 | 450 |
| 10 | 4948 | КТ-III | 5107,5 | 0,02 | 0,08 | 421 | 0,03 | 267 |
| 11 | 4949 | КТ-III | 5227,4 | 0,02 | 0,09 | 428 | 0,02 | 450 |

Диапазон значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от 1,84‰ до -0,3‰, среднее значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ равно 0,67‰, наибольший экскурс до 3,18‰ наблюдается для кальцитового прожилка в образце №4946. Значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ в интервале КТ-III изменяются от -6,5‰ до -4,2‰, в среднем составляет -3,4‰. Для кальцитового прожилка в образце №4946, значение $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ составляет -7,89‰.

Среднее значение $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ для КТ-II составляет 0,48‰ и -5,51‰ соответственно (n=10). Таким образом известняки КТ-III по изотопному составу углерода и кислорода тяжелее по сравнению с КТ-II, относительно первично-осадочных карбонатов (Miiet al., 2001). Данный факт также указывает на преобладание морских вод при диагенезе осадков КТ-III. Условия осадконакопления КТ-III преимущественно стабильные восстановительные условия соленого моря.

Значительное облегчение изотопного состава кислорода в прожилках кальцита до -7,89‰ указывает на процессы катагенеза (burial diagenesis), с которым может быть связано развитие вторичной пористости и проницаемости.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке научно-исследовательского PhD гранта в рамках Фазы V Международного Экономического Форума, присужденного по итогам конкурса на базе Satbayev University в 2022 г. и при поддержке грантового финансирования научных и научно-технических проектов Комитетом науки Министерства высшего образования и науки Республики Казахстан, грант ИРН AP00025, «Разработка региональной цифровой модели геологического строения территории Прикаспийского осадочного бассейна Казахстана». 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. – Москва, 1999. – 285 с. [Bagrinceva K.I. Usloviyaformirovaniya i svojstvakar bonatnyhkollektorovnefti i gaza. – Moskva, 1999. – 285 s.]
- 2 Жансеркеева А.А. Оценка нефтегазоматеринского потенциала подсолевых отложений восточной бортовой зоны Прикаспийской впадины // Нефть и газ. – 2022. – № 4. – С. 39–56. [Zhanserkeeva A.A. Ocenkaneftegazomaterinskogopotencialapodsolevyhotlozhe nijvostochnojbortovojzonyPrikaspijskojvpadiny // Neft' i gaz. – 2022. – № 4. – S. 39–56.]

- 3 Жемчугова В.А. и др. Карбонатные резервуары подсолевых отложений Прикаспийской синеклизы // Георесурсы. –2017. –№ Спец. выпуск ч.2. – С. 194-207. [Zhemchugova V.A. i dr. Karbonatnye rezervuary podsolevyh otlozhenij Prikaspijskoj sineklizy // Georesursy. –2017. –№ Spec. vypusk ch.2. – S. 194-207.]
- 4 Xiao'er Zhua, Zhenkui Jina, Ting Lianga, Shuo Yib, Kai Weic, Baishui Gaod, Liang Shi. 2020. Depositional environment, diagenetic evolution, and their impact on the reservoir quality of the carboniferous KT-II carbonate in the zhanazhol reservoir, Pre-Caspian Basin, Kazakhstan. *Marine and Petroleum Geology*. 117. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104411>.
- 5 Pomar L., Bilal U. Haq. 2016. Decoding depositional sequences in carbonate systems: Concepts vs experience. *Global and Planetary Change*, Volume 146, p. 190-225, ISSN 0921-8181, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.001>.
- 6 Brian R. Pratt. 1984. Epiphyton and Renalcis-Diagenetic Microfossils from Calcification of Coccolid Blue-Green Algae. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, Vol. 54. <https://doi.org/10.1306/212F853F-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- 7 Kenter, J. A. M., Harris P. M., and Della Porta, G., 2005, Steep microbial boundstone-dominated platform margins – examples and implications: *Sedimentary Geology*, v. 178, p. 5-30.
- 8 Sequero, C., Della Porta, G., Bádenas, B., Aurell, M., 2021. Carbon and oxygen stable isotope record of upper Kimmeridgian shallow-marine ramp carbonates (Iberian Basin, NE Spain): the imprint of different burial and tectonic histories. *Geologica Acta*, 19.14, 1-23.
- 9 Preto N., Bredaa A., Corso Dal, Franceschi M., Rocca F., Spada C., Roghi G.. 2017. The Loppio Oolitic Limestone (Early Jurassic, Southern Alps): A prograding oolitic body with high original porosity originated by a carbonate platform crisis and recovery. *Marine and Petroleum Geology*, 79. –2017. – P. 394-411.