

Геологическое строение, обстановки аккумуляции и нефтегазоносность олигоцен-миоценовых и плиоцен-четвертичных отложений в бассейне Левант

А.И. Коныхов^{1*}, В.Ф. Шарафутдинов², В.В. Калабин²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²«ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия

В пределах континентальной окраины Леванта расположен обширный осадочно-породный бассейн, где, начиная с 2008 г., открыты многочисленные месторождения природного газа, среди них Тамар, Танин, Далит и Левиафан в оффшорной зоне Израиля и Афродита в зоне экономических интересов Кипра. Залежи биогенного метана, расположенные в глубоководной Левантской впадине, приурочены к терригенным песчаникам позднеолигоценово-раннемиоценового возраста. Открытие еще одного газового месторождения Зохран в 2015 г. в районе подводной возвышенности Эратосфена вызвало настоящий бум среди геологов-нефтяников. Дело в том, что залежь природного газа с запасами около 30 трлн куб. футов здесь находится не в терригенном, а карбонатном коллекторе рифового генезиса, что открывает значительные перспективы обнаружения новых крупных скоплений газа в районе этого крупного поднятия. Общим для всех упомянутых месторождений является то, что они расположены в одном и том же диапазоне глубин моря (1600-2000 м) в зоне распространения мессинских эвапоритов, служащих региональным экраном. Анализ опубликованных на данный момент материалов позволяет предположить, что в эпохи формирования отложений, в которых заключены залежи газа, глубины морского дна в южных районах Левантской впадины были значительно меньшими в сравнении с современными. В настоящее время не подлежит сомнению, что в районе Леванта расположен крупнейший в Средиземноморском регионе газоносный бассейн, запасы газа в котором достигают несколько сотен трлн куб. футов.

Ключевые слова: бассейн Левант, поднятие Эратосфена, залежи биогенного газа, терригенные и карбонатные коллекторы, мессинские соли

Для цитирования: Коныхов А.И., Шарафутдинов В.Ф., Калабин В.В. (2019). Геологическое строение, обстановки аккумуляции и нефтегазоносность олигоцен-миоценовых и плиоцен-четвертичных отложений в бассейне Левант. *Георесурсы*, 21(2), с. 80-93. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.80-93>

Введение

Нефтегазоносный бассейн Левант (Levant) расположен в дистальной юго-восточной части Средиземного моря. Площадь наиболее погруженной, глубоководной Левантской впадины при мощности осадочного чехла до 10-12 км составляет 83.000 км². С конца эоцена естественной границей морского седиментационного бассейна на окраине Леванта, от Синайского п-ова до горных хребтов Южного Тавра в Анатолии, служили эпиплатформенные поднятия так называемой Сирийской дуги. Типичными для этой части региона являются неширокий шельф с полоской прибрежной равнины, крутой континентальный склон, изобилующий подводными каньонами, которые врезаются в породы карбонатной платформы мелового и палеоцен-эоценового возраста, и окаймляющая его глубоководная равнина. Поверхность равнины, покрытая терригенными плиоцен-плейстоценовыми осадками, постепенно погружается в северном направлении от 1600-1700 м на широте Синая и Израиля до 2500 м в районе Латакийского подводного хребта, являющегося северной границей Левантского бассейна. Эти осадки сложены главным образом выносами р. Нил,

дельта и подводный конус выноса которого образуют южный сектор окраины Леванта. Фундамент в глубоководной котловине бассейна образован метаморфизованными породами триаса и нижней юры. Западная граница бассейна проводится от поднятия Кинн в Западной пустыне Египта до подводной возвышенности Эратосфена и складчатых сооружений на юго-восточной окраине о. Кипр.

Тектоническое строение

Различия в строении осадочной толщи позволяют выделить в составе Левантского бассейна два суббассейна – южный и северный. Для южного суббассейна в структуре нижней, мезозойской части осадочного чехла преобладает чередование горстов и грабенов, что нередко находит отражение в распространении простых антиклинальных складок в более верхних этажах осадочной толщи. С этими антиклинальными поднятиями связаны залежи углеводородов (УВ) (Тамар, Левиафан, Афродита и др.). В северном суббассейне породы мезозойского возраста, погруженные на большую глубину, отличаются спокойным залеганием, в то время как толща олигоцен-миоценовых отложений расчленена многочисленными разломами на блоки, которые смещены как в вертикальном, так и горизонтальном направлении. В наиболее погруженной части северного суббассейна, где фиксируется наибольшее количество разрывных нарушений, амплитуда

* Ответственный автор: Александр Иванович Коныхов
E-mail: konyuhov@geol.msu.ru

смещений нередко достигает 400 м. Плоскости, по которым происходят смещения, характеризуются СЗ и СВ простиранием и расположены субпараллельно, что находит выражение в формировании так называемых клавишных разломов (piano key faults).

Граница между двумя суббассейнами проходит по линеamentу *Levantine Sub-Basin Border (LSBB)* – протяженной системе разломов, которая может отвечать переходной зоне от утоненной континентальной коры, развитой в пределах южного суббассейна, к океанической коре в северном блоке. Это реликтовая кора, почти полностью разрушенная в период коллизии Евразийской и Африканской плит и закрытия океана Тетис.

В истории тектонической эволюции южного блока и большей части обрамления Левантийского бассейна можно выделить три тектонических этапа, включающих фазу рифтогенеза, пострифтовый этап, отвечающий эволюции пассивной окраины, и фазу сжатия, следствием которой было образование поднятий и впадин Сирийского складчатого пояса или дуги. Процессы рифтогенеза, охватившие регион в раннем мезозое, сопровождались формированием протяженной системы горстов и грабенов, ориентированных в СВ-ЮЗ направлении. Они разбиты поперечными трансформными разломами, выделяемыми по данным гравиразведки. В наиболее погруженной зоне с востока на запад выделяются четыре крупных структурных поднятия: Ям, Иона, Левиафан и Эратосфен. В наземном секторе окраины Леванта расположены поднятия Джевим, Гааш и Маанит, разделенные Северо-Синайским грабеном и грабенами Иудеи и Ашер.

Закрытие океана Тетис и продвижение Афр-Аравийской плиты в северном направлении сопровождалось в Левантийском регионе деформациями сжатия, результатом которых стало формирование Сирийского складчатого пояса, который простирается от Западной пустыни Египта, через Израиль в Ливан и Сирию. Выделяются две основные фазы сжатия: позднемиоценовая и олигоцен-миоценовая. Позднемиоценовая фаза проявилась инверсией раннемезозойских сбросов и развитием асимметричных, с большой амплитудой складок, получивших развитие у побережья и в прилегающих к нему наземных районах Синайского п-ова, в Израиле и Ливане.

С олигоцен-миоценовыми подвижками связано образование низко амплитудных складок по всей площади бассейна, а также воздымание и наклон тектонических блоков в акваториальной зоне и на прилегающей суше в пределах континентальной окраины Леванта. Мезозойские складки более сложные и дисгармоничные в сравнении с олигоцен-миоценовыми. Сжатия, охватившие Северо-Левантийский суббассейн, привели к появлению субвертикальных бескорневых разломов. Происходившие по ним частые подвижки распространялись на толщу мессинских эвапоритов, что могло нарушить изолирующие свойства этого регионального экрана. С другой стороны, в образовавшихся приподнятых блоках можно ожидать открытие тектонически-экранированных залежей УВ в отложениях домессинского миоцена.

Южный сектор бассейна Левант

Египетский сегмент бассейна Левант включает побережье и шельф Западной пустыни Египта, дельту

и подводный конус р. Нил, западный район Синайского п-ова, а также подводную возвышенность Эратосфена.

Дельта и подводный конус р. Нил. Начиная с олигоцена, эволюция осадочного чехла в Левантийском бассейне определялась терригенным материалом, поступающим из северо-восточных областей Африканского континента – Эфиопского плато и Судана. Именно в эту эпоху, по мнению ряда исследователей, началось формирование дельты и глубоководного конуса Нила. В строении современной дельты Нила выделяются два сегмента: южный, прибрежный, и северный внешний. Границей между ними служит мощная разломная флексура шириной 30–40 км, вытянутая в широтном направлении и отвечающая резко выраженной границе в строении земной коры (рис. 1). Флексура отсекает карбонатную платформу, существовавшую в южной части дельты на протяжении мела и раннего палеогена вплоть до конца среднего эоцена и залегающую на глубинах около 4500 м, от северной части, заполненной мощной толщей третичных отложений преимущественно терригенного состава. Кровля карбонатной платформы опущена здесь до гл. 5500 м. Флексура, расположенная на широте 31° с.ш., сыграла важную роль в стратиграфическом и тектоническом развитии дельты Нила и является не только структурной, но и фациальной границей.

В дельте р. Нил выделяются две геологические провинции: глубоководная зона и приконтинентальная часть дельты. Первая простирается к северу от 200 м изобаты, отвечающей краю шельфа, и к западу от главного плиоценового разлома СВ-ЮЗ – простирания, который предопределил особенности аккумуляции плиоцен-плейстоценовых осадков (3500 м в течение 4–5 млн лет). Эта зона характеризуется масштабным развитием в пост-мессинское время листрических разломов, складок обратного волочения, разворотом отдельных блоков и образованием оползней, особенно в ССВ и СВ районах. Диapiризм глин, сопровождавшийся ростом отдельных поднятий и грязевых вулканов, обусловлен аномально высокими давлениями в глинистых осадках олигоцен-позднемиоценового возраста. Он проявился в обширных зонах, но особенно масштабно в районе современного континентального склона. Глиняные диапиры зачастую срезаются несогласием, отвечающем поздней стадии среднего миоцена. Другая, шельфовая и наземная часть



Рис. 1. Границы современной дельты р. Нил (наземной ее части) и положение разломно-флексурной зоны, определяющей ее глубинное строение (Barakat, 2010)

дельты Нила отделена от глубоководной области флексурой, которая известна как хинж-зона. Она делит дельту на две структурно-седиментационные субпровинции: южный и северный блоки речной дельты.

Южный сектор дельты (10.600 км²) сложен породами карбонатной платформы, кровля которой, образованная известняками среднего эоцена, наклонена в северном направлении. В ней развиты пологие асимметричные складки – типичные структуры в составе так называемой Сирийской дуги. Из южной части дельты они прослеживаются на восток, в северную половину Синайского п-ова и на запад в Западную пустыню Египта.

Северная часть дельты расположена на шельфе. Она представляет собой впадину площадью 23.000 км², из которых 9200 км² находятся на суше. Толща олигоцен-миоценовых отложений, мощность которых возрастает в северном направлении, разбита здесь крупными разломами, которые погружаются вглубь впадины. Они упираются в поверхность серравалийско-тортонского несогласия, и с ними связано образование ротационных блоков в миоценовых осадках, что, вероятно, обусловлено их неоднородным уплотнением (рис. 1).

Ротационные блоки повернуты на юг, а их поверхность была эродирована во второй половине среднего и первой половине позднего миоцена. Среди них выделяются два типа структур. Первые разделены широтными глубинными разломами до-тортонского (вероятно эоцен-поздне-мелового) возраста и формировались в краевой части шельфа. Их погружение в миоценовое время определяло скорости накопления осадков. Вторые представлены мелкими пост-мессинскими сбросами, которые и сейчас контролируют перенос осадков в нестабильную, погруженную часть дельты. Среди них есть растущие разломы, с которыми связано образование оползней, а также диапиризм мессинских эвапоритов и неуплотненных плиоценовых осадков. Структуры широтного простирания представлены крупным разломом Мит Гамр (Mit Ghamr), а также флексурами в северной и южной половине наземной части дельты Нила.

Толща плиоцен-четвертичных осадков в дельте Нила разбита региональными разломами как широтного и меридионального, так и северо-западного (тренд Темзах) и северо-восточного (тренд Розетта) простирания. Разломы, ориентированные в СЗ и СВ направлении, распространены главным образом в пределах северо-восточного и северо-западного секторов дельты, соответственно. Они выделены и у южной границы обширного поля развития мессинских солей, где они пересекаются друг с другом. В наземной части дельты преобладают разломы широтного простирания. Отсюда они протягиваются в соседние районы на северо-востоке Египта.

Олигоцен в дельте р. Нил вскрыт 15 скважинами. Олигоценные отложения залегают в основании толщи морских и флювиальных (речных) осадков позднеолигоцен-раннемиоценового возраста (свита Тинех), содержащих пласты песчаников. На суше в центральной части дельты скважинами пройдены другие терригенные образования, свиты Могхра и Сиди Салем, возраст которых определен как ранне- и среднемиоценовый. Свита Сиди Салем сложена переслаиванием глин, песчаников, алевролитов и известняков. В юго-западном секторе дельты

ее мощность достигает наибольших значений (813 м). В разрезе свиты преобладают глины, содержащие отдельные горизонты песчаников и алевролитов. Кровля Сиди Салем совпадает с поверхностью регионального несогласия, выше которого залегают песчаники, песчаные глины и алевролиты с отдельными прослоями глин и конгломератов свиты Кавасим (мощность 933 м) или ангидриты Розетта (мощностью от 10 до 100 м) верхнего миоцена.

На западном склоне глубоководного конуса Нила открыто несколько подводных грязевых вулканов. Два из них – Гиза и Норт Алекс – расположены в верхней части склона на расстоянии 26 и 30 миль от побережья на глубине 700 и 500 м, соответственно.

Тектоническое развитие Нильской дельты тесно связано с мезозойской историей юго-восточного Средиземноморья. На этом этапе его развития П. Мей выделил три основные стадии: 1 – активных растяжений в триас-раннеюрское время; 2 – пассивной окраины, существовавшей в средне- и позднеюрскую эпохи и на протяжении большей части мелового периода; 3 – сжатия (форланда или предгорного прогиба), которые синхронизируются со второй половиной позднемеловой эпохи (May, 1991).

Выводы Мей были уточнены позднее Генеральной Египетской нефтяной корпорацией (1994), специалистами которой разработана тектоническая схема, включающая 5 стадий: 1 – стадия кратона в период развития каледонской и герцинской складчатости; 2 – рифтовая стадия, закончившаяся раскрытием Средиземноморья во второй половине триасового периода; 3 – стадия пассивной окраины, существовавшей с позднего триаса до позднего мела; 4 – стадия альпийских движений, сопровождавшихся сжатием в период с позднего кампана до конца среднего эоцена, и 5 – стадия передового прогиба, начало которой относится к позднему эоцену и олигоцену.

Вертикальные подвижки, происходившие в олигоцене, привели к воздыманию части африканской окраины, расположенной в ЮВ секторе Средиземного моря. В устье Нила с этим временем было связано образование в центральном блоке наземного сектора дельты небольшой рифтовой впадины. Поверхность фундамента, который в районе Нильской дельты залегает на глубинах более 10 км, наклонена в северном направлении. Нижнемиоценовые отложения представлены в дельте разнообразными фациями – от континентальных на юге до морских, шельфовых и подводно-склоновых на севере. Их мощность определяется блоковыми нарушениями, развитыми в восточной и западной части центральной области дельты. В северном сегменте дельты мощность нижнемиоценовых осадков определялась подвижками по разломам, разделявшим отдельные блоки, и эрозией, охватившей приподнятые зоны во вторую половину среднего миоцена.

Окраина Синайского п-ова. Тектоническое строение Синая определяется структурами Сирийского складчатонадвигового пояса, который простирается от северных районов Западной пустыни Египта через Синайский п-ов, Израиль и Ливан в центральную часть Сирии. Он также включает впадины и поднятия, расположенные к востоку от рифта Мертвого моря в Иордании. Период растяжений, обусловленный процессами рифтогенеза, которые господствовали на окраине Африканского континента на протяжении триаса, юры и раннего мела, завершился в

первой половине апта. Тектоническая пауза, продолжавшаяся с позднего апта до конца позднего альба, благоприятствовала формированию обширной гомоклиали. В ее пределах на севере Синая в конце раннемеловой эпохи располагалась крупная речная дельта.

Аридизация климата в начале позднего мела привела к накоплению карбонатных отложений, мощность которых на всем пространстве континентальной окраины Леванта достигает нескольких сотен метров. Раннетуронская эпоха была отмечена движениями, которые привели к смене растяжений сжатием и включали несколько фаз воздымания и складчатости, проявившихся как в наземных, так и в оффшорных частях бассейна. На последней, раннеэоценовой фазе произошла реактивация меловых разломов, сопровождавшаяся ростом поднятий на всем протяжении Сирийского складчатого пояса.

Структура Зохран в районе подводной возвышенности Эратосфена. В процессе триас-юрского рифтогенеза блок Эратосфена оказался отделенным от континентальной окраины Африки и до позднемеловой эпохи развивался как подводная гора (возвышенность), в пределах которой формировалась отдельная карбонатная платформа. Вследствие подъема уровня Мирового океана в позднемеловую эпоху развитие этой платформы резко замедлилось. Оно возобновилось лишь в олигоцене, отмеченном глобальным падением уровня морских вод. В миоцене в районе подводного склона блока Эратосфен сложились условия, благоприятные для развития биогермных, в том числе рифовых построек. Их рост прекратился лишь после коллизии блока с о. Кипр, вызвавшей погружение возвышенности Эратосфена на значительную глубину.

Вершина структуры Зохран, осложняющей подводный склон горы Эратосфена и расположенной в экономической зоне Египта, залегает в настоящее время на глубине 1500 м от поверхности моря. Мощность разреза осадков, пройденного в 2015 г. при бурении скв. Зохран-1, составляет 4000 м. В строении структуры участвует крупная карбонатная постройка рифового генезиса, возраст которой определен как ранне- и среднемиоценовый, возможно и раньше. Площадь этой постройки, которая образовалась в раннем миоцене, достигает 100 км². В ее строении участвуют карбонаты как рифового, так и лагунного генезиса. Эти карбонатные образования, залегающие в окружении тонкозернистых осадков позднемииоценового возраста и перекрытые толщей мессинских солей, характеризуются высокой пористостью и проницаемостью, насыщающих их флюидов. Формированию этой и других биогермных сооружений в районе возвышенности Эратосфена благоприятствовало долговременное погружение земной коры в этой части Левантской впадины. Не в последнюю очередь оно было вызвано масштабной аккумуляцией терригенных мелкозернистых осадков турбидитного генезиса в северном суббассейне Левантской впадины (Esestine et al., 2016). **В карбонатных постройках, окружающих подводную гору Эратосфена, недавно открыты месторождения газа Зохран и Калипсо.**

Израильский сегмент окраины Леванта. Крупнейшее несогласие разделяет в разрезах окраины Израиля и всего Леванта позднеэоценовый и раннеолигоценый комплексы отложений. Оно отвечает падению уровня моря примерно 34 млн л.н. Тектоническая активизация

олигоцен-миоценового времени, вызвавшая воздымание береговых поднятий и обрушения в пределах подводных склонов, сопровождалась интенсивным размывом мезозойских и палеоцен-эоценовых пород и заполнением образовавшихся подводных каньонов и оперяющих каналов. Наиболее крупные системы каньонов Афик и Ашдод, а также Хадера, Кесарея, Атлит и Кишон на окраине Израиля образовались в раннем олигоцене. Они протягиваются в море на расстояние более 100 км от современной береговой линии (каньон Ашдод) и служили транспортными артериями, по которым в раннем олигоцене и последующие эпохи были перенесены огромные объемы осадочного материала (Gardosh et al., 2008).

На сейсмических профилях, выполненных в оффшорной зоне Израиля, в разрезе третичных отложений выделяются три поверхности, которые маркируют важнейшие стратиграфические границы: а – основание олигоцене, б – низы среднего миоцена, в – основание мессинских эвапоритов. Согласно сейсмическим материалам, эти три границы отмечены врезами, срезанием слоев и наложением сейсмических рефлекторов, которые особенно хорошо выделяются на удалении 50-70 км от побережья.

При бурении скважин в южной части прибрежной равнины Израиля вскрыта мощная толща грубозернистых олигоценых пород: песчаников и конгломератов, известных как «Ашдодские кластиты» и отложенных в течение раннего олигоцене. В перекрывающих осадках среднего олигоцене были рассеяны валуны меловых пород, которые размывались в примыкавшей к каньону области сноса. Судя по мощности заполнявших его нижнеолигоценых отложений (968 м), глубина каньона на раннем этапе образования могла превышать 1000 м, что является свидетельством масштабной эрозии коренных пород, обнажавшихся в пределах прибрежных поднятий на окраине Израиля. Дальнейшее углубление каньона, сопровождавшееся оползанием больших масс осадков, происходило в начале среднего миоцена, в тортонское и мессинское время. Заполнение каньона осадками продолжалось в плиоцене и плейстоцене (Gvirtzman, Buchbinder, 1977).

По нашему мнению, огромную мощность нижнеолигоценых пород (более 900 м), вскрытых скважинами у побережья Израиля, нельзя объяснить их принадлежностью древним подводным каньонам. Такая громадная масса рыхлых осадков не может долго удерживаться на круто падающих склонах, а в современных каньонах их крутизна достигает 25-30°. Гораздо более вероятно, что отложения этого возраста, частично представленные грубо обломочными образованиями (конгломератами), отложены потоками обломков в устьевой части каньонов на континентальном подножии Леванта, где образовались подводные конусы выноса, возвышавшиеся в течение долгого времени над окружающим дном. Вслед за медленным подъемом уровня моря в позднем олигоцене и раннем миоцене береговая линия стала отступать вглубь суши, сход подводных лавин прекратился, и каньоны начинали заливаться. Развитие подводных фенев замедлилось.

Оно возобновлялось в эпохи быстрого понижения уровня моря, когда головные части каньонов снова оказывались вблизи побережья, а в его уступах обнажались рифовые постройки и другие породы в составе карбонатной

платформы. Их обломки по каньонам поступали на подножие континентального склона, где наращивали подводные конусы выноса. Именно спазматическим ростом этих реликтовых поднятий можно объяснить наличие четко выраженных несогласий, по существу перерывов в седиментации, которые фиксируются в разрезах, вскрытых скважинами в зоне развития древних каньонов. Этим же объясняется присутствие торгонских и мессинских солей, а также продуктов их разрушения в верхней части этих разрезов.

Разрез верхнеолигоценовых-нижнемиоценовых отложений в глубоководной впадине Леванта образован преимущественно осадками песчаного состава, которые переслаиваются с глинами и алевритовыми глинами. Мощность этой толщи в израильском секторе бассейна достигает 1300 м. Пески отличаются слабой степенью уплотнения. Пачки тонкозернистых отложений, разделяющие горизонты коллекторов, нередко представлены мергелем

и известковыми глинами (Christensen, Powers, 2013).

Аккумуляция огромных объемов терригенных осадков верхнеолигоценовых-нижнемиоценовых отложений в глубоководной впадине Леванта обеспечивалась главным образом выносами Прото-Нила. Дополнительным источником сноса терригенного материала выступали подводные каньоны континентального склона, развитые на окраине Израильского шельфа (рис. 2).

Отложения свиты Зиглаг (Ziglag), залегающие в основании разреза среднего миоцена, по-своему уникальны, так как отвечают довольно длительному интервалу (1,5 млн лет) формирования карбонатной платформы в эпоху доминирующего накопления тонкозернистых терригенных осадков, которые получили распространение в центральных районах Левантийской впадины. Ее образованию благоприятствовал высокий уровень морских вод, что ограничивало поступление терригенного вещества. Из-за падения этого уровня в сервалевский век, которое

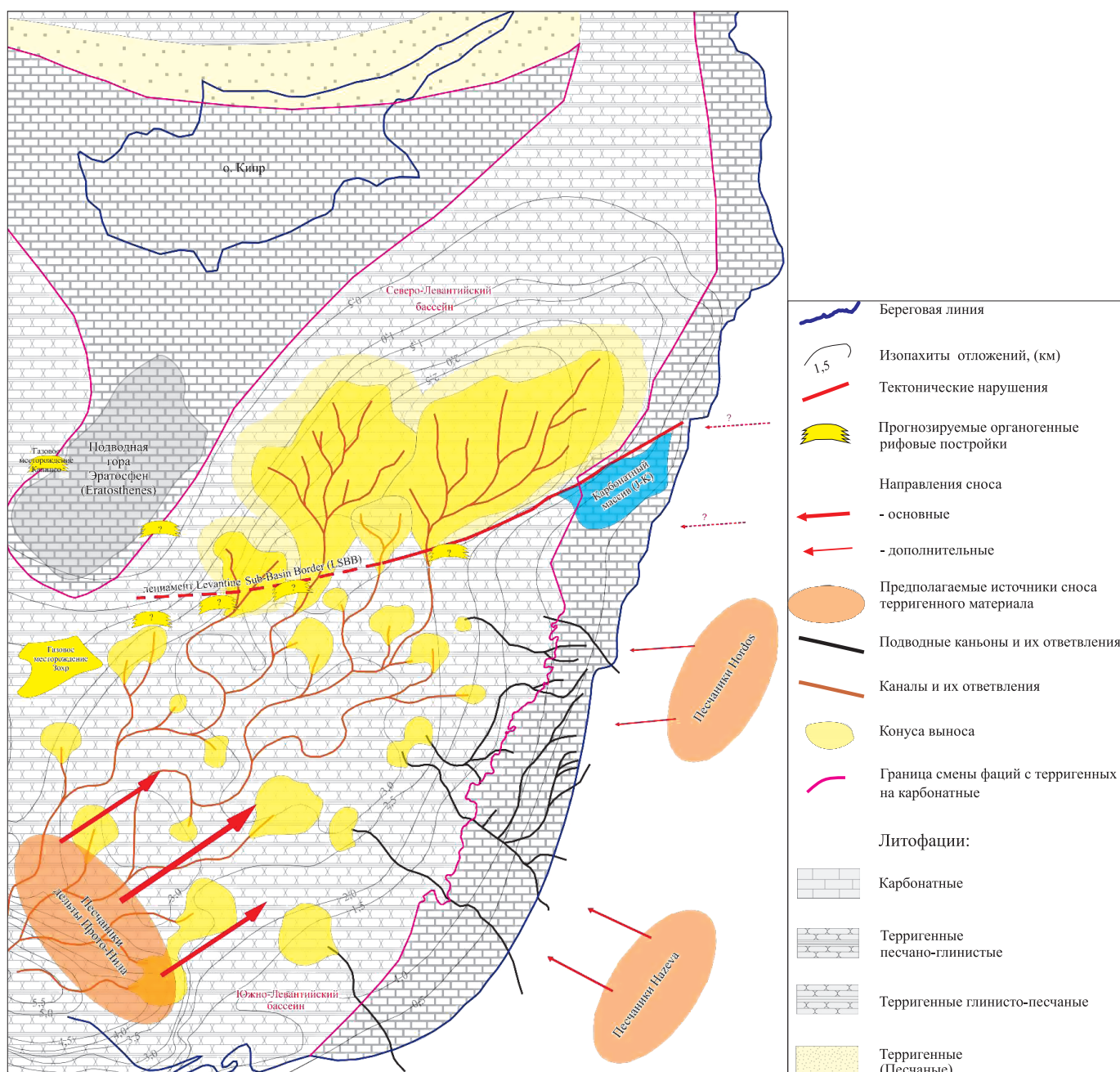


Рис. 2. Палеогеографическая схема нижнемиоценового комплекса

сопровождалось ухудшением климата, первым кризисом солености и врезанием подводных каньонов, строительство карбонатной платформы прекратилось. В Афикском каньоне это время отмечено аккумуляцией 250-метровой толщи конгломератов, образованных галькой кремнистого и карбонатного состава – продуктов денудации меловых и третичных пород. Конгломераты вскрыты при бурении скв. Нахал-Оз-1 (Nahal Oz-1).

Тортонские и мессинские отложения имеют ограниченное распространение на суше. Они были вскрыты скважинами на приморской равнине и в шельфовой зоне, где представлены в основном ангидритами. Более широкое развитие здесь получили тонкозернистые карбонатные осадки, в основном мергели, окружающие в проксимальной части бывшей карбонатной платформы небольшие коралловые и водорослевые рифы свиты Паттиш. На дистальном продолжении Афикского каньона гемипелагические осадки чередуются с горизонтами песков и конгломератов, в составе которых преобладает галька кремнистых пород (Gvirtzman et al., 2014).

Ливанский сегмент окраины Леванта. В южных районах Ливана на плато Тир-Набатих обнажается маломощная (25 м) толща пород миоценового возраста, сложенная микрозернистыми известняками с прослоями глинистых известняков и мергелей. При детальном изучении установлено, что они заполняют подводные долины, врезанные в подстилающие отложения, и описываются как отложения мутьевых потоков, которые перемещались по континентальному склону и отлагались на подножии этого склона. В районе Бейрута осадки этого возраста представлены переслаиванием плотных карбонатных пород, сложенных обломками меловых и эоценовых известняков, с пропластками мергелей и известковистых алевролитов, которые быстро выклиниваются по простиранию. Как показали лабораторные исследования, в этих породах присутствуют единичные нанофоссилии, свидетельствующие о лангинском возрасте вмещающих отложений (Hawie, 2014). Они залегают над поверхностью регионального углового несогласия, которое отвечает длительному периоду воздымания территории Южного Ливана (со среднего эоцена по конец раннего миоцена), которое сопровождалось размывом подстилающих отложений (Hornberg et al., 2010).

Северный сектор бассейна Леванта

В тех районах Ливана, которые расположены к северу от регионального линеамента, разделяющего южный и северный суббассейны Леванта, эоценовые нуммулитовые известняки перекрыты 120-метровой толщиной мергелей, содержащих маломощные (0,5 м) пласты конгломератов, включающих обломки нуммулитовых известняков и линзовидные прослои торфа. Извлеченные из мергелей фаунистические остатки представлены мелкими раковинками гастропод, которые обитали в небольших пресноводных озерах среднемиоценовой эпохи. Описываемые отложения перекрыты конгломератами с карбонатной галькой, окрашенными в красные тона. Выше по разрезу они сменяются песчаниками, которые содержат линзы торфяников и, вероятно, были отложены в надводной части речной дельты. Очевидно, что миоценовые осадки, обнажающиеся в Южном Ливане, накапливались в более глубоководных

обстановках в сравнении с одновозрастными образованиями из Северного Ливана, представленными озерными, аллювиальными и другими континентальными фациями.

При анализе сейсмических разрезов в ливанском секторе глубоководной впадины бассейна Левант выделено несколько сейсмических комплексов, разделенных поверхностями региональных несогласий. Самая нижняя из них отвечает основанию миоценовой толщи, перекрывающей породы позднемиоценового-эоценового возраста. Отложения в нижней части миоценового разреза характеризуются высокоамплитудными отражениями и умеренной непрерывностью, что типично для терригенных кластических осадков. Они были отложены на стадии падения уровня моря и обладают хорошими коллекторскими свойствами. Породы этого возраста отсутствуют в наземных районах Ливана (Ghalayini et al., 2014).

Верхняя 700-метровая толща также образована терригенными осадками, о чем свидетельствуют серии высокоамплитудных рефлекторов. Обломочный материал транспортировался в подводную часть окраины Ливана по каньонам и далее по системам распределительных русел. После переполнения этих русел пески формировали плащеобразно лежащие пласты. В кровле комплекса фиксируются резкие изменения в конфигурации сейсмического разреза. Здесь широко распространены фации осадков, заполняющих подводные долины. В акватории Северного Ливана эти долины достигают в ширину 3 км. Наряду с ними выделяются пачки, характеризующиеся высокоамплитудными рефлекторами, типичными для лопастей глубоководного фена. Таким образом, в позднемиоценовое время в Северо-Левантийском бассейне существовал дополнительный источник терригенного материала – Латакийский хребет (рис. 3), вдоль которого выделяются конуса выноса (Furstenau, Hawie, 2013).

Терригенный миоцен перекрыт отложениями с неявно выраженными отражениями, которые характерны для эвапоритов мессинского возраста. Однако и в этом комплексе, который выклинивается при приближении к окраине бассейна, при анализе сейсмических материалов выделяются пачки высокоамплитудных рефлекторов. Одна из линз этих отложений расположена в южном секторе акватории Ливана. При мощности, равной 30 м, ее протяженность достигает 30 км (Hawie, 2014).

При приближении к северному обрамлению Левантийской впадины, обозначенной Латакийским подводным хребтом, возрастает амплитуда вертикальных подвижек. Свидетельством этого является увеличение количества разломов и амплитуды складок, а также крутизны континентального склона, на что указывает обилие эрозионных каньонов (рис. 4).

Сирийский сегмент окраины Леванта. Северная граница в глубоководном секторе бассейна Леванта проводится по вершинной части Латакийского подводного хребта. Этот хребет протягивается вдоль крупного линеамента, разделяющего Африканскую и Евразийскую литосферные плиты. С ним связаны масштабные сдвиговые подвижки, сопровождавшиеся крупными тектоническими деформациями. В сирийской части окраины Леванта на продолжении Латакийского хребта развиты офиолиты Баер-Бассит, которые прослеживаются на 60 км вглубь суши до пересечения с системой трансформных

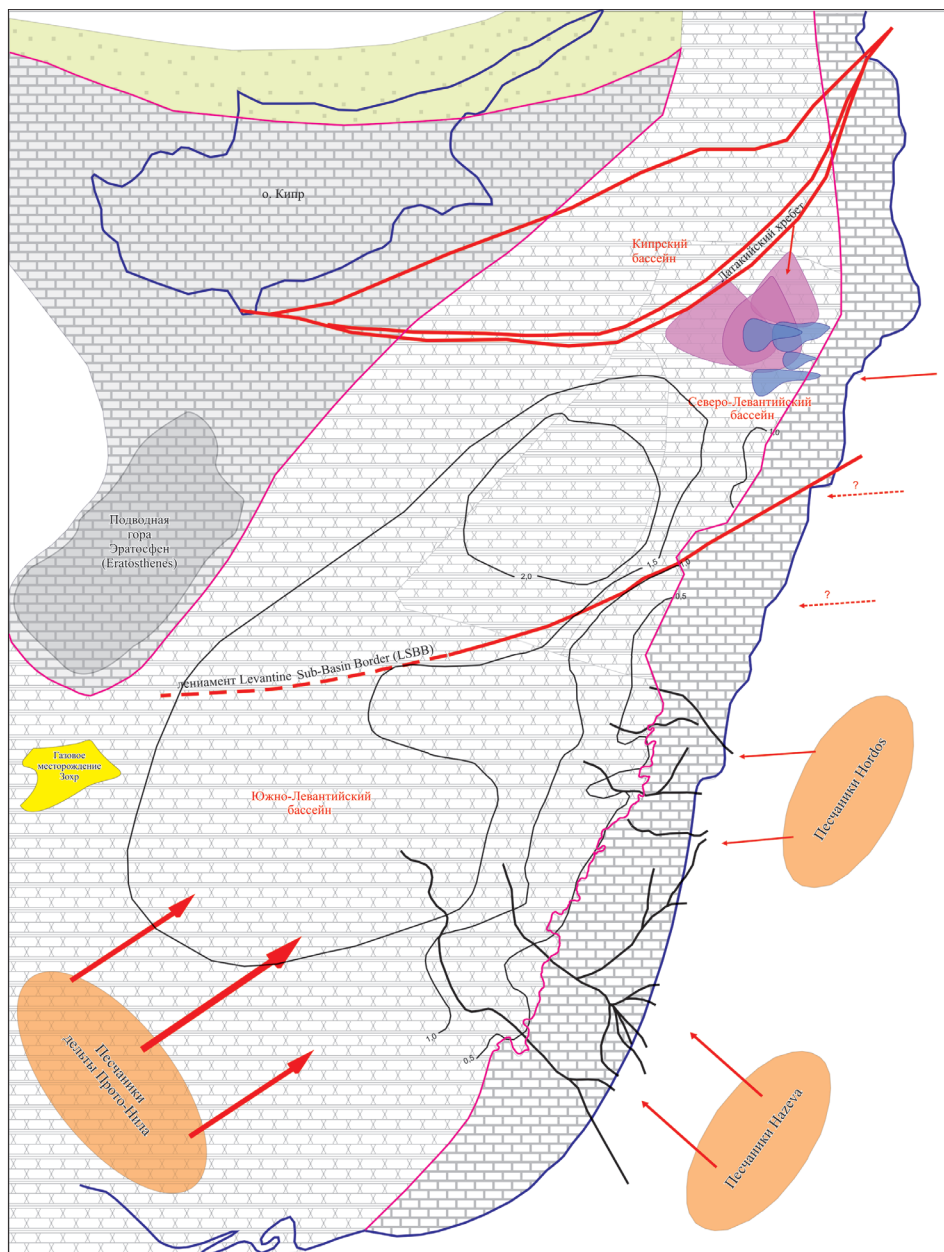


Рис. 3. Палеогеографическая схема верхнемиоценового комплекса. Условные обозначения см. на рис. 2.

разломов Мертвого моря – тройного сочленения на стыке Африканской, Аравийской и Евразийской плит (Bowman, 2011).

На северо-востоке в непосредственной близости от края сирийского шельфа ширина Латакийского хребта не превышает 20 км. При высоте около 3600 м он отчетливо выражен в рельефе морского дна (рис. 4). Его воздымание, ускорившееся в постмессинское время, было следствием масштабных сдвиговых подвижек, сопровождавшихся пликативными и дизъюнктивными деформациями. Судя по сейсмическим данным, Латакийский подводный хребт представляет собой обширный складчато-надвиговый пояс, формирование которого было вызвано сжатиями, обусловленными процессами конвергенции Африканской и Евразийской литосферных плит в конце раннего и начале позднемелового времени. Компрессионный режим сохранялся вплоть до закрытия океана Тетис в позднем маастрихте, который сопровождался обдукцией офиолитов на край Аравийского выступа африканской плиты.

Перед этим складчато-надвиговым поясом вдоль северной границы Левантйского бассейна возник передовой прогиб, заполненный отложениями маастрихта, палеоцена и эоцена (Bowman, 2011). Поднятия в западной части Латакийского хребта (близ о. Кипр) перекрыты олигоценовыми и миоценовыми отложениями, однородными по мощности и строению (рис. 4). Это может свидетельствовать о незначительных перепадах в рельефе дна в период их аккумуляции.

Окончательное закрытие океана Тетис в конце эоцена было отмечено масштабной фазой сжатия и воздымания, которая на востоке Левантйского бассейна ассоциируется с главной стадией деформаций в районе Сирийской дуги. При бурении скв. Латакия-4 в наземной части сирийской окраины один и тот же интервал разреза повторился четыре раза. При этом одинаковые по возрасту (мел-эоцен) и составу группы пластов разделены полого залегающими разломами, что свидетельствует о надвиговом строении толщи. Компрессионный режим просуществовал в

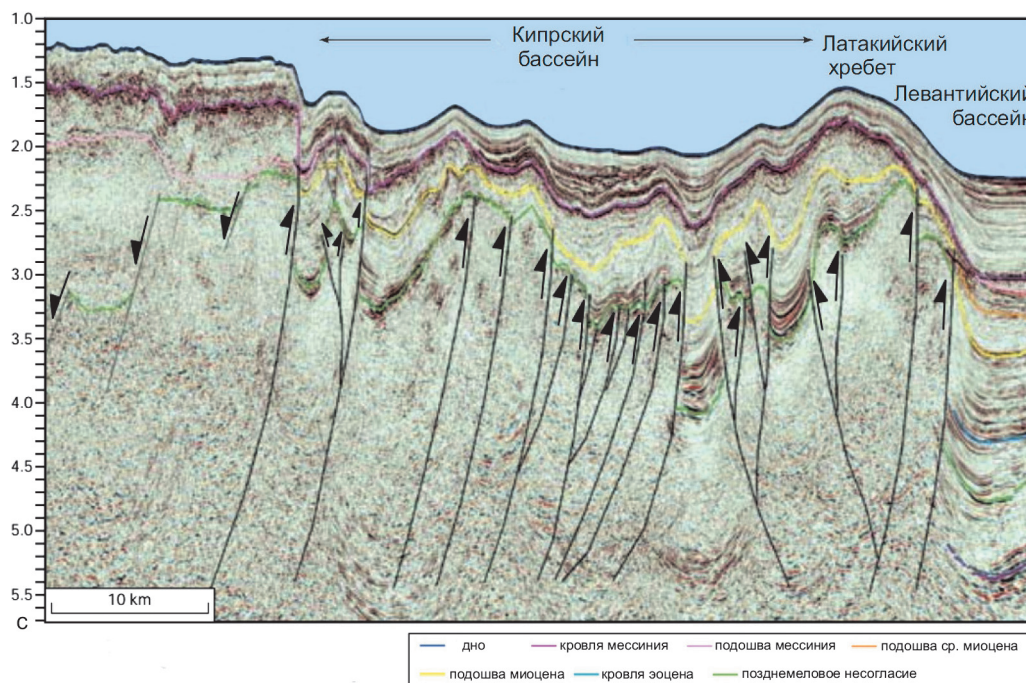


Рис. 4. Глубинное строение Латакийского подводного хребта и образовавшегося перед ним передового прогиба в северной части бассейна Левант (Bowman, 2011)

регионе до конца позднего миоцена, когда изменения в направлении сжатия привели к смене надвиговых подвижек перемещениями по системам региональных сдвигов.

Особенности размещения в регионе мессинских эвапоритов свидетельствуют о том, что в конце миоцена вершины поднятий Латакийского и других подводных хребтов (Тартус, Маргат и Ларнака) возвышались над морским дном, что сделало невозможным аккумуляцию соли в этой зоне. Некоторое количество эвапоритов присутствует лишь в наиболее глубокой части Кипрской впадины.

Осадочный чехол в северной половине Левантийского бассейна не превышает 7.800 м, что значительно меньше в сравнении с южной половиной, где он достигает 10.000 м. Породы пермского и триасового возраста, которыми в северной части бассейна сложена нижняя часть разреза (3500 м), перекрыты более мощной толщей меловых и третичных отложений (4300 м). Эти образования разбиты разломами и нередко смяты в пологие складки, что является следствием коллизии Евразийской и Афро-Аравийской плит.

Эпоха сжатия завершилась на континентальной окраине Леванта масштабной инверсией тектонических структур в конце олигоцена-начале миоцена. Мощность миоценовых отложений в оффшорной зоне Сирии не превышает 900 м. В ее основании фиксируется ярко выраженный рефлектор, хорошо прослеживаемый на площади. Характер изменчивости сейсмических отражений в толще нижнемиоценовых осадков (мощность около 600 м) свидетельствует о ее неоднородном строении. В разрезе присутствуют как турбидиты, участвующие в формировании глубоководных конусов выноса, так и пелагические образования, представленные мергелями и глинами.

Неоднократные тектонические подвижки, происходившие в течение среднего и позднего миоцена вдоль Левантийской системы разломов, сопровождались на суше значительными деформациями, а продолжавшаяся коллизия на стыке Аравии с Евразией привела к воздыманию

крупных горных цепей, в том числе горного массива в Ливане. Региональное поднятие территории, сопряженное с регрессиями моря в тортонское и мессинское время, было причиной эрозии пород, обнажавшихся в пределах окраины Леванта. Мобилизованный при этом терригенный материал выносился в палеовпадины, но главным образом в центральную котловину Левантийского бассейна.

Анализ сейсмических материалов из района Латакии и акватории Северного Ливана свидетельствует о хорошо развитой системе подводных долин с дистальными турбидитами в составе лопастей подводных конусов выноса, на что указывает присутствие высоко амплитудных рефлекторов среди хаотических сейсмических фаций (Bowman, 2011). Эти отложения находятся на продолжении поля континентальных фаций миоцена, широко распространенных на окраине Сирии. Все это указывает на существование в данном регионе не только источников терригенной кластики, но также путей ее транспортировки в Латакийскую и другие впадины.

Распределительные системы в бассейне Левант

На протяжении позднего эоцена и олигоцена, т.е. в течение примерно 13 млн лет, осадки накапливались преимущественно в глубоководных районах бассейна. Мощность отложений этого возраста, достигающая 1500 м, резко сокращается в восточном направлении, вплоть до полного выклинивания в районе континентального склона, где они присутствуют лишь в подводных каньонах, вскрытых при бурении скв. Ханна.

Вышележащая толща домессинских миоценовых отложений формировалась на протяжении 16 млн лет. Ее мощность, составляющая более 2000 м, незначительно меняется в пределах отдельных блоков, разделенных «клавишными» (piano key) разломами. Она сокращается до нескольких сотен метров в зоне древнего континентального склона, хотя и более плавно в сравнении с

нижележащим комплексом отложений. Толща мессинских солей мощностью 1500-2000 м, покрывающая большую часть глубоководной впадины, почти полностью выклинивается при приближении к шельфовой зоне.

По мнению ряда исследователей, глубина морского бассейна, существовавшего в Левантской впадине до мессинского века, варьировала от 2 до 3 км. Этому, однако, противоречат встречающиеся в научной литературе описания как нижнемиоценовых отложений, в которых заключены наиболее крупные из открытых в настоящее время залежей УВ, так и вышележащих, домессинских осадков.

Так, в районе газового месторождения Тамар толща нижнемиоценовых отложений образована переслаиванием средне- и тонкозернистых песков (песчаников) и глин. В составе продуктивного комплекса выделяются три песчаных пласта, разделенные прослоями глин, как правило, содержащих значительную примесь песчано-алевритового материала и потому описываемых как «обломочные (детритные) глины» (Ortega et al., 2018).

Согласно M. Gardosh с соавторами, источником обломочного материала, которым сложены продуктивные резервуары на недавно открытых газовых месторождениях в оффшорной зоне Израиля, были нубийские песчаники, размывавшиеся на склонах палеоподнятий. Продукты их денудации через шельф и врезанным в склон каньоном поступали на подводную равнину в южной части бассейна Левант (Gardosh et al., 2008).

Нубийскими называются песчаные породы, имеющие широкое распространение в различных районах Ближнего Востока и Северной Африки. В Леванте они залегают в основании разреза меловых отложений, где представлены кварцевыми аренитами, в которых почти нацело отсутствуют неустойчивые к химическому выветриванию минералы, в том числе полевые шпаты, зато фиксируется повышенное содержание цирконов. Обнажения нижнемеловых (нубийских) песчаников известны в пустыне Негев, в долине Арава и на Синае в районе залива Эйлат, где их мощность варьирует от 180 до 430 м. Это континентальные образования с косою слоистостью, средне- и тонкозернистой структурой и хорошей, реже умеренной сортировкой. В Израиле они выделяются в составе свиты Хатира или Хазера, в районе Эйлата – в составе свит Амир, Эврона и Самар. В обломочной части песчаников много кварцевых зерен с регенерационными каемками, что свидетельствует об их аккумуляции при размыве песчаных пород более раннего возраста.

Следует отметить, что нижнемиоценовые пески (песчаники) на площади Тамар по минеральному составу действительно похожи на нубийские песчаники. Однако помимо кварца, содержание которого обычно превышает в них 95%, пусть в незначительном количестве все же присутствуют полевые шпаты и другие неустойчивые к выветриванию минералы, практически отсутствующие в нубийских песчаниках. К тому же, если бы источником терригенного материала были нубийские песчаники, развитые на территории Израиля, то среди отложений, заполняющих Ашдодский и Афикский каньоны и наращивающих реликтовый конус выноса, с ними связанный, находились бы образования позднеолигоцен-раннемиоценового возраста. Они, однако, отсутствуют в разрезах

скважин, пробуренных на шельфе и континентальном склоне Израиля.

В ряде научных публикаций указанные осадки рассматриваются в качестве турбидитов, характерных для дистальных частей глубоководных конусов выноса. Речь при этом обычно идет о миоценовых отложениях в северном суббассейне (ливанский и сирийский сегменты), который действительно находился далеко от основного источника сноса, а именно дельты Прото-Нила. Плащобразное залегание верхнеолигоцен-нижнемиоценовых отложений в районе месторождений Тамар, Танин и Кариши, а также отсутствие в их описании оползневых текстур и градиционной слоистости, характерных для турбидитов в глубоководных фенах, позволяет предположить, что глубины морского дна в присклоновой части Левантской впадины того времени значительно отличались от современных. Весьма вероятно, что они не превышали нескольких сотен метров. В связи с этим можно допустить, что в раннем миоцене здесь не действовали мутьевые (турбидитные) течения, а, следовательно, не существовали системы разветвленных обвалованных русел и проток, которые типичны для глубоководных фен на продолжении многих крупных рек Амазонки, Миссисипи, Дуная и др.

Об относительной мелководности Левантской впадины в миоценовое время свидетельствует долговременное развитие мощной карбонатной постройки Зохрана на юго-восточном склоне и подножии возвышенности Эратосфена. В настоящее время она располагается в районе с теми же глубинами дна (более 1500 м), что и площадь Тамар (1667 м) на другой стороне впадины близ континентального склона окраины Леванта. В раннем миоцене вершина биогермы Зохран находилась вблизи поверхности моря, так как в составе популяции рифостроителей должны были быть фотосинтезирующие организмы.

Темпы прогибания в последующие века, судя по почти одинаковой мощности перекрывающих отложений, были близкими как на востоке, так и на западе Левантской впадины. Из этого следует, что глубины морского дна по ее периферии в раннем миоцене не могли сильно разниться. Существенное обмеление впадины в это время было следствием интенсивной аккумуляции терригенных осадков, более 1300 м, что было связано с поступлением огромных объемов взвешенного и влекомого материала из дельты Прото-Нила в интервале с чаттского по аквитанский века.

В результате постепенного потепления климата в среднем миоцене и вызванного этим подъема уровня морских вод, объем терригенного сноса с суши резко сократился. Благодаря этому в центральной части впадины стали накапливаться тонкозернистые, гемипелагические осадки, представленные в основном известковыми глинами и реже мергелем, что с перерывами продолжалось до мессинского кризиса солености.

Аккумуляция мессинских эвапоритов, охватившая площадь почти всего современного морского бассейна, происходила на протяжении 5,59 млн лет. При этом, если в мелководной части окраины Леванта накапливались преимущественно гипсы и ангидриты, то собственно в Левантской, ныне глубоководной впадине – каменная соль.

Отложения тортонского и мессинского возраста имеют весьма ограниченное распространение в наземных районах окраины Леванта. Они вскрыты скважинами на приморской равнине и в шельфовой зоне Израиля, где представлены гемипелагическими осадками, в основном, мергелями. Регрессия, стремительно развивавшаяся в мессинское время, привела к садке ангидритов, которыми сложена нижняя часть разреза свиты Мавкий. Другим свидетельством садки мессинских солей в мелководных районах Леванта являются пачки галита и ангидрита толщиной в несколько десятков метров, которые встречаются в прибрежной зоне Израиля и на севере Синайского п-ова (Steinberg et al., 2011).

Сравнительный анализ структурных схем, построенных по основанию миоценовых отложений и мессинских эвапоритов, обнаруживает значительное их сходство, а именно тенденцию к постепенному выклиниванию в районе континентального склона, что свидетельствует о влиянии палеорельефа морского дна на распространение осадков разного возраста в бассейне Левант. Очевидно также, что мессинский век не был отмечен реактивацией крупных разломов.

В отличие от нижележащих комплексов скорости накопления плиоцен-четвертичных осадков в глубоководных районах бассейна значительно уступали таковым в пределах континентального склона и шельфа на востоке Леванта. В дельте р. Нил их мощность достигает 4000 м. В оффшорной зоне Израиля этими отложениями полностью заполнена впадина Яффа.

Анализ сейсмических материалов показывает, что большая часть осадочного чехла, около шести тысяч метров, образовалась на протяжении последних 37 млн лет, в пост-среднеэоценовый интервал времени, что не превышает 15% от всего периода существования бассейна Левант. Исключительно большая мощность отложений олигоцен-миоценового возраста свидетельствует о почти 20-кратном увеличении скорости седиментации в течение этого промежутка времени (Steinberg et al., 2011).

Нефтегазоносность

В Левантийском бассейне выделяются четыре нефтегазоносных комплекса отложений. *Нижний, пермско-среднеюрский*, сформировавшийся на рифтовой стадии развития региона и приуроченный к грабенообразным впадинам, сложен преимущественно терригенными обломочными породами, главным образом, крупнозернистыми песчаниками, а также карбонатными породами с редкими пластами эвапоритов. Коллекторами служат известняки и песчаники, а в качестве экранов – глинистые породы юрского возраста, либо плотные карбонатные породы или эвапориты. Фильтрационно-емкостные свойства известняков нередко улучшаются в зоне разломов. Так, пористость среднеюрских известняков свиты Зохар, вскрытых скв. Ям-2 в разломной зоне на шельфе Израиля, достигала 21%, Sw 20%. Впрочем, толщина этого трещиноватого карбонатного пласта не превышала 2,74 м.

Выше лежащий, верхнеюрско-верхнемеловой нефтегазоносный комплекс образован преимущественно карбонатными породами, содержащими пачки переслаивания песчаников с аргиллитами. Он возник на пост-рифтовой стадии эволюции бассейна в заключительный

период существования океана Тетис, в южной периферии которого на пассивной окраине Африки сформировалась широкая и мощная карбонатная платформа. Ожидается, что вместилищем для залежей нефти и газа здесь могут служить известняки, которые выщелочены (рис. 5) и закарстованы в интервалы низкого стояния уровня моря. В качестве другого типа коллекторов выступают пачки мелко- и крупнозернистых, косослоистых песчаников. Их продуктивная мощность на месторождениях Кохар и Манго в Израиле составляет 20 м и 35 м, соответственно. Горизонты песчаных пород в пределах месторождений перекрыты глинистой покрывкой толщиной 25-35 м. В глубоководной части бассейна верхнемезозойская часть разреза, как полагают, сложена переслаиванием карбонатизированных песчаников и глин, отложенных турбидитными потоками.

Третий, олигоцен-миоценовый комплекс является наиболее перспективным в бассейне Левант. В разрезе миоценовых отложений, развитых в Левантийской впадине, выделяются четыре интервала. Нижний интервал включает осадки, аккумуляция которых происходила в раннемиоценовую эпоху. В центральных районах впадины ими образованы глубоководные конусы выноса, изобилующие подводными долинами и протоками, заполненными песчаными осадками, с прослоями и пачками глин. Глубина, степень извилистости и характер заполнения подводных долин меняется по мере удаления от главного источника сноса – палеodelьты реки, которую в ряде работ называют Прото-Нилом. Другими артериями, по которым во впадину поступал обломочный материал, служили подводные каньоны. Их глубина достигала нескольких сотен метров (до 1,5 км).

Олигоцен-миоценовые каньоны заполнены мощными слоями крупно-грубозернистых песчаников и конгломератов. Толщи подобного строения являются прекрасными резервуарами. Экранами для залежей УВ могут являться мессинские эвапориты, мощность которых иногда здесь превышает 1 км. В шельфовой зоне они встречаются в виде маломощных пластов, а местами вообще полностью исчезают из разреза.

Газовое месторождение Тамар приурочено к пологой, относительно симметричной антиклинальной складке СВ-ЮЗ простирания (рис. 6). Активная фаза роста складки приурочена к позднему миоцену и обусловлена заключительными, до мессинскими подвижками в пределах Сирийской дуги. В раннем миоцене в Левантийской впадине за пределами шельфа и склона окраины Леванта сформировалась толща терригенных осадков мощностью до 1300 м, что привело к захоронению подводной горы (поднятия) Джонах, в течение долгого времени возвышавшейся над окружающим морским дном. В районе площади Тамар с этим временем (интервал с чаттского по аквитанский века) связано накопление преимущественно песков (песчаников) с пористостью от 21 до 23% и проницаемостью от 600 до 1200 мД. Мощность нижнемиоценового резервуара составляет 140 м. Экраном для залежи газа служат глинистые породы верхнего миоцена (свита Зиким).

Одним из источников УВ могли быть породы поздне-мелового возраста, в значительной степени обогащенные ОВ, которые выделяются в составе серии Скопус.

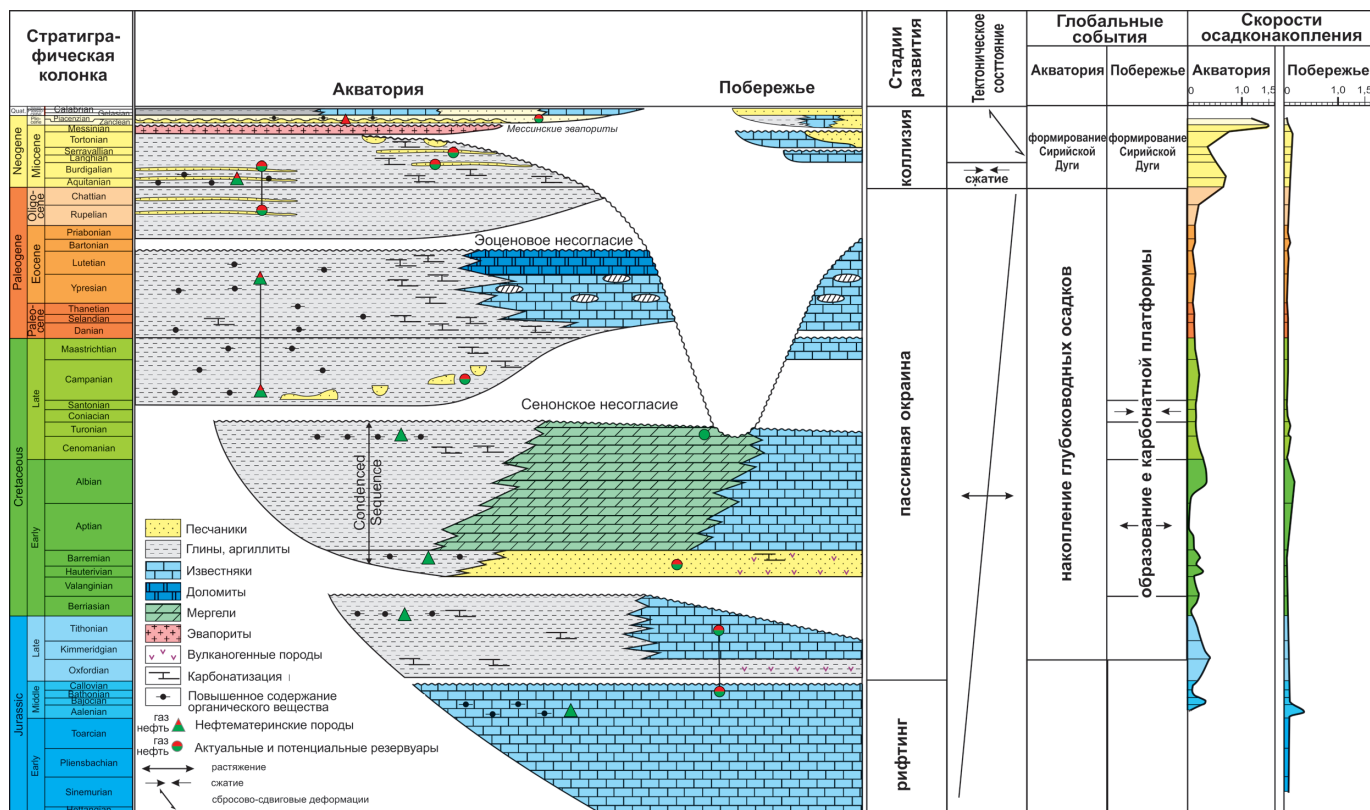


Рис. 5. Обобщенная хроностратиграфическая схема бассейна Sinai-Levant (Skiple, 2011, с дополнениями)

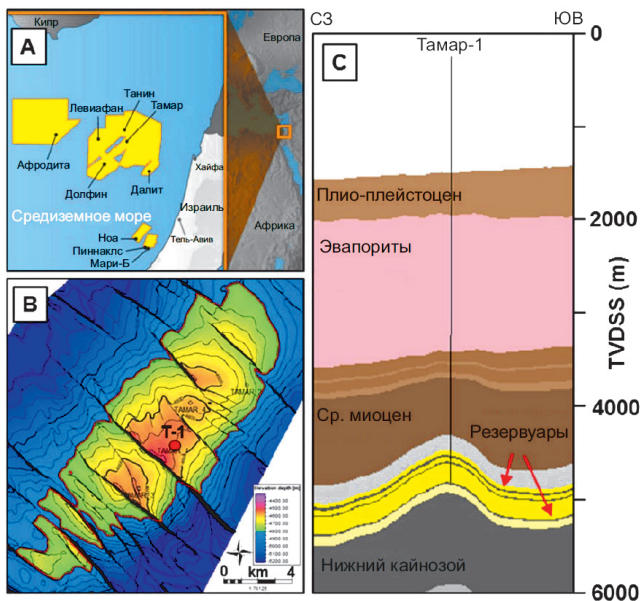


Рис. 6. Геологическое строение антиклинальной складки Тамар, к которой в оффшорной зоне Израиля приурочено крупное месторождение газа (с сайта Noble Energy, www.nblenergy.com)

Другим, более вероятным источником биогенного газа были глинистые осадки, мадстоуны, образующие прослои в самой песчаной по составу толще нижне-миоценовых отложений. Хотя содержание C_{org} в них не превышает 1,5%, они распространены на значительной площади в Левантийской впадине. При этом значения их водородного индекса не превышают 200-320 мгУВгС_{орг}. При погружении в недра на глубину более 1000 м эти глины могли генерировать большое количество биогенного метана уже при T=30-40°C. Довольно низкий

уровень генерационного потенциала этих «детритных» глин (мадстоунов) может быть связан с преобладанием в ОВ наземных, гумусовых компонентов, что нередко наблюдается в авандельтах крупных рек. Изучение верхнеолигоценовых отложений в северных районах Египта свидетельствует о том, что полоса дельтовых осадков простиралась в это время от западной лопасти современной дельты Нила и побережья Синайского п-ова до границы с Израилем и далее вплоть до устья Афикского каньона. Из этого следует, что на подножии континентального склона, где расположены месторождения Тамар и другие в указанное время находилась авандельта Прото-Нила.

Изучение керна позволило выделить несколько типов фаций, которые наиболее распространены в разрезе продуктивных олигоцен-миоценовых отложений на пл. Тамар. Во времени и пространстве фиксируются определенные изменения в размерности и составе песчаного материала, которые позволяют проследить эволюцию отдельных секторов в структуре подводных конусов выноса (Ortega et al., 2018).

На площади Тамар продуктивными являются 3 песчаных горизонта А, В и С, имеющими в сводовой части складки общий водонефтяной контакт. На месторождениях Танин и Кариш, расположенных к СЗ от Тамар и содержащих газ с примесью конденсата, верхний продуктивный горизонт А образован песками, сохранившимися в виде протяженных линз под локальной поверхностью эрозии. Пески в нижележащем пласте В характеризуются тонкослоистой текстурой, хорошей пористостью и высоким уровнем насыщения газом. Впрочем, толщина его невелика. На площади Кариш добычу газа планируется вести из верхних песчаных пластов горизонта С.

В среднем миоцене депоцентры накопления осадков переместились на запад (Sagy, 2016). К настоящему времени в бассейне Левант доказана продуктивность не только терригенных, но и карбонатных отложений ранне- и среднемиоценового возраста. Речь идет об упомянутой выше биогермной постройке Зохран, расположенной у подножия подводной возвышенности Эратосфена. Верхние 820 м карбонатной толщи, вскрытой при бурении скв. Зохран-1, заполнены газом, объем которого достигает 29 трлн куб. фут, что эквивалентно 5,5 млрд баррелей нефти. Месторождение Зохран является первым, открытым в карбонатных породах и крупнейшим газовым месторождением в Средиземноморье. Бурение скв. Онесифорос Вест в экономической зоне о. Кипр подтвердило значительные перспективы открытия в районе блока Эратосфена крупных залежей УВ (Efthymiou, 2017).

На протяжении позднего миоцена аккумуляция осадков продолжалась главным образом в центральной части впадины, где фиксируются сеть русел и промоин, которые прослеживаются в западном направлении на расстояние более 100 км. Эти русла врезаются в кровлю осадочной толщи на глубину до 1000 м и отмечают начало мессинского кризиса солености, на протяжении которого сформировалась толща эвапоритов. Наиболее мощный разрез солей (до 2 км) фиксируется в западной части впадины, т.е. там, где перед этим наблюдалась эрозия тортонских и более древних осадков (Sagy, 2016).

Вышележащие отложения представлены эвапоритами (толщиной до 1500 м), состоящими, главным образом, из каменной соли с небольшим количеством прослоев ангидрита. В миоценовом разрезе между основанием эвапоритовой толщи и кровлей коллектора присутствуют разбухающие (сметитовые) глины.

Верхний, плиоцен-плейстоценовый нефтегазоносный комплекс является главным объектом для поисков и разведки скоплений УВ в дельте и глубоководном конусе Нила. Он представляет интерес и на континентальном подножии в израильском и ливанском сегментах окраины Леванта. Так, при бурении скважин Ноа-1, Мари Б-1 и др. в 39 км от израильского побережья были обнаружены газонасыщенные пески нижнего плиоцена свиты Яфо, залегающие над мессинской солью. Как полагают, они были отложены мутьевыми потоками, спускавшимися по подводным каньонам Афик и Эль Ариш (Fuhrmann et al., 2011). Это переотложенные кластиты, заполнившие долины и крупные «карманы» в рельефе дна в приустьевой части этих каньонов. Мощность песчаного комплекса Яфо нередко достигает нескольких сотен метров. Так, при бурении скв. Андромеда-1 пройдена 400-метровая толща мелко- и тонкозернистых кварцевых песков, включавших отдельные прослои глинистых осадков. Благодаря 3D сейсмическим профилям и геофизическим исследованиям разреза, вскрытого этой скважиной, удалось детализировать морфологию, строение и особенности образования этой необычной толщи.

При анализе сейсмических материалов, полученных в процессе изучения крупного антиклинального поднятия в оффшорной части дельты Нила, известного как НДОА (NDOA), в верхнеплиоценовой части разреза оконтурены системы подводных долин разной протяженности, получившие названия Сафрон, Скараб, Сербент, Симиан

и Сиенна. Характер сейсмических отражений свидетельствовал о том, что они были заполнены обломочными песчаными осадками. В процессе проведенного бурения в этих отложениях, относящихся к свите Эль Вастани, открыто несколько месторождений газа. Одно из них, Скарабей, расположено в 63 км к СВ от устья крупнейшей в западной части дельты протоки Розетта. В пределах этого месторождения оконтурены пять крупных подводных долин, которые постепенно погружаясь, протягиваются в северном направлении. Средняя толщина осадков, главным образом песков, заполняющих одно из русел, при ширине около 1 км составляет 90 м. В другом русле, которое постепенно расширяется по мере удаления от дельты, мощность осадков не превышает 75 м (Mokhar et al., 2016).

Заключение

Осадочный бассейн Левант расположен на стыке трех тектонических плит: Африканской, Аравийской и Евроазиатской, взаимные перемещения которых обусловили современное тектоническое строение региона. Структурный план формировался на протяжении трех этапов: 1 – рифтогенеза, 2 – существования пассивной окраины на пострифтовой стадии развития, 3 – сжатиями и орогенезом в Сирийском складчатом поясе, вызванными закрытием океана Тетис. В Левантийском регионе выделяются две основные фазы сжатия: позднемиоценовая и миоценовая. Позднемиоценовая фаза отмечена инверсией раннемезозойских сбросов и развитием асимметричных, с большой амплитудой складок, встречающихся в основном у восточного побережья Леванта и на суше. Оligоцен-миоценовая фаза проявилась образованием низко амплитудных складок по всему бассейну, воздыманием и наклоном тектонических блоков в пределах восточной окраины Леванта главным образом на суше, а также в Северо-Левантийском суббассейне.

Перспективы нефтегазоносности в бассейне Левант связаны с тремя верхними осадочно-породными комплексами: карбонатным верхнемиоценовым-эоценовым, карбонатно-терригенным, верхнеолигоцен-нижнемиоценовым, и терригенным, плиоцен-четвертичным. Прогибание земной коры по всему периметру Левантийской впадины, вызванное поступлением огромных масс терригенного материала из дельты Прото-Нила, которая на рубеже олигоцена и миоцена простиралась далеко на север вдоль побережья Синайского п-ова, благоприятствовало формированию пластов песчаных коллекторов в северном и южном суббассейнах (на подножии континентального склона Леванта). В немалой степени оно способствовало и росту рифовых построек на южном и восточном склонах возвышенности Эратосфена. Громкие открытия последних лет в южном суббассейне Левантийской впадины, где в нижнемиоценовых коллекторах терригенного (пл. Тамар, Левиафан и др.) и карбонатного состава (пл. Зохран, Калипсо) выявлены крупные залежи газа, подтвердили высокую перспективность олигоцен-миоценового комплекса отложений.

Литература

Barakat M.K. (2010). Modern geophysical techniques for constructing a 3D geological model on the Nile delta, Egypt. Theses of dissertation. Berlin Technique University, 152 p.

Bowman S., Toothill S.R. (2011). Structural development of the Latakia ridge and adjacent basins based on recent long-offset seismic acquisition offshore Syria. *Conference: New and Emerging Plays in the Eastern Mediterranean*, Abstracts, pp. 78-79.

Bowman S. (2011). Regional seismic interpretation of the hydrocarbon prospectivity of offshore Syria. *GeoArabia*, 16(3), pp. 95-124.

Christensen J., Power G. (2013). Formation evaluation challenges in Tamar field, offshore Israel. *SPWLA 54th Annual Logging Symposium*, 12 p.

Efthymiou E. (2017). The Eratosthenes carbonate platform: an explorationist's perspective. *Abstracts of ILP-conference*, Limassol, Cyprus.

Esestime P., Hewitte A., Hodgson N. (2016). Zohr – a newborn carbonate play in the Levantine basin, East-Mediterranean. *EAGE. First break. Unconventionals and carbon capture and storage*, 34, pp. 87-93.

Fuhrmann A., Weimer P., Bouroulec R. et al. (2011). Origin of Lower Pliocene-Pleistocene remobilized deep-water mounded deposits, Yafo formation, Levantine basin, SE Mediterranean sea. *Symposium: New and emerging plays in the Eastern Mediterranean*, Abstract, pp. 75-76.

Furstenau J., Hawie N., Comstock J. et al. (2013). Aspects of the depositional history of the Levant basin, offshore Cyprus and Lebanon. *Petroleum Geo-Services. Offshore Mediterranean Conference*, Ravenna, Italy.

Gardosh M., Druckman Y., Buchbinder B. et al. (2008). The Oligo-Miocene deep-water system of the Levant basin. *Geological Survey of Israel*, 33, pp. 1-73.

Ghalayini R., Daniel J-M., Homberg C. et al. (2014). Impact of Cenozoic strike-slip tectonics on the evolution of the northern Levant basin (offshore Lebanon). *Tectonics. AGU publications. American geophysical union*, 22 p. <https://doi.org/10.1002/2014TC003574>

Gvirtzman Z., Buchbinder B. (1977). The Late Tertiary of the coastal plain and continental shelf of Israel and its bearing on the history of the Eastern Mediterranean. *Initial reports of the deep sea drilling projects*, vol. 42, pp. 1195-1222. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.42-2.160.1978>

Gvirtzman Z., Csato I., Granjeon D. (2014). Constraining sediment transport to deep-marine basins through submarine channels: the Levant basin in the Late Cenozoic. *EGU General Assembly. Geophysical research abstracts*, 16, p. 1468. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.10.010>

Hawie N., Gorini C., Deschamps R. et al. (2013). Tectono-stratigraphic evolution of the northern Levant basin (offshore Lebanon). *Marine and petroleum geology*, 48, pp. 392-410. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.08.004>

Hawie N. (2014). Architecture, geodynamic evolution and sedimentary filling of the Levant basin: a 3D quantitative approach based on seismic data. Dissertation on Earth sciences. University Pierre et Marie Curie VI.

Homberg C., Barrier E., Mroueh M. et al. (2010). Tectonic evolution of the central Levant domain ((Lebanon) since Mesozoic time. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 341, pp. 245-268. <https://doi.org/10.1144/SP341.12>

May P.R. (1991). The Eastern Mediterranean basins: evolution and oil habitat. *AAPG Bulletin*, 75, pp. 1215-1232. <https://doi.org/10.1306/0C9B2911-1710-11D7-8645000102C1865D>

Mokhar M., Saad M., Selim S. (2016). Reservoir architecture of deep marine slope channel, Scarab field, offshore Nile Delta, Egypt: application of reservoir characterization. *Egyptian journal of petroleum*, 25, pp. 495-508. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.11.003>

Ortega J., Hebert R., Gellman Y. (2018). The dynamic Tamar reservoir – insights from five years of production. *Scientific Conference: Eastern Mediterranean – an emerging major petroleum province*, Abstracts, Burlington house, pp. 48-49.

Sagy Yael. (2016). Tectono-sedimentary processes in the deep Levant basin. Dissertation. Tel-Aviv university, 136 p.

Skipke C. (2011). Regional Geological Understanding Offshore Cyprus and Lebanon from Interpretation of Dual-sensor Streamer Data. SPE142290, 19 p. <https://doi.org/10.2118/142290-MS>

Steinberg J., Gvirtzman Z., Folkman Y. et al. (2011). Origin and nature of the rapid late Tertiary filling of the Levant basin. *Geological society of America*, 39(4), pp. 355-358. <https://doi.org/10.1130/G31615.1>

Сведения об авторах

Александр Иванович Кониухов – доктор геол.-мин. наук, профессор, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

E-mail: konyuhov@geol.msu.ru

Вадим Феоатович Шарафутдинов – доктор геол.-мин. наук, начальник отдела, ООО «ЛУКОЙЛ-инжиниринг».

Российская Федерация, 109028, Москва, ул. Покровский бульвар, д. 3, стр.1

E-mail: Vadim.Sharafutdinov@lucoil.com

Василий Викторович Калабин – ведущий специалист, ООО «ЛУКОЙЛ-инжиниринг»

Российская Федерация, 109028, Москва, ул. Покровский бульвар, д. 3, стр.1

E-mail: Vasiliy.kalabin@lucoil.com

Статья поступила в редакцию 11.03.2019;

Принята к публикации 29.04.2019; Опубликована 20.05.2019

IN ENGLISH

Geological structure, sedimentary environments and oil and gas potential of Oligocene-Miocene and Pliocene-Pleistocene deposits in the Levant basin

A.I. Konyukhov^{1}, V.F. Sharafutdinov², V.V. Kalabin²*

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²Lukoil-Engineering, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Alexander I. Konyukhov, e-mail: konyuhov@geol.msu.ru

Abstract. An extensive sedimentary-rock basin is located within the continental margin of the Levant, where, since 2008, numerous natural gas fields have been discovered, including Tamar, Tannin, Dalit and Leviathan in the offshore zone of Israel, and Aphrodite in the zone of economic interests of Cyprus. Deposits of biogenic methane, located in the deep-water Levantine depression, are confined to terrigenous sandstones of late Oligocene-Early Miocene age. The discovery of another gas field Zohr in 2015 in the area of the underwater uplift of Eratosthenes caused a real boom among petroleum geologists. The fact is that natural gas deposit with reserves of about 30 trillion cubic feet is not in the terrigenous, but carbonate reservoir of the reef genesis,

which opens significant prospects for the discovery of new large gas accumulations in the area of this major uplift. All the above-mentioned deposits are located in the same range of sea depths (1600-2000 m) in the propagation zone of the Messinian evaporites, that serves as a regional screen. An analysis of the materials currently published suggests that in the epochs of the sediments formation in which gas deposits are located, the depths of the seabed in the southern regions of the Levant depression were significantly lower compared to modern ones. Currently, there is no doubt that in the Levant region there is the largest gas-bearing basin in the Mediterranean region, with gas reserves of several hundred trillion cubic feet.

Key words: Levant basin, seamount Eratosthenes, biogenous gas accumulations, terrigenous and carbonate reservoirs, Messinian evaporites

Recommended citation: Konyukhov A.I., Sharafutdinov V.F., Kalabin V.V. (2019). Geological structure, sedimentary environments and oil and gas potential of Oligocene-Miocene and Pliocene-Pleistocene deposits in the Levant basin. *Georesursy = Georesources*, 21(2), pp. 80-93. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.80-93>

References

- Barakat M.K. (2010). Modern geophysical techniques for constructing a 3D geological model on the Nile delta, Egypt. Theses of dissertation. Berlin Technique University, 152 p.
- Bowman S., Toothill S.R. (2011). Structural development of the Latakia ridge and adjacent basins based on recent long-offset seismic acquisition offshore Syria. *Conference: New and Emerging Plays in the Eastern Mediterranean*, Abstracts, pp. 78-79.
- Bowman S. (2011). Regional seismic interpretation of the hydrocarbon prospectivity of offshore Syria. *GeoArabia*, 16(3), pp. 95-124.
- Christensen J., Power G. (2013). Formation evaluation challenges in Tamar field, offshore Israel. *SPWLA 54th Annual Logging Symposium*, 12 p.
- Efthymiou E. (2017). The Eratosthenes carbonate platform: an explorationist's perspective. *Abstracts of ILP-conference*, Limassol, Cyprus.
- Esestine P., Hewitte A., Hodgson N. (2016). Zohr – a newborn carbonate play in the Levantine basin, East-Mediterranean. *EAGE. First break. Unconventionals and carbon capture and storage*, 34, pp. 87-93.
- Fuhrmann A., Weimer P., Bouroullac R. et al. (2011). Origin of Lower Pliocene-Pleistocene remobilized deep-water mounded deposits, Yafo formation, Levantine basin, SE Mediterranean sea. *Symposium: New and emerging plays in the Eastern Mediterranean*, Abstract, pp. 75-76.
- Furstenau J., Hawie N., Comstock J. et al. (2013). Aspects of the depositional history of the Levant basin, offshore Cyprus and Lebanon. *Petroleum Geo-Services. Offshore Mediterranean Conference*, Ravenna, Italy.
- Gardosh M., Druckman Y., Buchbinder B. et al. (2008). The Oligo-Miocene deep-water system of the Levant basin. *Geological Survey of Israel*, 33, pp. 1-73.
- Ghalayini R., Daniel J-M., Homberg C. et al. (2014). Impact of Cenozoic strike-slip tectonics on the evolution of the northern Levant basin (offshore Lebanon). Tectonics. *AGU publications. American geophysical union*, 22 p. <https://doi.org/10.1002/2014TC003574>
- Gvirtzman Z., Buchbinder B. (1977). The Late Tertiary of the coastal plain and continental shelf of Israel and its bearing on the history of the Eastern Mediterranean. *Initial reports of the deep sea drilling projects*, vol. 42, pp. 1195-1222. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.42-2.160.1978>
- Gvirtzman Z., Csato I., Granjeon D. (2014). Constraining sediment transport to deep-marine basins through submarine channels: the Levant basin in the Late Cenozoic. *EGU General Assembly. Geophysical research abstracts*, 16, p. 1468. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.10.010>
- Hawie N., Gorini C., Deschamps R. et al. (2013). Tectono-stratigraphic evolution of the northern Levant basin (offshore Lebanon). *Marine and petroleum geology*, 48, pp. 392-410. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.08.004>
- Hawie N. (2014). Architecture, geodynamic evolution and sedimentary filling of the Levant basin: a 3D quantitative approach based on seismic data. Dissertation on Earth sciences. University Pierre et Marie Curie VI.
- Homberg C., Barrier E., Mroueh M. et al. (2010). Tectonic evolution of the central Levant domain ((Lebanon) since Mesozoic time. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 341, pp. 245-268. <https://doi.org/10.1144/SP341.12>
- May P.R. (1991). The Eastern Mediterranean basins: evolution and oil habitat. *AAPG Bulletin*, 75, pp. 1215-1232. <https://doi.org/10.1306/0C9B2911-1710-11D7-8645000102C1865D>
- Mokhar M., Saad M., Selim S. (2016). Reservoir architecture of deep marine slope channel, Scarab field, offshore Nile Delta, Egypt: application of reservoir characterization. *Egyptian journal of petroleum*, 25, pp. 495-508. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.11.003>
- Ortega J., Hebert R., Gellman Y. (2018). The dynamic Tamar reservoir – insights from five years of production. *Scientific Conference: Eastern Mediterranean – an emerging major petroleum province*, Abstracts, Burlington house, pp. 48-49.
- Sagy Yael. (2016). Tectono-sedimentary processes in the deep Levant basin. Dissertation. Tel-Aviv university, 136 p.
- Skiple C. (2011). Regional Geological Understanding Offshore Cyprus and Lebanon from Interpretation of Dual-sensor Streamer Data. SPE142290, 19 p. <https://doi.org/10.2118/142290-MS>
- Steinberg J., Gvirtzman Z., Folkman Y. et al. (2011). Origin and nature of the rapid late Tertiary filling of the Levant basin. *Geological society of America*, 39(4), pp. 355-358. <https://doi.org/10.1130/G31615.1>

About the Authors

Aleksandr I. Konyukhov – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation
E-mail: konyuhov@geol.msu.ru

Vadim F. Sharafutdinov – DSc (Geology and Mineralogy), Head of the Department, Lukoil-Engineering
3, build. 1, Pokrovskiy boul., Moscow, 109028, Russian Federation
E-mail: Vadim.Sharafutdinov@lucoil.com

Vasily V. Kalabin – Leading Specialist, Lukoil-Engineering
3, build. 1, Pokrovskiy boul., Moscow, 109028, Russian Federation
E-mail: Vasily.kalabin@lucoil.com

Manuscript received 11 March 2019;
Accepted 29 April 2019; Published 20 May 2019