

Высокоточное датирование формации Shuaiba с помощью известковистых ископаемых микроорганизмов. High resolution age dating of the Shuaiba Formation by means of calcareous nannofossils.

Andrew M. Gombos, Jr.,^{1*} Christian J. Strohmenger² и T.C. Huang³ проводят исследовательские работы по датировке геологического возраста формации Shuaiba в Abu Dhabi, используя в качестве показателей известковистые ископаемые микроорганизмы.

Формация Shuaiba – самый верхний комплекс в Thamama Group. Она является самым богатым нефтяным коллектором на месторождении А (рис. 1) и частью разреза второго порядка, которая охватывает последовательные напластования от Валанжинского до Аптского ярусов (Sharland et al., 2001). Она перекрыта породами формации Nahr Umr, которые образуют региональную ловушку. Литологически коллектор Shuaiba охватывает условия платформы, окраины, склона и бассейна (рис. 1). Поэтому номенклатура литостратиграфии в региональном плане изменяется. Это подчеркивает необходимость региональной системы стратиграфической последовательности, основанной на хроностратиграфических данных (Yose, et al., 2006). Дополнительно к стратиграфическому исследованию Yose et al. (2006), были предприняты исследования биостратиграфических показателей, которые могли бы дать более точное ограничение возраста для формации Shuaiba.

Аптский возраст занимает длительный интервал времени в формации Shuaiba в Abu Dhabi (Alsharhan 1985; Owen and Nasr, 1958). Его определение было главным образом основано на присутствии ископаемых остатков аптского возраста, таких как рудисты, более крупные бентические фораминиферы (например, Orbitolina и Choffatella), и палиноморфы. Однако, мелкомасштабные стратиграфические подразделения комплекса и более точные возрасты верхней и нижней границ находятся за пределами разрешающей способности. Более крупные бентические фораминиферы и палиноморфы являются зачастую превосходными палеоклиматическими показателями. Однако, их зачастую ограниченное палеогеографическое распространение и более широкий временной диапазон делают их менее оптимальными показателями, чем зональные ископаемые остатки. Другие группы ископаемых остатков, такие как известковистые ископаемые микроорганизмы, хорошо датируются по корреляции с палеомагнитной временной шкалой и зачастую обеспечивают более подробную зональность, чем другие группы. Недавние исследования уточнили возрасты мезозойских ярусов, и мы используем временную шкалу и периодический график Hardenbol et al. (1998) как ориентир.

Биостратиграфия и стратиграфическая последовательность

Новое и вызывающее интерес открытие известковистых ископаемых микроорганизмов в клиноформах нижнего этажа и трансгрессивных системах трактует допустимую датировку формации Shuaiba более точно, чем это было ранее возможно. Тщательное рассмотрение отчета неизвестной внутренней компании, выявило несколько фотографий SEM карбонатных частиц коллектора по скважине Well-3 в стратиграфическом интервале Shuaiba (Rudolph, 1984). Они показывают четкие

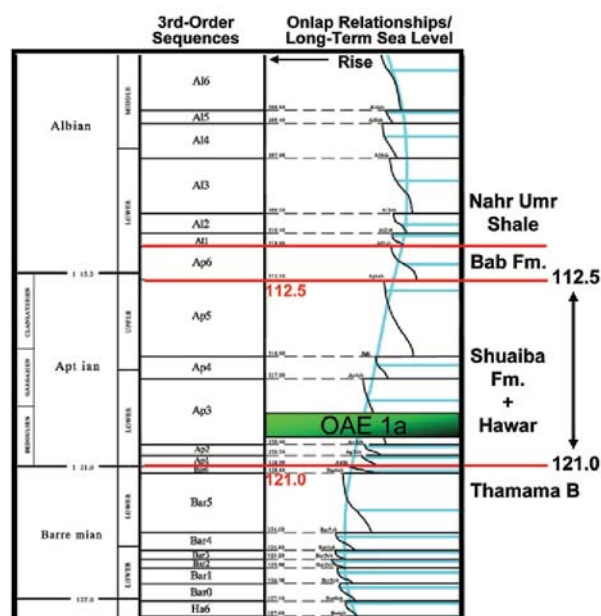


Рис. 1 Возраст формации Shuaiba. Глобальная карта периодов для нижнего мела ExxonMobil (Hardenbol et al., 1998) является хроностратиграфической ссылкой, использованной в этой работе.

изображения известковистых ископаемых микроорганизмов между частицами (рис. 2). Известковистые ископаемые микроорганизмы являются ценными биостратиграфическими показателями, так как они являются планктонными и, таким образом, имеют почти глобальное распространение. Их обычно много, когда существуют и имеют хорошо определенные стратиграфические диапазоны данные их возникновения и вымирания, обычно связанные с магнитной временной шкалой. Немало их повреждено при бурении. Поэтому они представлены в основном в условиях открытого моря, где их можно обычно обнаружить в глинистых сланцах или глубоководных отложениях. Известковистые ископаемые микроорганизмы являются фотосинтетическими, предпочитающими верхнюю освещенную зону для проживания. Хотя их много в морских пелагических осадках, они могут разрастаться в прибрежных условиях, если океаническая циркуляция является благоприятной. Уникальное положение месторождения А на краю глубоководного бассейна с хорошо развитыми клиноформами, снабжающими его, обеспечивает предельно допустимую, но все-таки достаточно соответствующую среду обитания для роста и сохранения известковистых ископаемых микроорганизмов.

¹ ExxonMobil Production Company (EMPC).

² Abu Dhabi Company for Onshore Oil Operations (ADCO).

³ ExxonMobil Exploration Company (EMEC).

* Corresponding author, E-mail: andrew.gombos@exxonmobil.com.

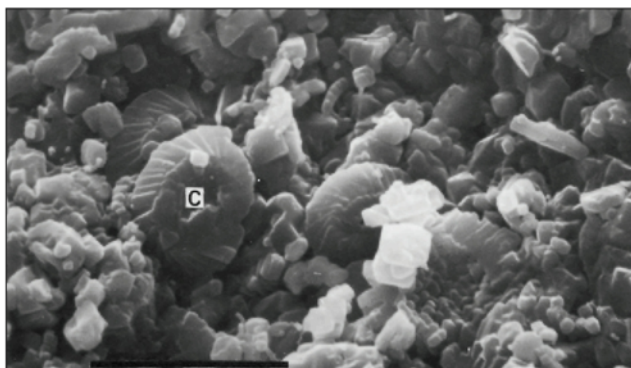


Рис. 2 Хорошо сохранившийся кокколлит (С) в плотных фациях мела. Эта фотография подтверждает присутствие известковистых ископаемых микроорганизмов в Shuaiba. (Rudolph, 1984).

Четыре образца были отобраны из одного и того же комплекса, в котором были идентифицированы известковистые ископаемые микроорганизмы по микрофотографическим снимкам. Они были проанализированы по содержанию ископаемых микроорганизмов. Результаты были обнадеживающими, так как представлено много ископаемых микроорганизмов, диагностирующих возраст. Понимание последовательно закрепленных условий осадконакопления пород позволило нам предсказать другие интервалы открытой воды, которые содержали известковистые ископаемые микроорганизмы. Образцы ископаемых микроорганизмов были отобраны на основании предположения, что тонкозернистые осадки, составляющие половину каждого комплекса последовательности, соответствовали более изолированным (бессточным) условиям открытого бассейна. Предложено расширенное исследование, и были отобраны образцы из ядра скважин Well-1, Well-4, Well-5, и Well-6 месторождения А. Они были проанализированы и включены в исследование.

Недавно (2000-2001) трехмерная сейсмика с высокой степенью разрешения по нефтяному месторождению дала возможность стратиграфам создать последовательно закрепленную стратиграфическую систему для аптского яруса. Система содержит пять периодов третьего порядка и до 16 периодов четвертого порядка. Последовательности третьего порядка и много последовательностей четвертого порядка выявлены по трехмерным сейсмическим данным с высокой степенью разрешения.

Однако, до настоящего исследования нельзя было сказать с убежденностью, как эти последовательности коррелируют с шкалой абсолютного времени. Необходимы были биостратиграфические данные, чтобы привязать последовательности третьего порядка к периодическому графику и временной шкале Hardenbol et al. (1998).

Более обширное комплексное сейсмостратиграфическое исследование Shuaiba (Yose et al., 2006) подразделяет Shuaiba на шесть осадочных последовательностей третьего порядка (рис.4). Это подразделение основано главным образом на сейсмической стратиграфии. Осадочные последовательности решили объединить с аптскими (терминология Ap; меньший номер соответствует более древнему возрасту) последовательностями Sharland et al. (2001). Начальная последовательность в этой серии, последовательность 1 совпадает с Ap2; последовательности 2 и 3 с Ap3; последовательность 4 с Ap4 и последовательность 5 с Ap5 (рис. 4).

Последовательности 4 (Ap4) и 5 (Ap5) имеют одинаковую архитектуру, фации и качество коллектора (Yose et al., 2006). Они являются частью большего, более раннего высокого стояния моря второго порядка, и каждая содержит тракты низкого стояния моря (LST), трансгрессивные тракты (TST), и тракты высокого стояния моря (HST). В каждой из этих последовательностей от LST до TST периоды сменяются HST периодом. LST – TST являются нечистыми и плотными и, предполагается, отложены в условиях верхнего (до среднего) склона. Период HST более зернистый и обычно развивает клиноформы с малым углом, которые продвигаются в бассейны. Плотные фации LST – TST дают ключ к определению возраста в данном случае, ибо они являются фациями, которые содержат известковистые ископаемые микроорганизмы. Биостратиграфические возрасты, определенные по образцам ядра в последовательностях этой системы, подтверждают возрасты сейсмических последовательностей, которые являются такими, как аптские последовательности, определенные Hardenbol et al. (1998), (рис. 2 и 6).

Краткие выводы по анализу

Содержание и сохранность ископаемых микроорганизмов меняется в исследованных образцах (рис. 5). Только скважина Well-3 имеет достаточную для систематического анализа информацию по образцам.

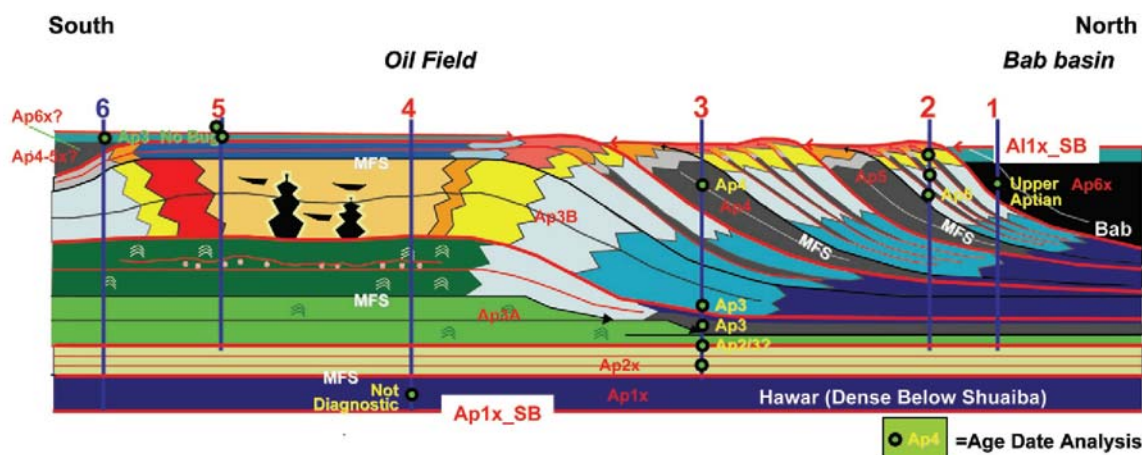


Рис. 3 Система последовательностей с моделью возраста, добавленной новыми возрастными датировками по ископаемым микроорганизмам (Yose et al., 2006). Новые данные возраста подтверждают корреляции с глобальным графиком периодов для последовательностей Ap3A/B, Ap4 и Ap5. Данные возраста для последовательностей Ap 1x, 2x и 6x еще не подтверждены, и поэтому поставлен индекс "х", указывающий неопределенность (Yose et al., 2006).

Геология нефти

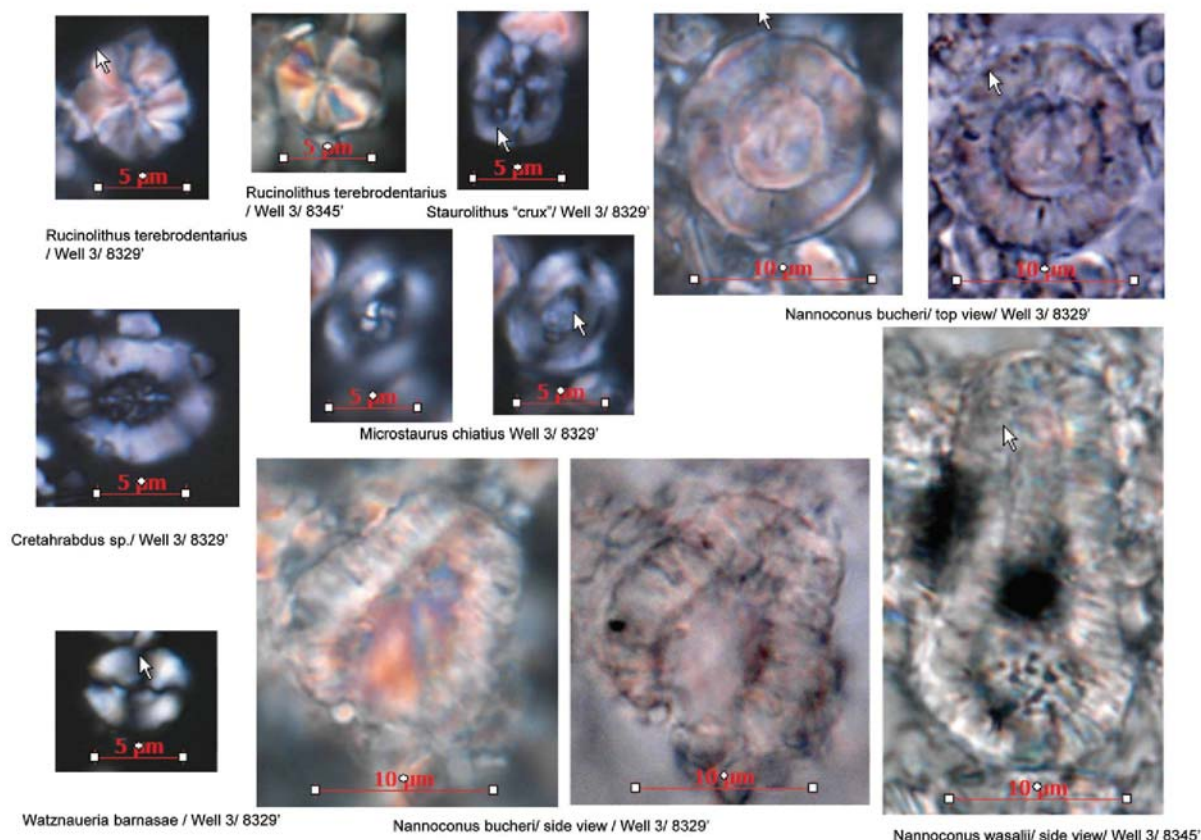


Рис. 4 Характерные известковистые ископаемые микроорганизмы по Shuaiba.

Зарегистрированные биоэвенты (случаи наличия ископаемых микроорганизмов) учитывают присутствие микрофлоры и позволяют нам с высокой степенью достоверности прокоррелировать изучаемый разрез с имеющейся системой стратиграфической последовательности (Hardenbol et al., 1998). Изучение отдельных образцов по скважинам Well-1 и Well-5, однако, дает некоторые дополнительные возрастные ограничения, и обсуждается ниже. В скважинах Well-4 и Well-3 образцы плохо сохранены или не содержат окаменелостей. Образцы керна, занесенные в список, были детально изучены по содержанию ископаемых микроорганизмов. Значения отмеченных разновидностей и положение по времени других приведены графически на рис. 5.

Среднемеловые эвенты ископаемых микроорганизмов и биоостратиграфическая система

Биостратиграфические эвенты по позднему Barremian до Альба приведены на рис. 5. Большинство приведенных эвентов ископаемых микроорганизмов отмечены на графике относительно общепринятой карты европейского бассейна (European basin standard chart) (Hardenbol et al., 1998). Дополнительно к существующим на карте зарегистрировано несколько скоплений признаков и эвентов, документированных в литературе (Erba, 1994; Jeremiah, 1996), (рис. 6).

Для аптского яруса, к которому относится Shuaiba, зарегистрированы и даны возрастные ограничения следующих эвентов.

© 2008 EAGE www.firstbreak.org

Микроконидный перелом (Nannoconid crisis)

Среднемеловой плактон, сохраненный в морских осадках, содержит важную информацию о том, как морская биосфера отреагировала на кратковременные и длительные изменения в климате океанической системы. Начиная с апта возрастающий донный спрединг вызвал активный вулканизм, который внес вклад в повышение мирового уровня моря из-за парникового эффекта и в глобальное потепление климата (Bralower and Cashman, 2002).

Микроконидный кризис (перелом), датированный 120.10 Ma, хорошо документирован в глобальном масштабе (Erba, 1994, 1999; Bralower, et al, 1999). Существует значительное изменение микрофлоры, при котором микрокониды (нанококиды) редко встречаются и представлены формами, такими как *Nannoconus bucheri*, *Nannoconus circularis* и *Nannoconus truitti*, которые имеют широкий центральный канал. Ниже этого эвента микрокониды являются обыкновенными и представлены формами, такими как *Nannoconus steimanni* и их родственные типы, которые имеют узкий канал. Этот глобально коррелируемый эвент предшествует Океаническому бескислородному эвенту 1a (Oceanic Anoxic Event 1a) (OAE1a) и рассматривается синхронно с раннеаптскими вулканическими извержениями (Erba, 1994). Он представляет самый ранний отклик микроископаемой популяции на парниковый эффект в среднем мелу в силу чрезмерного уровня двуокиси углерода в атмосфере. Микрокониды интерпретируются как глубоководные обитатели, обитающие в нижней эуфотической зоне. Ускоренное перемещение питательного вещества от континентов в океаны в теплых и влажных условиях парникового климата делает поверхностные воды более слоистыми и с более мелководными слоями с питательной средой (уровень, где

Скважина 1		
8537.8-8658.3'	Размах выборки (пять образцов керна)	
	8537.80'	
	8548' (непродуктивный)	
	8588'	
	8635.3'	
	8658.3'	
Скважина 2		
8411.5'-8576.5'	Размах выборки (восемь образцов керна)	
	8411.5' (непродуктивный)	
	8414' (непродуктивный)	
	8464' (непродуктивный)	
	8471' (непродуктивный)	
	8526.5' (непродуктивный)	
	8529.5' (непродуктивный)	
	8534.5'	
	8576.5'	
Скважина 3		
8148'-8428'	Размах выборки (27 образцов керна)	
	8148'	8210' (непродуктивный)
	8215'	8225'
	8233' непродуктивный)	8249'
	8256.5'	8261.5'
	8270'	8280'
	8288.5'непродуктивный)	
	8294.5'	8307.5'
	8320.5'	8329'
	8337'	8342'
	8345'	8347.5'
	8360'	8372'
	8380.5'непродуктивный)	8392.5'
	8397'	8415.5'
	8428' непродуктивный	
Скважина 4		
8554.4'-8590.1'	Размах выборки (3 образца керна)	
	8554.4'	
	8558.8'	
	8590.1' (непродуктивный)	
Скважина 5		
8590'-8648'	Размах выборки (4 образца керна)	
	8590' (непродуктивный)	
	8630' (непродуктивный)	
	8635' (непродуктивный)	
	8648' (непродуктивный)	
Скважина 6		
8524.50'	Один образец керна	
	8524.50' (плохо сохранен)	

наибольшая концентрация питательной среды). «Микроконидный перелом» вызван неудачей (провалом) соперничества микроконидов с другими микропланктонными группами, которые обитали предпочтительно в верхней эуфотической зоне в малоглубинной воде.

Океанический бескислородный интервал 1a (Oceanic Anoxic Event (OAE) 1a

Сразу после «микроконидного перелома» концентрация питательной среды в верхней эуфотической зоне вызывает чрезвычайно высокую, имеющую первостепенное значение продуктивность планктона и отложение органических углеродообогащенных осадков. Органические углеродообогащенные осадки представляют первый Океанический бескислородный интервал 1a и широко зарегистрированы в Tethys, Mexico, Pacific Ocean, и Северном и Южном Атлантическом океанах. Органически обогащенные осадки, неофициально называемые «черными сланцами», достаточно хорошо совпадают с пространством максимальной трансгрессивной системы последовательности Ap3 (Hardenbol et al., 1998). Максимальный пик бескислородных условий этого интервала коррелируется с максимальным затоплением поверхности последовательности Ap3 (Ap3_mfs).

Микрофлора черных сланцев OAE1a характеризуется большим обилием *Rucinolithus terebrodentarius* и *Assipetra infracretacea*, и обычно низким содержанием микроконидов, отражая микропланктонную конкуренцию (борьбу за существование) в мезотропических условиях (mesotrophic conditions) (Erba, 1994; Erba et al., 1999).

Кульминационная точка *Nannoconus truitii*

«Микроконидный кризис», продолжавшийся в течение интервала OAE1a, был повсеместно. В результате микрокониды переустановили свою популяцию, унаследовав виды с широким каналом. В течение «кризиса» *Nannoconus bucheri* и *Nannoconus circularis* представляют микрокониды с широким каналом. Первый значительный сигнал этой группы видов, однако, обнаружен пока не намного выше первого проявления *Eprolithus floralis*. Изменение (опрокидывание – turnover) скопления микроконидов от преобладающих *Nannoconus bucheri* до преобладающих *Nannoconus truitii* хорошо задокументировано (Erba, 1994) и датировано возрастом 116.74 Ma (Hardenbol et al., 1998). Он маркирует восстановление популяции ископаемых микроорганизмов после так называемого «кризиса». Оно оставило доминирующие виды микроконидов. Конец кульминационного периода определяется при возрасте 115.11 Ma (Hardenbol et al., 1998).

Биостратиграфические выводы

Скважина Well-1

Проанализировано пять образцов, из которых один не содержит окаменелостей. Скопления микрофлоры характеризуются проявлением *Nannoconus truitii*. В образце на 9635.3' *Nannoconus truitii* обычные и ассоциируются с *Nannoconus quadriangulus*, видами, подтверждающими позднее аптский (Ap5 до Ap6). Отсутствие *Nannoconus bucheri* и родственных им видов во всех исследованных образцах в этой скважине подтверждает установленный возраст.

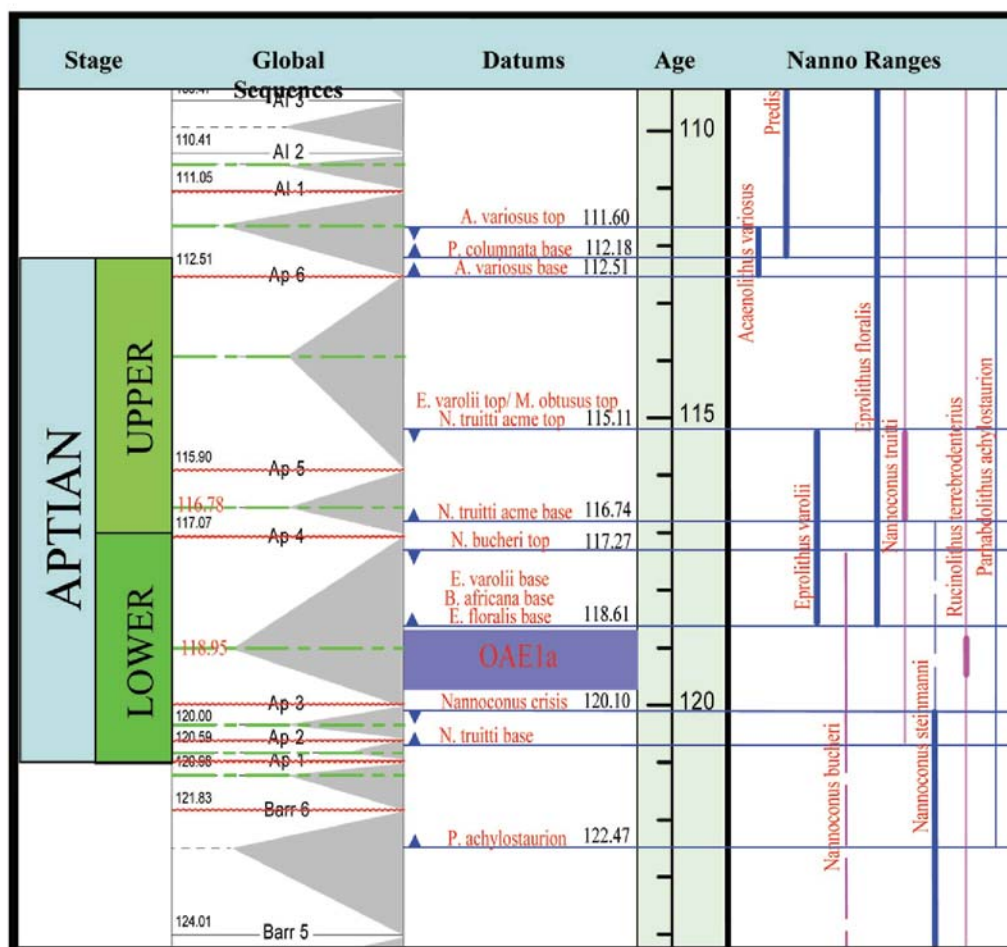


Рис. 5 Детали биостратиграфических диапазонов, океанические интервалы и стратиграфическая последовательность.

Скважина Well-2

Проанализировано восемь образцов. Шесть из них в основном из фаций сцементированной/объединенной в группу породы (boundstone/packstone) не содержат окаменелостей. Два образца, отобранные из ваккита, один на 8534.5', другой на 8576.5', содержат очень редкие и плохо сохранные ископаемые микроорганизмы. Образец на 8534.5' содержит *Nannoconus truiti*. Так как *Nannoconus bucheri* отсутствует, она помещена в позднее аптскую последовательность Ar5 (рис. 5).

Скважина Well-3

Из этой скважины проанализировано двадцать семь образцов. За исключением интервала от 8148' до 8215', изученный интервал был плотно представлен образцами и имеет самое лучшее представление среди всех изученных скважин. Хорошая последовательность микрофлоры позволяет нам с высокой степенью надежности увязать изученный разрез с общепринятой стратиграфической последовательностью Европейского бассейна (Hardenbol et al., 1998). Установлены и ниже описаны эвенты ископаемых микроорганизмов по образцам от самых глубоких до самых мелководных:

Микрокониды (nannoconids) с узким каналом – *Nannoconus steinmanni* и их близкие родственные виды, которые являются обычными ниже так называемого микроконидного перелома ('nannoconid crisis'), в этой скважине отсутствуют. Представитель микроконидов с

широким каналом – *Nannoconus bucheri* имеет стратиграфически самое низкое проявление на 9397'. Оно показывает, что этот отдельный образец все еще стратиграфически выше «микроконидного перелома» ('nannoconid crisis'), эвент которого определяется при возрасте 120.10 Ма в верхней части последовательности Ar2. К сожалению, ископаемые микроорганизмы, обнаруженные в двух образцах под этим горизонтом, один на 8415.5', другой на 8428', не диагностированы по возрасту. Это проинтерпретировано как то, что «микроконидный перелом» ('nannoconid crisis') не прошел через эту скважину. График концентрации ископаемых микроорганизмов показывает, что интервал от 8337' до 8347.5' содержит более всего окаменелостей в этой скважине. Он совпадает с аргиллитовыми фациями ваккита. Примечательно, что интервал содержит большее количество *Rucinolithus terebrodentarius*, особенно в образцах на 8337' и 8347.5'. Этот совокупный сигнал охарактеризован как диагностический для бескислородного интервала раннего апта (Erba, 1994). Таким образом, эти аргиллитовые фации вероятно коррелируются с «черными сланцами» Selli в Tethys и, следовательно, с глобальным Океаническим бескислородным интервалом 1a (Oceanic Anoxic Event 1a) (Erba, 1994). В границах возможных погрешностей он также коррелируется с максимальным затоплением поверхности Ar3 (Ar3_MFS) (рис. 5).

Nannoconus bucheri проявляется в некоторой степени последовательно от 9397' по направлению вверх до 8225'. Изменение скопления микроконидов от доминирующих *Nannoconus bucheri* до доминирующих *Nannoconus truitti* зарегистрировано между образцами на 8215' и 8225'. Образцы на 8148' и 8215' имеют микрокониды с широким каналом, которые представлены *Nannoconus truitti*. Основание кульминации *Nannoconus truitti* (определенное при 116.74 Ma) вероятно имеет место между 8124' и 8210', внутри фаций не представленного образцами ваккита/плотного аргиллита. Граница последовательности Ap4 (Ap4_SB) помещается на 8194' по каротажной диаграмме, базируясь на вышеупомянутых биостратиграфических проверках.

Скважина Well-4

Проанализировано только три образца, из которых один на 8590' не представлен окаменелостями. Скопления ископаемых микроорганизмов, выявленные по двум другим образцам (на 8554.4' и 8555.8'), плохо сохранены и не диагностированы по возрасту.

Скважина Well-5

Проанализировано только четыре образца. Все они лишены окаменелостей.

Скважина Well-6

Из этой скважины отобран для анализа только один образец. Проявленное скопление ископаемых микроорганизмов характеризуется присутствием *Nannoconus circularis*, виды микроконидов с широким каналом изредка обнаружены в других образцах, проанализированных в этой работе. Дополнительно к *Nannoconus circularis* также зарегистрирована *Nannoconus bucheri*. Обнаружения последней, однако, редки.

Выводы

Соответствующие, вероятно, мелководным палео условиям окружающей среды и постседиментационному диагенезу, скопления ископаемых микроорганизмов в изученных образцах имеют низкое содержание и разнообразие микроорганизмов и плохо сохранены. Множество признаков, которые обычно зарегистрированы в глубоководных осадках, отсутствуют или появляются спорадически. Только три вида, *Nannoconus bucheri*, *Nannoconus truitti* и *Rucinolithus terebrodentarius*, регионально использованы. Они все являются стойкими к диагенезу. Чтобы усилить степень стратиграфического разрешения, отбор образцов для последующего изучения в этой области необходимо сконцентрировать на поверхностях затопления, которые образовались в относительно более глубоководных и более пелагических условиях. Это повысит шансы для выявления большего числа признаков.

Дополнительно к точкам вымирания, традиционно используемым в биостратиграфической зональности, должны быть приняты и выверены со стратиграфической последовательностью совокупность изменений и морфологические направления групп диагностических видов, которые подвержены влиянию климатических изменений, или связаны с океанографическими условиями. Много океанических бескислородных интервалов в среднем мелу, таких как OAE1a (ранний апт), OAE1b (ранний Альб) и OAE2 (сеноман-туронский переходный период) оказали глобальное воздействие на эволюцию планктона

(Leckie et al., 2002). Биостратиграфические интервалы, видообразование, вымирание и множество изменений, аналогичных выявленным в скважине Well-3, послужат признаками, которые позволяют провести детальную корреляцию последовательностей и распознавание региональных органических углеводородо-обогащенных «глинистых сланцев», имеющих отношение к глобальным бескислородным интервалам.

Для изображения биостратиграфических интервалов и установления планктонной последовательности необходим систематический отбор образцов с небольшим интервалом отбора. Контроль единичной пробы, выполненный в этой работе, может соответствовать некоторому возрастному контролю, но не поможет при детальной корреляции последовательности.

Благодарности

Мы хотели бы выразить признательность компаниям Abu Dhabi Company for Onshore Oil Operations (ADCO, Abu Dhabi) (компания Абу Даби по прибрежным нефтяным работам), Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC, Abu Dhabi) (Абу Даби национальная нефтяная компания) и ExxonMobil Exploration Company (EMEC, Houston) и ExxonMobil Production Company (EMPC, Houston) за разрешение опубликовать эту статью.

Литература

- Alsharhan, A.S. [1985] Depositional environment, reservoir units evolution, and hydrocarbon habitat of Shuaiba formation, Lower Cretaceous, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *AAPG Bulletin*, 69(6), 899-912.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M. B., Jacquin, T., de Graciansky, P. C. and Vail, P. [1998] Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of Europe basin. In: Graciansky, P.C. et al. (Eds.) *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. SEPM Special Publication 60, 3-13, charts 1-8.
- Bralower, T. J., CoBabe, E., Clement, B., Sliter, W. V., Osburn, C. L. and Longoria, J. [1999] The record of global changes. In: Mid-Cretaceous (Barremian-Albian) sections from the Sierra Madre, Northeastern Mexico. *Journ. Foram. Research*, 29(4), 418-437.
- Erba, E., [1994] Nannofossils and superplumes: the early Aptian 'nannoconid crisis'. *Paleoceanography*, 9(3), 483-501.
- Jeremiah, J., [1996] A proposed Albian to lower Cenomanian nannofossil biozonation for the England and the North Sea Basin. *Journ. Microaleontology*, 15, 97-129.
- Leckie, R. M., Bralower, T. J. and Cashman, R., [2002] Oceanic anoxic events and plankton evolution - Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, 17(3).
- Owen, R.M.S. and Nasr, S.N. [1958] Stratigraphy of the Kuwait-Basra area, In: Weeks, L.G. (Ed) *Habitat of Oil*. AAPG, 1252-1278.
- Rudolph, K. [1984] *Integrated seismic and lithofacies study of the Shuaiba formation in Abu Dhabi Phase II*. EPR.66ES.84.
- Sharland, P.R., Archer, R. Casey, D.M. Davies, R.B. Hall, S.H., Howard, A.P. Horbury, A.D. and Simmons, M.D. [2001] *Arabian plate sequence stratigraphy*. GeoArabia Special Publication 2, 371 pp.
- Yose, L.A., Ruf, A.S., Strohmenger, C.J., Al-Hosnai, I., Al-Maskary, S., Bloch, G., Al-Mehairi, Y., Schuelke, J., Gombos, A. and Johnson, I.G. [2006] Three-dimensional characterization of a heterogeneous carbonate reservoir, Lower Cretaceous, Abu Dhabi (United Arab Emirates). In: Harris, P.M. and Weber, L.J. (Eds) *Giant hydrocarbon reservoirs of the world: From rocks to reservoir characterization and modeling*. AAPG Memoir 88/SEPM Special Publication, 173-212.