

Ближний Восток

Коса Al Hikman: современный карбонатный аналог обнажения в Омане Ближневосточных Меловых месторождений. Bar Al Hikman: a modern carbonate and outcrop analogue in Oman for Middle East Cretaceous fields

Peter Homewood,¹ Volker Vahrenkamp,² Monique Mettraux,³ Joerg Mattner,⁴ Brigitte Vlaswinkel,⁵ Henk Droste,⁶ и Andy Kwarteng⁷

Современные карбонатные системы и солончаковые пустыни Абу Даби и других мест вдоль Аравийского побережья залива хорошо обоснованы как малоглубинные морские и наземные аналоги местных формаций карбонатов или эвапоритов, таких как Shuaiba или Khuff, но они также десятилетиями успешно использовались в качестве аналогов карбонатно-эвапоритовых формаций по всему миру (Purser & Evans, 1973; Hughes, 1997, AlSharhan and Kendall, 2003). Лежащая на восточном побережье Омана, изолированная на краю Аравийского полуострова, коса Al Hikman также относится к новейшей и современной карбонатно-эвапоритовой системе, которая залегает вблизи берега и на суше (Рисунок 1). Это мало изученная зона, которая в настоящее время находится в процессе изучения (Homewood et al., 2005), становится одним из наиболее полезных аналогов многочисленных рудистоносных Меловых месторождений, как в Омане, так и повсеместно на Ближнем Востоке.

Современная карбонатная обстановка осадконакопления, такая как на Багамах, Белизе, Абу Даби и других районах, всегда привлекала внимание и вызывала энтузиазм геоученых от студентов до ветеранов. Практический контакт, в натуральную величину, с процессами осадконакопления и продуктами, восприятие форм, масштабов, и распределения осадочных фаций несет в себе огромное обучающее значение для тех, кто борется с каждодневными проблемами, относящимися к карбонатным коллекторам в разрезе (Grammer et al., 2004). Балка Al Hikman - относительно небольшой полуостров 30 x 40 км, расположенный на восточном побережье Омана, защищена от ударов Индийского океана островом Masirah, не является исключением из правила. Сама по себе седиментология балки Al Hikman оправдывает посвященное ей исследование, но кроме того 'для птицы, которая осматривает местность в крупном масштабе, балка Al Hikman не имеет аналогов в Омане или Аравии' (Eriksen et al., 2001).

Система косы Al Hikman (Homewood et al., 2005) состоит из эвапоритов, наложенных как на континентальные, так и прибрежные солончаки на полуострове (Mettraux et al., in press), малоглубинных морских карбонатов, которые формируют коралловые рифовые тела, и обильного зернистого карбонатного материала, переработанного летними муссонными штормами и воздействием режима микро приливов в диапазоне 2 м. Осадки откладываются в сложной мозаичной обстановке литорали. Система косы Al Hikman развивалась под воздействием вызванной регрессии в голоцене, с осадками, датированными несколькими тысячами лет от литоральных до лагунных, залегающих с переслаиванием на высоте нескольких метров над современным уровнем моря. На суше, солончаки развиваются в голоценовых вмещающих осадках, которые состоят из смеси мелководных морских карбонатов и силиклатических пород. Вдоль побережья, тонкие, но латерально протяженные современные коралловые постройки явились поставщиком большого количества фрагментов от грубых булыжников до тонкозернистого материала, который был отложен на мелководье и нарастал вдоль береговой линии. Современная система совместно с голоценовыми отложениями являются хорошим аналогом ковра из рудистов и карбонатного песка, которые слагают многие меловые коллекторы на Ближнем Востоке. Кроме прочего можно сравнить ее с формациями Thamama, Shuaiba, Mishrif, и Natih, которые наблюдаются от Омана до стран залива.

Фабрика карбонатов и карбонатные отложения

Современная фабрика карбонатов вдоль берега косы Al Hikman сложена, прежде всего полосками кораллов, которые представляют собой тонкий «шпон» или ковер на скалистом субстрате, в не массивные постройки (Perry and Larcombe 2003), и затем мелководными приливными карбонатными песчаными банками (Рисунок 2). Экспресс съемка рифов вдоль южного побережья показала, что существует два различных типа рифов. Монотипный ковер из *Montipora*

¹ Oman Geo-Consultants, P.O. Box 194, Shatti Al Qurum, Post Code 134, Sultanate of Oman.

² RDD, ADCO, P.O. Box 270, Abu Dhabi, UAE.

³ GeoSolutions (Geosciences and reservoir geochemistry), 9 rue Maubec, 64290 Gan, France.

⁴ GeoTech, Manama Center, Entrance 4, Floor 6, Suite 601, P.O. Box 20393, Manama, Bahrain.
E-mail: GeoTech@batelco.com.bh.

⁵ Carbonate Research Team, Shell International Exploration and Production, Kessler Park 1, 2288 GS Rijswijk, The Netherlands.

⁶ Shell Technology Oman, P.O. Box 74, P.C. 116 Mina Al-Fahal, Sultanate of Oman.

⁷ Remote Sensing and GIS Center, Sultan Qaboos University, P.O. Box 33, Al Khod, Oman.

Ближний Восток

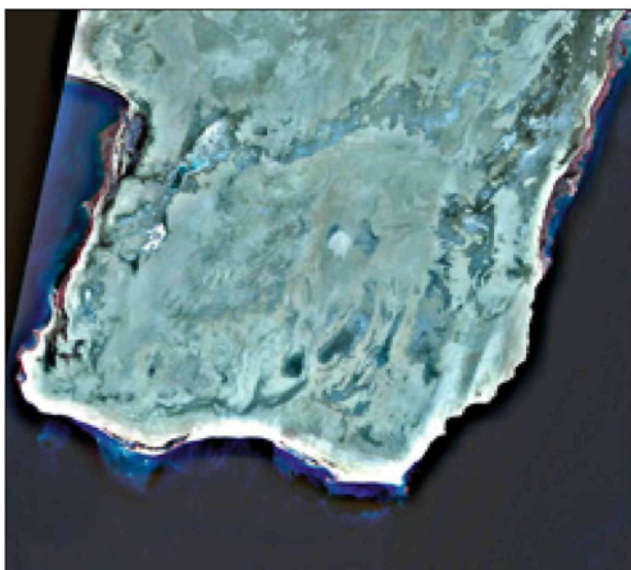


Рисунок 1 Составное цветное изображение ASTER в видимом и ближнем-инфракрасном диапазоне 1, 2, 3 косы полуострова Никтап, записанное 22 ноября, 2000. Добавленное изображение Landsat показывает положение косы Al Hikman на восточном побережье Омана. Масштаб в нижнем правом углу.

формирует несколько широких полос кораллов размером в 10 км², и монотипные коралловые полосы этого размера считаются уникальными в мире. Многочисленные более мелкие полосы коралла, лежащие на восточном побережье и западной окраине южного побережья, построены исключительно разнотипными ассоциациями, слагающие их виды насчитывают до 80 типов (Claegeboudt, частная беседа, 2004). Среди них преобладают виды *Platygyra*, *Favia*, *Favites*, *Porites*, и *Acropora*, с более крупными коралловыми рифами, которые по оценкам датируются несколькими сотнями лет (Claegeboudt, 2006).

Коралловые рифы *Montipora* или 'капустные' формируют пятнистые ковры на двух мысах, каждый из которых достигает в ширину 10 км (Рисунок 3), которые подстилаются плоско-залегающими платформами,

разбитыми волнами, прорезающими литифицированный коралл и зернистыми карбонатами, которые могут быть плейстоценового возраста (Рисунок 4). Ковер из одного вида *Montipora* (Рисунок 5), с сопровождающей их экосистемой и типичными рифовыми структурами, такими как системы отростков и желобков (Рисунок 6), скорее всего бурно разрастался свыше 1000 лет, согласно возрасту U-серий, измеренных К. Collerson на образцах *Montipora* с более старых береговых валов, которые теперь открыты благодаря динамике смещающейся береговой линии. Вторая часть фабрики, между мысами, покрытыми кораллами, является зоной шириной 10 км, покрытой карбонатными песками с слегка пониженным рельефом (Рисунки 2 и 3), и на нее больше влияют губки и фораминиферы. Изменение берега к более плоскому, широкому профилю вдоль берега, который выдается немного вперед в сторону суши от второй области фабрики карбонатов, и более тонким карбонатным пляжным пескам отображается на спутниковом изображении в виде однородного белого цвета.

Голоценовые и современные отложения вдоль южного берега полуострова косы Al Hikman достигают 30 км в длину, и представляют собой полосу восток-запад береговой аккреции, которая имеет несколько километров в поперечнике (Рисунок 7). В объеме осадков доминирует коралловые обломки, за которыми идут двустворки, гастроподы, красные водоросли (rhodoliths), и фораминиферы. Обломки кораллов на северном побережье включает большое число фрагментов *Montipora*, вероятно, попадающих туда с обширных монотипных рифов, которые растут вблизи берега. Эта особенность важна при построении аналоговой модели Меловых отложений рудистов.

Современные кораллы, которые доминируют над карбонатными песками и булыжниками, с незначительным количеством ила, увлекаются на берег во время южных летних муссоновых штормов с крупных фрагментов, которые лежат на расстоянии от одного до двух километров на акватории. Анализ окрашенных шлифов

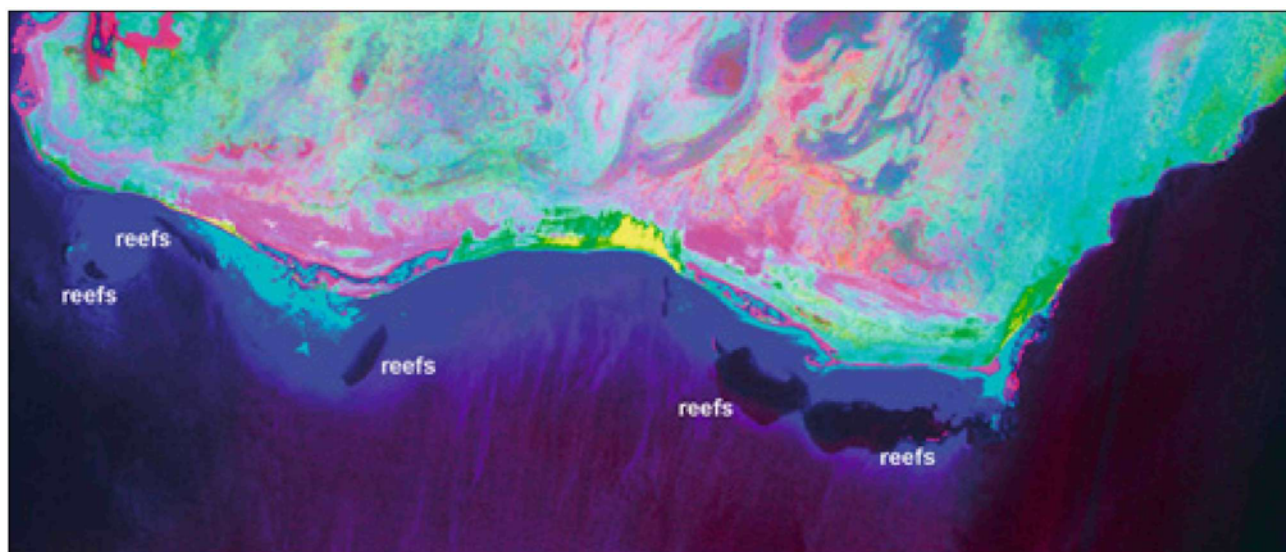


Рисунок 2 Увеличенное изображение декорреляции ASTER на коротких волнах в инфракрасном диапазоне, на котором видна южная часть полуострова Al Hikman. Рифовые конструкции (темные овальные формы) лежат в 1-2 км по направлению к акватории. Изображение получено на 35 км восток-запад. Северная ориентация.

Ближний Восток



Рисунок 3 Малоглубинный мыс, простирающийся к югу от Ras Braiy, юго-западное побережье косы п-ова Al Hikman. Коралловый ковер *Montipora* формирует рифы на южной окраине волноприбойной платформы. Карбонатные песчаные банки видны как на платформе, так на более глубоких участках на восток. Спутниковое изображение любезно предоставлено Terrametrics и DigitalGlobe (Google Earth). Масштаб в нижнем левом углу, ориентация в верхнем правом углу.

подготовленных из образцов рыхлых отложений говорит о существенной микритизации, микро-выбуривании и абразии зерен. Наблюдается сильное истирание первичной морфологии зерен, и по сравнению с фрагментами чистых кораллов, моллюсковым или фораминиферовым материалом, ранее сцементированные зерна сложного состава имеют тенденцию доминировать в популяции современных осадков. Это, совместно с геоморфологическим анализом, который свидетельствует об эрозии более старых береговых хребтов, наводит на мысль о том, что переработка ранее накопленных береговых хребтов и прибрежных отложений штормами и приливными течениями привнесло существенное количество более ранних осадков в современные отложения (Homewood et al., 2006 а). На удивление, несмотря на сильную абразию, было найдено только крайне незначительное количество карбонатных илов. Фракции с илистым размером зерен могли отлагаться под действием круглогодичных ветров, которые дуют с юга, и являются источником привноса песков Wahiba к северу от косы Al Hikman (Glennie, 2005).

Геоморфологические комплексы

Геоморфологические характеристики косы Al Hikman ясно выделяются на изображении поверхности и спутниковых фото. Приливные лагуны с межприливными банками, каналами, и песчаными барами, которые являются местом, где удивительно увидеть гостящие гигантские стаи птиц. Также зрелищно выглядят мелкие рифы, располагающиеся в пределах верхних 5 м воды ниже уровня отлива недалеко от берега, малоглубинные субприливные карбонатные песчаные банки и полосы, воздымающиеся барьерные бары, штормовые выступы берега, и пляжи. В качестве отдельных осадочных комплексов, здесь имеются так называемые 'геоморфологические комплексы', хотя некоторые состоят из объемных карбонатных осадков (например, штормовые выступы берега, Рисунок 8), тогда как другие являются скорее поверхностями, чем объемами, но имеющими как типичную форму, так и типичную осадочную штриховку (например, борозды от приливных каналов). Крупнейшим отличием между управляемой штормами и приливами косой Al Hikman и сравнимыми с ней кластическими литоральными



Рисунок 4 Вечерний вид платформы, разбитой волнами, которая сечет плейстоценовые кораллы, обнаженные при отливе, Ras Al Braiy. Looking West. Фото P. Homewood.

условиями является сильная вариация типов осадков между различными геоморфологическими комплексами на коротких расстояниях в карбонатах. Различные типы осадков (состав и размеры обломков карбонатов) имеют особую связь с заданными категориями геоморфологических комплексов. Так штормовые выступы берега состоят из крайне грубого кораллового булыжника (фрагменты 5 см-20 см, Рисунок 9), а линейные пляжные хребты сложены грубыми карбонатными песками до гравия с переменным количеством кораллового булыжника, в то же время межприливные банки и бары в лагунах построены из среднеразмержного карбонатного песка, и т.д.

Геологические тела и литологические ассоциации

Модели геоморфологических комплексов на суше на п-ове косы Al Hikman явно видны на спутниковом изображении, например на Landsat MSS и TM, ASTER, или высокоразрешенном QuickBird для просмотра в Google Earth. Беглый геоморфологический анализ устанавливает, что в структурном плане доминируют разломы направления CCB, параллельные прогибу Masirah и Masirah (Loosveld et al., 1996) с подчиненным направлением BCB и сопряженными разломами и трещинами ВЮВ. Это подкрепляется сейсмической съемкой годов 1970-1980. Расположенные слегка выше топографически, более стойкие элементы большей частью литифицированы, и состоят из плейстоценовых карбонатов, и более древних автохтонных эоценовых и миоценовых или аллохтонных юрских пород (Dubreuilh et al., 1992, Le Metour et al., 1992). Вблизи юго-восточной оконечности п-ова, наличие сцементированных разломов говорит о смене вмещающих пород в период раннего диагенеза вдоль разломов CCB и связанных с ними систем. Связь между потоками из водоносного горизонта вдоль разломов и ранним диагенезом находится в процессе изучения, хотя вопросы диагенеза косы Al Hikman не изучаются в рамках данной статьи.

Общая модель строения особенностей в пределах осадочной системы говорит об аккреции прибрежных отложений в южном направлении в области барьера вдоль южного побережья полуострова.

Ближний Восток



Рисунок 5 Ковер из кораллов, который построен одним видом *Montipora*. Монотипный риф к югу от Ras Mishayu. Приближенное изображение около 1.5 м шириной. (Фото V. Vahrenkamp)

Эта барьерная зона защищает широкую до 20 км х 20 км, бухту или лагуну, лежащую к северу, которая очевидно, отмечена структурой древних приливных каналов и балок, которые вливаются в покинутую зону истока или устья рядом с юго-западным концом п-ова (Рисунок 1).

Регрессия с момента последнего высокого стояния моря (6000 лет назад, согласно Lambek et al., 2002), форсировала береговую линию к южному направлению на немного более, чем 2 км, а относительный уровень моря упал на 1-10 м относительно высотных отметок на геологической карте (Dubreuilh et al. 1992, Le Metour et al. 1992). Это говорит об активном структурном поднятии п-ова, но еще требует подтверждения.

Спутниковые изображения с более разрешением явно говорят о характере и распределении более старых геоморфологических комплексов, таких как штормовые выступы берега, береговые хребты, лагуны и приливные бары, которые накопились в результате аккреции южного направления в голоцене (Рисунок 10). Эти более древние объекты были прорезаны современным берегом, с его гаммой прибрежных обстановок. Например, в 1-1.5 км к северу от западной лагуны на южном побережье (Ras Braiy на геологической карте), можно наблюдать серию аркообразных структур, которые подверглись аккреции с востока на запад в виде последовательности штормовых выступов берега, формирующих южный барьер, защищающий древнюю лагуну или залив (Рисунок 7). Эти особенности подобны по форме и размеру современным аркообразным штормовым выступам берега на входе в лагуну Ras Braiy (Рисунок 8). Более старые штормовые выступы берега интерпретируются как несколько геологических тел, остатков прежних геоморфологических комплексов, сохранившихся в стратиграфии (по крайней мере, на время). На спутниковых изображениях и на поверхности можно наблюдать разнообразие структур подобного типа, к северу как от Ras Braiy так и от Ras Al Mishayu, областей лагунного типа на южном побережье.

Вся полоса (шириной до 2 км) аркообразных штормовых выступов берега, линейных пляжных хребтов, покинутых лагун (теперь место солевых ям, рисунок 10) и так далее, характеризуется похожим строением для каждой структурно более высокой зоны по направлению к суше от современных рифов (Рисунки 2 и 3). Между рифовыми областями, карбонатные песчаные банки формируют береговой склон, который граничит с менее дифференцированной зоной с эоловыми дюнами, состоящими из более тонких карбонатных песков, богатых фораминиферами. Это две явно выраженные литологические ассоциации, а южная оконечность п-ова шириной 30 км состоит из трех зон



Рисунок 6 Спутниковое изображение QuickBird, на котором видны коралловые рифы на акватории вблизи Ras Mishayu, южного побережья косы п-ова Al Hikman, полученные 26 октября, 2003. Цветное сборное изображение QuickBird в диапазонах 1, 2, и 3. Изображение получено на 7 км в простирании Восток-Запад. Северная ориентация.

Ближний Восток

с четкими литологическими ассоциациями, в двух из которых преобладают более грубые и геометрические более сложные геологические тела, а в одной более простые и обширные геологические тела.

Современные аналоги Ближневосточных меловых месторождений

Несмотря на исследования других карбонатных систем, коса Al Hikman выделяется тем, что является аналогом наряду с банкой Great Pearl Залива (Hughes, 1997) например, а также систем на Багамах, Белизе, о-вах Флорида Киз, и Большого Барьерного рифа. Условия аридного климата, в котором доминируют муссоны, с сильным апвеллингом и прохладной температурой воды, которая является пограничной для развития кораллов - составные части, которые сравнимы с теми, которые наблюдаются в классических примерах и которые необходимо учитывать при построении моделей фаций и процедур постройки рифов. Однако, как аналог косы Al Hikman превосходит их в некоторых моментах. Действительно, сезонные мутные воды косы Al Hikman, с высоким уровнем планктона, морских водорослей и микробов, которые вызваны апвеллингом, возникающим под действием муссонов, могут стать еще одним аналогом мутных, плодородных, внутриплатформенных Меловых морей.

Самое интересное, хотя кораллы, как организмы, очевидно, несравнимы с рудистами, рост *Montipora* как монотипного ковра на обширных площадях мелководья лучше было бы сравнить с 'рудистовыми конгрегациями с монотонным обликом' (Skelton, 2003, p.166) чем это характерно для большей части двустворок или коралловых построек или рифов. Действительно, рудистовые популяции имеют тенденцию к подавлению другими видами в особом месте в особое время. (Например, в Campanian Samhan Fm на Saiwan в северном Нуф, Оман - Schumann, 1995). Сохранение крупных количеств коралловых обломков с заплатками кораллов также сравнимо с распространением рудистовых кварцев в формациях Shuaiba и Natih в Омане (van Buchem et al., 2002, Immenhauser et al., 2004, and Grelaud et al. 2006) и это самые крупные коллекторские комплексы на многих северных месторождениях Омана.

Ооиды - очевидно отсутствуют как тип зерен в системе косы Al Hikman, хотя они являются основным типом зерен в карбонатных системах Залива (Purser and Evans, 1973). Имея это в виду, интересно отметить, что в то время как в меловых платформенных окраинах, контактирующих с океаном, имелись карбонатные системы, продуцирующие ооиды, как в формации Habshan (Droste and van Steenwinkel, 2004), внутршельфовые системы Natih и Shuaiba не содержат ооидов как основную компоненту.

Что касается литологических ассоциаций и геологических тел, аналогия между такими структурами и сейсмическими изображениями были неубедительны до тех пор, пока не стали доступными сейсмические записи с более высоким разрешением. Сейчас, понимание и визуальное сравнение высокоразрешенных карт сейсмических атрибутов и распределения геологических тел в пределах литологических ассоциаций дает актуальные пояснения для проведения сейсмической интерпретации (Crevello et al., 2005, Grelaud et al., 2006). Эти понятия геологических тел и литологических ассоциаций, в контексте уместных характеристик и

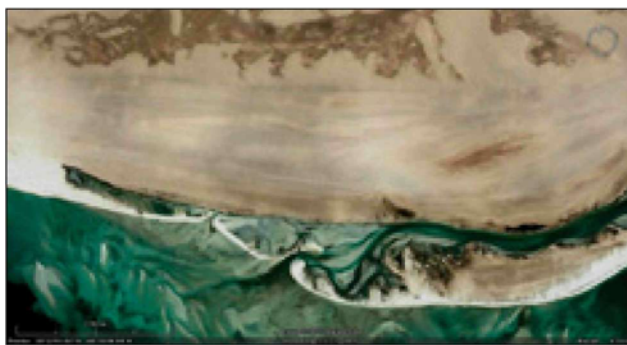


Рисунок 7 Широкая полоса прибрежных отложений 2км в поперечнике, накопленные на южном побережье косы Al Hikman (Ras Braiy). Спутниковое изображение любезно предоставлено Terrametrics и DigitalGlobe. Масштаб в нижнем левом углу, ориентация в правом верхнем углу.



Рисунок 8 Штормовые выступы берега, которые были построены с 1990 на входе в Ras Braiy. Нос аркообразного выступа длиной 200 м (от последнего узкого 'перешейка'), построенный коралловым булыжником, накопленный за время летних штормов за менее чем 10 лет, как это было датировано на основании изображений временных последовательностей. Масштаб в нижнем левом углу, ориентацию смотрите на Рисунке 7. (Спутниковое изображение любезно предоставлено Terrametrics и DigitalGlobe.)



Рисунок 9 Грубый коралловый булыжник, формирующий аркообразные бары в Ras Braiy, которые были построены муссоновыми штормами с 1990. Геолог приведен для масштаба.



Рисунок 10 Цветное сборное изображение со спутника QuickBird в диапазонах 1, 2, и 3 области косы Bar Al Hikman, на котором видны соленые озера между геологическими телами, созданные недавними пляжными хребтами и штормовыми выступами; белые заплатки – эвапориты в солевых озерах, которые занимают покинутые прибрежные лагуны. Изображение было получено 26 октября, 2003. Масштаб в нижнем правом углу. Ориентация на север.

масштабов для сейсмической интерпретации карбонатных систем, обсуждаются более подробно в работе Homewood et al. (в печати). Этот подход был частично разработан и в некотором роде, протестирован в работах, выполненных на проекте Виртуальной Реальности для карбонатных исследований, финансируемом Shell (JVRCCS) в Университете Sultan Qaboos в Muscat, Оман, частично в проектах освоения месторождения Fahud. Для других месторождений в Омане и повсюду в регионе, этот подход указывает на возможные причины плохой взаимосвязи между близко расположенными скважинами во время дополнительной разработки месторождений.

Дальнейший путь

Вслед за фазой общих исследований, съемки, пробоотбора и анализа с особым вниманием, уделяемым косе Al Hikman, в настоящее время существует несколько специальных научно-исследовательских проектов. Предварительные исследования развития sabkha на косе Al Hikman (Mettraux et al., в печати) привело к гипотезе двойных систем проницаемости, которые ограничивают поток водоносного горизонта с гор Омана на п-ов.

Возможность процессов диагенеза, относящихся к разломам и трещинам, когда седиментация вмещающей породы на этапе раннего диагенеза, питается системой двойной проницаемости, и в настоящее время является целью исследований, выполняемых J. Mattner. Более полная и более современная каталогизация геологических тел и литологических ассоциаций, типов осадков, геометрии и трендов атрибутов фаций (например, встречаемость, размер, форма, соотношение фаций), дали количественную оценку наблюдаемой неоднородности в масштабе между скважинами, и выполняются под руководством B. Vlaswinkel. Наблюдения за первичным и ранним диагенезом доломитов, которому способствует микробная деятельность, наблюдаемая в прибрежных лагунах под руководством M. Mettraux и подтверждается исследованием, выполняющимся в ETH в Цюрихе совместно C. Vasconcelos и T. Bontognali, является третьей целью продолжающихся исследований.

Благодарности

Съемке на рифе способствовал щедрый вклад в виде аренды лодки, принадлежащей Агрономическому факультету, а декан факультета Университета Sultan Qaboos Проф. Anton MacLachlan, проф. Michel Claereboudt, Sabine Vahrenkamp, и Rick

Ближний Восток

Singleton помогли выполнить работы, связанные с погружением под воду для наблюдения и взятия образцов, а проф. М. Claereboudt предоставил фотографии и специфические описания кораллов. Philippe Razin и Carine Grelaud помогли собрать образцы рыхлых осадков на суше, а Luc van Schijndel обеспечил GPS отслеживание типов осадков и идентификацию мест пробоотбора на спутниковых изображениях. Cecile Robin и Francois Guillocheau из Университета города Rennes и Philippe Razin из Университета EGID в Бордо подготовили шлихи рыхлых осадочных пород. Ken Collerson любезно выполнил датировку U-серий по нескольким образцам кораллов. Благодарим Исполнительный комитет Центра карбонатных исследований JVRCCS из Университета Sultan Qaboos за поддержку и частичное финансирование проекта.

Литература

- AlSharhan, A.S. and Kendall, C.G.S.C. [2003] Holocene coastal carbonates and evaporites of the southern Arabian Gulf and their ancient analogues. *Earth Sci. Rev.*, 61, 191-243.
- Claereboudt, M.R. [2006] *Reef Corals and Coral Reefs of the Gulf of Oman*. The Historical Association of Oman, Al Roya press and Publishing House, 344 pp.
- Crevello, P., Posamentier, H., Warmath, A., and Laurin, P. [2005] Paleo-geomorphology of Carbonate Systems: Unraveling Sedimentary Geobodies and Facies from Karst Overprint. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 05986.
- Droste, H., and van Steenwinkel, M. [2004] Stratal geometries and patterns of platform carbonates: The Cretaceous of Oman, In Eberli, G., J.L. Masferro, and Sarg, J.F.R. (Eds.), *Seismic imaging of Carbonate Reservoirs and Systems. AAPG Memoir 81*, 185-206.
- Dubreuil, J., Bechennec, F., Berthiaux, A., Le Metour, J., Platel, J.P., Roger, J., and Wyns, R., [1992] *Geological map of Khaluf*. Sheet NE 40-15 1:250000, Directorate General of Minerals, Oman Ministry of Petroleum and Minerals.
- Eriksen, H., Eriksen, J., Sargeant P., and Sargeant, D. E. [2001] *Bird Watching Guide to Oman*. Al Roya Publishing, Muscat. 256 pp.
- Glennie, K.W. [2005] The Desert of Southeast Arabia. *GeoArabia*, Gulf PetroLink Bahrain, 215 pp.
- Grammer, G.M., Harris, M., and Eberli, G.P. [2004] Integration of outcrop and modern analogs in reservoir modelling: Overview with examples from the Bahamas. In *Integration of outcrop and modern analogs in reservoir modelling. AAPG Memoir 80*, p. 1-22.
- Grelaud, C., Razin, P., Homewood, P.W., and Schwab, A.M. [2006] Development of incisions on a periodically emergent carbonate platform (Natih Formation, Late Cretaceous, Oman). *Journ. Sed. Res.* 76, 647-669.
- Homewood, P., Kwarteng, A., and Mettraux, M., [2005]. Bar Al Hikman. Modern and Pleistocene carbonate/evaporite depositional system. Field guide, January 2005. *IAS 24th Regional Meeting*, Muscat, 70 pp.
- Homewood, P., Mettraux, M., Kwarteng, A., and Collerson, K. [2006] Lag time in the sedimentary record at Bar Al Hikman: Part 1 - predominance of reworked material in the modern carbonate system. *Geo2006 Abstract*, Bahrain.
- Homewood, P., Mettraux, M., Vahrenkamp, V., Kwarteng, A., and Collerson, K. [2006] Lag time in the sedimentary record at Bar Al Hikman: Part 2 - constraints on modern analogs for carbonate geobodies in Cretaceous reservoir models. *Geo2006 Abstract*, Bahrain.
- Homewood, P., Razin, P., Grelaud, C., Droste, H., Vahrenkamp, V., and Mettraux, M. [2008 In press] Outcrop Sedimentology of the Natih Formation, North Oman: A Field Guide to selected outcrops in the Adam Foothills and Jabal Akhdar areas. *GeoArabia*, 13, 2. Gulf PetroLink, Bahrain.
- Hughes, G. W. [1997] The Great Pearl Bank Barrier of the Arabian Gulf as a Possible Shu'aiba Analogue. *GeoArabia*, 2, 3, 279-304.
- Immenhauser, A., Hillgaertner, H., Sattler, U., Bertotti, G., Schoepfer, P., Homewood, P.W., Vahrenkamp, V., Steuber, T., Masse, J.P., Droste, H., Taal-van Koppen, J., van der Kooij B., van Bentum, E., Verwer, K., Strating E.H., Swinkels, W., Peters, J., ImmenhauserPotthast, I., and Al Maskery, S. [2004] Barremian-lower Aptian Qishn Formation, Haushi-Huqf area, Oman: a new outcrop analogue for the Kharaib/Shuaiba reservoirs. *GeoArabia*, 9, 1, 153-192.
- Lambeck, K., Esat, T.M., and Potter, E.K., [2002] Links between climate and sea levels for the past three million years. *Nature*, 419, 199-206.
- Le Metour, J., Bechennec, F., J., Roger, J., Platel, J.P., and Wyns, R. [1992] *Geological Map of Al Masirah*. Sheet NE 40-16, 1:250000, Directorate General of Minerals, Oman Ministry of Petroleum and Minerals.
- Loosveld, R. J.H., Bell, A., and Terken, J. J.M., [1996] The Tectonic Evolution of Interior Oman. *GeoArabia*, 1, 1, 28-51.
- Mettraux, M., Homewood, P.W., Kwarteng, A.Y. and Mattner, J. [In press]. Coastal and Continental Sabkhas of Bar Al Hikman, Sultanate of Oman. *IAS Special Publication* Blackwell.
- Perry, C.T. and Larcombe, P. [2003] Marginal and non-reef-building coral environments. *Coral Reefs*, 22, 427-432.
- Purser B.H. and G. Evans [1973] Regional Sedimentation Along the Trucial Coast, SE Persian Gulf. In B.H. Purser & G. Evans (Eds.) *The Persian Gulf*. Springer-Verlag, New York, 211-232.
- Schumann, D. [1995] Upper Cretaceous rudist and stromatoporoid associations of central Oman (Arabian Peninsula). *Facies*, 32, 189-202.
- Skelton, P.W. (Ed) [2003] *The Cretaceous World*. Open University. Cambridge University Press. 360 pp.
- van Buchem, F.S.P., Razin, P., Homewood, P.W., Oterdoom, H., and Philip, J. [2002] Stratigraphic organization of carbonate ramps and organic-rich intrashelf basins: Natih formation (middle Cretaceous) of northern Oman. *AAPG bulletin*, 86, 1, 21- 54.