

Цифровой анализ в геологии нефти несет возрождение изучению обнажений в Африке. Digital analysis brings renaissance for petroleum geology outcrop studies in North Africa

Dr Jonathan Redfern,¹ Dr Dave Hodgetts,² и Ivan Fabuel-Perez из Группы Исследования Северной Африки, Университете Манчестера, описывают как цифровой анализ обнажений может дать ценную геологическую информацию при разведочных работах и разработке месторождений в Северной Африке.

Недавнее увеличение активности разведки углеводородов в Северной Африке – в Алжире, Ливии, Марокко и Египте ведут к возрождению исследований обнажений в этих районах.

Основные фации коллектора, источника, и покрышки могут быть изучены на месторождении, предоставить ценные данные для лучшего понимания геологии недр, сокращения риска разведки, помочь развивать новые концепции нефтеносных пластов, и улучшить производительность месторождений Северной Африки.

Группа Исследования Северной Африки (NARG) из Университета Манчестера, Великобритания, с партнерами из Университетов Heriot Watt, Кардиффа и Бремена, были поддержаны 10 ведущими международными нефтяными компаниями для производства исследования обнажений на региональном уровне. Они включают в себя региональное картирование и корреляцию с пластами в недрах, разработку региональной сети секвентной стратиграфии, региональное моделирование бассейнов, датирование методом Apatite Fission Track, детальное описание коллектора, и сейсмические исследования в Северной Африке.

Нашей целью является использование богатой геологической информации, которую можно извлечь из широкораспространенных обнажений и построение региональной базы данных в целях лучшего освещения строения недр. Это исследование является второй волной полевых работ в Северной Африке, в которых исследователи вернутся в районы, такие как южный бассейн Murzuk, где единственные более ранние исследования были начаты в 1960х и 70х и предприняты во время первой фазы разведки на нефть. На основе этой более ранней работы, настоящее исследование может использовать современные цифровые методы и улучшить наши возможности более детальной и своевременной оценки разрезов.

Одной из применяемых методик будет цифровой анализ обнажений, с помощью данных LIDAR (Фото обнаружение и ранжирование). Работы, включающие регистрацию цифровых данных, (Hodgetts et al. 2004), продемонстрировали значимость этой методики. В Северной Африке, полевые работы, выполненные NARG, подразумевают комплексирование системы глобального позиционирования (DGPS), получение цифровых изображений обнажений с помощью LIDAR и традиционный разрез осадочных обнажений. Методику можно охарактеризовать следующим образом.

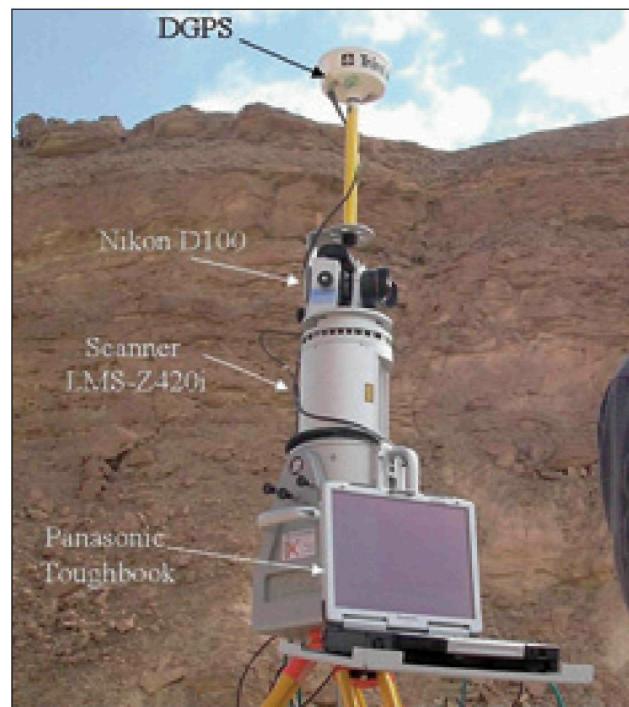
Цифровые изображения обнажений

Точное положение каждой точки сканирования

записывается с помощью Trimble Pro XR DGPS с разрешением менее метра и поправкой в реальном времени по радиомаяку от ближайшей наземной станции. Получение цифровых изображений обнажений выполняется с помощью RIEGL LMS-Z420 LIDAR (Рисунок 1). Они состоят из длинно-диапазонного 3D лазерного сканера, и калиброванной высокоразрешенной цифровой камеры. Диапазон сканера от 800 до 1000 м, при точности измерений 5 мм и дискретизации данных до 5 см. Сканер позволяет производить быстрый сбор данных со скоростью измерений до 12,000 точек в секунду. Он покрывает вертикальное поле зрения 80° и горизонтальное поле 360°. Вся система управляется с помощью полностью портативной, прочного и надежного ноутбука.

Полевые седиментологические данные

Получение цифровых изображений не может заменить полевое картирование и каротаж, который требуется для получения детальной геологической картины. По разрезам была выполнена запись различной седиментологической



информации (мощности, литология, цвет, размер зерен,

Рисунок 1 Оборудование, используемое для сбора цифровых данных на обнажении.

¹jonathan.redfern@manchester.ac.uk, <http://narg.web.mcc.ac.uk>.

²david.hodgetts@manchester.ac.uk.

Северная Африка /Средиземноморье

сортировка, структура осадков, информация о палеотечениях). Затем эта информация интегрируется с цифровыми данными и вводится в финальную модель коллектора. Цифровые данные позволяют проводить интерпретацию в труднопроходимых областях, где имеются крутые склоны, и т.д.

Обработка данных

Поток обработки включает первоначальную обработку цифровых данных для создания набора данных, доступного для интерпретации, который можно экспортовать в XYZ формат ASCII в программу моделирования коллектора (например, VRGS, Petrel, RMS).

Позиции сканирования объединяются вместе и привязываются к опорным данным, с использованием данных DGPS, полученным в поле. Эта процедура выполняется с помощью программы Polyworks. Используя программу RiScan Pro, весь набор данных обрабатывается и, после процедуры фильтрации, сканограммы триангулируются для восполнения пробелов в скоплении точек, затем сглаживаются и прореживаются. Эта процедура делает данные полигона более легкими по структуре. На окончательном этапе используется информация в цвете палитры «зеленый, красный, синий» с цифровых фотографий (как панорамные, так и высокоразрешенные снимки) для придания структуры ячейке триангуляции. Изображения, получаемые с помощью калиброванной камеры, слегка искажены из-за воздействия линз, поэтому перед тем как программа текстурирует ячейку, необходимо убрать искажение изображения. После выполнения этой процедуры, высокоразрешенные цветные сканограммы готовы к интерпретации.

Интерпретация и комплексирование цифровых данных и седиментологии

Ключевым элементом является способность извлекать ценную информацию из данных LIDAR и комплексировать сканограммы с полевыми данными. Традиционно это представляло некоторую сложность, и обычно заканчивалось тем, что данные LIDAR использовались не в полном объеме. Для преодоления этой проблемы в Университете Манчестера была создана специализированная программа – Геологическая Студия Виртуальной Реальности (VRGS). Разработанная Dr Dave Hodgetts, VRGS – особая программа с применением в геологии для обращения, визуализации, и анализа цифровых данных LIDAR и других данных по обнажениям. Эта программа позволяет выполнять измерения структурных данных по сканограмме, также производить атрибутный анализ сгущения точек, интегрировать традиционные полевые данные (например разрезы осадков), выполнять структурные реставрации и построение синтетических сейсмограмм (рисунок 2). Комплексирование прямых наблюдений на обнажении с данными LIDAR можно выполнять с помощью активного GPS слежения, при котором проводимые измерения GPS в ручном режиме сочетаются с запускаемой с портативного компьютера VRGS.

В то же время, традиционные полевые данные также можно оцифровать с помощью этой программы, в случае если у нас нет этого инструмента в поле, можно выполнить традиционное описание разреза и позже

диаграммы можно легко оцифровать для комплексирования с цифровыми данными.

Примеры измерений, которые можно извлечь из данных сканограмм, включают:

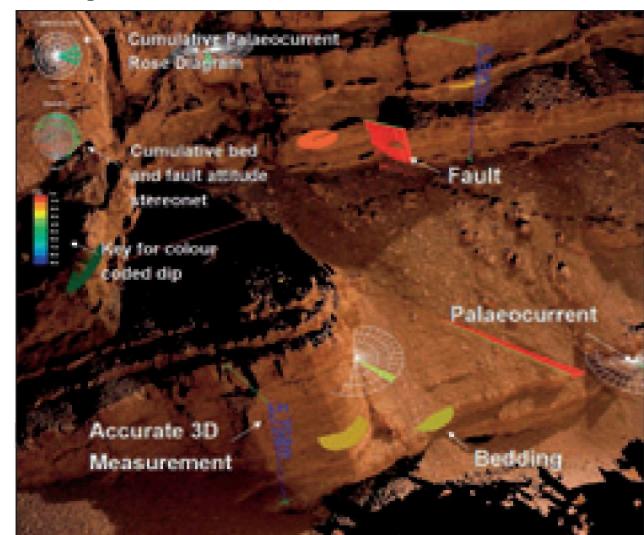


Рисунок 2 Вид из VRGS (Геологическая Студия Виртуальной Реальности) отображающий сгущение точек и различные опции, доступные в программе для геологических измерений и интерпретации.

Позиция пласта

С целью измерения падения и азимута пласта, требуется знать два кажущихся падения. Три точки помечаются на данных LIDAR, маркирующие пласт и формирующие треугольник, затем по этому треугольнику рассчитывается падение и азимут пласта (Рисунок 2). Необходимо соблюдать осторожность при выборе участков измерения данных, чем ближе треугольник к равностороннему, тем лучше должны быть измерения. Получаемые данные сравнивались с данными прямых полевых измерений и оказалось, что они точные. Этот подход позволяет производить измерения позиции пласта в случае, когда это может быть трудно в поле, из-за отсутствия обнаженных плоскостей напластования, и поскольку измерения выполняются на относительно большой площади, по сравнению с измерениями традиционным компасом, устраняются эффекты клинометра на осадочные структуры при измерении.

Измерения и мощность

Измерения в VRGS попадают в четыре категории: 2D горизонтальные измерения как если бы они были в координатах карты, 2D вертикальные измерения как в разрезе простых разностей превышений, 3D измерения расстояний между двумя точками в трех направлениям, и исправленные измерения мощности (TST), которые относятся только к вертикальным измерениям. TST (Истинная стратиграфическая мощность) пласта или интервала является важным измерением как с структурной геологии, так и седиментологии для понимания латеральных вариаций мощности. В VRGS, позиция пласта может быть присоединена к измерению и, учитывая падение и простижение пласта можно скорректировать мощность.,

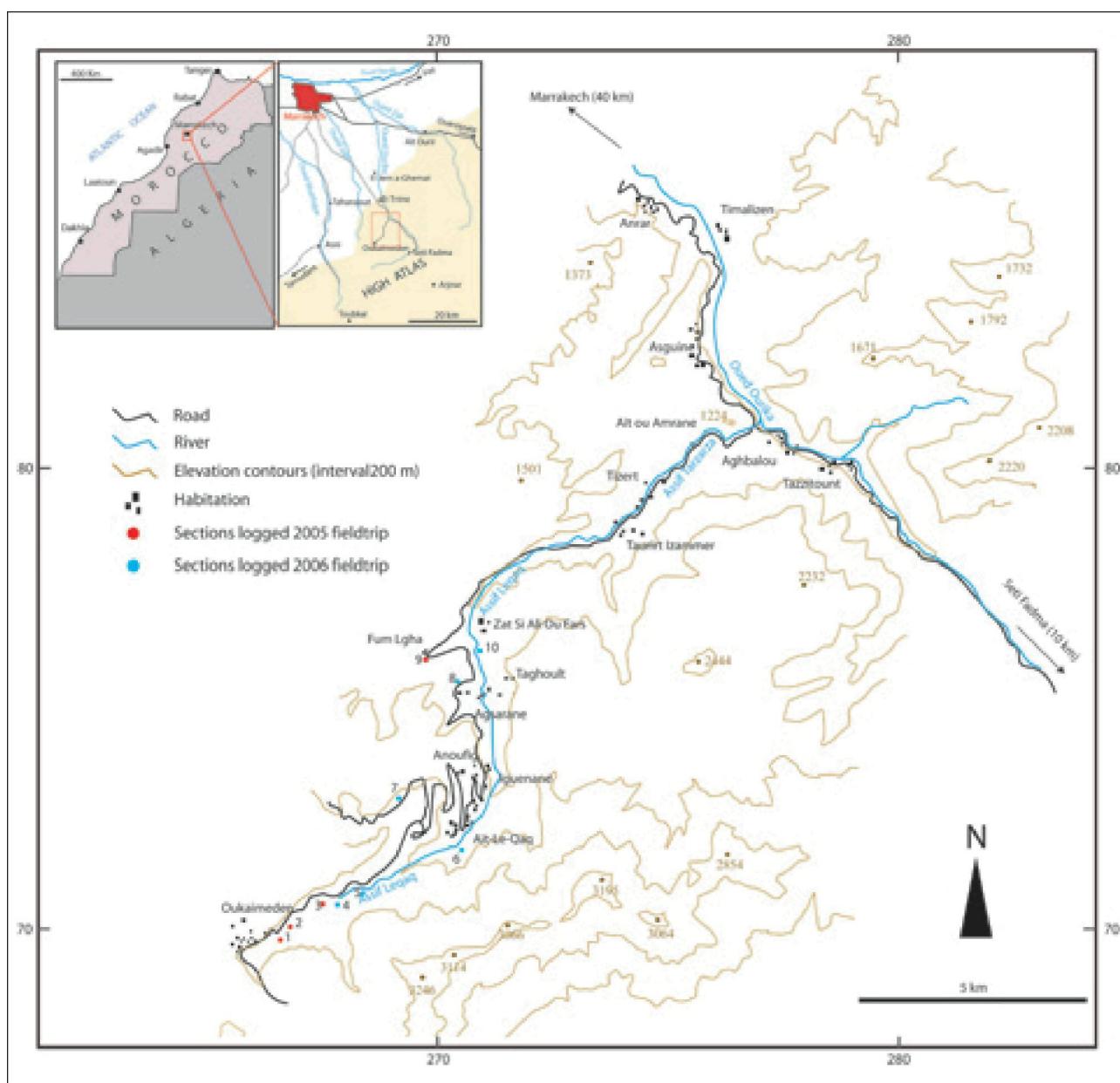


Рисунок 3 Карта изучаемого района в Марокко, на которой показаны пронумерованные позиции измеренных разрезов, включенных в проект: (1)Разрез озера Oukaimeden (смотрите рисунок 5).

Положение и геометрия разломов

Положение разломов измеряется тем же способом, что и положение пласта, используя три точки наблюдения, однако необходимо соблюдать осторожность и убедиться, что все это выполняется на плоском разрезе разрыва и надо внимательно относиться к областям с геометрией наклонных потоков. Как только была определена плоскость разлома с помощью трех точек, разлом задается в виде набора 3 линий разлома, ориентированных вдоль простирания разлома. Все данные по разломам и пластам хранятся в VRGS и отображаются в виде стерео сетки при выполнении интерпретации, что позволяет проводить анализ данных в реальном времени.

Комплексирование данных обнажений и сканограмм

Еще имеется большое число типов данных, которые нельзя получить из сканограмм, например литология, размер зерен, осадочные структуры малого масштаба, фации (возможно в некоторых обстоятельствах), и палео течения. Все они должны быть комплексированы для более надежной интерпретации. Как только данные LIDAR были привязаны к опорным данным, их можно снова взять в поле, с портативным компьютером, подсоединенном к GPS, и использовать как основную карту с очень высоким разрешением (почти фото-реалистичную). Осадочные данные можно присоединить к сканограммам с помощью VRGS в виде законченных разрезов обнажений или в виде отдельных измерений и

Северная Африка /Средиземноморье

палеотечения можно добавить в виде части данных разреза. Данные измерения пластов и разломов, произведенных в поле можно добавить к набору данных LIDAR или через систему GPS или напрямую путем присоединения измерений к сканограмме.

Атрибутный анализ

Данные LIDAR не являются неструктурированным скоплением точек данных, данные организованы в колонки и ряды тем способом, которым сканер картирует обнажение. Эта организация скоплений точек облегчает создание новых атрибутов. В стандартном наборе данных, интенсивность отражения каждой точки данных получают от сканера и красного, зеленого, и голубого каналов цифровых изображений. Каждый из этих каналов может

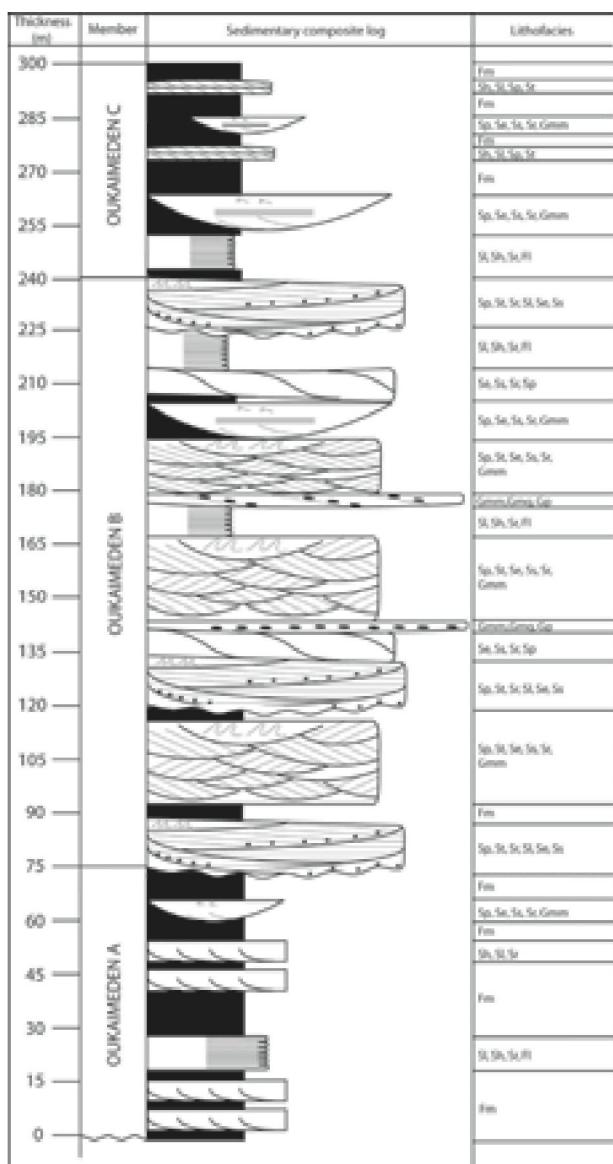


Рисунок 4 Формация песчаников *Oukaimeden*. Деление на различные пачки основано на полевых наблюдениях. быть обработан тем же способом как способ обработки изображения для увеличения контрастности, усиления краев, и т.д., что может помочь в интерпретации. Другая форма обработки основана на сравнении последовательных вертикальных линий сканирования и поиске корреляции от линии к линии (та же мера

сравнения как прослеживаемость и когерентность в данных сейсморазведки). Вариация этих маркеров по обнажению, например, прекращение прослеживаемости плоскостей напластования на разломе, и т.д. помогает при структурной интерпретации. Также развиваются другие разнообразные методики обработки.

Гридинг поверхности

Данные (ключевые поверхности пластов, разломы и т.д.) затем экспортируются в другие программные пакеты (такие как Petrel или RMS) для дальнейшего анализа или гридинга поверхности. Пересчет на равномерную сетку данных обнажений часто проблематичен в областях с очень высокой плотностью данных и областях, с отсутствием данных. Если использовать процедуру без тщательных раздумий, гридинг этих данных даст некорректные и недействительные поверхности. Включение структурного контроля на обнажении в процесс гридинга поверхности ведет тому, что поверхности не только отвечают своему положению x,y,z на обнажении, но также структурным / седиментологическим данным, и можно построить более точные поверхности. Позиция других поверхностей, более высоких или низких стратиграфически, которые могут обнажаться в районах, где главная поверхность не обнажается, также должна учитываться, чтобы обеспечить, чтобы поверхности не пересекались там, где не следует и для поддержания правильной мощности. Как только был произведен хороший гридинг ключевой поверхности (это должна быть наиболее обнаженная поверхность в области месторождения), уже легче работать с другими поверхностями в виде изопахит для изучения вариаций мощности.

Примеры данных LIDAR из работы по обнажениям Северной Африке

Примером текущего проекта NARG, в котором используются данные LIDAR, является моделирование осадков резервуара и 3D моделирование коллектора песчаников Oukaimeden (F5), верхнее-триасовой

	Floodplain Mudstones	Fm: Massive mud/silt
	Aeolian Dunes	Ss: Scour Fill Sand
	Isolated Channels	Sp: Planar Cross Bedded Sand
	Crevasse Splay	Se: Erosional Scour
	Fluvial Bar	Sh: Horizontal Bedded Sand
	Lateral Accretion	St: Low Angle Cross Bedded Sand
	Stacked Channels	Sm: Massive Sand
	Gravel Bars	Sr: Ripple Cross Laminated Sand
	Sheet Sandstones	St: Trough Cross Bedded Sand
	Ripples	Gm: Matrix Supported Gravel
	Slump	Gh: Clast Supported Horizontal Gravel
		Gp: Planar Cross-Bedded Gravel

Северная Африка /Средиземноморье

флювиальной/эоловой формации, расположенной на Большом Атласском Хребте в Марокко. F5 – важный аналог формации TAGI (Triassic Argilo-Gréseux Inférieur), одной из наиболее продуктивных обломочных коллекторов Центрального Алжира.

Предыдущие работы по Триасу Высокого Атласа включают работы Mattis (1977) и Benaouiss (1996). Целью этого проекта является сравнение и моделирование разнообразных флювиальных/эоловых систем, при помощи комбинации цифровых изображений обнажений, полученных с помощью LIDAR и седиментологических данных, таких как разрезы осадочных фаций и информация о палеотечениях.

Эти данные будут использованы для оценки ключевых факторов системы осадконакопления, архитектуры фаций, и эволюции бассейна, такие как влияние климатических циклов, а также для построения 3D модели коллектора различных флювиальных/эоловых фаций. Область работ расположена в Центральном Высоком Атласе (Марокко), в 60 км к юго-востоку от Марракеш (Рисунок 3). Долина Ourika простирается на 20 км и поднимается на 2600 м над уровнем моря, обнажения стен долины достигают в высоту 150 м. Она состоит из последовательности отложений с Пермских по верхне-Триасовые и представляет исключительные обнажения осадков верхнего Триаса.

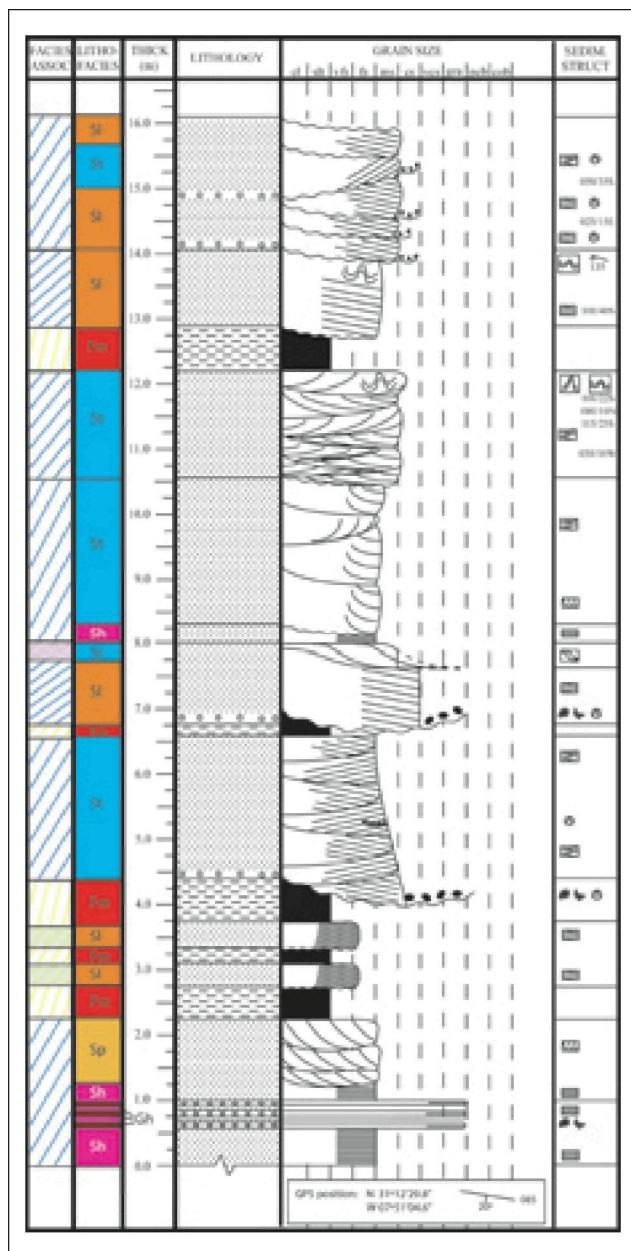
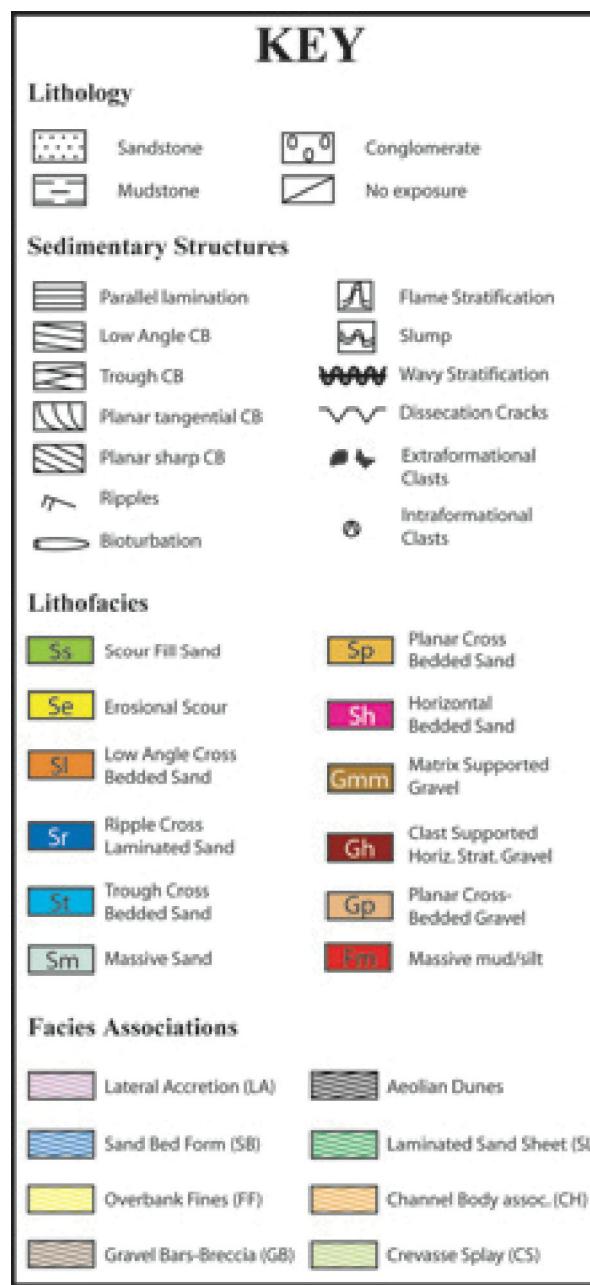


Рисунок 5 Осадочный разрез озера Oukaimeden (смотрите положение на карте).



Северная Африка /Средиземноморье

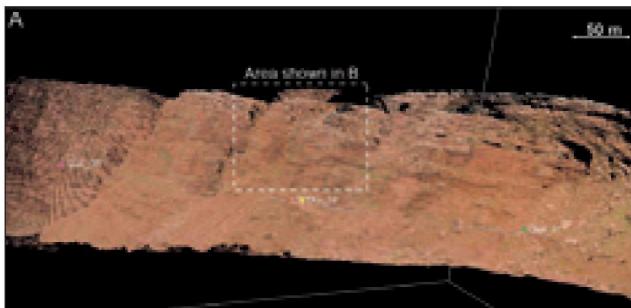


Рисунок 6А *Общий вид главного обнажения, полученный путем объединения трех разных панорамных сканограмм (сканограмм низкого разрешения), полученных в трех разных положениях сканирования (Ouk_01, Ouk_02, и Ouk_03).*

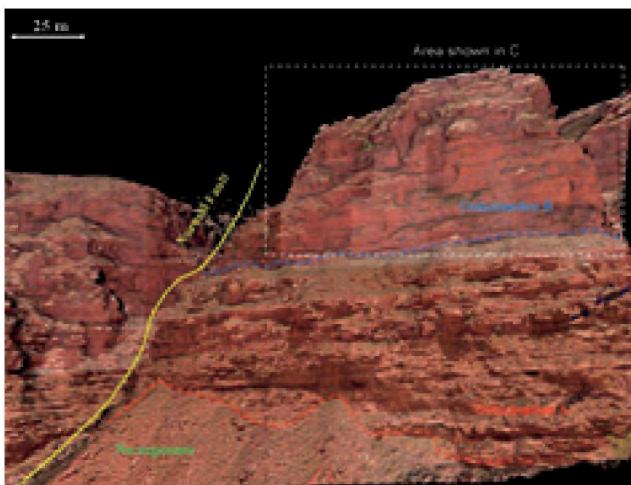


Рисунок 6В *Опознаваемые ключевые поверхности включают в себя главные структурные особенности (например, разломы) и кровли и основания главных формаций.*

Первоначальная работа позволила подразделить F5 на три подпачки, Oukaimeden A, B, и C (рисунок 4). Oukaimeden A состоит из аргиллита и алевролита, и малой порции песчаников. Oukaimeden B состоит из красных песчаников, красных песчаников и конгломератов, и отражает непрерывную эволюцию вертикально наложенных каналов и баров, разделенных поверхностями эрозии. Oukaimeden C состоит из более изолированных песчаных тел с эродированными подошвами, разделенными мощными аргиллитовыми телами.

Детальный осадочный разрез позволяет определять характеристики основных фаций, описывать формы пластов, мощности фаций, распределение размеров зерен, литологию, структуру осадков, и информацию о палео течениях (Рисунок 5). Пять различных ассоциаций фаций было идентифицировано: речные бары, каналы, латеральная акреция, пойменный конус выноса, и ассоциации эоловых дюн, и кроме того, ассоциации паводковых осадков.

Данные LIDAR позволяют коррелировать фации на ближайших вертикальных обнажениях, получать разрезы в масштабе коллектора, и также идентифицировать ключевые поверхности различных масштабов.

На рисунке 6А показано обработанное изображение LIDAR в вертикальной проекции песчаника, доминирующего в Oukaimeden B.

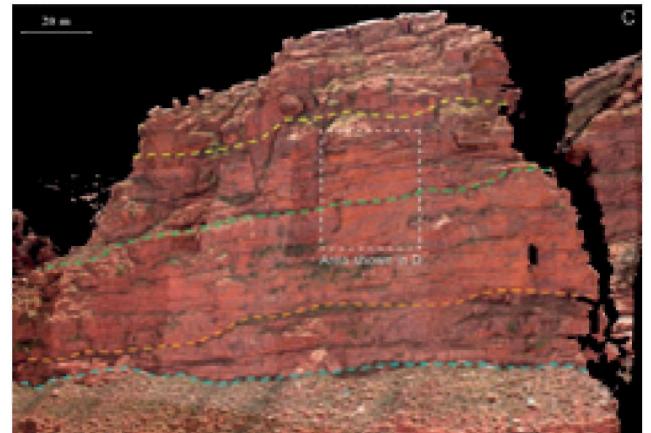


Рисунок 6С *Цифровое отображение обнажения, на котором показаны верхняя часть песчаников Oukaimeden (отметим изменения масштаба). При работе в этом масштабе уже можно выделить новые ключевые поверхности (например, пунктирная линия, отображающая эрозионные поверхности между различными поясами каналов).*

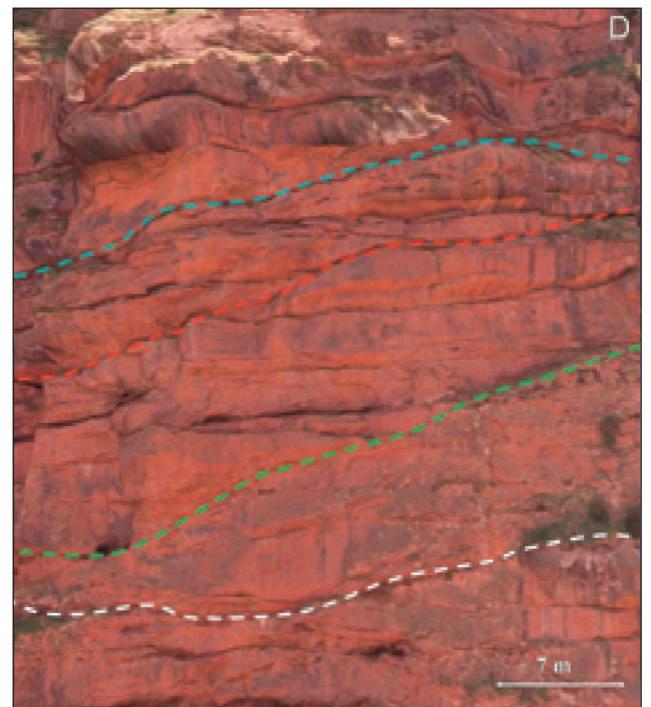


Рисунок 6Д *Текстурированная высокоразрешенная сканограмма, показывающая более высокий масштаб интерпретации. На этом уровне разрешения, можно интерпретировать кровли и подошвы различных макроформ (например, основание канала, элементы поймы, кровли утончающегося вверх разреза).*

Панорама – объединенная сканограмма низкого разрешения от трех положений сканирования (Ouk_01, Ouk_02 и Ouk_03). Данные можно проинтерпретировать в разнообразных масштабах, до разрешения порядка 10 см. Можно определить и проинтерпретировать основные структурные единицы (например главные региональные разломы) и кровли и подошвы главных формаций (например, средняя часть песчаников Oukaimeden) (Рисунок 6В). © 2007 EAGE

Северная Африка /Средиземноморье

При более высоком разрешении, можно откартировать более мелкие осадочные пакеты (Рисунок 6C), до того разрешения, при котором можно проинтерпретировать кровлю и подошву различных макроформ, таких как оснований врезов каналов, элементов поймы, и кровли утончающегося вверх разреза (рисунок 6D).

Затем эти данные экспортят в пакет программ моделирования коллектора, такой как Petrel или RMS, для разработки высокоразрешенных моделей.

Выводы

Несмотря на продолжающуюся разведку нефти и газа в Северной Африке с 1960-х, многие бассейны все еще недоисследованы, при этом имеется огромный потенциал разработки новых пластов, расширения бурения до более глубоких объектов, или улучшения добычи путем построения лучших моделей коллекторов. Ключом к открытию этих запасов часто является лучшее понимание геологической обстановки, стратиграфии, и седиментологии коллектора. Северная Африка содержит обширные обнажения главных пачек коллекторов, источников и покрышек, и полевые работы дают огромную потенциальную базу данных, которая ждет своего часа. Комплексные исследования в региональном масштабе/масштабе коллектора, включающие в себя как традиционные полевые работы, так и цифровую фотографию обнажения, и доступ к новым программам в целях улучшения интерпретации данных LIDAR, являются новым путем к улучшению

понимания как региональной геологии, так и детальной модели коллектора, в целях содействия проектам разведки и разработки в Северной Африке.

Благодарности

Авторы хотели бы поблагодарить за поддержку Северо-Африканскую исследовательскую группу и ее спонсоров Anadarko, Hess, BG Group, Repsol, Petro-Canada, Wintershall, Mearsk, Conoco, Occidental и Woodside, за поддержку ONHYM в Марокко, и за возможность использования программных продуктов, предоставленных Schlumberger и RMS.

Ссылки

- Benaouiss, N., Courel, L., et al. [1996] Rift-controlled fluvial/ tidal transitional series in the Oukaimeden Sandstones, High Atlas of Marrakech (Morocco). *Sedimentary Geology*, **107**, 1-2, 21-36.
- Mattis, A.F. [1977] Nonmarine Triassic sedimentation, central High Atlas Mountains, Morocco. *Journal of Sedimentary Petrology* 47, 1, 107-119.
- Hodgetts D., Drinkwater, N.J., et al. [2004] Three-dimensional geological models from outcrop data using digital data collection techniques: An example from the Tanqua Karoo depocentre, South Africa. *Geological Society Special Publication*, 239, 57-75