

## Северная Африка /Средиземноморье

## 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,<sup>1</sup> Dr Dave Hodgetts,<sup>2</sup> 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.

**Н**едавнее 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 покрывки 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 произведения 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.

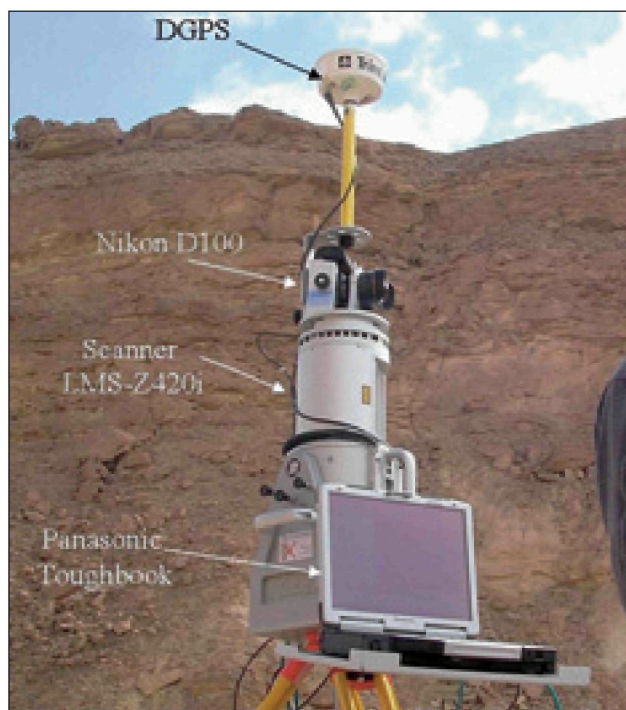
### Цифровые изображения обнажений

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. Сканнер 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.

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

<sup>2</sup>david.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 экспортировать 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, сканогаммы 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 сканогаммы готовы к интерпретации.

### Интерпретация и комплексирование цифровых данных и седиментологии

Ключевым элементом является способность извлекать ценную информацию из данных LIDAR и комплексировать сканогаммы 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 сканогамме, 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 сканогамм, включают:

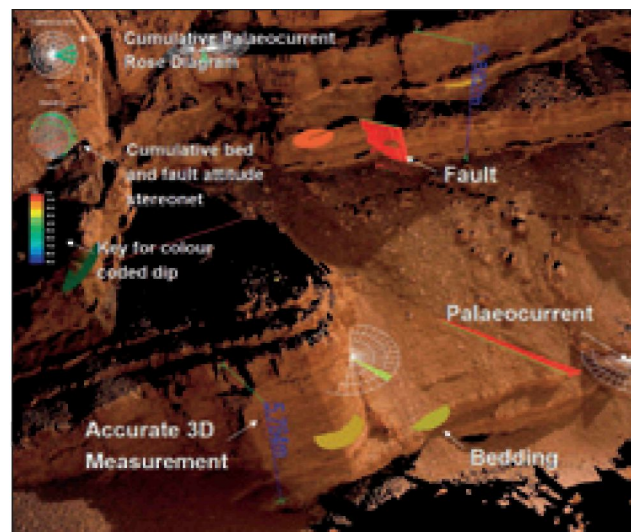


Рисунок 2 Вид из VRGS (Геологическая Студия Виртуальной Реальности) отображающий сгущение точек и различные опции, доступные в программе для геологических измерений и интерпретации.

#### 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 направлениях, 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 простираение пласта можно скорректировать мощность.

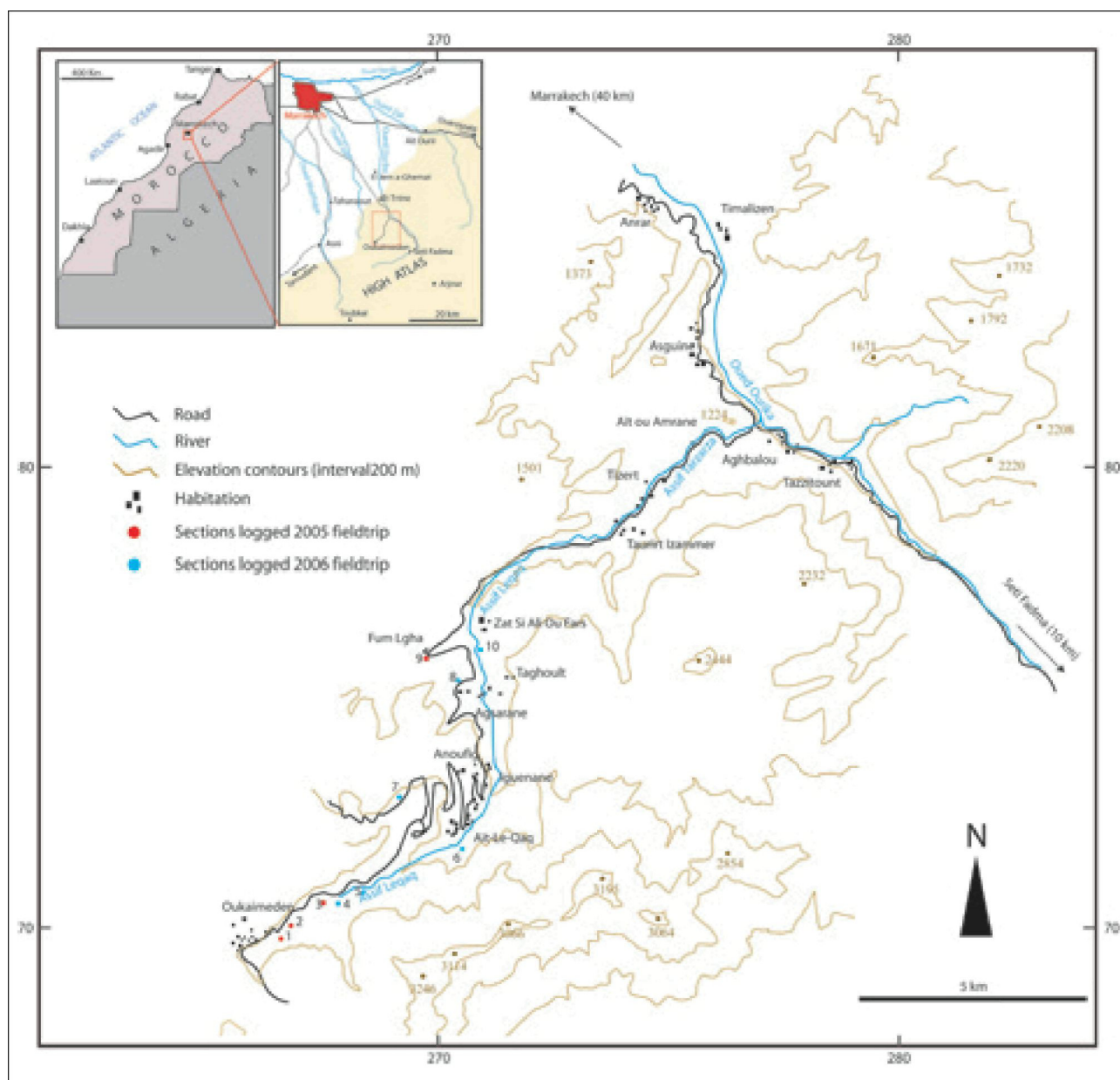


Рисунок 3 Карта изучаемого района в Марокко, на которой показаны пронумерованные позиции измеренных разрезов, включенных в проект: (1) Разрез озера Oukaimeden (смотрите рисунок 5).

#### 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, подсоединенным 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

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

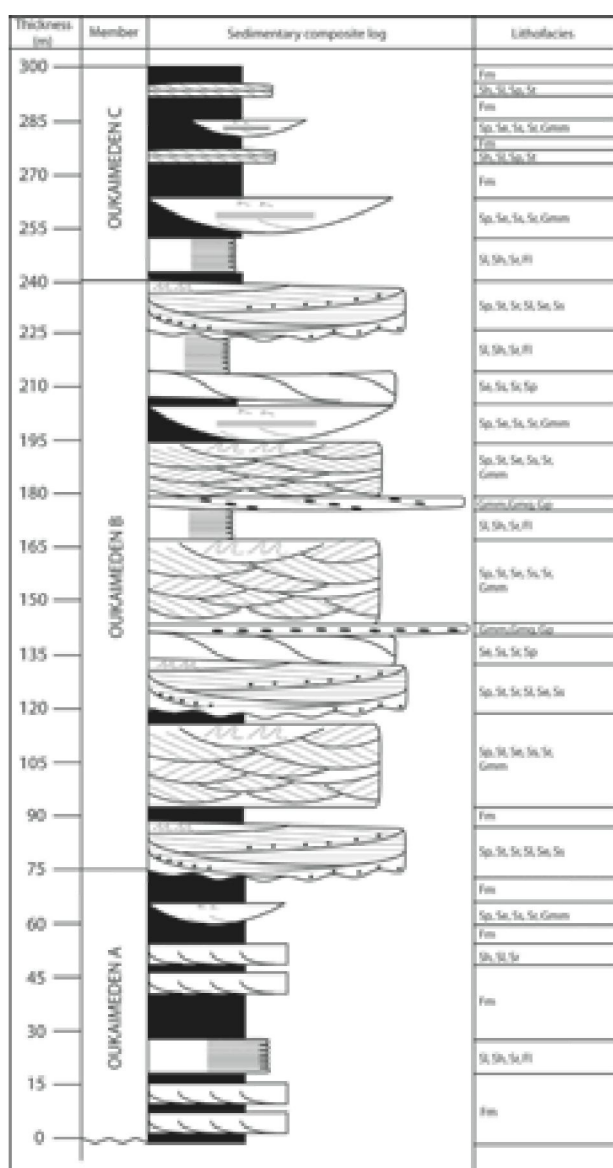
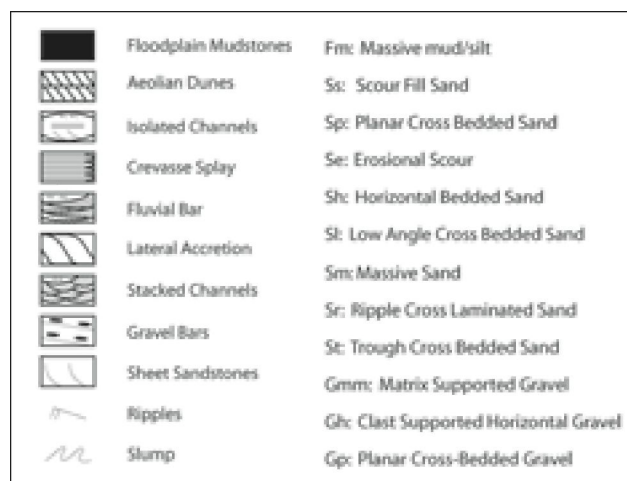


Рисунок 4 Формация песчаников Oukaimeden. Деление на различные пакки основано на полевых наблюдениях. быть обработан тем же способом как способ обработки изображения для увеличения контрастности, усиления краев, и т.д., что может помочь в интерпретации. Другая форма обработки основана на сравнении последовательных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



## 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.

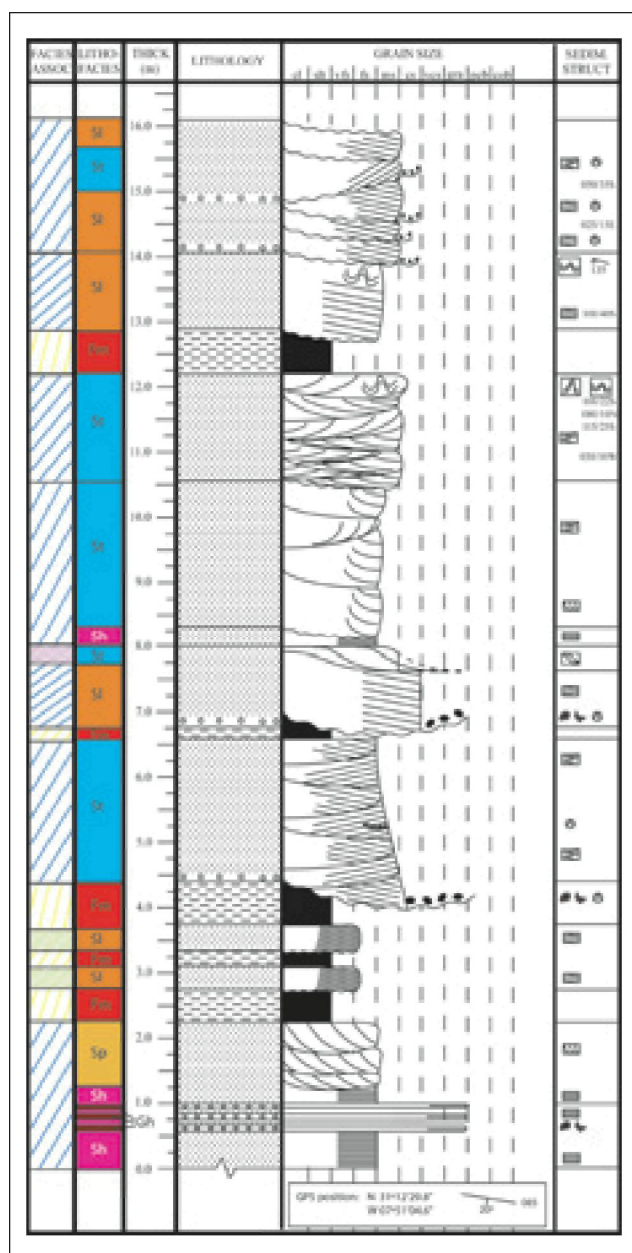
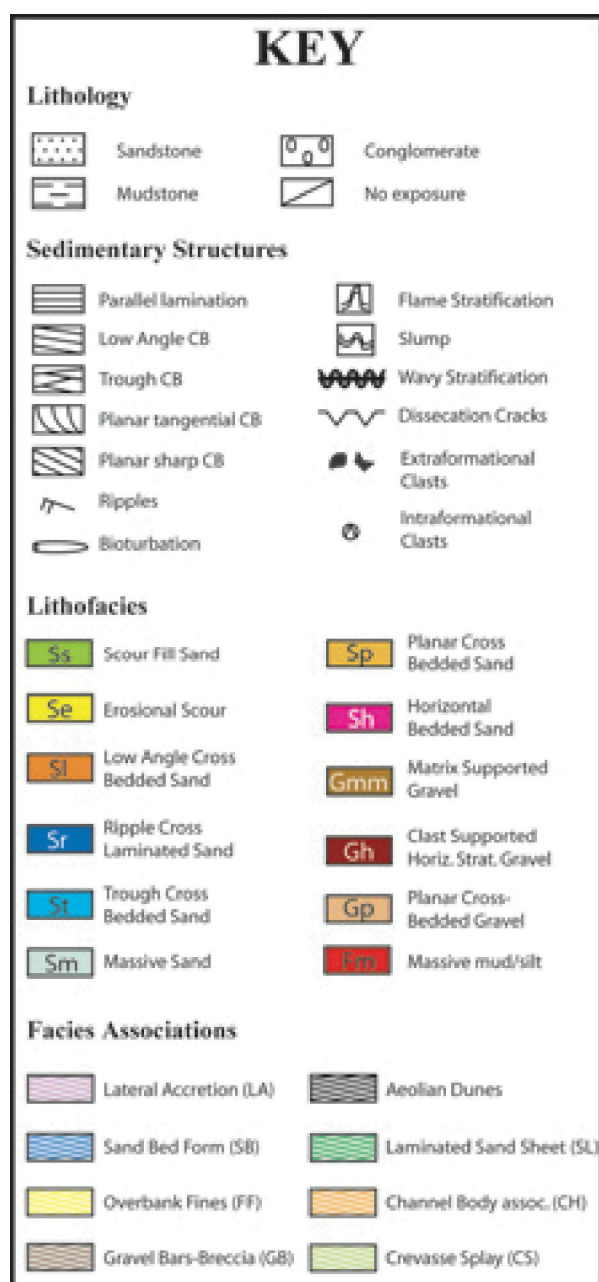


Рисунок 5 Осадочный разрез озера Ouikaïmeden (смотрите положение на карте).





## Северная Африка /Средиземноморье

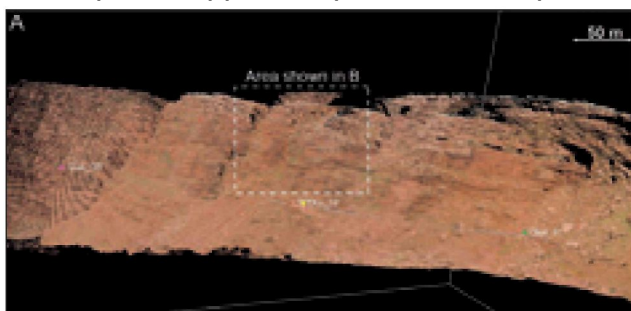


Рисунок 6А Общий вид главного обнажения, полученный путем объединения трех разных панорамных сканогрaмм (сканогрaмм низкого разрешения), полученных в трех разных положениях сканирования (Ouk\_01, Ouk\_02, и Ouk\_03).

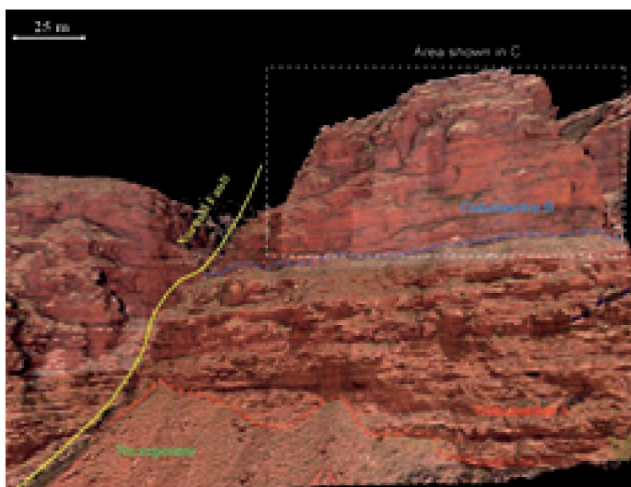


Рисунок 6В Опознаваемые ключевые поверхности включают в себя главные структурные особенности (например разломы) и кровли и основания главных формаций.

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 аккреция, 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.

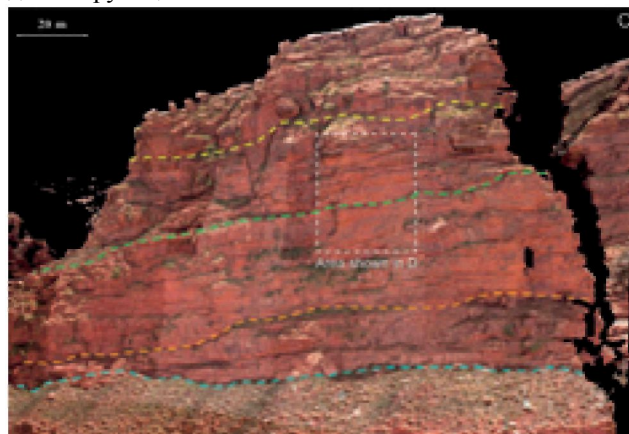


Рисунок 6С Цифровое отображение обнажения, на котором показаны верхняя часть песчаников Oukaimeden (отметим изменения масштаба). При работе в этом масштабе уже можно выделить новые ключевые поверхности (например, пунктирная линия, отображающая эрозионные поверхности между различными поясами каналов).



Рисунок 6D Текстурированная высокоразрешенная сканогрaмма, 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 сканогрaмма 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

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 экспортируют 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

## Северная Африка /Средиземноморье

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 Oukaïmeden 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