

## Многочисленные нефтяные комплексы в Восточной части Мексиканского залива

### Survey suggests numerous petroleum plays in the eastern Gulf of Mexico

Glyn Roberts<sup>1</sup> и Kjell Finstad<sup>2</sup> из GGS-Spectrum обсуждают значение недавно полученной 2-д сейсмической съемки около Западной Флориды в восточной части Мексиканского залива, эта область была разведана и разработана в последние годы

**В**следствие моратория, наложенного на бурение в нефтяной промышленности, очень немного современных сейсмических данных было получено в восточной части Мексиканского Залива до последней съемки GGS-Spectrum. Двумерная сейсморазведка (Западно-Флоридская съемка WF-05),

покрыла восточную и юго-восточную часть области 181 в восточной части Мексиканского залива (GOM), перемещаясь в Юго-Юго-Восточном направлении вдоль разломов Dry Tortugas и EEZ (рис. 1) и покрывающих территорий внешнего шельфа: De Soto Canyon, Florida Middle Ground, Lloyd Ridge, The Elbow, Vernon Basin и Howell Hook. Его восточная граница - приблизительно 125 миль от западного Флоридского побережья. Глубина океана изменяется от 200 м до 3200 м и перепад глубин определяется протяженным абразионный берегом Флориды.

Сейсмические данные были получены сейсмоприемной косой 8000 м. Длина сейсмической записи 13 секунд, число кратности 107. Экологическая экспертиза (EIA) проводилась до начала съемки и чтобы оценить и уменьшить различные эффекты съемки на морских млекопитающих были задействованы системы морских наблюдений за млекопитающими (ММО) и пассивное акустическое слежение (ПАМ).

Восточная область Мексиканского залива - один из последних остающихся в США малоизученных нефтяных районов и анализ



Рис 2 Геологические провинции

результатов этой съемки имеет целью позволить нефтяным компаниям и властям более точно определить потенциальные коммерческие объемы нефти и газа и спрогнозировать их будущее развитие.

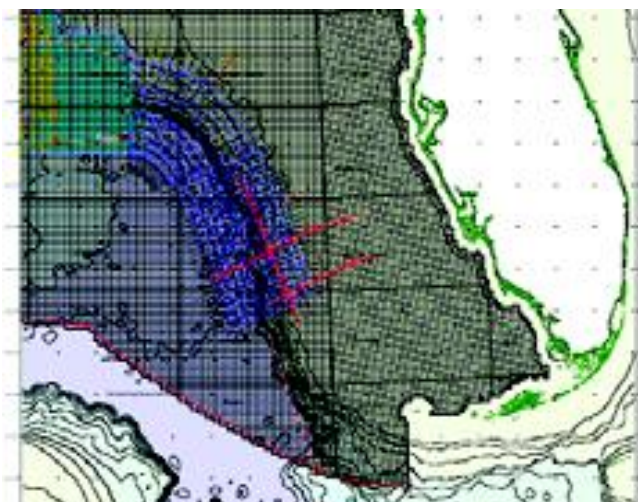


Рис 1 Расположение сейсмической съемки GGS-Spectrum's WF-05: 10 км x 7 км 2D сейсмической сетки.

### Геологическая история

Геотектоническое развитие Мексиканского залива (GOM) началось с разрушения суперконтинента Пангея в Раннеюрское время, с создания грабенов и полу- грабенов и заполнения окружающих пород большим количеством осадков. Сначала это были озерные и красные обломочные слоистые породы, вслед за ними была морская трансгрессия и формировались солевые отложения (например, соль Louann), отложения ангидрита и морское осадконакопление. На большинстве территорий площади съемки соль Louann, вероятно была сформирована в течение последнего среднеюрского периода и стала подвижной только после завершения рифтообразования, вторглась в качестве диапиров в слои с верхнее-Мелового и Нижне Олигоценного возраста.

Позже, в течение Верхне Юрского периода, для Северной части Восточного Мексиканского залива были характерны эоловые отложения песчаника Norphlet в глубинных бассейнах, в которых мощность достигала 1000 метров на участке территории осадконакопления (Gohrbandt, 2002).

<sup>1</sup>glyn@globalgeoservices.co.uk  
<sup>2</sup>kgf@ggs.biz.

## Геология нефти

Морские сланцы и обломочные турбидитовые породы осаждались на юге и западе. Это сопровождалось накоплением карбонатов Smackover на погружающейся поверхности с наклоном на запад и юго-запад. Карбонаты Smackover богаты органикой и представляют собой один из главных интервалов целевых пород в области, они также содержат некоторое количество залежей. В течение этого времени Мексиканский залив переживал начальную стадию распространение морских осадков на морском дне и вулканизм, которые вероятно, сегодня представлены океанской земной корой в центре из Мексиканского залива, на западе этой области, и вулканами на до-солевом уровне бассейна.

Со времени Раннего Мела, здесь были ряд обломочных и карбонатных регрессивных напластований, произошедших в результате размыва шельфа бассейна в сторону моря и развития на крае шельфа рифового комплекса от Ранне до Поздно Мелового возраста. Эта регрессивная последовательность создала мощное напластование карбонатных пород, которые клинообразно переслаиваются с обломочными породами в задней части рифовой области. В позднем Мелу и до Олигоцена, глубоководные осадки карбонатов перетекали под действием гравитации и осаждались, переслаиваясь с пропластками морских сланцев. Главное изменение в уровне осадконакопления произошло в Олигоцене, приведя к образованию мощной пачки обломочных пород

гравитационным путем и морских/полу-пелагических сланцев, которые накапливались со времени позднего Олигоцена до настоящего времени.

### Геологические провинции и комплексы пород

Геологически, область может быть поделена на две провинции, с соответствующими комплексами пород (рис. 2):

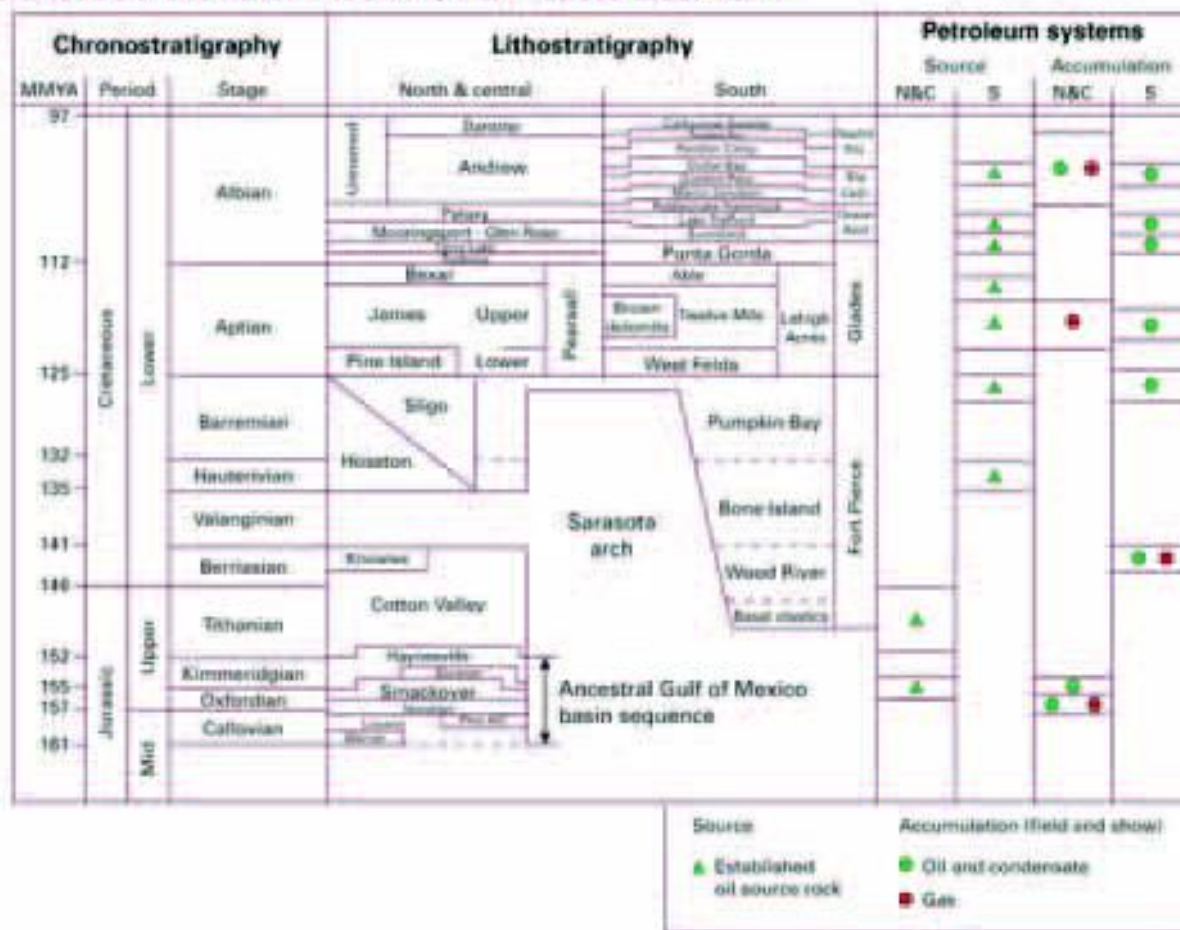
#### 1) Мезозой

- Комплекс пород абразионного берега, такие как отложения Верхне Юрского склона и Меловые отложения склона рифа и конуса выноса
- Глубоководные Юрские пласты типа горста/грабена (включая пласты погребенной возвышенности)
- Глубоководные пласты, связанные с границей Средне Меловых пачек пород (MCSB)
- Глубоководные пласты, связанные с солевой тектоникой

#### 2) Кайнозой

- Глубоководные Олигоценые и Миоценовые обломочные породы связанные со стратиграфическим несогласным трансрегрессивным залеганием.

### ONSHORE AND OFFSHORE STRATIGRAPHY, WEST FLORIDA SHELVE-SLOPE



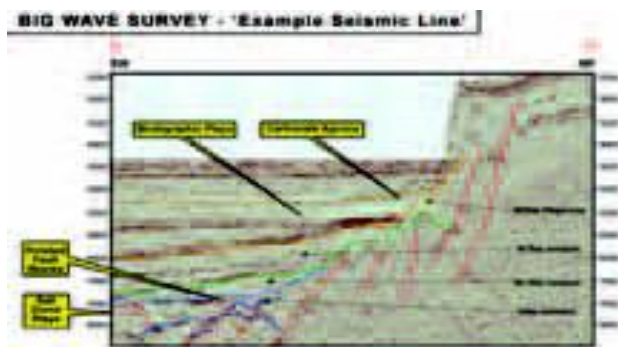
**Рис 3** Стратиграфия в восточной части Мексиканского залива (Gohrbandt, 2001): N&C = континентальный склон северной и центральной Флориды (площадь съемки).



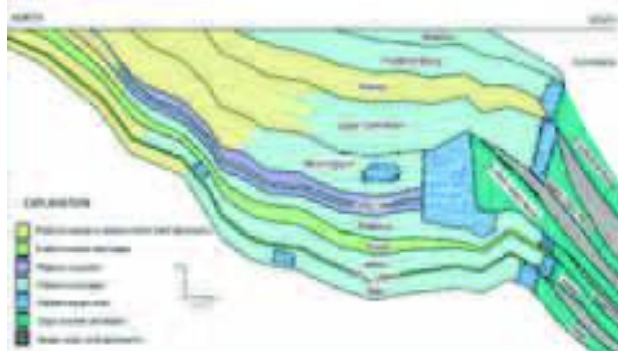
## Геология нефти

глубоководные Олигоценые и Миоценовые обломочные породы, связанные с солевой тектоникой

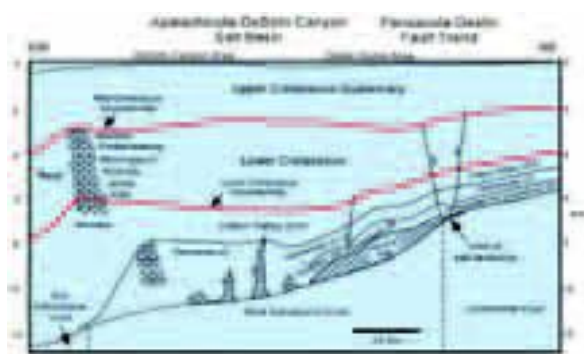
Залежи предполагаются в обоих Верхнеюрских (Оксфордских и Киммериджских карбонатах и возможно сланцах Tithonian и карбонатах по аналогии с Мексикой) и Нижне Меловых (Аптских и Альбских карбонатах и сланцах). Верхне Юрская залежь, как ожидают, будет заполнена газом и конденсатом;



**Рис 4а** СВ-ЮЗ сейсмический профиль: миграция во временной области выделяет различные нефтеносные пласты (длина разреза ~ 50 км).



**Рис 5а** Схематический геологический разрез L. Cretaceous - береговые, рифовые и склоновые фации (Mancini et al., 2001, Copyright: GCSSEPM).

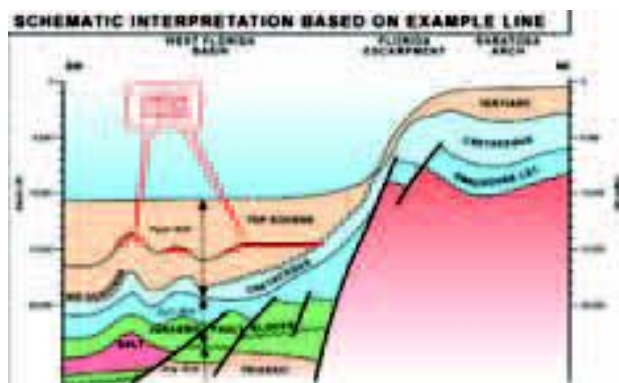


**Рис 5б** Общий геологический разрез солевого бассейна Aparachicola-Desoto Canyon (север области съемки) отмечена солевая тектоника и карбонатная береговая терраса (Mancini et al., 2001, Copyright: GCSSEPM).

в то время как Нижнемеловая залежь, вероятно, будет заполнена нефтью.

На Рис. 3 приводится итоговая залежь и интервалы резервуара на территории (Gohrbandt, 2001)

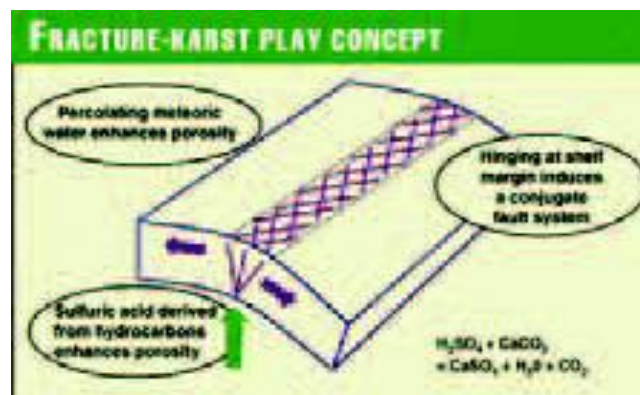
Верхнеюрская нефтяная система Norphlet-Smackover была опробована и подтверждена бурением на севере съемки в области Destin Dome (Gohrbandt, 2002) и можно предположить ее присутствие на представленном здесь Центрально Западно-Флоридском Шельфе.



**Рис 4б** Схематическая интерпретация типичного разреза СВ-ЮЗ.



**Рис 6а** Формирование резервуара из карстообразования (Wensrich and Clerke, 1999).



**Рис 6б** Концепция нефтеносных пластов в карстовом комплексе пород (Wensrich и Clerke, 1999).

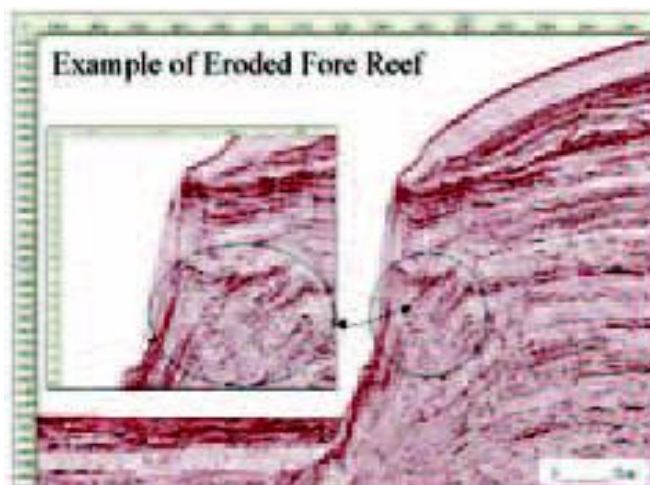


Рис 7 Платформенный морской риф.

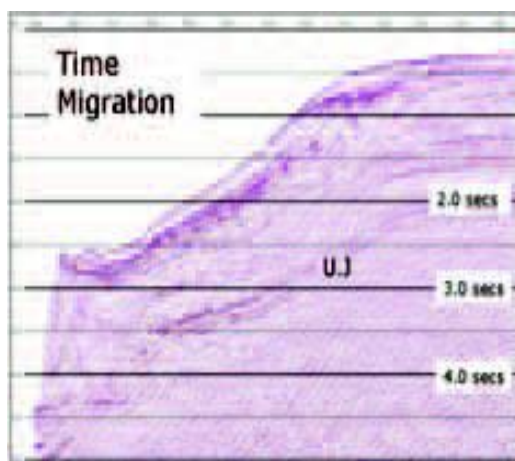


Рис 8 Временная миграция - платформенная часть (UJ=Upper Jurassic Norphlet формация)

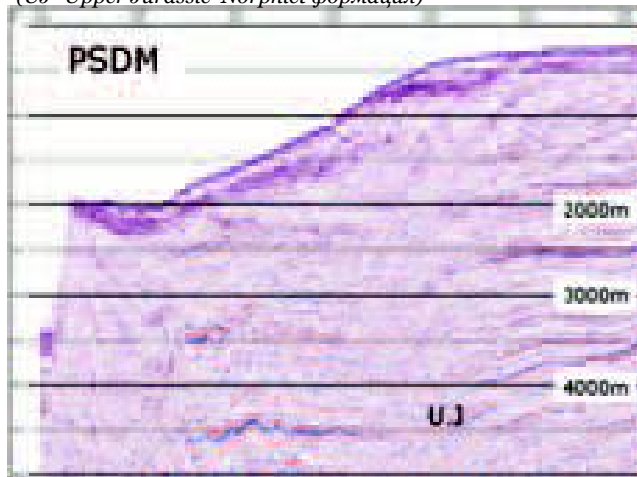


Рис 9 Глубинная миграция до суммирования (PSDM) – платформенной части - показывает, что то глубинное высокоамплитудное отражение (возможная структурная ловушка) на 3.5 сек на результате временной миграции (Рис. 8) теперь видна в виде купола (4500 м) на результате глубинной миграции.

Проникновение нефти, также отмечалось на территории (Pyles, 2001). Некоторые из примеров комплексов пород показаны на Рис. 4а и 4б и могут быть охарактеризованы следующим образом:

#### Мезозойские комплексы пород абразионного берега

Резервуары ожидаются в Верхнеюрских подводных биогермных образованиях на внешних частях карбонатного пилообразного склона. Кроме того, в Нижнемеловом периоде резервуары ожидаются в рифовых образованиях и на склоновых частях карбонатных отложений, а так же в обломочных переотложенных породах, покрывающих рифовые резервуары и в приносимых с шельфа терригенных отложениях, которые, как ожидают, будут ориентированы в направлении Нижнемелового края шельфа.

Эти геологические связи замечены на севере области съемки и проиллюстрированы в двух рисунках E.A Mancini и в других статьях про карбонатные Мезозойские системы нефти в Северо-восточной области Мексиканского залива и представленные в декабре 2001 на GCSSEPM Глубоководной конференции.

Развитие резервуара при карстообразовании, как ожидают, происходит во время частых малоамплитудных поднятий (Wensrich и Clerke 1999). Лучшие резервуары будут иметь естественную трещиноватость, усиленную выщелачиванием (Рис. 6а. и 6b).

Эродированный платформенный склон рифа можно увидеть на рис. 7 (поверхностный риф).

Современный абразионный берег Флориды можно определить по изменению глубин от к севера к югу на площади съемки (более крутое падение на юге), уклон достигает 25 градусов. Преобразование некоторых много компонентных сейсмических данных GGS-Spectrum к глубинному масштабу, с применением миграции до суммирования (PSDM) показало, что на глубине могут быть большие ловушки вдоль абразионного берега (рис. 8 и 9).

Результаты миграции также позволяют интерпретаторам-геофизикам легче понимать связь между шельфом и глубоководной акваторией. Это проиллюстрировано на рисунках 10а, 10б, и 10с, где мы можем сравнить миграцию до суммирования во временной области (рис. 10а) с разрезом глубинной миграции до суммирования с двойным временем пробега (рис. 10б) и разрезом глубинной миграции до суммирования, показанной в глубинной шкале (рис. 10с).

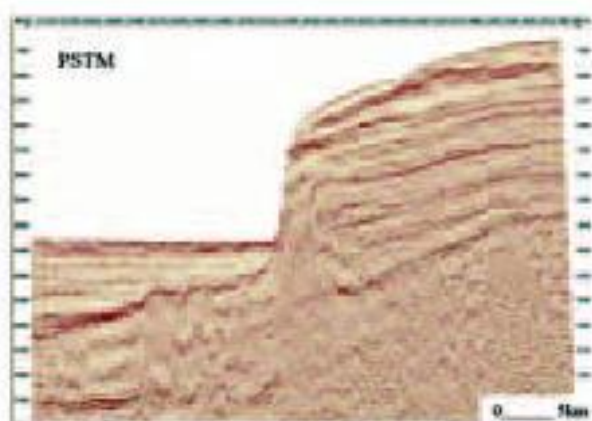
Здесь разрез глубинной миграции до суммирования, позволяет более легко картировать подошву соляного купола Louann от глубоководной части к шельфовой части (где также, вероятно, соль погружается под абразионный берег), и на кровле фундамента. Глубинный мигрированный разрез также помогает визуализировать и лучше понять соотношения между платформенной частью карбонатного рифа и глубоководными отложениями того же самого возраста. Другой тип шельфа показан на Рис. 10с – он возможно приурочен к рифу Thrombolitic (или другому типу рифа) он расположен между фундаментом на глубине приблизительно 8000 м и более мелководным репером на глубине около 7000 м.

Мезозойский абразионный берег также свидетельствует о присутствии каналов и возможного газового влияния (рис. 11). Эти каналы замечены на линиях простирания СЗ-ЮВ, указывают направление возможных потоков от русла рек к берегу (как иллюстрировано на рис. 6а). Эти реки были бы причиной присутствия кварцевых обломков в бассейне.

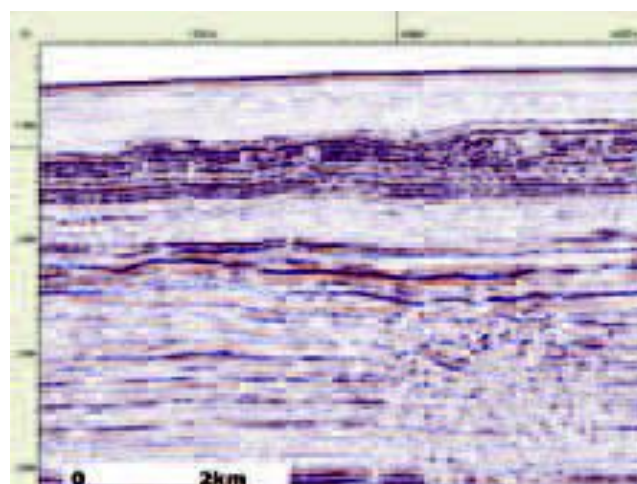
В дополнение к шельфовым склоновым комплексам пород описанным выше, карбонатный комплекс пород склона островного шельфа Верхнего Мела, Нижне Олигоценного



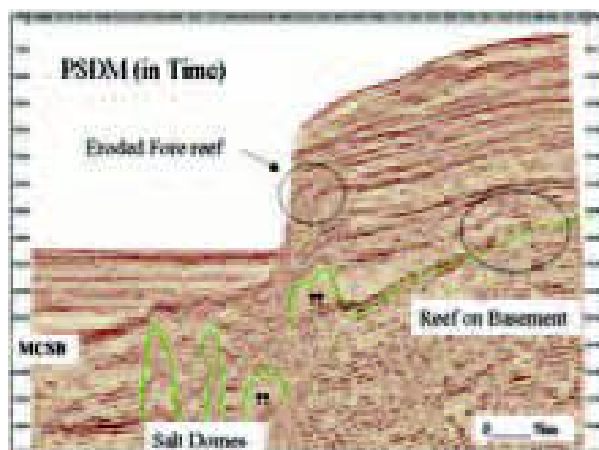
## Геология нефти



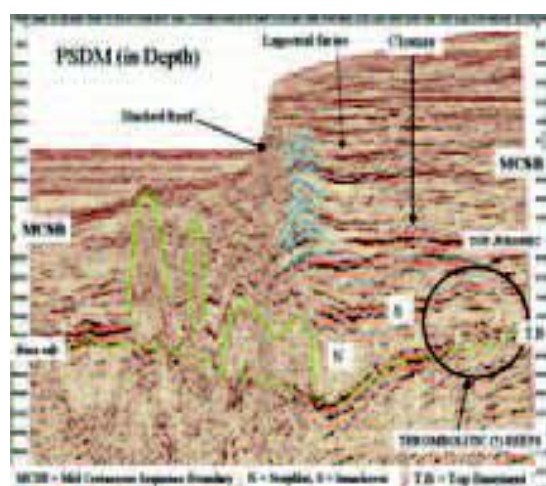
**Рис 10а** Миграция до суммирования во временной области (PSTM)



**Рис 11** Каналы, заметные на СЗ-ЮВ профиля’.

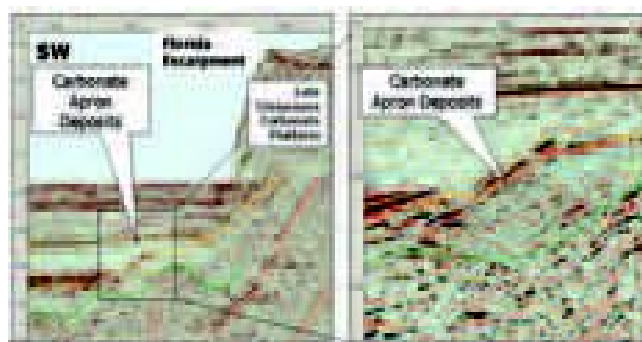


**Рис 10b** Разрез PSDM, показанный в двойном времени

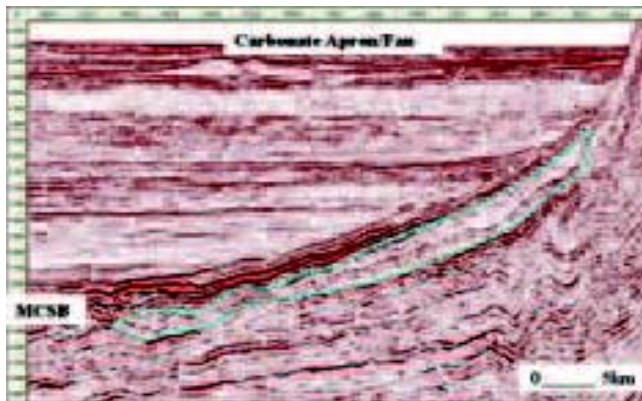


**Рис. 10с** Разрез PSDM, показанный в глубинном масштабе

возраста можно заметить у подножия склона (Рис. 12 и 13). Эти островные шельфы были образованы, благодаря периодическим разрушениям верхнего карбонатного берега и сбросом больших объемов осадков в направлении бассейна.



**Рис 12** Пример карбонатного конуса выноса.



**Рис 13** . Пример карбонатного конуса выноса

### Глубоководные Юрские комплексы пород ‘погребенного поднятия’

Комплексы пород Глубоководного Юрского ‘погребенного поднятия’ в мексиканском заливе были описаны Постом и др. (2001) и иллюстрированы на Рис. 14а и 14b.

Они делят нефтеносный пласт следующим образом:

- а) структурные комплексы пород погребенного поднятия
- б) стратиграфическо-детритовые комплексы пород погребенного поднятия
- с) складчатостные комплексы пород погребенного поднятия

В комплексах пород погребенного геологического тела, палеотопографические особенности фундамента (то есть захороненные поднятия), могут иметь свойства резервуара (как в структурных комплексах пород погребенных поднятий),

## Геология нефти

или из-за эрозии они могут становиться обломочными комплексами пород, или из-за различного уплотнения, они могут образовывать вышележащие складчатые комплексы пород. Пример комплекса пород показан на рис. 15, который является увеличенной частью того же самого сейсмического профиля, показанного на рис. 4. Этот комплекс пород идентичен наклоненному сбросу Brent в Северном море, на шельфе Великобритании.

Ожидается, что в структурных комплексах пород погребенных поднятий, блоки, составляющие погребенные тела, будут трещиноватыми и выветрелыми, что позволит им иметь хорошие коллекторские свойства. Верхняя часть резервуара может играть роль покрывки из-за диагенеза или мелкозернистых более молодых слоев, обычно включающих нефтематеринские

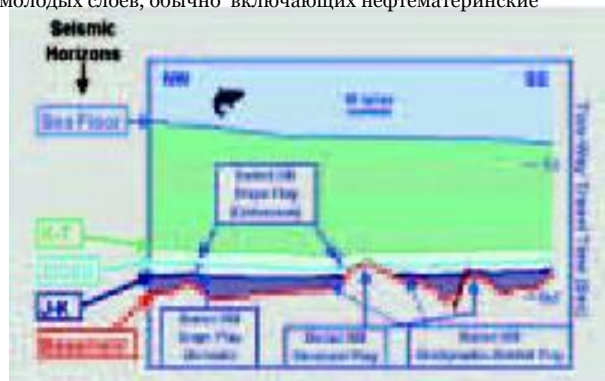


Рис 14а Модель-диаграмма погребенного тела (Post, 2001, Copyright: GCSSEPM).

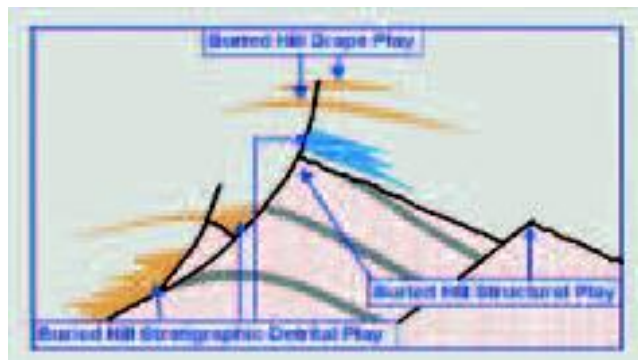


Рис 14б Модель-диаграмма комплекса пород погребенного тела (Post 2001, Copyright: GCSSEPM).

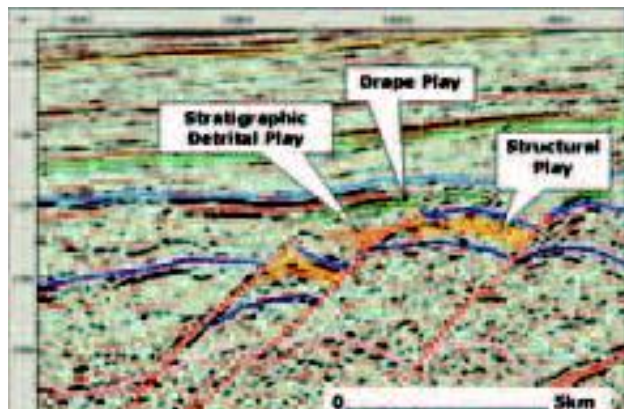


Рис 15 Комплекс пород погребенного тела

породы, (Пост и др., 2001). Погребенная возвышенность стратиграфически-обломочного комплекса пород граничит с эрозийными блоками, ограниченными сбросами и смещениями обломков кварца, осажденных в локальной залежи.

Пример погребенного складчатого холма представлен Юрским периодом и Меловыми слоями, дифференцированными по степени уплотнения над более твердыми погребенными структурами поднятия. Сам погребенный холм могли также затронуть условия осадконакопления окружающих пород, например образование высокоэнергетичных кварцево-обломочных окружающих пород, таких как найденные в прибрежном барьере или дельтовых системах. Увеличение мощности водного бассейна приводит к погружению этих окружающих пород, делая глубоководные аргиллиты и мергели хорошими покрывками (Пост и др., 2001). Благодаря строению и расположению особенностей, показанных в этом примере, было сделано предположение о том, что они являются истинными погребенными холмами, а не элементами аккреционной/океанической коры, которые были идентифицированы и описаны (Imbert, 2005) на абиссальной равнине.

#### Комплексы пород связанные со Средне Меловыми границами отложений (MCSB)

В глубоководной акватории, MCSB представляет собой трансгрессию, которая способствовала формированию морских сланцев и кварцево-обломочных пород над более ранними отложениями - возможно они являются хорошей покрывкой и резервуаром.

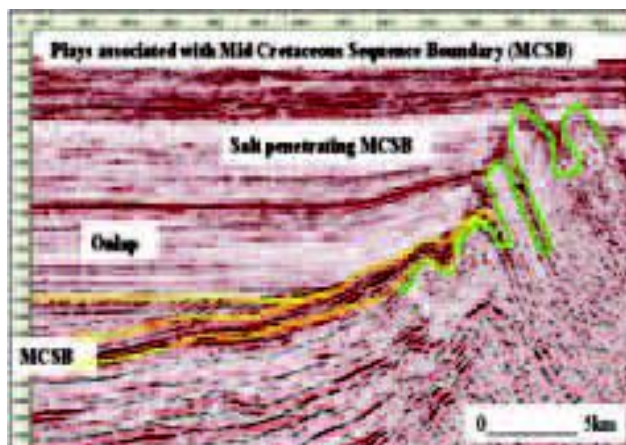


Рис 16 Комплекс пород, объединенный с MCSB (здесь соляной купол пробивает MCSB и почти достигает морского дна).

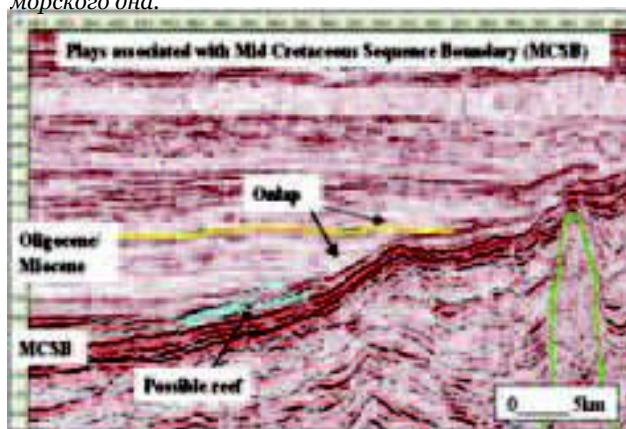


Рис 17 Комплексы пород, объединенные с MCSB (рифтовые структуры)



Рифы или холмы также найдены на этом уровне. Структура MCSB показана на Рис. 16 и 17.

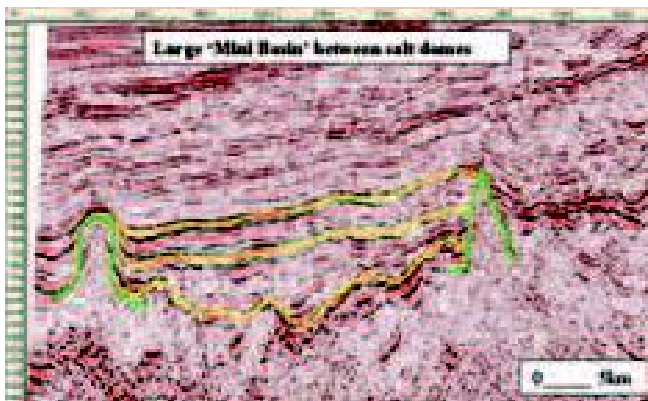
#### **Юрские-нижнемеловые комплексы пород, связанные с солевой тектоникой**

Тектоника солевых отложений имеет, вообще, автохтонное многообразие и представлена солевыми «подушками» и диапирами, рост которых контролируется весом вышележащих осадков и тектоникой. На Рис. 18a и 18b показан большой 'мини-бассейн' между двумя соляными куполами. Здесь скопление углеводородов ожидалось в грабенах с последующей миграцией к соляной области купола, где соль и мергели могли бы стать покрывкой.

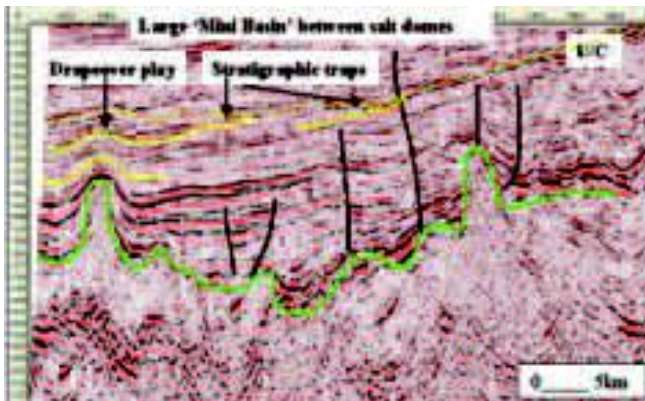
Солевая тектоника привела к образованию новой структуры в области бассейна; ее можно увидеть на рис. 19a и 19b, на которых видно классическое утолщение пласта соли, создающее потенциальное складкообразование и несогласное трансгрессивное залегание в Нижнемеловых отложениях.

Часто кровля пласта солевого диапира лежит на уровне MCSB, это говорит о том, что солевой диапир растет до установления здесь равновесного состояния. Рис. 16 - исключение, он показывает солевое 'проникновение' почти до дна моря.

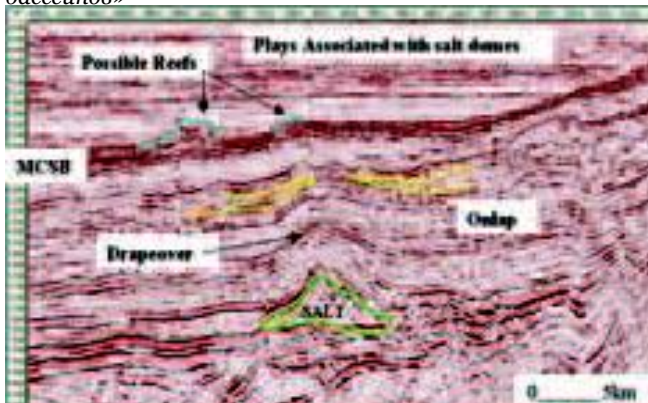
Также интересно отметить, что в некоторых случаях, как на рис. 22, солевые диапиры, возможно, были субаэрально



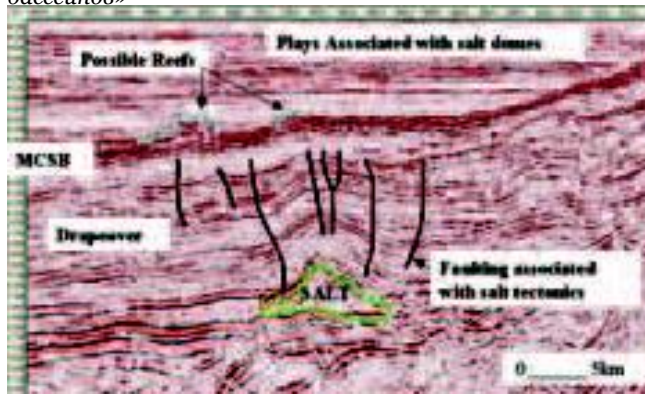
**Рис 18a** Юрские/Нижнее Меловые комплексы пород связанные с солевой тектоникой крупных «мини бассейнов»



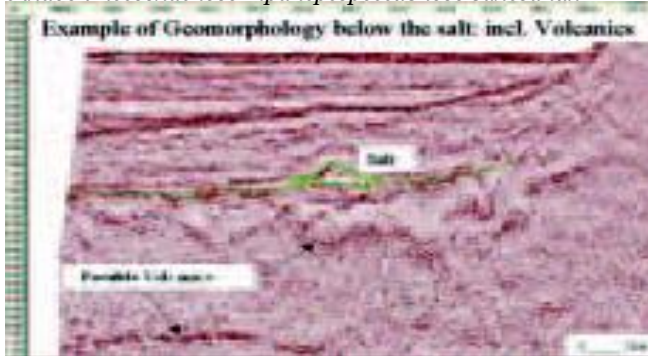
**Рис 18b** Юрские/Нижнее Меловые комплексы пород связанные с солевой тектоникой крупных «мини бассейнов»



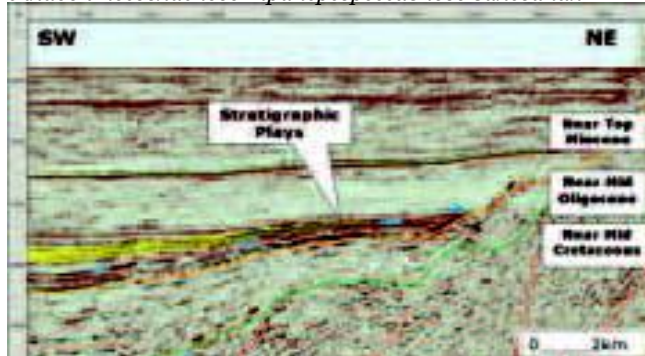
**Рис 19a** Юрские/Нижнее Меловые комплексы пород связанные с солевой тектоникой «солевых подушек» и складок несогласного трансгрессивного залегания



**Рис 19b** Юрские/Нижнее Меловые комплексы пород связанные с солевой тектоникой «солевых подушек» и складок несогласного трансгрессивного залегания



**Рис 20** Пример геоморфологии диапира в основании разреза.



**Рис 21** Несогласное олигоценное-миоценовое трансгрессивное залегание.

## Геология нефти

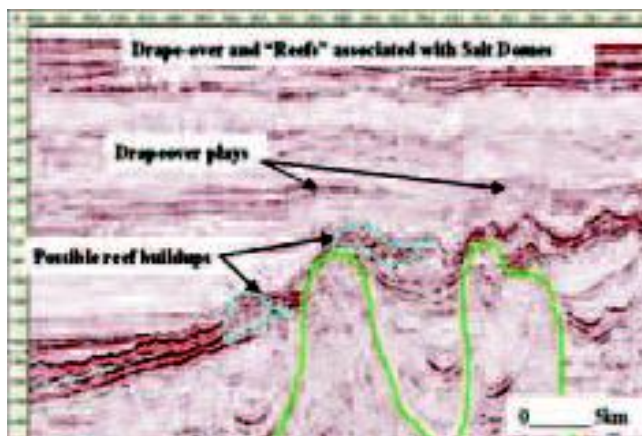


Рис 22 Складки над соляными куполами.

открытыми перед началом процесса трансгрессии MCSB, а возвышения, интерпретируемые как рифы, могут быть ледниковыми отложениями. Субазальное воздействие соли также привело бы к формированию покрывающей породы и созданию хорошей покрывки. Определение времени углеводородной миграции было бы ключом к определению нефтеносности комплекса пород в этом примере.

Также интерес представляет - соотношение смещения солевого купола относительно положения морского дна/вулканизма и геоморфологического фундамента (Imbert, 2005, Imbert и Phillipe, 2005). Возможно, вулканические отражающие горизонты могут присутствовать ниже уровня солей в бассейне (например, рис. 20). Ключевым вопросом станет их идентификация, с использованием сейсмики, данных по скоростям и магнитных методов, принимая во внимание их природу и их влияние на возможную перспективность изучаемой области.

#### Олигоценые и Миоценовые глубоководные комплексы обломочных пород

##### Конус выноса глубоководного бассейна Олигоцен-Миоценового возраста

Обширная система бассейна и условия осадконакопления системы были изучены в условиях современной глубоководной акватории (рис. 21). Многие из этих песчаных пород оказались 'яркими' объектами.

#### Олигоцен - Миоценовые комплексы пород связанные с солевой тектоникой

Фактически площадная съемка показывает, что существующая соль Louann более обширна чем думали прежде. Соль обычно представляется в виде диапиров, которые сложены более молодыми отложениями и создают стратиграфические и структурные комплексы нефтеносных пород в Олигоценых и Миоценовых отложениях (см. рис. 22).

#### Заключение

Новая сейсмическая съемка WF-05 показала большое количество различных комплексов пород с высоким потенциалом в глубинной и мелководной части шельфа Западной Флориды, в Восточной части Мексиканского залива. Доказано присутствие континентальных /переходных участков коры на глубоководной части области съемки с большими рифтовыми грабенами/горстами и обширной солевой тектоникой, с присутствием механизма складкообразования.

Будущие геофизические работы будут выполнены в ближайшем будущем, с использованием ABO и PSDM; так же будет проведена интеграция гравиметрических и магнитных данных, которые были также получены наряду с сейсмическими данными. Эта работа может также помочь ответить на часть вопросов о характере континентальной/переходной/океанской земной коры, которые были выдвинуты специалистами - геологами, которые изучают район Мексиканского залива.

#### Благодарности

Мы благодарны GCSSEPM за то, что она позволила нам использовать рисунки E.A Mancini и др. и Поста PJ и др. (2001) и документы конференции. Авторские права на эти рисунки принадлежат GCSSEPM и ими распоряжается GCSSEPM.

#### Ссылки

- Gohrbandt, K. [2001] West Florida shelf and slope prime target for gas, oil in eastern Gulf of Mexico. *Oil and Gas Journal*, 11 June.
- Gohrbandt, K. [2002] Eastern Gulf of Mexico-1: A look at regional deposition under W. Florida shelf, slope. *Oil and Gas Journal*, 21 January.
- Gohrbandt, K. [2002] Eastern Gulf of Mexico-2: Here is habitat of oil and gas under W. Florida shelf, slope. *Oil and Gas Journal*, 28 January.
- Gohrbandt, K. [2002] Eastern Gulf of Mexico-3: New assessment offered for W. Florida shelf, slope. *Oil and Gas Journal*, 4 February.
- Imbert, P. [2005] The Mesozoic opening of the Gulf of Mexico: Part 1, Evidence for oceanic accretion during and after salt deposition. *GCSSEPM 2005*.
- P. Imbert and Y. Phillippe [2005] The Mesozoic opening of the Gulf of Mexico: Part 2, Integrating seismic and magnetic data into a general opening model: *GCSSEPM 2005*.
- Keller, P. Initial interpretation study. (Internal GGS document)
- Lakin, M. [2006] West Florida Project Synopsis. (Internal GGS document)
- Mancini, E.A. et al. [2001] Mesozoic Carbonate petroleum systems in the NE Gulf of Mexico Area. *GCSSEPM Deep Water Conference*.
- Post, P.J. et al. [2001] : Mesozoic ultra-deep water potential of the US Gulf of Mexico - Conceptual play development and analysis. *GCSSEPM Deep Water Conference*.
- Pyles, D.R. et al. [2001]: Stratigraphic and Tectonic Framework of the De Soto Canyon and Lloyd Ridge Protraction Areas, NE Gulf of Mexico: Implications for the Petroleum System and Potential Play Types. *GCSSEPM Deep Water Conference*.
- Wensrich, M.D. and Clerke, E.A. [1999] Quality 3D data identifies fractured, karsted carbonate reservoir prospects in high-potential Eastern Gulf of Mexico play. *Oil and Gas Journal*, October.