

## **Новые данные переоценки потенциальных углеводородных залежей на**

площади Саба Банк (Нидерландские Антильские острова)

New data redefines petroleum potential of the Saba Bank area, Netherlands Antilles

Консультанты Ричард Е. Черч (Richard E. Church), геолог и Кевин Р. Аллисон (Kevin R. Allison), геофизик, предполагают, что пересмотр старых и анализ новых сейсмических данных помогут вскрыть невыявленные ранее потенциальные углеводородные залежи.

Саба Банк - погруженный карбонатный вал, расположенный на юго-западе острова Саба в юго-восточной части Карибского моря. Он лежит на стыке Малых и Больших Антильских островов в 200 км восточнее Пуэрто-Рико и 50 км южнее Синт Маартена (Рисунок 1). Вал представляет собой платформу в форме эллипса от 10 до 100м под уровнем моря, и занимает площадь около 2200 км<sup>2</sup> (Рисунок 2).

Предыдущие исследования обнаружили в этом месте третичный осадочный бассейн. Восточная половина бассейна сложена 4000 м осадков с эоценового времени по настоящее, а западная – небольшим слоем третичных отложений подстилаемых мощной пачкой дозопеновых (меловых?) отложений.

а Третичные отложения и более древняя шельфовая область разделены крупным ложным сбросом. (Рисунок 2).

Саба Банк – часть Нидерландских Антильских островов. Нефтяные работы в этом районе ведутся компанией Saba Bank Petroleum Resources (SBPR), принадлежащей центральному правительству Нидерландских Антильских островов совместно с правительством острова Саба, Синт Маартен и Синт Эустатиус.

Переобработка сейсмических данных помогла определить перспективный меловой участок площадью 200 км<sup>2</sup>, содержащий сводовую ловушку в западной неразбуренной части Саба Банк.

Кроме того, в том же районе находятся пять больших перспективных районов и семь возможных ловушек углеводородов на различной глубине (Рисунок 3). В настоящее время Саба Банк не имеет лицензии на разведку и доступен SBPR по соглашению о разделе продукции с очень мягкими условиями налогообложения.

## История изучения

Начиная с 1970 года, в районе Саба Банк было проведено около 4300 км сейсмических съемок. Было разбурено лишь две разведочные скважины и обе расположены на востоке бассейна (Рисунок 2).

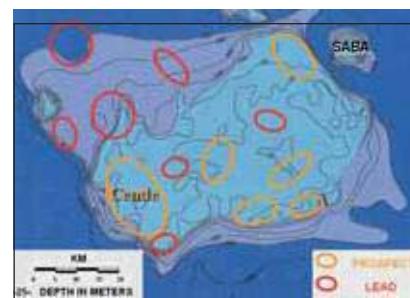


### **Рисунок 1 Расположение Саба Банк**



**Рисунок 2** Расположение Саба Банк и батиметрические данные. Две разведочные скважины были пробурены в третичных отложениях.

В 1977 Marathon пробурил первую скважину Saba Bank-1 (SB-1) для группы, включавшей Amerada Hess, Anadarko, Hamilton Brothers, Weeks и Santa Fe Minerals. Скважина была законсервирована как сухая с незначительным содержанием газа после достижения глубины 2974.7 м, однако при бурении были встречены переработанные органические отложения и мигрированные углеводороды, образованные в более глубоких материнских породах. В 1982 Fina Petroleum пробурила Saba Bank-2 (SB-2), расположенную в 15 км на северо-восток от SB-1. Группа операторов состояла из Cities Service, Arkla Exploration и Weeks. Скважина также прошла переработанные меловые органические осадки перед тем, как быть законсервированной по достижению глубины 4231 м как сухая с незначительным содержанием газа.



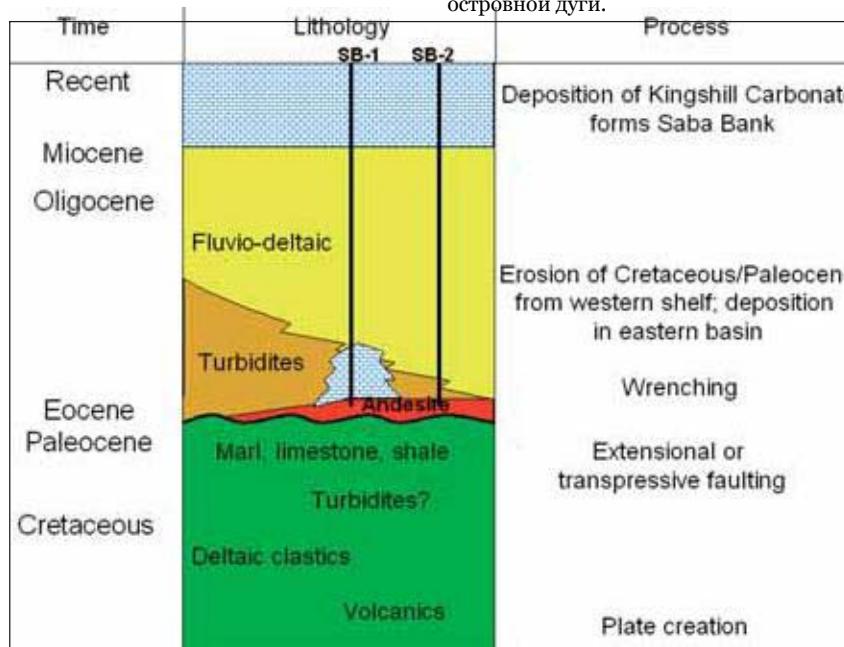
**Рисунок 3** Возможные ловушки углеводородов на Саба Банк и перспективные районы, определенные с помощью гравиразведки и сейсмических данных.

#### Геологическая характеристика

Осадконакопление на Карибской плите началось в раннюю юру. После формирования осадки начали сноситься к востоку относительно Американских континентов. Меловые отложения широко распространены и часто обладают большой мощностью. Так на острове Сант-Кройкс в 150 км к северо-западу от Сада Банк находится свыше 10,000 м позднемеловых глубоководных известняковых турбидитов и вулканогенных осадков, которые вероятно были принесены туда с севера. Пока есть только одно стратиграфическое доказательство, необходимое для определения палеогеографии Сада Банк во время позднего мела, результаты отдельных драговых проб предполагают, что раньше здесь была обширная мелководная платформа, расположенная внутри вулканической островной дуги.

Единственное известное обнажение палеоценовых пород на Малых Антильских островах находится в 60 км севернее от Саба на острове Ангвила. Мергелистые известняки и черные глины полностью лишены вулканических элементов, что говорит о перерыве в вулканической активности приблизительно между 65 и 58 млн. лет назад во времена палеоцена. В извлеченных из скважины Saba Bank-1 образцах были также найдены переработанные палеоценовые споры. Эоценовые осадки представлены более широко. Они содержат вулканогенный материал, отложенный в неритовых и батиальных склоновых условиях и рифообразующие кораллы на мелком морском карбонатном шельфе. Помимо распространенной ранней вулканической активности, эта ситуация существовала до позднего миоцена. В это время область Саба Банк опускалась в связи с погружением северной части магматического дугового комплекса Малых Антильских островов. Саба Банк являлось местом отложения карбонатов, чему способствовало его погружение так, что оно оставалось мелководной карбонатной платформой.

В настоящее время на западной стороне севера Малых Антильских островов Саба Банк представляет собой тыловую дуговую бассейн, а на восточном краю Карибской плиты - активную граничную островную дугу. Остров Саба сам является небольшим стратовулканом, который начал формироваться около 500тыс. лет назад; это не должно повлиять на углеводородную перспективность района.

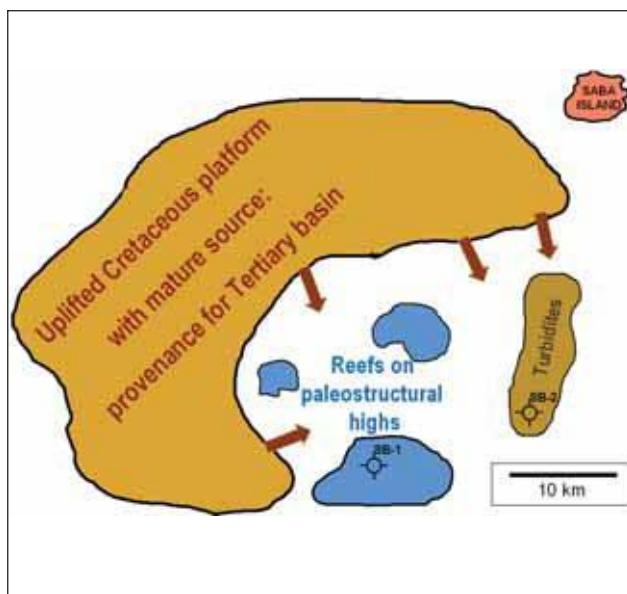


**Рисунок 4** Generalized stratigraphic chart for Saba Bank.

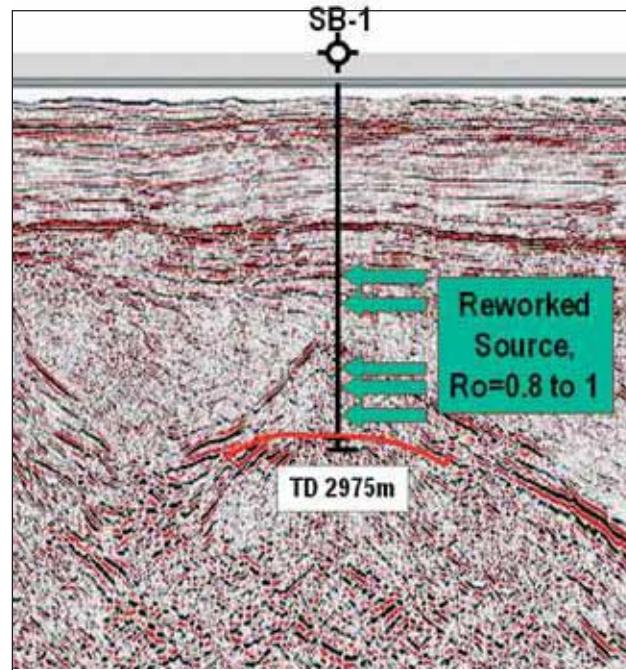
#### Стратиграфия

Скважины SB-1 и SB-2 вскрыли толстую пачку третичных осадков, сложенных средне- и позднеэоценовыми карбонатами и обломочными породами, перекрывающими андезиты, которые датируются ранним палеоценом (64.5 млн. лет) в SB-1 и поздним эоценом (38.4 - 37.3 млн. лет) в SB-2 (Рисунок 4).

Анализ сейсмических и аэромагнитных данных показал, что под андезитами находятся мощные осадочные толщи. Ряд сейсмических профилей дал достаточно четкие отражения ниже вулканитов, которые испытывают погружение, которое не соответствует перекрывающим их толщам. Интерпретация аэромагнитных данных над скважиной SB-2 показала, что основание находится на глубине от 6100 до 6700 м и на 1900 - 2500 м ниже забоя скважины.



**Рисунок 5** На севере и западе третичные отложения представляют собой, предположительно, переработанные позднемеловые осадки.



**Рисунок 6** Горизонты с переработанным нефтематеринским меловым органическим материалом в скважине SB-1.

Сейсмические данные характеризуют эти довулканические осадки, как достаточно мощные на востоке и теряющие мощность на более древней западной части бассейна.

Возраст этих довулканических отложений неопределен. Если датировка, сделанная для Fina, верна, то довулканические отложения могут принадлежать палеоценовому или среднемиоценовому времени и перекрывать верхнемеловые или, возможно, меловые, более древние породы. Драгирование на Aves Сwell и Aves Swell и обнажения на Пуэрто Рико и острове Сант Кроикс свидетельствуют о широком распространении верхнемеловых осадков в регионе. Анализ керогена в SB-1, сделанный Marathon, обнаружил значительное количество переработанного мелового углеродсодержащего материала, содержащегося в верхнеэоценовых и среднемиоценовых вулканогенных толщах. По характеру этого материала можно предположить, что он получен из поверхностных меловых дельтовых отложений, которые претерпели значительно меньшую деформацию, чем отложения неподалеку от Сант Кроикса. Robertson Research предоставила отчет, в котором говорится об аналогичных переработанных меловых известняковых породах с микроорганизмами в разрезе SB-2, однако более глубоководных. На основании сейсмического картирования было предположено, что источником такого рода позднемеловых осадков может являться северо-западная часть Саба Банк (Рисунок 5).

## Нефтяная геология

### Результаты по скважинам

Скважина SB-1 была пробурена на юго-восточной части Саба Банк для поиска возможных углеводородных залежей на среднетретичном рифе. 934 метра целевой толщи разреза содержали несколько интервалов пористых и проницаемых карбонатов с незначительным содержанием газа.

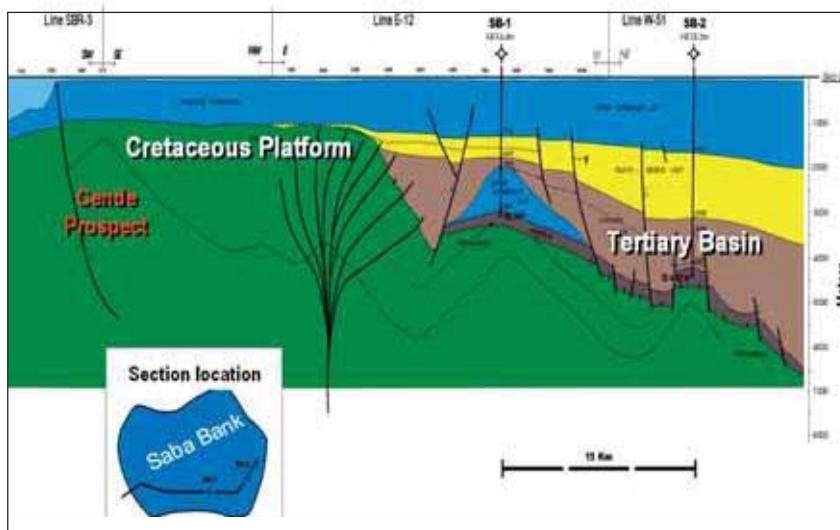
Fina group пробурила скважину SB-2 в районе сейсмической аномалии. Предполагалось, что на большой глубине находятся нефтесодержащие породы, которые могли бы быть зрелыми. Ождалось, что эта скважина должна была бы также вскрыть карбонатные фации коллектора. Однако целевые карбонатные фации не были представлены: вместо них были вскрыты эквивалентные турбидитные отложения/отложения глубоководных конусов выноса. При бурении было обнаружено лишь незначительное содержание газа, хотя анализ каротажных кривых прогнозировал возможное наличие газосодержащего коллектора. Во время теста не было получено никаких жидкых углеводородов, хотя из бурильных труб было извлечено небольшое количество газа C<sub>1</sub>-C<sub>5+</sub>.

### Потенциал нефтематеринских пород и геохимия

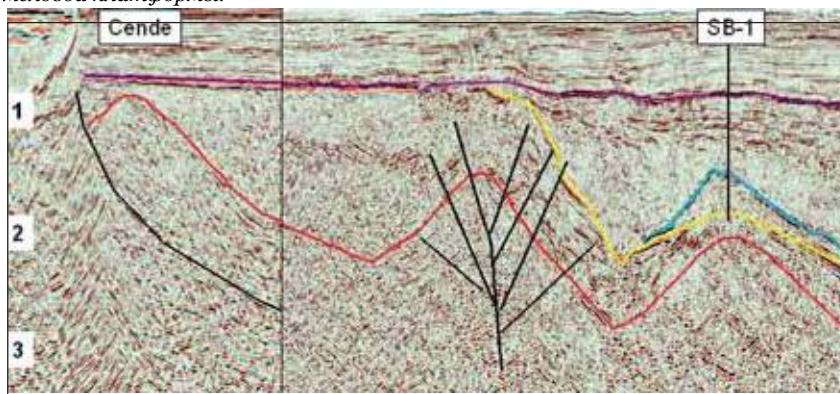
Ключом к пониманию потенциала меловых нефтематеринских пород на Саба Банк является нефть и исходный материал, найденные в третичных разрезах при бурении двух скважин.

Новая интерпретация геохимических данных из SB-1, проведенная Robertson Research, предположила, что большая часть или все извлекаемые углеводороды в образцах представляют собой результат миграции из нефтематеринских пород. Исследования развития керогена, проведенные Marathon, показали, что термальное созревание проницаемых толщ мало; образцы, взятые в районе забоя скважин из зоны генерации, не обладают достаточной термической зрелостью для того, чтобы имела место нефтегенерация.

Marathon отметил наличие более древнего переработанного органического материала в нескольких образцах. Керн с боковых стенок содержал большое количество грибкового материала и множество останков светло-коричневой пленки. Цвет свидетельствовал о термальной зрелости породы, также об этом говорили флюзиниты и древесные фрагменты. Следовательно, материал больше всего походил на более древние, более зрелые, возможно угольные прослои мелового периода. Похожий, но не такой обширный материал был встречен в другом образце керна со стенок скважины.



**Рисунок 7** Геосейсмический разрез вдоль Саба Банк, показывающий сухие скважины, пробуренные в восточном третичном бассейне и аномалию Ценде меловой платформы.



**Рисунок 8** Составной сейсмический разрез вдоль Саба Банк, показывающий особенности Рисунка 7.

Несколько образцов из желоба для бурового раствора также содержали большое количество грибкового материала, древесных и флюзинитовых фрагментов, наряду с присутствием средне-коричневых мезозойских спор с  $R_o=1.0\%$ , вероятно связанных с грибковым материалом. Было предположено, что меловой уголь и лигнит могли быть одним из источников органического материала в этом образце. Присутствие в большом количестве переработанного нефте-зрелого мелового органического материала в скважине SB-1 дает основания предполагать, что источником мигрированных углеводородов находится в меловых материнских породах (Рисунок 6).

Геохимических анализ зерен породы, полученных при бурении, боковых стенок скважины и обычного керна из SB-2 был проведен разными исполнителями. Значения отражательной способности витринита показали, что SB-2 достигла зоны зрелости для генерации нефти,

верхняя часть нефтяного окна которого располагается на глубине между 2760 м и 3100 м.

#### Региональный геохимический анализ

Обзор региональных углеводородных материнских пород Карибского бассейна решительно указывал на то, что породы начала позднемелового периода наиболее похожи на материнские породы для углеводородов Саба Банк. Богатые осадки этого возраста, отложенные вдоль границ раскола Северной и Южной Америки, подробно изучены. В то время как материнские породы альтохтонной структуры Карибского плато известны не так хорошо и потенциал его углеводородных залежей не до конца выяснен.

Предполагается, что среднемеловые материнские породы на Карибском плато были отложены на востоке Тихого океана в океанических условиях без доступа кислорода

(приблизительно в одно и то же время с событиями в Атлантическом и Протокарибском океанах) и до миграции Карибской плиты на восток к ее современному местоположению в Карибском регионе.

Это предположение подтверждается находкой позднемеловых глин, отложенных в бескислородной обстановке с содержанием ТОС выше 4.2% с точки 147 проекта глубоководного бурения (DSDP), находящейся рядом с глубоководным Венесуэльским бассейном. Также позднемеловые материнские породы, способные генерировать нефть и обладающие значением ТОС выше 7%, были найдены на обнажениях Пуэрто Рико, которые находятся примерно в 200 км западнее Саба Банк и являются частью общей меловой истории. К западу от Саба Банк была найдена меловая нефть в скважине Retrieve на побережье Ямайки. А из скважин для отбора керна 15 полигона DSDP были извлечены среднемеловые материнские породы.

#### Геология коллектора

Самыми много обещающими перспективами обладают породы доандезитового возраста, находящиеся в меловых коллекторах, являющихся целевыми. Западная часть Саба Банк - это неисследованная толща, которая находится на меньшей глубине и по-видимости, не перекрыта андезитами. Переработанный меловой углистый материал был вскрыт в обеих скважинах Саба Банк, что дало основания предполагать о наличии пограничных морских дельтовых осадков, которые могли бы содержать значительные песчанистые тела с хорошими коллекторскими свойствами.

#### База данных

2D сейсмическая база данных Саба Банк состоит из полевых магнитных лент и распечаток сейсмограмм, содержащих 1708 км съемки, проведенной 1980 году Fina, 343 км, снятых в 1988 году компанией Aladdin и 205 км, полученных SBPR в конце 1999. Недавно переобретенные данные включали 60 км данных Fina, всю съемку Aladdin и отдельные профили съемки 2000 года SBPR. Новые переобретенные данные вместе с SEG-Y образами более старых сейсмических профилей были объединены в проекты и загружены в форматы GeoFrame, Landmark и SMT Kingdom. Были также доступны данные грави- и магниторазведки компании Fina в 1980 году, которые часто помогали при структурной сейсмической интерпретации.

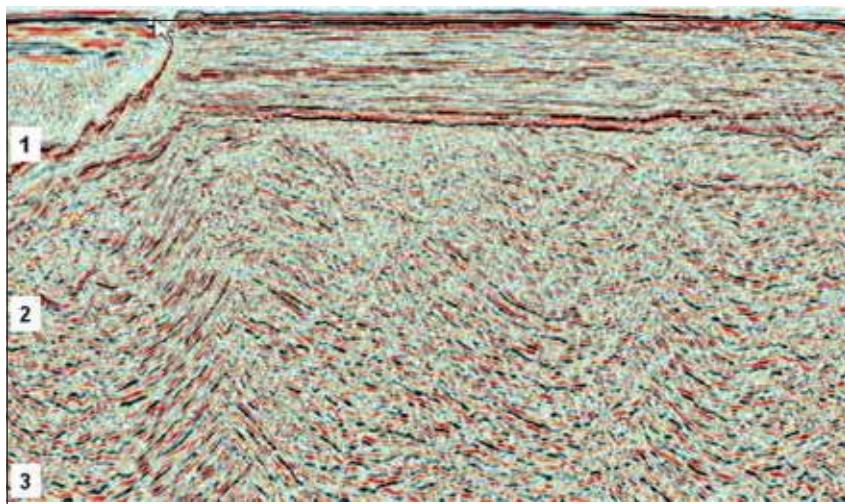
Скважинные данные для SB-1 и SB-2 включают в себя набор каротажей на кабеле, КС, оперативный отчет, внутренний отчет и отчет консультантов, в котором анализируются и интерпретируются биостратиграфия и геохимия обнаруженных осадков. Описание перспективности блока дается в нескольких отчетах консультантов и сопровождающих картах. Доступны также и более новые отчеты, составленные с учетом уже известной информации.

### Сейсморазведка

Саба Банк представляет собой мелкое, плоское карбонатное поднятие морского дна, которое является сильной сейсмической границей. Эти кингшильские карбонаты также заключают в себе пологозалегающие слои с различной пористостью и проницаемостью. На западной платформе Саба Банк основанием карбонатов является плоская граница, содержащая обломочный материал, обладающий высоким импедансом. Эти факторы представляют самый плохой сценарий для присутствия внутристойких кратных волн, которые будут забивать отражения от более глубоких границ.

От лица SBPR, WesternGeco переобработала и переинтерпретировала выбранные компанией Petrofina сейсмические профили и все съемку Aladdin и SBRP. На первоначальном разрезе видны отражения от плоских слоев и неглубоких выходов основания, картина не предвещает большого нефтяного потенциала. Полученный в настоящее время результат говорит о геологической обстановке, более соответствующей ожиданиям в этом районе.

В процессе переобработки WesternGeco использовала несколько новых улучшенных методик. Во-первых, был подавлен шум, вызванный волнением моря с помощью использования подавления ряби; затем была удалена энергетически ярко выраженная прямая волна с помощью Тау-Пи фильтрации. После этого с помощью запатентованной методики была выявлена волна - спутник (поверхность моря - дно) и удалена из записи. Обработчики использовали усовершенствованную методику наименьших квадратов в параболическом преобразовании Радона для разделения кратных и полезных волн по скоростям. Финальная процедура перед суммированием заключалась во временной миграции Кирхгофа для преодоления структурной путаницы.



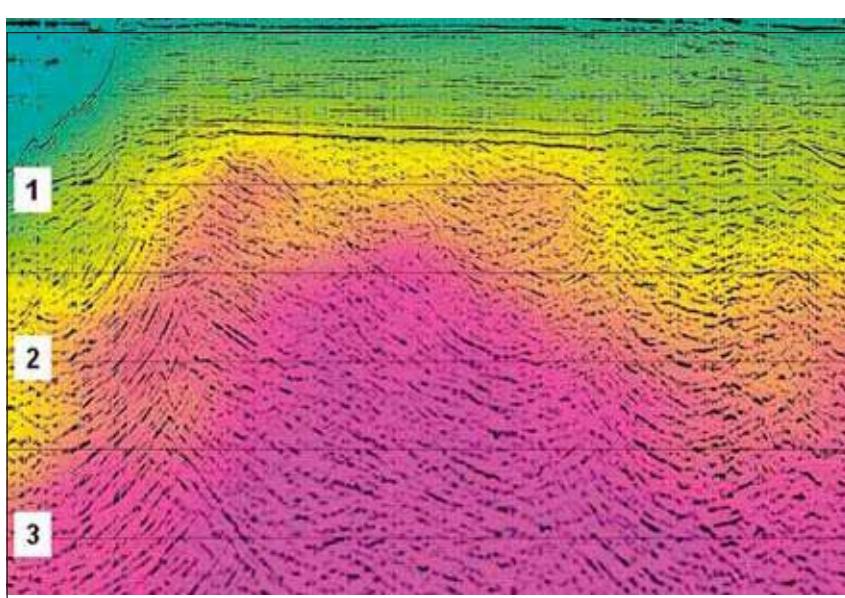
**Рисунок 9** Переобработанный профиль NE-8, на котором видна большая структура Ценде.

На некоторых профилях после суммирования, после FK фильтрации необходимо было удалить остатки энергии кратных волн. Успех WesternGeco на некоторых ключевых разрезах подсказал новую интерпретацию, в которой граничная зона является сдвиговым сбросом, а доэоценовые отражения в неразбуренной западной части находятся на значительно меньшей глубине, чем в восточном бассейне (Рисунок 7 и 8). Крупный развал на Ценде и две похожие аномалии могут также контролировать наиболее крутые края Саба Банк (Рисунок 9). Интервальные скорости на некоторых профилях указали на присутствие областей с более низкими скоростями, эти области были размыты после поднятия доэоценовой структуры и выклиниваются на бортах возвышенности (Рисунок 10).

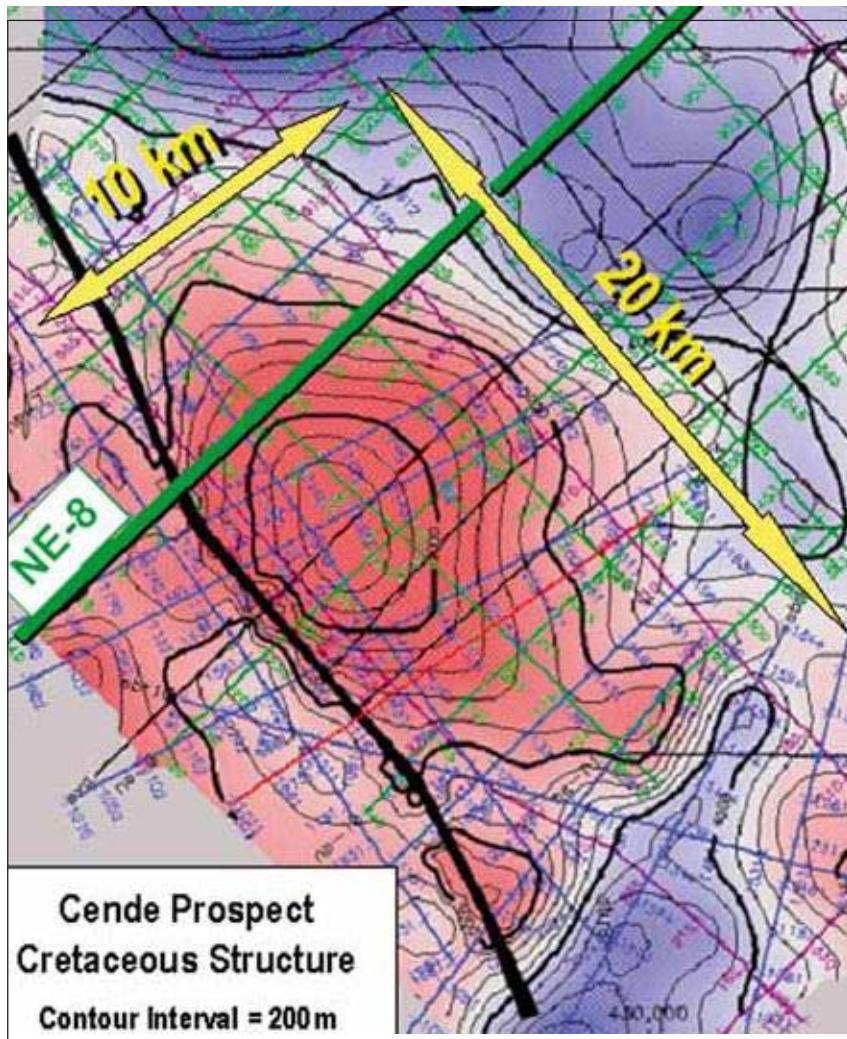
Переработка, завершенная в 2005 году, помогла детализировать очень большую куполообразную складку структуры Ценде (Рисунки 7 - 10; карта, Рисунок 11). В свете новой концепции, 12 остальных доэоценовых комплексов пород Саба Банк видны на сейсмических данных.

### Заключение

По характеру переработанного материала, найденного в двух скважинах Саба Банк, можно предположить, что он был извлечен из поверхностных меловых отложений. Последние сейсмические данные показали, что западная часть структуры типа «цветок» была



**Рисунок 10** Сглаженные интервальные скорости, наложенные на профиль NE-8. Желтые и зеленые тона показывают низкоскоростные эрозионные области на бортах структуры Ценде.



**Рисунок 11** Меловая структурная карта структуры Ценде со схематическими горизонталями с указанием сейсмического профиля NE-8.

поднята и подвержена эрозии, по крайней мере, дважды. Угловое несогласие в напластовании, присущее этому времени, проявляется на нескольких сейсмических профилях.

Во время или до эоцена большой тектонический блок развивался на юго-западном углу той структуры, которая сейчас является Саба Банк. Вершина блока была сильно выветренной, почти плоской. Видимо именно она являлась местом осаждения переработанных осадков, отложенных на востоке. На структурной карте (Рисунок 9) показано, что тектонический блок Ценде является куполообразной складкой площадью 200 квадратных километров.

Перегиб дозоценового разреза находится на глубине примерно 1000 м и мощность осадков этого возраста составляет около 6000 м.

Потенциальными коллекторами являются меловые дельтовые песчаники, образованные в начале позднего мела.

Разлом на Ценде и две похожие аномалии, по-видимому, управляют крутым краем Саба Банк. Потенциальные запасы аномалии Ценде очень высоки. 100 футов эффективной нефтенасыщенной толщи могут дать 500 млн. баррелей извлекаемых запасов. Другие перспективные районы и углеводородные ловушки на Саба Банк и в прилегающих районах позволят значительно увеличить роль региональных осадков меловой системы в нефтепромысловой деятельности.

## Литература

- Bouysse, P. [1984] The Lesser Antilles island arc: structure and geodynamic evolution. *Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 78a* (eds B. Bijou-Duval, and J. C. Moore), 83-103, US Government Printing Office. Cameron, N; Milson, J; Matchette- Downes, C., Mitchell, S., Wright, R.; Zumberge, J. [2004]. Jamaica found to have play types analogous to Sumatra, NW Java. *Oil and Gas Journal* 102.37, 49-56.
- Dengo, G., and Case, J. E. [1990] eds., The Caribbean Region: Geological Society of America, The Geology of North America, v. H.
- Edgar, N. T. et al [1973]. *Initial reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 15*. U. S. Government Printing Office. Hayes, J. A., Larue, D. K., Joyce, C. and Schellekens, J. H. [1986]. Puerto Rico: reconnaissance study of the mat- uration and source rock potential of an oceanic arc involved in a collision. *Journal of Marine Petroleum Geology* 3, 126--138.
- Pindell, J. L. [1991]. Geologic rationale for hydrocarbon exploration in the Caribbean and adjacent regions. *Journal of Petroleum Geology* 14 (3), 237-257. Robertson Research [1984]. *Geology and Hydrocarbon Potential of the Caribbean with emphasis on the Tertiary carbonates, Phase 3: The north and northeast Caribbean*. Proprietary consulting report.
- Roobol, M. John and Smith, Alan L. [2004]. *Volcanology of Saba and St Eustatius, Northern Lesser Antilles*. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.