

# Нефтегазоносность Северного Сомали

## Hydrocarbon potential of Somaliland

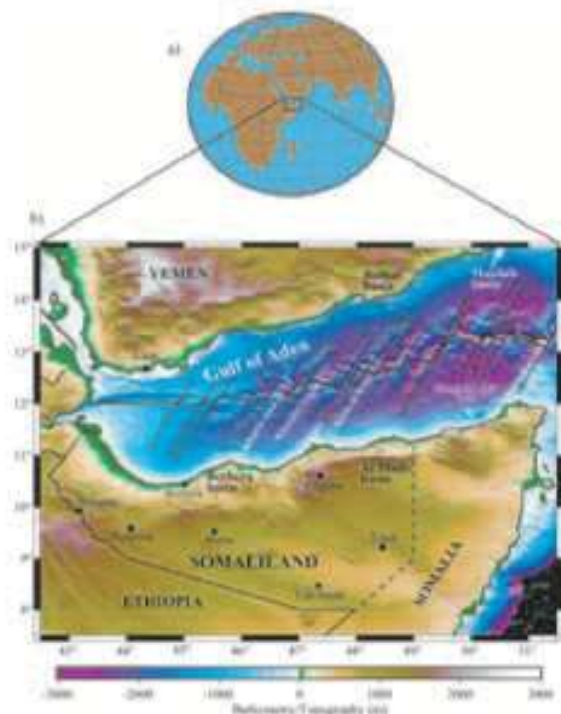
E-mail: mali@pi.ac.ae.

I. Y. Ali \*

### Введение

Северное Сомали расположено на северной стороне Африканского отрога и на севере граничит с Аденским заливом, на востоке с Сомали, на юге и западе с Эфиопией, а на северо-западе с Джибути (рис. 1). Морфология страны типична для вытянутых областей, с бассейнами и горами до 2000 м. Присутствует небольшая складчатость, но по большей части — нормальные сбросы, часть которых имеет очень большие высоты. Эти большие вертикальные смещения контролировали пространство аккомодации, доступное для накопления осадков с ранней Юры.

По сей день, в Северном Сомали была пробурена всего 21 скважина (19 на суше и 2 в прибрежной зоне моря), большей частью которых являются структурно-поисковые скважины (рис. 2). Фактически некоторые из скважин дали оценку нефтегазоносности страны и типа перспективных объектов в пробуренных бассейнах. Кроме того, современная сейсморазведка на отраженных волнах имела очень ограниченное применение в Северной Сомали. Поэтому для данной страны много перспективных нефтеносных систем на суше и прибрежной зоне моря остаются относительно неисследованными.



**Рис. 1.** а) Общая карта расположения Северного Сомали в глобальном масштабе; б) Карта Северного Сомали и окружающих областей, показывающая трансформные сдвиги Аденского залива и сопряженные бассейны. Данные топографии получены радарной съемкой Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Батиметрия получена по спутниковым данным (Smith и Sandwell, 1997). Также показаны города, которые упоминаются в тексте.

\* The Petroleum Institute, PO Box 2533, Abu Dhabi, UAE.

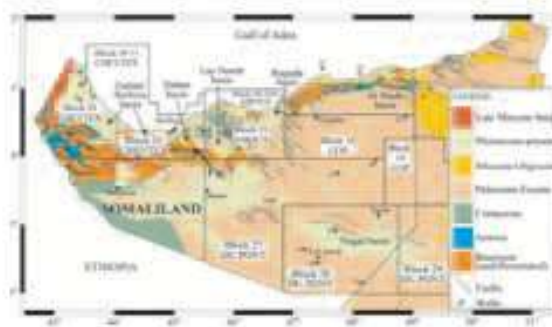
При написании данной статьи для определения нефтеносных систем Северного Сомали использовались сейсмические и скважинные данные, а также данные измерений на образцах. Эти данные демонстрируют, что страна характеризуется благоприятной стратиграфией, структурами, нефтепроявлениями и нефтематеринскими породами. Кроме того, результаты исследования показывают, что Верхнеюрские и Меловые пачки, и возможно Олигоценно-миоценовые пачки, имеют потенциал для генерации углеводородов. Ловушки представляют собой перекатывающиеся антиклинали, связанные с листрическими конседиментационными разломами и повернутыми разломами в фундаменте, которые контролируются напряжением пачек от верхней юры до нижнего мела.

### Стратиграфия и условия осадконакопления

Разрез осадочного чехла Северного Сомали можно разделить на четыре части (рис. 2):

#### Юрские рифтовые комплексы

Юрские отложения в Северном Сомали представляют собой мощный комплекс континентальных осадков (основная формация песчаника), непосредственно лежащих на равнине пород фундамента и перекрывающихся комплексом известняков (группы Bihendula), в основном характеризующимся несколькими интервалами мергеля и сланца. Юрские отложения были образованы в грабенах, простирающихся в направлении СЗ-ЮВ (например, грабен Bihendula), которые были сформированы в результате действия напряжений, связанных с процессом отщепления Индии от Африки.



**Рис. 2.** Упрощенная геологическая карта Северного Сомали (изменена версия Abbate и др., 1993), показывающая расположение пробуренных нефтяных скважин и главные осадочные бассейны страны. Подписи к скважинам: (1) Zeila-1, (2) Zeila-2, (3) Zeila-3, (4) Zeila-4, (5) Heemal-1 (6) Berbera-1, (7) Dagah Shabel-1, (8) Dagah Shabel-2, (9) Dagah Shabel-3, (10) Biyo Dader-1, (11) Las Dureh-1 (12) Bur Dab-1, (13) Yaguri-1, (14) Las Anod-1, (15) Burhisso-1, (16) Nogal-1 (17) Faro Hills-1, (18) Hedad-1, (19) Buran-1 (20) Dab Qua-1 и (21) Bandar Harshau-1. Также показаны лицензионные участки, принадлежащие различным нефтяным компаниям в начале 90-х, а также положение сейсмического профиля из рис. 7.

Первые исследования в стране начались на выходе юрских пород на поверхность в Bihendula, в 35 км к югу от Берберы, и эта область с тех пор является наиболее изученной. В данной области зафиксирована самая большая мощность для страны (более 1200 м) юрского морского фундамента, содержащего окаменелости.

#### Меловые комплексы

Осадконакопление мелового периода в районе Северного Сомали характеризуется латеральной литологической изменчивостью, являющейся следствием трансгрессии моря с востока. Как следствие, отложились мощные комплексы карбоната и сланца в восточной части страны, а на западе страны отложились мощные комплексы песчаников. Для описания всех меловых обломочных комплексов, обнаруженных в обнажении, некоторые исследователи широко использовали термин «Нубийский песчаник» (MacFadyen, 1933). Однако, некоторые авторы (Bosellini, 1992) делили Меловой период на комплекс песчанника Yesomma и комплекс карбоната Tisje, хотя и трудно различить разные формации из-за переходной природы клинообразного переслаивания обломочных и карбонатных фаций.

#### Эоценовые комплексы

Эоценовые отложения Северного Сомали включают формации плотных известняков Auradu и Karkar, разделенные гипсами и ангидритами, от плотных до ленточных. Это является результатом трансгрессии эоценовых морей с востока, после чего отложились известняки Auradu. Периодическая регрессия в среднем эоцене привела к возникновению эвапоритовых условий, в которых были образованы ангидритовые комплексы (Taleh). Дальнейшая трансгрессия в верхнем эоцене вызвала отложение морского кремнистого известняка формации Karkar.

#### Олигоценно-миоценовые рифтовые комплексы

Олигоценные и миоценовые отложения главным образом локализованы в узких и изолированных суббассейнах вдоль прибрежного пояса, ограничивающего Аденский залив, иногда простирающегося вглубь суши, в низко лежащие области. Эти отложения накапливались в локальных грабенах, образованных в процессе рифтогенеза в Аденском заливе. Они представлены мощным (до 2500 м) синрифтовым комплексом красно-коричневого, зеленого песка, ила и гипсоносного песчанника. Эти отложения почти полностью терригенные и отлагались в лагунных, дельтовых и аллювиальных условиях. Наиболее показательные обнажения олигоценно-миоценовых отложений встречаются в бассейне Daban (к юго-востоку от Берберы) и представляют собой сброшенный повернутый блок, ограничивающий плато Северного Сомали (рис. 2).

Заключение по стратиграфии Северного Сомали приводится на рис. 3. Здесь показаны основные формации, общие мощности и известные нефтепроявления в этих породах.

#### Хронология разведки

Разведка на нефть в стране началась в 1912 г., когда поступило сообщение о выходе нефти в Dagah Shabel, в 38 км к юго-востоку от Берберы. В 1959 г. Standard Vacuum (Mobil и Esso) пробурила три непродуктивные скважины (Dagah Shabel-1, -2 и -3) в районе выхода нефти Dagah Shabel, без использования глубинных управляющих приборов. Одна из скважин извлекла нефть в свободном состоянии из известняков Wanderer (верхняя юра) и Нубийского песчанника (верхний мел). Однако в

последующих скважинах нефть не была обнаружена.

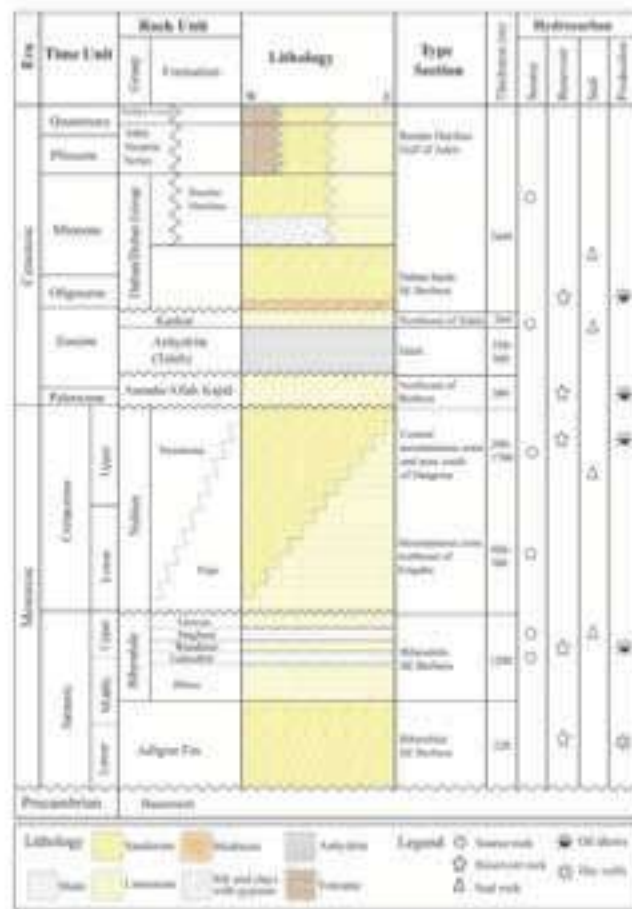


Рис. 3. Общая стратиграфическая колонка Северного Сомали, показывающая основные нефтеносные системы страны.

Капиталовложения в разведку нефти возобновились в конце 1970-ых и в 1980 г. GECO развернула рискованную обширную сейсморазведочную съемку прибрежной зоны Аденского залива для правительства Сомали. В том же году обширная концессия, известная как концессия Guban, была предоставлена консорциуму, состоящему из двух нефтяных компаний: Quintana и Hunt. Они провели детальную разведочную программу, которая включала аэромагнитную съемку и сейсморазведочную программу по береговым блокам 32 и 35. Однако после двух лет они отказались от концессии.

Капиталовложения в разведку страны усилились в середине 1980-ых, и в течение этого времени было предоставлено большинство концессий различным нефтяным компаниям (рис. 2). Концессия Hunt и Quintana была разделена на две части, одна из которых была предоставлена Chevron, а другая — двум партнерам, Amoco и International Petroleum Corporation. Phillips и Agip также имели концессии в стране. Shell была предоставлена концессия на прибрежную зону, которая включала большую часть береговой линии Аденского залива. Однако она отказалась от концессии 1984 г. после неудачи с двумя скважинами (Bandar Harshau-1 и Dab Qua-1), хотя и дорифтовых эоценовых карбонатах и пострифтовых обломочных породах были выявлены нефтепроявления. Эти две скважины были пробурены в блоке M-10, при глубине воды приблизительно 300 м.

Все компании, работающие в стране в то время, включая Amoco, Chevron, Agip и Sonoco, объявили форс-мажор 11 июля 1989 из-за длительных общественных

беспорядков.



Рис. 4. Глинистые сланцы *Gahodleh*, район *Bihendula*, север Берберы

### Нефтегазоносные комплексы

Самые явные доказательства наличия скоплений нефти и газа в Северном Сомали, как показано на рис. 4-7, включают:

- Наличие выходов нефти в *Dagah Shabel*.
- Очень хорошие нефтепроявления в нескольких зонах в большинстве пробуренных скважин, включающих скважины *Dagah Shabel*, *Biyo Darer-1*, *Bandar Harshau-1*, and *Dab Qua-1*.
- Наличие зрелых нефтематеринских пород с достаточным уровнем органического карбоната вместе с породами и структурами потенциальных резервуаров в различных геологических условиях.
- Множество юрских рифтовых бассейнов, а также олигоцен-миоценовых осадочных бассейнов. Сюда относятся *Berbera/Guban* (связан с бассейном *Balhaf*, Йемен), *Daban*, *Las Dureh*, *Raguda*, *Al Mado* (связан с бассейном *Masilah* в Йемене) и бассейны *Nogal*.
- Широкая распространенность и заметная мощность пористых и проницаемых резервуарных пород, а также пород-покрышек юрского, мелового и третичного возраста.
- Очевидность структурного роста в течение юры, мела и третичной эры, который проявился в формировании структурных и стратиграфических ловушек.

Неудачи с первыми разведочными скважинами, пробуренными в Северном Сомали, главным образом обусловлены сложностью геологической среды и отсутствием сейсморазведочных данных. Северное Сомали представляет собой область относительно быстрых латеральных изменений стратиграфии, что связано с рифтогенезом и характерными вертикальными смещениями в течение Мезозоя и Третичной эры (Ali, 2005). По анализу после бурения неудачных скважин, большая часть неудач была связана с плохо определенной ловушкой, маломощным или отсутствующим резервуаром, или с тонкой, либо отсутствующей крышкой. Кроме того, некоторые скважины были почти достоверными структурно-поисковыми. Сюда относятся скважины *Zaila-1*, *Zaila-2*, *Las Dureh-1* и *Dagah Shabel-3*.

### Потенциал нефтематеринских пород

В стране есть несколько типов материнских пород хорошего качества, которые имеют потенциал генерации углеводородов (табл. 1).

#### Юрский период

Ряд юрских материнских пород превосходного качества зарегистрирован в обнажениях вдоль береговой линии, включая область *Bihendula*. Сланцы *Gahodleh* и *Daghani* — наиболее важные материнские породы в данном регионе (рис. 4). Полевые исследования в области *Bihendula* (в течение июля 2005 г.) показали, что юрские формации простираются приблизительно на 10 км вдоль простирающейся с востока на запад цепочки известняковых хребтов и долин сланца, которые падают главным образом на юг примерно под  $17^\circ$  (рис. 5). Сланцы — темные до серых, богатых керогеновыми окаменелостями аргиллиты, которые имеют тонкую структуру (рис. 4). Вероятно, поэтому эти сланцы играли важную роль в генерации углеводорода в области. 28 баррелей  $32.2^\circ$  API нефти, извлеченные из известняков *Wanderer* скважиной *Dagah Shabel-1*, подтверждают данное предположение. Прибрежные скважины также выявили хорошие материнские породы юрского возраста. Например, скважина *Dab Qua-1* прошла сланцы формации *Daghani*, которые характеризуются содержанием органического углерода в диапазоне 0.53-1.18 %.

Результаты оценки потенциала нефтематеринских пород обобщены в табл. 1. Как показано в таблице, структура керогена в образцах сланцев *Gahodleh* и *Daghani* преимущественно аморфна (Тип I), что характерно для остатков водорослей, которые имеют самый большой потенциал генерации нефти.

#### Меловой период

Верхнемеловые сланцы формации *Yesomma* имеют неплохой потенциал генерации углеводородов. В обеих скважинах *Bandar Harshau-1* и *Dab Qua-1*, сланцы формации *Yesomma* показали хороший потенциал с содержанием органического углерода до 5 %.



Рис. 5. Падающий на юг юрский комплекс известняка *Gawan*, перекрывающий сланцы *Daghani*, район *Bihendula*.



Табл. 1. Потенциальные нефтематеринские породы Северного Сомали

Возраст и комплекс	Тип образца	Содержание органического углерода, %	Комментарии
<b>Bihendula</b>			
Юрский период (Сланцы верхнего Daghani)	Обнажение	2.01	Хороший источник нефти; Тип — аморфные водоросли; Водородный индекс = 537 мг/г; Характерный потенциал = 11.47 кг/т; Зрелость органического материала = 0.5-1.0
Юрский период (Сланцы Gahodleh)	Обнажение	1.43	Чистый источник нефти; Водородный индекс = 434 мг/г; Характерный потенциал = 6.76 кг/т; Зрелость органического материала = 0.4-0.9
<b>Dagah Shabel</b>			
Юрский период (Сланцы Calcareous)	Буровой шлам скважины Dagah Shabel	0.75	Хороший источник нефти; Тип — аморфные водоросли; УВ/не УВ = 0.57; Зрелость органического материала = 0.6;
Юрский период (Сланцы Daghani)	Буровой шлам скважины Dagah Shabel	0.46	Удовлетворительный источник конденсата и газа; Тип — аморфный; УВ/не УВ = 0.44
<b>Daban Basin</b>			
Эоценово-олигоценый период (Бурые уголь серии нижнего Daban)	Обнажения	11.3	Потенциальный газ; незрелый; Водородный индекс = 104 мг/г; Характерный потенциал = 12.17 кг/т; Зрелость органического материала = 0.4;
<b>Bandar Harshau-1</b>			
Верхний миоцен (синрифтовые сланцы)	Буровой шлам скважины Bandar Harshau-1 с глубины 650 м	1.92	Потенциальный газ/нефть; незрелый; Водородный индекс = 268 мг/г; Характерный потенциал = 5.41 кг/т; Незрелый органический материал
Верхний мел (сланцы Yesomma)	Буровой шлам скважины Bandar Harshau-1 с глубины 2271 м	3.26	Перезрелый; Водородный индекс = 17 мг/г; Характерный потенциал = 0.84 кг/т; Зрелость органического материала = 1.0
Нижний мел (сланцы)	Буровой шлам скважины Bandar Harshau-1 с глубины 2268 м	1.1	Органический материал типа II/III; Водородный индекс = 35 мг/г; Характерный потенциал = 0.48 кг/т;
Меловой период (сланцы)	Буровой шлам скважины Bandar Harshau-1 с глубины 2376 м	1.26	Водородный индекс = 21 мг/г; Характерный потенциал = 0.35 кг/т; Органический материал III типа
<b>Dab Qua-1</b>			
Средний эоцен (сланцы мощностью 15 м)	Буровой шлам скважины Dab Qua-1	3	Очень хороший источник нефти; Органический материал I типа
Верхний мел (сланцы Yesomma)	Буровой шлам скважины Dab Qua-1	5	Хороший источник нефти и газа; Тип II; Характерный потенциал = 8 кг/т
Юрский период (сланцы Daghani)	Буровой шлам скважины Dab Qua-1	0.53	Чистый источник нефти и газ; Органический материал II/III типа; Маломощные сланцы (6 м); Органический материал I/II типа

*Эоценовый и олигоценый периоды*

Прибрежная скважина Dab Qua-1 вскрыла материнские породы с очень хорошим потенциалом мощностью 15 м и содержанием органического углерода 3 %. Кроме того, хороший потенциал материнской породы, которая характеризуется содержанием органического углерода в 11 %, имели обнажения в бассейне Daban, хотя комплекс является незрелым.

**Тепловая преобразованность и миграция**

Уровни зрелости материнских пород меняются от ранней до перезрелой (табл. 1). Юрские комплексы (сланцы

Gahodleh и Daghani), и возможно эоценовые комплексы прибрежных областей, которые могут содержать сложные комплексы материнских пород, расположены в пределах главной зоны нефтеобразования и очень перспективны на обнаружение нефти и газа. Вдобавок, тепловое моделирование Аденоского залива помогло выделить множество прибрежных очагов образования углеводорода, которые имеют превосходный потенциал источника углеводорода (Bott и др., 1992). Кроме того, по сейсмическим и скважинным данным можно предположить, что в данных областях возможна как структурная, так и стратиграфическая миграция (рис. 6). Однако вообще потенциальные олигоценно-миоценовые

материнские породы, вероятно, окажутся незрелыми или молодыми для большей части береговых областей.

### Коллекторские породы

Осадочные слои Северного Сомали содержат множество коллекторов в пределах пре-, син- и пост-рифтовых пород Аденского залива. Коллекторские породы прерифтового комплекса включают как карбонаты (эоценовые и мелово-юрские), так и песчаники (меловые и нижнеюрские). Коллекторские породы в син- и пострифтовых комплексах преимущественно песчаники со вторичными карбонатными коллекторами.

### Юрский комплекс

Две береговые скважины, Dagah Shabel-2 и Biyo Dader-1, прошли 191 м и 160 м песчаников соответственно в области Adigrat. Пористость песчаников оказалась переменной, но порядка 15 %. В Dagah Shabel-2 они дали пресную воду. Коллекторский потенциал средне-верхнеюрских отложений Bihen, Wandere и известняков Gawan также высок.

### Меловой период

В верхнемеловых породах были обнаружены хорошие обломочные коллекторы. Скважина Dagah Shabel-1 прошла довольно мощный слой (790 м) речных песков формации Nubian (Yesomma), размер зерен которых от мелкого до крупного. Скважина прошла две пачки песка высокой пористости, в которых было обнаружено небольшое количество (четыре барреля) нефти хорошего качества (33.6° API). В прибрежной зоне скважина Bandar Harshau-1 прошла 536 м верхнемеловых осадков, имеющих пористость до 14%, которые отложились в ограниченных условиях неглубокой воды.

### Третичная система (эоцен-олигоцен)

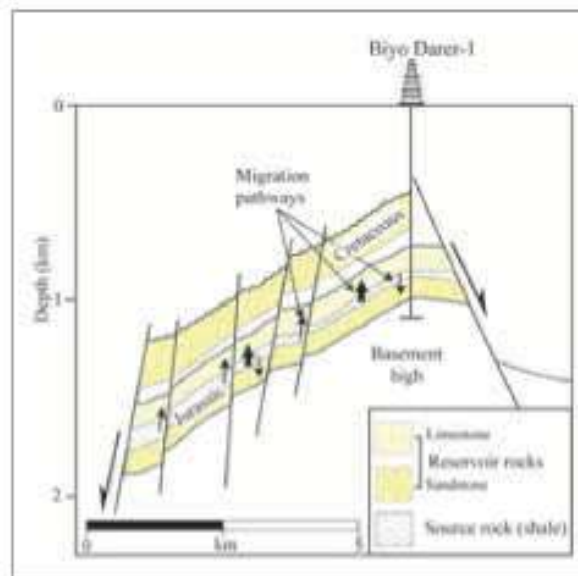
Обломочные породы и карбонаты эоцена-олигоцена также имеют потенциал коллекторских пород для син- и пострифтовых ловушек. В прибрежной зоне скважина Dab Qua-1 прошла в общей сложности 183 м известняка Agradu, в котором зафиксированы нефтепроявления. Скважина Bandar Harshau-1 также показала небольшое проявление нефти и газа.

### Ловушки

В Северном Сомали нет данных о наличии крупномасштабных складок сжатия наподобие тех, что на северо-востоке Аравии. Однако во многих окрестностях страны, как известно, выявляются второстепенные складки, которые, как полагают, были образованы либо восстановлением старых блоков, ограниченных сбросами, либо перемещением вдоль главных разломов параллельно Аденскому заливу. Такие складки главным образом приурочены к области Guban, где интенсивность сбросообразования была намного больше, чем на плато. Один такой пример — второстепенные складки, зарегистрированные в районе Dagah Shabel, около разлома Dagah Shabel.

В результате этого основные структурные ловушки страны представлены перекатывающимися антиклиналями, связанные с большими разломами, которые стали листрическими выше прерифтового разреза. Стратиграфические ловушки также важны, особенно в прибрежных областях, где были эродированы мощные комплексы юрских и меловых отложений. На сейсмическом разрезе вдоль профиля, пересекающего бассейны Dagah Shabel и Daban (рис. 7), можно увидеть примеры таких структур и их плотность в пределах области. Рисунок поясняет типы ловушек в области. Кроме того, общая величина области поднятия некоторых

структур могла бы помочь с пониманием размеров структур.



**Рис. 6.** Идеализированный разрез с севера на юг, вдоль профиля, пересекающего область Biyo Dader, показывающий элемент нефтеносных систем. Диаграмма отображает три потенциальных сценария миграции: (1) вертикальная миграция от потенциальных юрских материнских пород в перекрывающую меловую формацию Nubian, (2) латеральная миграция от юрских материнских пород в перекрывающие юрские коллекторы, (3) латеральная миграция от юрских материнских пород в подстилающую нижнеюрскую формацию Adigrat.

### Покрышки

Страна имеет идеальные условия для развития покрышек. Покрышки преимущественно представлены переслаивающимися глинистыми сланцами для юрских и меловых комплексов, а также эоценовыми ангидритами, которые также формирующими региональную покрышку. Для синрифтового комплекса олигоценного возраста в области Аденского залива, ангидриты и переслаивающиеся сланцы — главные покрышки.

### Сравнение с Йеменом

Геология Йемена показывает множество сходных ситуаций с Северным Сомали. Это может быть подтверждено реконструкцией аравийского плато до положения, предшествующего открытию Аденского залива, когда множество бассейнов в южном Йемене, вероятно, протягивались до Северного Сомали. Например, грабен Balhaf, возможно является продолжением бассейна Berbera, а бассейн Masila, возможно является продолжением бассейна Al Mado (рис. 1). Как и в случае юрских бассейнов Северного Сомали, бурение в пределах грабенов Balhaf и Masila показало, что большая часть отложений бассейнов имеет юрский и меловый возраст. Кроме того, значительные отложения нефти и газа были обнаружены в юрских грабенах в Йемене, включая бассейн Masila. Поэтому капиталовложения в разведку Северного Сомали до настоящего времени вкладывались для поиска юрских рифтовых структур, похожих на те, что в Йемене.

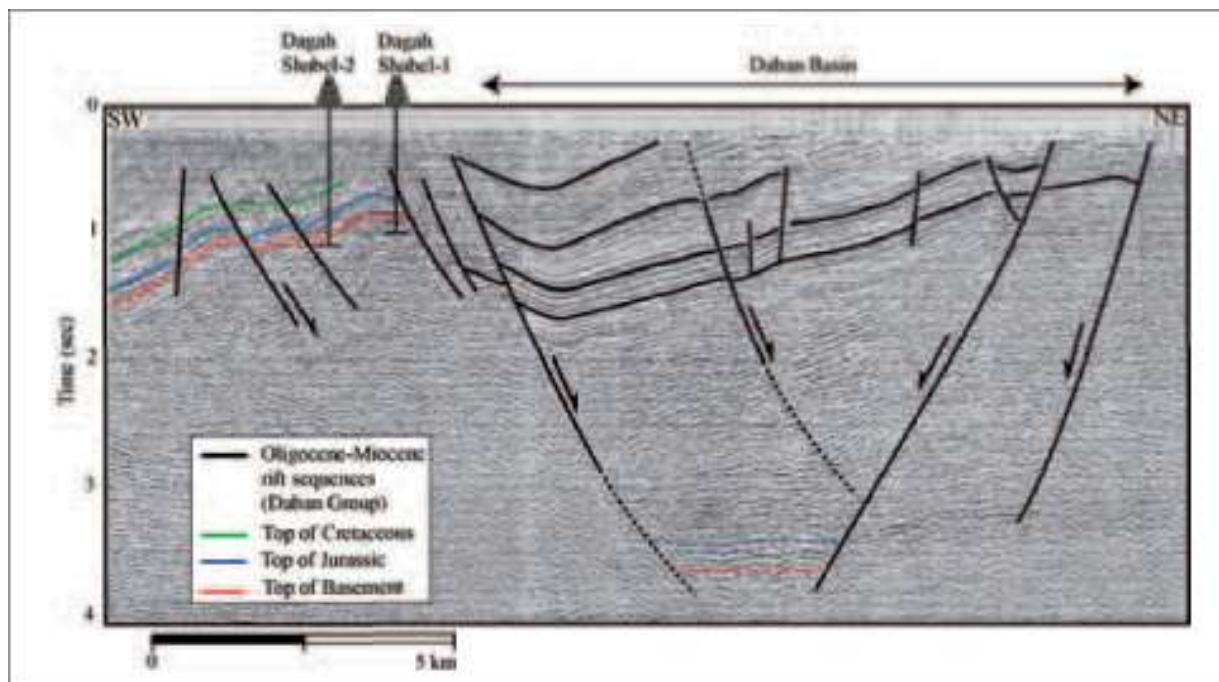


Рис. 7. Региональный сейсмический профиль, пересекающий бассейны Dagah Shabel и Daban, показывающий структуру грабенов олигоценно-миоценовых пачек и структурный стиль вышележащих комплексов области.

## Заключение

Имеющиеся скважинные, сейсмические данные и данные анализа обнажений показывают, что потенциал промышленных запасов углеводородов в Северном Сомали достаточно высок. Эти данные показывают, что углеводороды могли отложиться в многочисленных больших блоках, ограниченных сбросами, и отдельных суббассейнах. Юрские рифтовые бассейны являются основными объектами разведки. Вторичные цели разведки включают олигоценно-миоценовый рифтовый комплекс Аденского залива, а также подстилающий комплекс пририфтовых эоценовых карбонатов. Следовательно, благоприятные нефтеносные горизонты могут существовать на протяжении многих тысяч неразведанных квадратных километров по всему северному побережью и к юго-востоку страны на различных буровых глубинах. Однако намного больше разведочных работ и разведочного бурения требуется в бассейнах, соседствующих с Аденским заливом, чтобы определить, являются ли олигоценно-миоценовые комплексы зрелыми или нет.

## Благодарности

Автор хотел бы поблагодарить Abdirahman Yusuf и Министерство полезных ископаемых и водных ресурсов Северного Сомали за предоставление сейсморазведочных данных, оценку материнских пород и организацию поездки в Северное Сомали в июле 2005 г. Он также хотел бы поблагодарить Нефтяной институт (Абу-Даби) за поддержку данной работы.

## Ссылки на литературу

- Abbate, E. Sagri, M. and Sassi, F.P. [1993] Geology and mineral resources of Somalia and surrounding regions (with a geological map of Somalia 1:1.500.000). In Abbate, E., Sagri, M., and Sassi, F.P. (Eds) *1st Intern. Meeting on the Geology of Somalia and Surrounding Regions (GEOSOM 87)*, Florence.
- Ali, M.Y. [2005] Petroleum geology and hydrocarbon potential of Somaliland. *67<sup>th</sup> EAGE Annual Meeting*, Extended Abstracts, 283.
- Bosellini, A. [1992] The continental margins of Somalia. Geology and geophysics of continental margins. In Watkins, J.S., Zhiqiang, F., and McMillen, K.J. (Eds.). *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 53, 185-205. Tulsa, Oklahoma.
- Bott, W.F., Smith, B.A., Oakes, G., Sikander, A.H., and Ibrahim, A.I. [1992] The tectonic framework and regional hydrocarbon prospectivity of the Gulf of Aden. *Journal of Petroleum Geology*, 15, 2, 211-243.
- MacFadyen, W.A. [1933] *Geology of Somaliland*. Government of the Somaliland protectorate.
- Smith, W. H. F. and Sandwell D. T. [1997] Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277, 1957-1962.