

## УСЛОВИЯ ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНАХ СЕВЕРНОЙ АФРИКИ

Е.А. Долгинов, М.Ш. Замиль

Кафедра месторождения полезных ископаемых  
и их разведки им. В.М. Крейтера  
Российский университет дружбы народов  
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

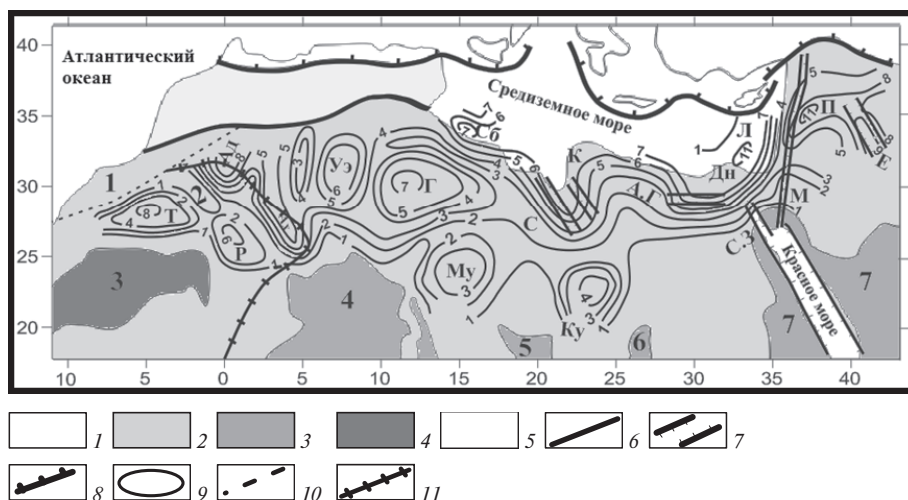
Углеводороды в осадочных бассейнах Северной Африки начали образовываться в разное время при повышенных относительно стандартных для платформ температурных условиях. Рассмотрены варианты возможных причин этого явления.

**Ключевые слова:** Северная Африка, осадочные бассейны, углеводороды, генерация, время, условия.

Комплексы осадочных бассейнов Северной Африки, расположенных на территориях Марокко, Алжира, Туниса, Ливии, Египта (рис. 1), содержат многочисленные, в том числе и одни из крупнейших в мире залежей углеводородов. Эти комплексы состоят из мелководно-морских и континентальных отложений палеозоя, мезозоя, кайнозоя при увеличении предпоследних и последних с юга в сторону Средиземного моря. В разрезах палеозоя нефтематеринскими являются регионально распространенные органогенные глинистые сланцы (в скобках указаны их мощности и общее содержание в них органического материала: ТОС: нижнего силура (100—450 м; ТОС от 4—8% до 17—20%), среднего-верхнего девона (10—250 м. ТОС до 10%) [3]. Триаса (ТОС 4,8%), средней-верхней юры (ТОС 5—6%), сеномана-турона (до 120 м, ТОС 2—2,5%) [7], кампана в бассейне Сирт Ливии (250—900 м, ТОС от 2—2 до 10%) [11].

Результаты пиролюзного анализа, изучения отражающих свойств витринита и других методов исследований позволили выявить аномальные для платформенных осадочных бассейнов региона условия генерации углеводородов. Установлено, что в бассейне Мурзук, расположенном на крайнем юге Северо-Африканского мегабассейна, генерация углеводородов из нефтематеринских отложений силура началась в мезозое (юре или мелу) на глубине около 2100 м, притом что 95% его надсилурийского разреза сложено отложениями палеозоя [5]. Примерно на такой же глубине в 2100—2200 м обогащенные органикой глинистые отложения нижнего силура вошли в карбоне в область генерации углеводородов в крупнейшем бассейне Гадамес, расположенном в пограничных районах Алжира, Ливии и Туниса.

Согласно моделированию генерация нефти из вторых по значению нефтематеринских отложений среднего-верхнего девона в этом бассейне началась в раннем мелу на глубинах 2000—2500 м [5].



**Рис. 1.** Схема расположения и структур главных осадочных бассейнов Северной Африки и Северной Аравии:

1 — альпийский пояс; 2 — осадочный чехол на северных окраинах Африки и Аравии, сложенный отложениями палеозоя, мезозоя и палеогена; 3—4 — выходы на поверхности докембрийского фундамента (3 — панафриканского, 4 — эбурнейского); 5 — Атласская рифтовая зона альпийского пояса складчатости; 6 — граница между Атласской рифтовой зоной и докембрийской платформой; 7 — кайнозойские и мезозойские рифты; 8 — надвиговая граница между коллизионной и рифтовой зонами Альпийского пояса складчатости; 9 — изогипсы (интервал в 1 км) и глубина депоцентров осадочных бассейнов (арабские цифры вне изогипс); 10 — условная граница между Африканской платформой и ее антиатласской зоной каледонской активизации; 11 — предполагаемая граница между эбурнейским и панафриканским фундаментом под осадочным чехлом.

Осадочные платформенные бассейны, в том числе: Т — Тиндиф, Р — Регган, Г — Гадамес, Му — Мурзук, Ку — Куфра, Сб — Сибрата, Ад — Абду Аллах, Л — Ливант, П — Пальмириды, К — Киренаика, М — Мертвое море, Су.З — Суэцкий залив, Е — Ефратский рифт, А.Г — Абу Гарадиг, С — Сирт, Уэ — УэдМия. Выступы фундамента Афро-Аравийской платформы: 1 — Анти Атлас, 2 — Угарта, 3 — массив Регибат, 4 — массив Хоггар, 5 — массив Тибести, 6 — Джабаль Увайнат, 7 — Арабо-Нубийский щит

В мезозойско-кайнозойском «полурифтовом» бассейне Сирт, расположенном на севере Ливии и открывающемся в сторону Средиземного моря, генерация углеводородов, главным образом нефти, началась в эоцен-олигоцене на глубине около 3000 [5; 10].

В соответствии с указанными расчетными глубинами вхождения нефтематеринских отложений в область генерации углеводородов при оценке региональных условий протекания этого процесса во второй половине палеозоя и мезозое-кайнозое нами были приняты значения соответственно в 2100 и 3000 м.

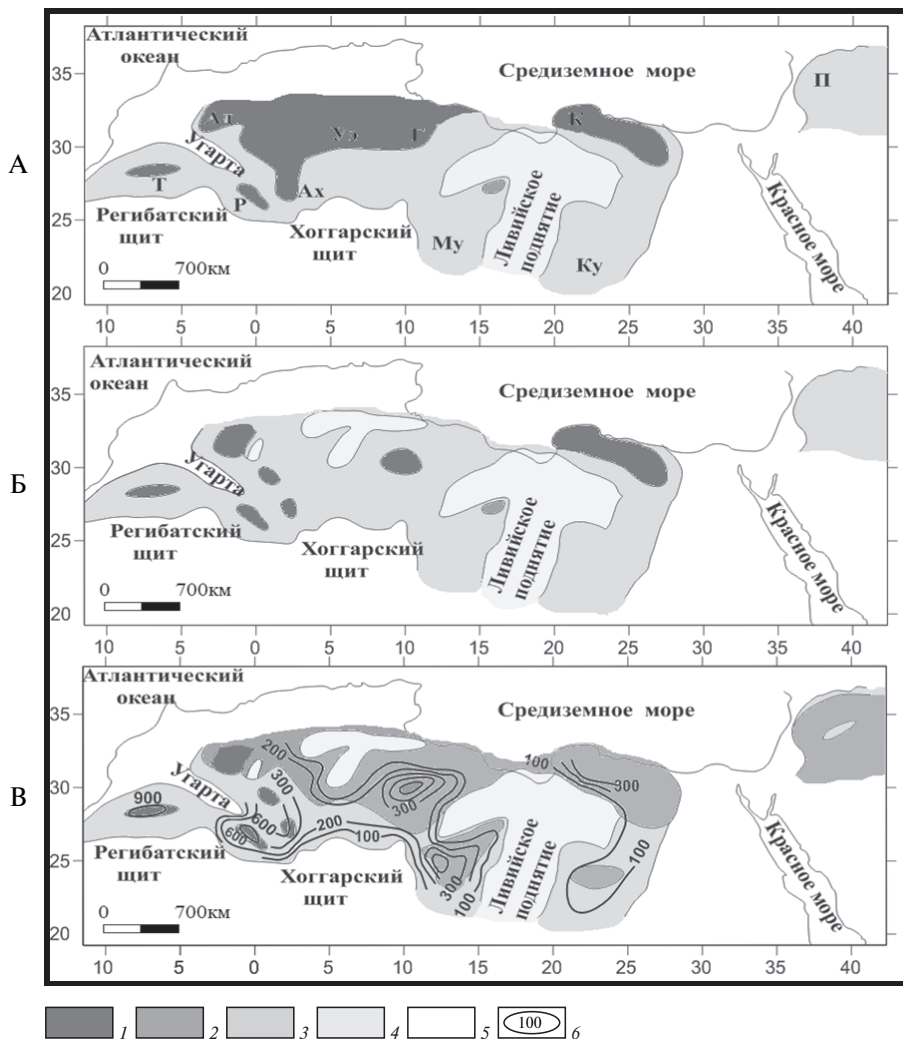
Комплексная обработка опубликованных данных по строению разрезов, температурным измерениям по многочисленным скважинам и результатов моделирования процессов нефтегазообразования в осадочных комплексах Северной Африки позволила построить временные карты начала генерации углеводородов из главных нефтематеринских отложений палеозоя и мезозоя (рис. 2, 3, 4).

По этим картам могут быть сделаны следующие комментарии:

— генерация углеводородов из нефтематеринских отложений нижнего силура началась в карбоне на западе региона и в мезозое на его большей по площади восточной части;

— нефтематеринские отложения среднего-верхнего девона начали «проходить» через «нефтяное окно» главным образом с мезозоя, отчасти с карбона на западе региона;

— в связи с асинхронностью образования углеводороды региона имеют разновозрастное происхождение.

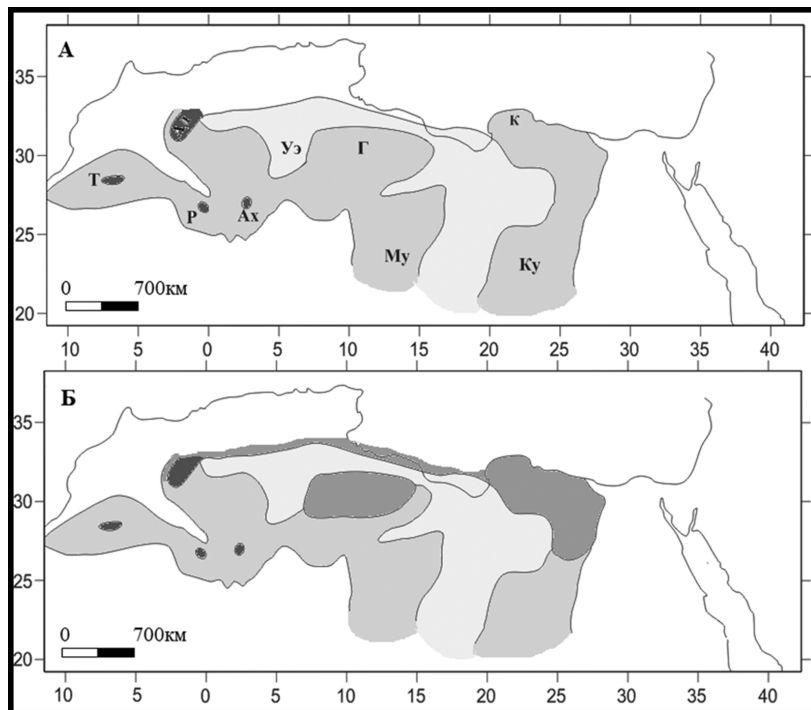


**Рис. 2.** Схема расположения областей ранней генерации углеводородов из нефтематеринских отложений Танзуфт нижнего силура А — до варисской; Б — синварисской; В — после варисской (в мезозое). (Буквенные обозначения на схеме см. рис. 1).

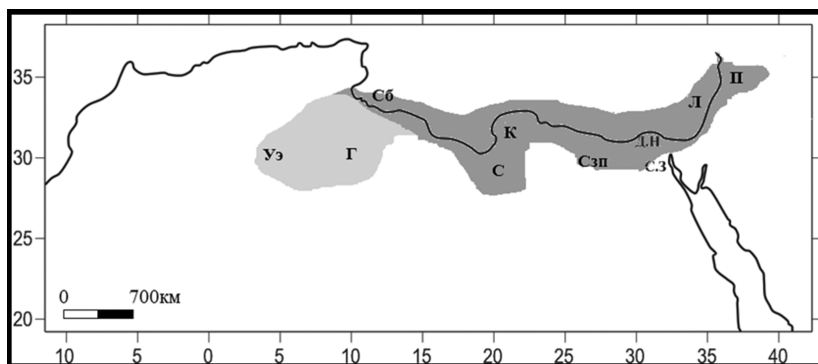
1—3 — время генерации углеводородов: 1 — в карбоне; 2 — перми; девоне; 3 — мезозое; 4 — области, в пределах которых отложения не вошли в зону генерации углеводородов 5 — области отсутствия нефтематеринских отложений формации Танзуфт; 6 — изопахиты мощностей формации, м

Известно, что главная зона нефтеобразования в осадочных бассейнах находится на глубинах от 1,5—25 км до 5—6 км в зависимости от региональных температурных условий [1]. Как мы видим, в большинстве бассейнов Северной Африки нефтематеринские отложения палеозоя и мезозоя входили в «нефтяное окно» в от-

носителем небольших глубинах, что является свидетельством повышенного древнего регионального потока. О причинах этого позволяют судить следующие факты.



**Рис. 3.** Схема расположения областей ранней генерации углеводородов из нефтематеринских отложений среднего-верхнего девона; а — до — и синварисской; Б — после варисской (Буквенные обозначения на схеме см. рис. 1) (Усл. обозначения см. рис. 2)



**Рис. 4** Схема расположения областей генерации углеводородов из нефтематеринских отложений мезозоя в позднем мелу — палеогене. (Буквы на схеме см. рис. 1) (Усл. обозначения см. рис. 2)

Большинство осадочных бассейнов Северной Африки расположено на самом молодом в регионе докембрийском, так называемом «панафриканском» фундаменте, консолидированном 650—550 млн лет назад. Согласно данным сейсмографии, области распространения этого фундамента характеризуются относительно тонкой (150—200 км) разогретой литосферой [6]. Так, в Алжире значения измеренного по нефтяным скважинам теплового потока составляют  $82 + 19 \text{ mW/m}^2$

[4]. Из этого следует, что генерация углеводородов в бассейнах рассматриваемой территории происходила в повышенных температурных условиях со второй половины палеозоя и, возможно, до настоящего времени. Наиболее вероятно, что такие условия нефтегазообразования в «эпианафриканских» бассейнах обусловлены тепловыми потоками, проникавшими в их осадочные комплексы из перманентно разогретой астеносферы через тонкую литосферу.

Следует отметить, что именно с возбужденным состоянием «молодой» астеносферы можно связывать образование практически всех внутригондванских и внутриафриканских рифтов позднего палеозоя — триаса (Кару) и поздней юры — кайнозоя в пределах панафриканского фундамента.

Высокие тепловые потоки в областях панафриканского фундамента явились одной из главных причин масштабной генерации углеводородов, в осадочных бассейнах Северной Африки и формирования их многочисленных: промышленных залежей.

Подтверждением сказанному выше является пример двух самых западных осадочных бассейнов Северной Африки — Тиндуф и Регган. Эти два глубоких бассейна выполнены отложениями палеозоя общей мощностью 8 и 6 км соответственно. Их разрезы содержат те же нефтематеринские отложения силура и среднего-верхнего девона, которые присутствуют и в комплексах «эпианафриканских» бассейнов. Однако месторождения углеводородов в двух бассейнах пока не обнаружены и с учетом проведенных в них интенсивных поисковых работ, скорее всего отсутствуют.

Какова же причина нефтегазовой обедненности бассейнов Тиндуф и Регган? Одно из их главных отличий от более восточных «продуктивных» бассейнов заключается в том, что оба эти бассейна расположены не на панафриканском, а на более древнем, эбурнейском фундаменте Западно-Африканского кратона, консолидированном в конце раннего протерозоя 2000—1900 млн лет назад.

По расчетам, основанным на данных сейсмотомографии, Западно-Африканский кратон имеет наиболее холодную и толстую (по разным оценкам, от 200 до 400 км) литосферу и относительно тонкую астеносферу [6; 8]. По-видимому, именно это обстоятельство явилось причиной крайне низких современных и древних тепловых потоков, при которых даже в мощных осадочных комплексах «эпиэбурнейских» бассейнов не создавались условия для генерации углеводородов. С таким выводом согласуется то обстоятельство, что в расположенном южнее, в центральной части Западно-Африканского кратона, сходном по строению осадочном палеозойском бассейне Таудени также отсутствуют выявленные месторождения нефти и газа.

Влияние тепловых режимов на генерацию углеводородов в осадочных бассейнах Северной Африки отразилось на неравномерном размещении здесь месторождений газа и нефти. Первые доминируют в западных «эпианафриканских» бассейнах в Западном и Центральном районах Алжира, вторые преобладают на обширной более восточной территории (восточная часть Алжира, Тунис, Ливия, Египет).

Установлено, что западные газоносные бассейны находятся в области тепловой аномалии, тепловые потоки в которой достигают 100—130 мW/m<sup>2</sup> при мак-

симальном для региона температурном градиенте 32 °С/км. В пределах этой тепловой аномалии расположены горячие источники с температурой воды до 80—90 °С [4].

Совпадение газоносной области с Центрально-Алжирской тепловой аномалией позволяет считать последнюю ответственной за образование газовых углеводородов. Нельзя исключать, что аномалия возникла во время четвертичного вулканизма в районе нагорья Хоггар, расположенного на юге Алжира и что месторождения газа явились результатом преобразования в это время прежних залежей нефти. Последнему могло способствовать накопление избыточного тепла и связанные с этим указанные преобразования под соленосными отложениями триаса, широко распространенными в газоносной области Алжира.

В целом, выявляются две важные особенности генерации углеводородов в осадочных бассейнах Северной Африки:

1) региональная асинхронность их образования, связанная с неравномерным прогибанием как отдельных бассейнов в палеозое, мезозое и кайнозое;

2) образование углеводородов и возможное преобразование их жидких фаз в газообразные в аномально высоких температурных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Несмеянов Д.В.* Происхождение и миграция нефти и газа. М.: РУДН, 1995.
- [2] *Ballard S., Pollack H.N.* Diversion of heat by Archean cratons: a model for Southern Africa. *Earth and Planetary // Sci. Letters*. 1987, v. 85, P. 253—264.
- [3] *Boote D.R.D., Clarck-Lowes D.D. & Traut M.W.* Paleozoic petroleum systems of North Africa // *Petroleum Geology of North Africa*. The Geological Society, London 1998. V. 132. P. 7—69.
- [4] *Hakim Saibi.* Geothermal resources in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews // Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Japan*. V. 13 (2009). P. 2544—2552.
- [5] *Hallett D.* *Petroleum Geology of Libya*. Amsterdam, Elsevier Inc., 2002, 509 p.
- [6] *Keith Priestley, Dan McKenzie, Eric Debayle and Sylvana Pilidou.* The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology // *Geophys. J. Int.* 2008. № 175. P. 1108—1126.
- [7] *Macgregor D.S., Moody R.T.J.* Mesozoic and Cenozoic petroleum systems of North Africa // *Petroleum Geology of North Africa*. The Geological Society, London 1998. V. 132. P. 201—217.
- [8] *Polet J., Anderson D.L.* Depth extent of cratons as inferred from tomographic studies // *Geology*. 1995, vol. 23, no. 3. P. 205—208.
- [9] *Pasyanos M.E., Walter W.R.* Crust and upper-mantle structure of North Africa and the Middle East from inversion of surface waves // *Geophys. J. Int.* 2002, vol. 149. P. 463—484.
- [10] *Thomas S.* The Sirte Basin Province of Libya — Sirte-Zelten Total Petroleum System // *U.S. Geological Survey Bulletin 2202—F*. Colorado, 2001. P. 1—33.

### CONDITIONS OF HYDROCARBON GENERATION IN SEDIMENTARY BASINS OF NORTH AFRICA

**E.A. Dolginov, M. Zamil**

Department of field mineral Deposits and their  
Exploration V.M. Kreiter

Peoples' Friendship University of Russia  
*Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419*

Hydrocarbons in sedimentary basins of North Africa began to form at different times at high temperature relatively for platform conditions. In this work reviewed the variants of the possible reasons for this phenomenon.

**Key words:** North Africa, North Arabia, sedimentary basins, hydrocarbons, generation, time, conditions.

## REFERENCES

- [1] Nesmeyanov D.V. Genesis and migration of oil and gas. Moscow: PFU. 1995. P. 26—40.
- [2] Ballard S., Pollack H.N. Diversion of heat by Archean cratons: a model for Southern Africa. *Earth and Planetary // Sci. Letters*. 1987, v. 85. P. 253—264.
- [3] Boote D.R.D., Clarck-Lowes D.D. & Traut M.W. Paleozoic petroleum systems of North Africa // *Petroleum Geology of North Africa*. The Geological Society, London 1998. V. 132. P. 7—69.
- [4] Hakim Saibi. Geothermal resources in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews // Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Japan*. V. 13 (2009). P. 2544—2552.
- [5] Hallett D. *Petroleum Geology of Libya*. Amsterdam, Elsevier Inc., 2002, 509 p.
- [6] Keith Priestley, Dan McKenzie, Eric Debayle and Sylvana Pilidou. The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology // *Geophys. J. Int.* 2008. № 175. P. 1108—1126.
- [7] Macgregor D.S., Moody R.T.J. Mesozoic and Cenozoic petroleum systems of North Africa // *Petroleum Geology of North Africa*. The Geological Society, London 1998. V. 132. P. 201—217.
- [8] Polet J., Anderson D.L. Depth extent of cratons as inferred from tomographic studies // *Geology*. 1995, vol. 23, no. 3. P. 205—208.
- [9] Pasyanos M.E., Walter W.R. Crust and upper-mantle structure of North Africa and the Middle East from inversion of surface waves // *Geophys. J. Int.* 2002, vol. 149. P. 463—484.
- [10] Thomas S. The Sirte Basin Province of Libya — Sirte-Zelten Total Petroleum System // *U.S. Geological Survey Bulletin 2202—F. Colorado*, 2001. P. 1—33.