

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 30.07.2025 г.

Принята к публикации 27.08.2025 г.

EDN: NTGUSV

УДК 550.43:547:552.578.061.32:551.763.3(662.6)

Махаман Абасс А.К., Чернова В.В., Милосердова Л.В.

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина), Москва, Россия, kadergama17@gmail.com, vikers17@mail.ru, miloserdova.l@gubkin.ru

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМАЦИИ ЙОГУ БАССЕЙНА ТЕРМИТ (РЕСПУБЛИКА НИГЕР)

Изучались материнские породы бассейна Термит на юго-востоке Нигера, так как данный регион представляет значительный интерес в связи с перспективной оценкой нефтегазоносности верхнемеловой формации Йогу. С целью получения геохимических характеристик формации Йогу интерпретированы результаты исследований с помощью метода Rock-Eval, петрографических и биомаркерных изысканий. Установлен источник органического вещества аргиллитов формации Йогу. Указан преимущественный фазовый состав генерируемых аргиллитами углеводородов. Показано, что исходным источником для органического вещества пород формации Йогу преимущественно являлась высшая наземная растительность, следовательно, материнские породы будут генерировать в большем объеме газообразные углеводороды.

Ключевые слова: органическое вещество, материнская порода, биомаркеры, верхнемеловая формация Йогу, бассейн Термит, Республика Нигер.

Для цитирования: Махаман Абасс А.К., Чернова В.В., Милосердова Л.В. Геохимическая характеристика формации Йогу бассейна Термит (Республика Нигер) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №3. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/31_2025.html EDN: NTGUSV

Введение

Бассейн Термит является важным компонентом рифтовой системы Западной и Центральной Африки [Genik, 1993; Harouna, Philp, 2012; Liu et al., 2012] (рис. 1). Занимает площадь 27 000 км² и является частью бассейна Нигерского рифта, который представляет собой асимметричную протяженную рифтовую систему, состоящую из наложенных мезозойско-кайнозойских осадочных комплексов, залегающих на кембрийско-юрском эпиметаморфическом фундаменте (рис. 2). Бассейн Термит, простирающийся с северо-запада на юго-восток, расположен между грабенами Тефидет, Тенере, Грейн и Кафра (Северный Нигер) и бассейном Борну в Республике Нигер и вытянут примерно на 300 км с севера на юг и на 60-110 км с запада на восток [Genik, 1993; Liu et al., 2015]. Он развит на докембрийском фундаменте и имеет грабенообразную структуру, контролируемую граничными разломами с северо-запада на юго-восток [Liu et al., 2015]. Образовался во время раскола Гондваны и открытия южной части Атлантического океана, примерно 130 млн. лет назад [Burke, Dessauwagie, Whiteman, 1972; Faure, 1966; Olade, 1975; Peters, Moldowan, 1993; Petters, 1978].

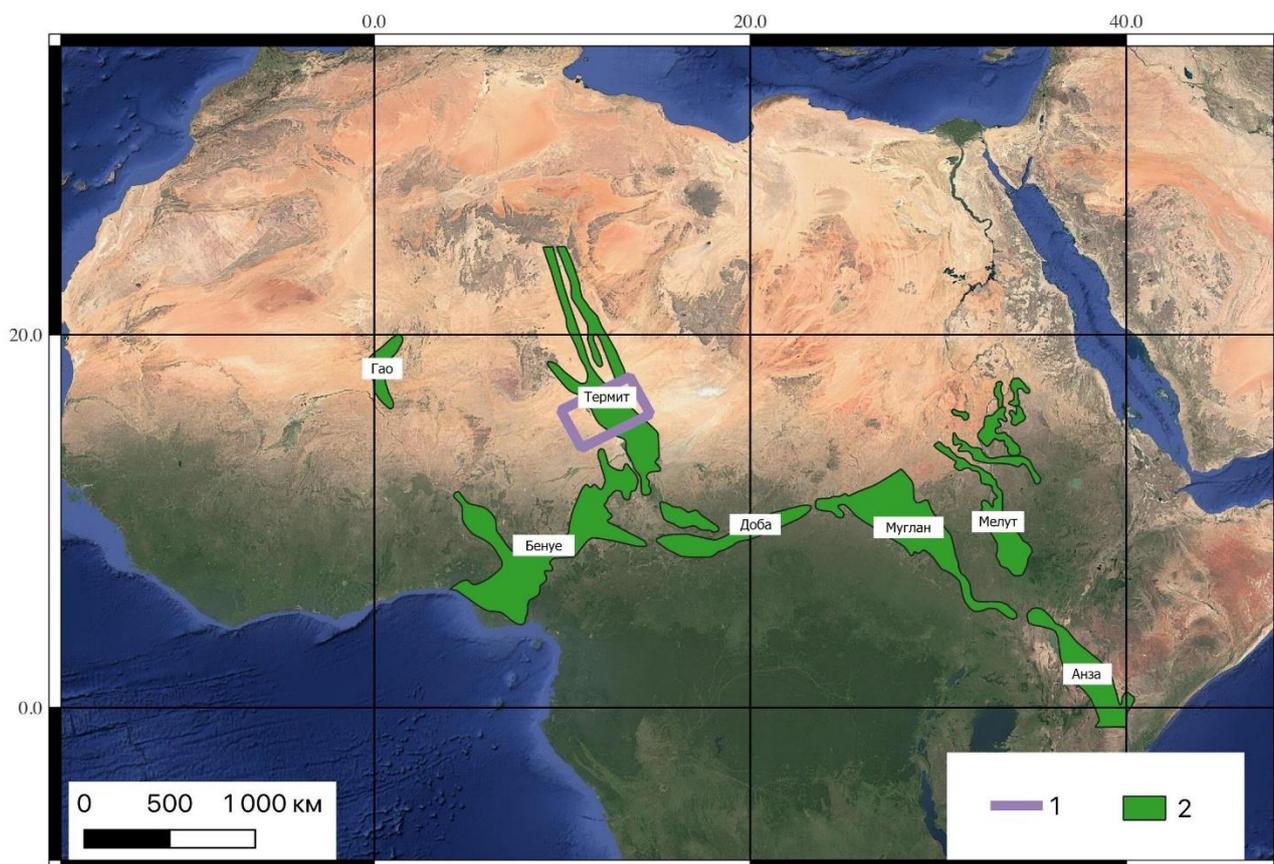


Рис. 1. Карта расположения бассейна Термит в рифтовой системе Западной и Центральной Африки ([Genik, 1993] с изменениями)

1 - район исследования, 2 - мел-палеогеновая рифтовая система.

Республика Нигер имеет историю разведки месторождений углеводородов с 1970-х гг., однако добыча нефти началась лишь в 2011 г. с открытия нефтяного месторождения Агадем. Сегодня территория является недооцененной с точки зрения имеющихся углеводородных ресурсов. В связи с этим актуально изучение территории на нефтегазоносность с помощью современных комплексных геолого-геофизических методов и исследований.

Бассейн Термит является районом активной разведки нефти, в котором обнаружены залежи нефти и газа в меловых и палеогеновых резервуарах. В бассейне Термит присутствуют верхнемеловые и палеогеновые нефтяные системы: системы Йогу-Сокор-1 и Сокор-1-Сокор-2 [Genik, 1993; Wan et al., 2014, Махаман Абасс и др., 2025]. Около 90% запасов нефти в бассейне генетически связаны с системой Йогу-Сокор-1.

Объектом исследований в данной работе являются образцы горных пород, представленные аргиллитами формации Йогу, из девяти скважин, расположенных в блоке Агадем бассейна Термит.

В статье приведен обзор результатов пиролитических, петрографических и биомаркерных исследований материнских пород формации Йогу, привлеченных из фондовых

материалов, опубликованных работ и отчетов, собранных в Министерстве нефти Республики Нигер. Петрографический анализ выполнен Китайской национальной корпорацией для Министерства нефти Республики Нигер.

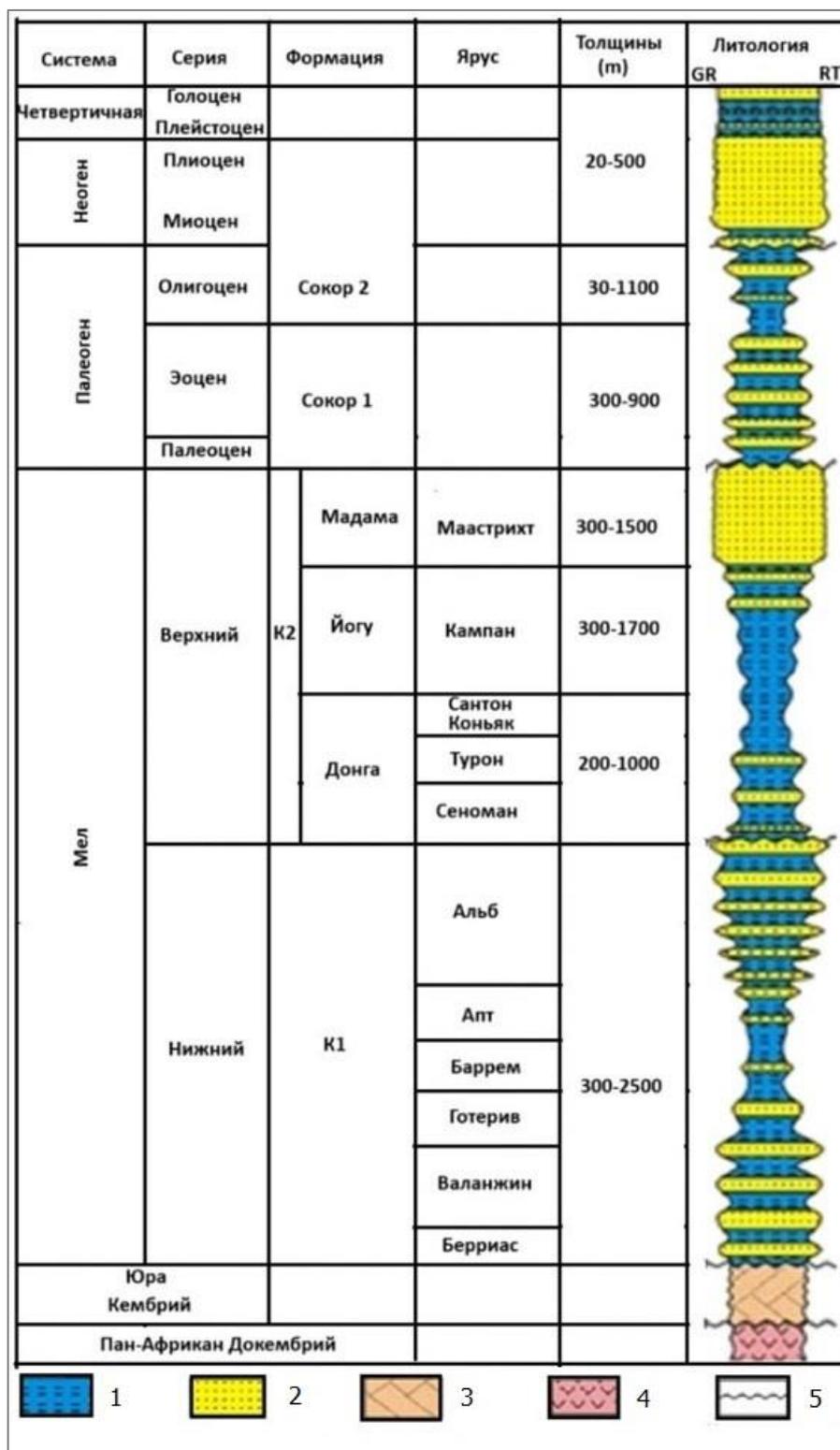


Рис. 2. Литолого-стратиграфическая характеристика разреза [Genik, 1993]

1 - глина/аргиллит; 2 - песчаник; 3 - эпитаморфическая порода; 4 - фундамент; 5 - несогласие.

Литостратиграфия и эволюция бассейна Термит

Бассейн Термит с момента своего формирования и до настоящего времени пережил две фазы рифтинга соответственно: одна в позднем мелу, сопровождавшаяся морской трансгрессией, и другая - в палеогеновое время [Genik, 1992; Fairhead et al., 2013; Zhou et al., 2017]. Наиболее полный стратиграфический разрез Восточно-Нигерского бассейна лучше всего представлен в южной части бассейна Термит. Здесь находилась осевая зона Восточно-Нигерского бассейна осадконакопления, без каких-либо признаков последующего поднятия бассейна. Бассейн здесь имеет наибольшую мощность осадков, оцениваемую в 7 км [Genik, 1993; Liu et al., 2012]. Здесь создались наиболее благоприятные условия для формирования и реализации углеводородных систем. Литостратиграфическая последовательность бассейна Термит представлена породами от мела до неогена (см рис. 2). Континентальные отложения нижнемелового возраста состоят из кремнистых песчаников, местами переслаивающихся преимущественно с каолинистыми глинистыми породами.

В составе верхнемеловых отложений выделяются формации Донга, Йогу и Мадама. Они представлены морскими и речными комплексами пород. Формация Йогу подразделяется на две части: верхнюю с переслаиванием песчаника, светло-серого и темно-серого аргиллита, и нижнюю, сложенную темно-серыми и черными аргиллитами. Отложения палеогенового возраста состоят в основном из песчано-глинистых пород. Речные отложения неогенового возраста в нижней части сложены песчаниками и глинами, а в верхней части - массивными песчаниками с тонкими прослоями сланцеватых глин. Современная четвертичная система - массивными желтовато-серыми песчаниками и зеленовато-серыми глинами.

Все эти образования залегают на гранитном и метаморфическом основании докембрийского возраста и активизировались во время панафриканского орогенеза.

Результаты

Аргиллиты формации Йогу являются основной материнской толщей в бассейне Термит [Genik, 1993; Wan et al., 2014; Zhou et al., 2017].

Для определения источника органического вещества использовались петрографический анализ, изучение биомаркеров (стеранов) и пиролитические исследования методом Rock-Eval.

Материнские породы - это породы, обогащенные автохтонным органическим веществом, кероген которых может генерировать и отдавать углеводороды. Источником для органического вещества преимущественно служат высшие растения, фито- и зоопланктон, бактерии. Кероген - часть органического вещества, не растворимая в органических растворителях, которая образуется в конце диагенеза.

Для определения геохимических характеристик формации Йогу проведены

исследования пиролитическим методом Rock-Eval. С помощью данного метода определялись количество общего органического углерода (ТОС), водородный индекс (НІ), благодаря которому можно определить источник для органического вещества и палеофациальной обстановки осадконакопления, а также другие геохимические параметры. ТОС в аргиллитах из нижней части формации Йогу составляет в среднем 2,71%, что по классификации Питерса и Кассы [Petters, 1978] относит их к хорошим материнским породам. Аргиллиты из верхней части более богаты с точки зрения содержания органического вещества, так как ТОС в них достигает 4,91% [Petters, 1978].

Верхняя часть формации Йогу претерпела меньшие катагенетические изменения по сравнению с нижней. В образцах фиксируются образцы со II, II/III и III типами керогенов [Petters, 1978; Wan et al., 2014]. Преобладают образцы с типом керогена II (НІ > 300 мг УВ/г ТОС), что свидетельствует о накоплении осадка в морских обстановках. Наличие керогенов II/III и III типов указывает на привнос материала с континента и на вклад высшей наземной растительности. В нижней части также встречаются различные типы керогена, но преобладающими являются керогены III и II/III (НІ ~ 200 мг УВ/г ТОС). Это говорит о значительном вкладе высшей наземной растительности в органическое вещество.

В результате преобразования органического вещества не все компоненты изменяются с одинаковой скоростью, поэтому и в породах, претерпевших значительные катагенетические преобразования, встречаются включения, которые сохранились практически в неизменном или слабо измененном состоянии и определены при микроскопических исследованиях. Таким образом, в органическом веществе пород наблюдаются и мацералы (мельчайшие органические составляющие углей и углистых частиц в осадочных породах, различимые под микроскопом), которые несут важную генетическую информацию.

Углистые включения, повсеместно присутствующие в аргиллитах, изучались на основе справочников Международного комитета по угольной и органической петрологии [International Committee..., 1998; 2001; 2017]. Исследование мацералов проводилось в соответствии с Международными стандартами ИСО серии 7404. Определение мацерального состава происходило с помощью изучения угля под микроскопом в отраженном белом свете, а также дополнительно использовалась флуоресцентная микроскопия.

В табл. 1 представлен мацеральный состав изученных образцов материнской породы из 9 скважин формации Йогу. Образцы аргиллитов формации Йогу в основном состоят из мацералов витринита, инертинита и липтинита без сапропелинита (битуминит) (табл. 1). Стоит отметить, что в группе липтинита именно сапропелинит (битуминит) играет роль в образовании нефтяных углеводородов [International Committee..., 2017].

Таблица 1

Мацеральные компоненты керогена из образцов формации Йогоу¹

Скважина	Глубина	Витринит	Инертинит	Липтинит				Минеральное вещество		Минерально-битумная матрица
				Споринит	Кутинит	Резинит	Экзодетринитлигитодетринит	Флуоресцирующий минерал	Нефлуоресцирующий минерал	
Фана-1	2960	7,5	3	/	3,5	/	3	70	10	3
Фана-1	3288	5	1,6	/	/	/	4,3	10,6	78,5	/
Йогоу Н-1	2277	13,6	2,3	7	20,4	2,4	7,5	4,8	40	2
Йогоу Н-1	2663	1	2	/	/	/	5	84	4	4
Йогоу Н-1	3376	0,5	/	/	/	/	/	80	19,5	
Дугул NW-1	2053	3,5	1,5	/	/	/	7	60	24	4
Дугул NW-1	2352	1	/	/	/	/	/	66	30,5	2,5
Дугул NW-1	2505	1,2	/	/	/	/	/	20	78,8	/
Дугул NW-1	2777	2	1	/	/	/	/	75	17	5

Витринит имеет серый цвет в отраженном свете и при масляной иммерсии. Инертинит в основном представлен фюзинитом, содержание которого, как правило, низкое, и в отраженном свете при масляной иммерсии варьирует от бело-серого до белого цвета [Liu et al., 2012]. Липтинит в основном состоит из кутинита, который имеет желтую флуоресценцию.

Анализ треугольной диаграммы мацеральных компонентов из образцов верхнемеловой формации Йогоу показал, что основными компонентами являются витринит-инертинит и липтинит (рис. 3). Ни один из образцов формации Йогоу не содержит сапропелинита (битуминита). Распределение мацералов показало, что значительный вклад в состав органического вещества формации Йогоу также вносит высшая наземная растительность.

¹ CNPC. *Geological and geophysical studies in the Agadem Block, Niger*. 2013.

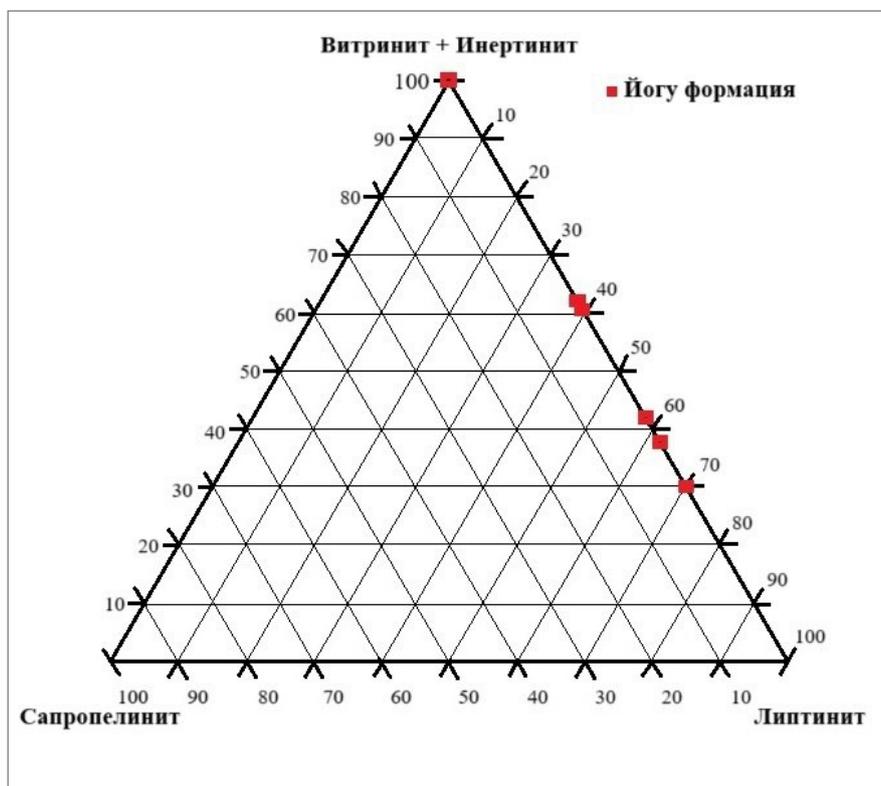


Рис. 3. Диаграмма мацэральных компонентов из образцов формации Йогу в блоке Агадем²

В предшествующих исследованиях [Czochanska et al., 1988] изучено распределение стеранов. Стераны C27 в основном произошли из водорослей и других низших водных организмов, стераны C29 - из высших наземных растений. На диаграмме обычные стераны C27-C28-C29 преобладают над стераном C29 в образцах аргиллитов формации Йогу. Стераны $\alpha\alpha$ 20R C27, C28, C29 показывают перевернутое L-образное распределение на масс-хроматограмме m/z 217 [Czochanska et al., 1988], относительное содержание показывает: C29 > C28 > C27 (рис. 4).

C27-C29 можно использовать для определения природы органического вещества. Распределение нормальных алканов и изопреноидов в исходных породах информативно для определения генетического происхождения и исходных сред [Peters, Walters, Moldowan, 2005].

Анализ различных процентных соотношений, представленных в табл. 2, показывает распределение стеранов C27, C28 и C29 в экстрактах образцов формации Йогу.

Во всех образцах отмечается преобладание стеранов C29 над стеранами C27 и C28 (см. табл. 2). Наблюдается следующая последовательность: C29 > C28 > C27. Все эти результаты свидетельствуют о том, что источником керогена в образцах скважин формации Йогу являются наземные растения [Czochanska et al., 1988; Huang et al., 1979]. Высокие концентрации стеранов C29 относительно C27-C28 могут указывать на наземный источник

² CNPC. *Geological and geophysical studies in the Agadem Block, Niger*, 2013.

[Czochanska et al., 1988; Huang, Meinschein, 1979]. Число углерода, которым обладают стераны, помогает определить происхождение органического вещества. Стераны C27 получены в основном из морского органического вещества, тогда как C29 более типичны для высших растений. Например, явно преобладающая доля стеранов C29 относительно стеранов C27 и C28 подтверждает вклад континентального органического вещества.

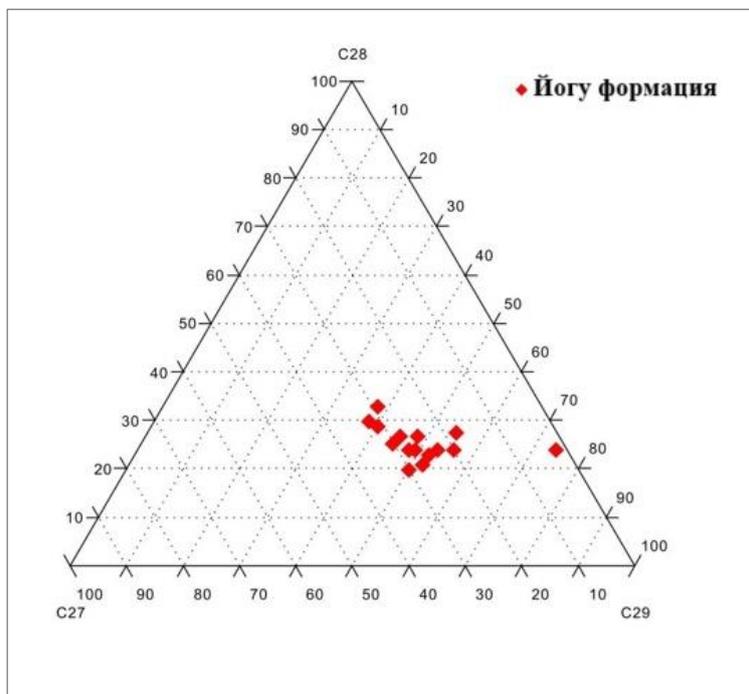


Рис. 4. Диаграмма стеранов C27, C28 и C29 из образцов формации Йогу в блоке Агадем³

Таблица 2

Процентное содержание основных стеранов, идентифицированных в экстрактах образцов из формации Йогу в блоке Агадем [Liu et al., 2015]

Скважина	Глубина	%C27 стераны	%C28 стераны	%C29 стераны
Фана-1	2960	0,24	0,25	0,53
Фана-1	3288	0,25	0,23	0,52
Йогоу Н-1	2277	0,25	0,27	0,48
Йогоу Н-1	2663	0,28	0,24	0,48
Йогоу Н-1	3376	0,27	0,21	0,52
Дугул NW-1	2053	0,3	0,2	0,5
Дугул NW-1	2352	0,28	0,27	0,45
Дугул NW-1	2505	0,3	0,25	0,44
Дугул NW-1	2777	0,18	0,28	0,55

Таким образом, мацеральный состав образцов из скважин из меловой формации Йогу включает витринит, инертинит и липтинит. Полученные результаты показывают, что кероген

³ CNPC. *Geological and geophysical studies in the Agadem Block, Niger*, 2013.

образцов формации Йогу имеет преимущественно континентальный источник [Liu et al., 2015]. Липтинит состоит из богатых водородом частей высших растений и водорослей, а мацералы представляют собой споринит, кутинит, резинит, альгинит, липтодетринит.

В этой группе отсутствуют мацералы сапропелинита. Витринит, инертинит и липтинит (споринит, кутинит и резинит) имеют наземную природу [Liu et al., 2015; Petters, 1978].

Заключение

Образцы аргиллитов из формации Йогу, отобранные из мелового бассейна Термит на юго-востоке Республики Нигер, изучены с помощью пиролитического метода Rock-Eval, петрографического и биомаркерного анализов. Формация Йогу делится на две части: нижнюю, представленную преимущественно черными аргиллитами, и верхнюю, представленную переслаиванием песчаников и аргиллитов. По методу Rock-Eval установлено, что органическое вещество материнских аргиллитов из нижней части имеет преимущественно II тип керогена, но также встречаются и образцы с II/III и III типами керогенов, что свидетельствует о привносе источников для органического вещества с континента. Верхняя часть формации Йогу имеет образцы с преобладанием III и II/III типами керогенов, что свидетельствует о преобладании среди источников для органического вещества высшей наземной растительности.

Петрографический анализ образцов показал, что в породах присутствуют мацералы групп витринита, инертинита и липтинита. Во всех исследованных образцах не идентифицировано сапропелита (битуминита), который связан с последующей генерацией жидких углеводородов. Все остальные мацералы, присутствующие в изучаемых образцах, свидетельствует о том, что существовал значительный привнос материала с континента, а именно высшей наземной растительности. Биомаркерный анализ этих образцов после экстракции показал, что в них присутствуют стераны C29, C28 и C27. Кроме того, обнаружено, что стераны C29 доминируют над своими аналогами C27 и C28, что тоже подтверждает происхождение органического вещества аргиллитов формации Йогу из континентальных источников. Таким образом, все упомянутые подходы: пиролитические исследования с помощью метода Rock-Eval, петрографические исследования мацералов и биомаркерный анализ указывают на то, что органическое вещество аргиллитов формации Йогу происходит преимущественно из высших наземных растений, что является причиной генерации газообразных углеводородов в большом объеме, следовательно, возможна не только нефтеносность, но и значительная газоносность региона. Результаты, полученные авторами, могут быть использованы при моделировании углеводородных систем.

Литература

Махаман Абасс А.К., Милосердова Л.В., Курушина А.С., Гончарук Д.А. Углеводородный генерационный потенциал формаций Йогу и Сокор бассейна Термит (район Билма, восточный Нигер) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2025. - Т.20. - №2. - https://www.ngtp.ru/rub/2025/24_2025.html EDN: [ТХООРК](#)

Burke K., Dessauwagie T.F.J., Whiteman A.J. Geological history of the Benue valley and adjacent areas. In: Dessauwagie T.F.J., Whiteman A.J. (Eds.), African Geology. Ibadan: Ibadan University Press, 1972. - P. 197-205.

Czochanska Z., Gilbert T.D., Philp R.P., Sheppard C.M., Weston R.J., Wood T.A., Woolhouse A.D. Geochemical application of sterane and triterpane biomarkers to describe oils from the Taranaki Basin, New Zealand // Organic Geochemistry. - 1988. - Vol. 12. - P. 123-135. DOI: [10.1016/0146-6380\(88\)90249-5](https://doi.org/10.1016/0146-6380(88)90249-5)

Fairhead J.D., Green C.M., Masterton S.M., Guiraud R. The role of plate tectonics, stress variations and stratigraphic unconformities in the evolution of the West and Central African rift system and Atlantic continental margins // Tectonophysics. - 2013. - Vol. 594. - P. 118-127. DOI: [10.1016/j.tecto.2013.03.021](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.03.021)

Faure H. Geologic exploration of the post-Paleozoic sedimentary formations of eastern Niger // Mém. Bureau of Geological and Mining Research. - 1966. - No. 47. - P. 629-630.

Genik G.J. Petroleum Geology of Rift Basins in Niger, Chad, and Central Africa // AAPG Bull. - 1993. - Vol. 77. - P. 1405-1434. DOI: [10.1306/BDFE8EAC-1718-11D7-8645000102C1865D](https://doi.org/10.1306/BDFE8EAC-1718-11D7-8645000102C1865D)

Genik G.J. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and Central African Republic (CAR) // Tectonophysics. - 1992. - Vol. 213. - P. 169-185. DOI: [10.1016/0040-1951\(92\)90257-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90257-7)

Harouna M., Philp R.P. Potential petroleum parent rocks in the Termite Basin, Niger // Journal of Petroleum Geology. - 2012. - Vol. 35. - No. 2. - P. 165-185. DOI: [10.1111/j.1747-5457.2012.00524.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2012.00524.x)

Huang W.Y., Meinschein W.G. Sterols as environmental indicators // Geochim. and Cosmochim. Acta. - 1979. - Vol. 43. - P. 739-745. DOI: [10.1016/0016-7037\(79\)90257-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90257-6)

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). Classification of liptinite - ICCP System 1994 // International Journal of Coal Geology. - 2017. - Vol. 169. - P. 40-61.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). The New Vitrinite Classification (ICCP System 1994) // Fuel. - 1998. - Vol. 77. - P. 349-358. EDN: [BFWEON](#)

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). The New Inertinite Classification (ICCP System 1994) // Fuel. - 2001. - Vol. 80. - P. 459-471. EDN: [AMBYCP](#)

Liu B., Pan X.H., Wan L.K., Su Y.D., Mao F.J., Liu J.G., Lü M.S., Wang Y.H. Structural

evolution and main factors controlling Paleogene hydrocarbon accumulation in the Termit Basin, eastern Niger // *Acta Petrolei Sinica*. - 2012. - Vol. 33. - P. 394-403.

Liu B., Wan L., Mao F., Liu J., Lü M., Wang Y. Hydrocarbon potential of Upper Cretaceous marine source rocks in the Termit Basin, Niger // *Fart. Geol.* - 2015. - Vol. 38. - P. 157-175. DOI: [10.1111/jpg.12604](https://doi.org/10.1111/jpg.12604)

Olade M.A. Evolution of the Benue Trough in Nigeria (aulacogen): A tectonic model // *Geol. Magazine*. - 1975. - Vol. 112. - P. 575-583. DOI: [10.1017/S001675680003898X](https://doi.org/10.1017/S001675680003898X)

Peters K.E., Moldowan J.M. Handbook of biomarkers: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993. - P. 227-228.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. Handbook of Biomarkers. Vol. 1: Biomarkers and isotopes in the environment and human history. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. - P. 75-76.

Petterson S.W. Stratigraphic evolution of the Benue Trough and its implications for the Upper Cretaceous paleogeography of West Africa // *Journal Geology*. - 1978. - Vol. 86. - P. 311-322. DOI: [10.1086/649693](https://doi.org/10.1086/649693)

Wan L., Liu J., Mao F., Lv M., Liu B. Petroleum geochemistry of the East Niger Basin termite field // *Vt. Petrol. Geol.* - 2014. - Vol. 51. - P. 167-183. DOI: [10.1016/j.marpetgeo.2013.11.006](https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.11.006)

Zhou L., Su J., Dong X., Shi B., Sun Z., Qian M., Lou D., Liu A. Controlling factors of hydrocarbon accumulation in the Termit rift basin, Niger // *Petroleum Exploration and Development*. - 2017. - Vol. 44. - P. 358-367. DOI: [10.1016/S1876-3804\(17\)30042-3](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(17)30042-3)

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 30.07.2025

Published 27.08.2025

Makhaman Abass A.K., Chernova V.V., Miloserdova L.V.

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia, kadergama17@gmail.com, vikers17@mail.ru, miloserdova.l@gubkin.ru

YOGOU FORMATION OF TERMIT BASIN GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS (REPUBLIC OF NIGER)

The source rocks of the Termit Basin in southeastern Niger were studied, because this region is of significant interest in connection with the prospective assessment of the oil and gas potential of the Upper Cretaceous Yogou Formation. In order to obtain geochemical characteristics of the Yogou Formation, the results of studies using the Rock-Eval method, petrographic and biomarker studies were interpreted. The organic matter source of the Yogou Formation mudstones was determined. The predominant phase composition of hydrocarbons generated by the mudstones was indicated. It was shown that the initial source of organic matter for the Yogou Formation rocks was mainly higher terrestrial vegetation, therefore, the source rocks will generate gaseous hydrocarbons in greater volumes.

Keywords: organic matter, source rock, biomarkers, Upper Cretaceous Yogou Formation, Termit Basin, Republic of Niger.

For citation: Makhaman Abass A.K., Chernova V.V., Miloserdova L.V. Geokhimicheskaya kharakteristika formatsii Yogu basseyna Termit (Respublika Niger) [Yogou Formation of Termit Basin geochemical characteristics (Republic of Niger)]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika, 2025, vol. 20, no. 3, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/31_2025.html EDN: NTGUSV

References

Burke K., Dessauwagie T.F.J., Whiteman A.J. *Geological history of the Benue valley and adjacent areas*. In: Dessauwagie T.F.J., Whiteman A.J. (Eds.), *African Geology*. Ibadan: Ibadan University Press, 1972, pp. 197-205.

Czochanska Z., Gilbert T.D., Philp R.P., Sheppard C.M., Weston R.J., Wood T.A., Woolhouse A.D. Geochemical application of sterane and triterpane biomarkers to describe oils from the Taranaki Basin, New Zealand. *Organic Geochemistry*, 1988, vol. 12, pp. 123-135. DOI: [10.1016/0146-6380\(88\)90249-5](https://doi.org/10.1016/0146-6380(88)90249-5)

Fairhead J.D., Green C.M., Masterton S.M., Guiraud R. The role of plate tectonics, stress variations and stratigraphic unconformities in the evolution of the West and Central African rift system and Atlantic continental margins. *Tectonophysics*, 2013, vol. 594, pp. 118-127. DOI: [10.1016/j.tecto.2013.03.021](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.03.021)

Faure H. Geologic exploration of the post-Paleozoic sedimentary formations of eastern Niger. *Mém. Bureau of Geological and Mining Research*, 1966, no. 47, pp. 629-630.

Genik G.J. Petroleum Geology of Rift Basins in Niger, Chad, and Central Africa. *AAPG Bull.*, 1993, vol. 77, pp. 1405-1434. DOI: [10.1306/BDF8EAC-1718-11D7-8645000102C1865D](https://doi.org/10.1306/BDF8EAC-1718-11D7-8645000102C1865D)

Genik G.J. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and Central African Republic (CAR). *Tectonophysics*, 1992, vol. 213, pp. 169-185. DOI: [10.1016/0040-1951\(92\)90257-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90257-7)

Harouna M., Philp R.P. Potential petroleum parent rocks in the Termit Basin, Niger. *Journal of Petroleum Geology*, 2012, vol. 35, no. 2, pp. 165-185. DOI: [10.1111/j.1747-5457.2012.00524.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2012.00524.x)

Huang W.Y., Meinschein W.G. Sterols as environmental indicators. *Geochim. and Cosmochim. Acta*, 1979, vol. 43, pp. 739-745. DOI: [10.1016/0016-7037\(79\)90257-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90257-6)

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). Classification of liptinite–ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 2017, vol. 169, pp. 40-61.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). The New Vitrinite Classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 1998, vol. 77, pp. 349-358. EDN: [BFWEON](#)

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). The New Inertinite Classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 2001, vol. 80, pp. 459-471. EDN: [AMBYCP](#)

Liu B., Pan X.H., Wan L.K., Su Y.D., Mao F.J., Liu J.G., Lü M.S., Wang Y.H. Structural evolution and main factors controlling Paleogene hydrocarbon accumulation in the Termit Basin, eastern Niger. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, vol. 33, pp. 394-403.

Liu B., Wan L., Mao F., Liu J., Lü M., Wang Y. Hydrocarbon potential of Upper Cretaceous marine source rocks in the Termit Basin, Niger. *Fart. Geol.*, 2015, vol. 38, pp. 157-175. DOI: [10.1111/jpg.12604](#)

Makhaman Abass A.K., Miloserdova L.V., Kurushina A.S., Goncharuk D.A. Uglevodorodnyy generatsionnyy potentsial formatsiy Yogu i Sokor basseyna Termit (rayon Bilma, vostochnyy Niger) [Petroleum generation potential of the Yogu and Socor formations of the Termite basin (Bilma area, Eastern Niger)]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2025, vol. 20, no. 2, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2025/24_2025.html (In Russ.). EDN: [TXOOPK](#)

Olade M.A. Evolution of the Benue Trough in Nigeria (aulacogen): A tectonic model. *Geol. Magazine*, 1975, vol. 112, pp. 575-583. DOI: [10.1017/S001675680003898X](#)

Peters K.E., Moldowan J.M. *Handbook of biomarkers: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993, pp. 227-228.

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. *Handbook of Biomarkers. Vol. 1: Biomarkers and isotopes in the environment and human history*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, pp. 75-76.

Petters S.W. Stratigraphic evolution of the Benue Trough and its implications for the Upper Cretaceous paleogeography of West Africa. *Journal Geology*, 1978, vol. 86, pp. 311-322. DOI: [10.1086/649693](#)

Wan L., Liu J., Mao F., Lv M., Liu B. Petroleum geochemistry of the East Niger Basin termite field. *Vt. Petrol. Geol.*, 2014, vol. 51, pp. 167-183. DOI: [10.1016/j.marpetgeo.2013.11.006](#)

Zhou L., Su J., Dong X., Shi B., Sun Z., Qian M., Lou D., Liu A. Controlling factors of hydrocarbon accumulation in the Termite rift basin, Niger. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, vol. 44, pp. 358-367. DOI: [10.1016/S1876-3804\(17\)30042-3](#)