

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №3, Том 13 / 2021, No 3, Vol 13 <https://esj.today/issue-3-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/01NZVN321.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сендегея М., Атсе Я.Д.Б., Максимова Т.Н., Котенев Ю.А. Углеводородный потенциал озер Альберт и Танганьика // Вестник Евразийской науки, 2021 №3, <https://esj.today/PDF/01NZVN321.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Sendegeya M., Atse Y.D.B., Maksimova T.N., Kotenev Yu.A. (2021). Hydrocarbon potential of Lakes Albert and Tanganyika. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(13). Available at: <https://esj.today/PDF/01NZVN321.pdf> (in Russian)

УДК 553.982

Сендегея Марсиен

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Аспирант
E-mail: sendegeyamarcien@gmail.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1107353

Атсе Яо Доминик Бернабэ

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Аспирант
E-mail: atsedominique@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1178-3541>
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=869417

Максимова Тамара Николаевна

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений»
Старший научный сотрудник
Кандидат химических наук
E-mail: tomamaks@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=718123

Котенев Юрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия
Профессор кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений»
Заведующий кафедрой «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений»
Доктор технических наук
E-mail: geokot@inbox.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1009835

Углеводородный потенциал озер Альберт и Танганьика

Аннотация. Озеро Танганьика расположено в Восточно-Африканском рифте. По своим характеристикам он аналогичен осадочным бассейнам и имеет нефтегазовый потенциал. Некоторые проекты разведки углеводородов в этом бассейне выполнялись в течение 1980–1990 годов. Однако были обнаружены только углеводородные признаки.

В этом периоде в других озерах Восточно-Африканского рифта были осуществлены разведочные проекты, особенно в озерах Альберт и Малави. После нескольких лет безуспешной разведки (с 1925 г.), первые залежи нефти и газа были открыты в 2006 г. на озере Альберт.

В данной статье рассматриваются вопросы, как побудить исследователей и геологоразведочные компании финансировать исследования углеводородов в озере Танганьика, поскольку потребовался ряд лет исследований и разведки со значительным финансированием, чтобы обнаружить 1,7 миллиарда баррелей извлекаемой нефти в озере Альберт, которое в шесть раз меньше, чем озеро Танганьика.

В статье также показано сходство двух озер (Танганьика и Альберт) и представлены конкретные признаки для исследований и разведки углеводородов в рифтовом осадочном бассейне, особенно в озерах Танганьика и Альберт. Равные значения общего органического углерода, наличие нефтяных и газовых выходов, а также разломы с аккомодационными зонами и трансферными зонами, геотермальные источники и т. д., распределенные вокруг двух озер являются основными причинами, по которым необходимо продолжить поиск и разведку углеводородов в бассейне озера Танганьика. Далеко от Восточно-Африканского рифта, особенно в Гвинейском заливе, трансферные зоны и углеводородные выходы наблюдаются в нефтяных бассейнах.

Ключевые слова: Восточно-Африканский рифт; депоцентры; полуграбены; разломы; аккомодационные зоны; трансферные зоны; вулканизм; углеводородные выходы

Введение

Восточно-Африканский рифт, который разделяется на две ветви (восточную и западную), имеет множество озер, в частности озера Танганьика и Альберт, расположенных в осадочных бассейнах. Эти осадочные бассейны обладают большим нефтегазовым потенциалом.

Наличие нефтяных и газовых выходов в озерах Танганьика и Альберт привлекает внимание геологов-нефтяников уже много лет.

В озерах Танганьика и Альберт проводились разведочные работы углеводородов разного уровня.

Первые зарегистрированные исследования углеводородов в озере Альберт были осуществлены в 1920-х годах. С тех пор проведено немало исследований и разведочных работ.

Первые скважины пробурены в районах Бутиаба, Кибиро и Семлики вокруг озера Альберт в период с 1936 по 1956 год в зависимости от распределения нефтяных выходов.

Разведка и бурение скважин нефтяными компаниями продолжались много лет. Первые открытия нефти в этом озере произошли в 2006 году в Мпуге.

В то же время на озере Танганьика проводилось очень мало геологоразведочных работ.

Сейсмические исследования начались на озере Танганьика в 1984 г. и продолжались до 1990 г. На сегодняшний день нет пробуренных разведочных скважин. Только углеводородные выходы являются признаками наличия углеводородов в этом озере.

Дополнительные данные, полученные с помощью нескольких сейсмических профилей, представляют информацию о морфологии озера, а также о тектонике.

Другие восточноафриканские рифтовые озера обладают нефтегазовым потенциалом [1] [2]. В этом регионе только метан добывается из озера Киву (между озерами Танганьика и Альберт) [3]. Что касается других озер, отсутствие соответствующего оборудования, а также недостаточное финансирование заставляют некоторых геологов сомневаться в наличии углеводородов.

Сравнительная характеристика озер Альберт и Танганьика

Озера Альберт и Танганьика имеют ряд схожих характеристик и некоторые отличия.

1. Озеро Альберт расположено к северу от озера Танганьика. Они находятся на разных высотах: 621–619 м для озера Альберт и 773–778 м для озера Танганьика. глубина в озере Альберт составляет 25 м, а в Танганьике – 1470 м.
2. Озеро Альберт сформировалось в бассейне, заполненном кайнозойскими отложениями (23–30 млн лет назад). Эти отложения сформированы на докембрийских орогенных поясах Африканского кратона. Точно так же кайнозойские (миоценовые) отложения, заполняющие озеро Танганьика, образованы на кратонной литосфере и орогенных поясах. Их возраст колеблется от раннего до позднего докембрия.
3. В обоих бассейнах разбросаны геотермальные источники и выходы газа и нефти. В двух озерах существуют другие подобные геологические образования: депоцентры, полуграбены, разломы, аккомодационные зоны, трансферные зоны, вулканизм, углеводородные выходы.

Геологические исследования в бассейне озера Альберт выявили наличие осадочных толщ глин и илов в районе Кайсо и вдоль реки Кисеги в Семлики. Эти осадочные толщи, состоящие из песчаников, обеспечивают хорошие коллектора, а глины – флюидоупоры. Два депоцентра, выявленные в озере, заполнены кайнозойскими отложениями до 5 км толщины.

В озере Танганьика сложно определить состав отложений. Тем не менее кажется очевидным, что не меньше 3 км осадков образовалось в депоцентре суббассейна Русизи (северная часть озера) и более 4 км в трех основных депоцентрах в провинции Кигома [4].

Стратиграфия бассейна озера Альберт хорошо изучена по керну, отобранному при бурении скважин в этом регионе. Дельтовые, речные и озерные отложения в бассейне озера Альберт подвержены влиянию тектоники и изменения климата. Протерозой сложен в основном сильно метаморфизованными осадочными и магматическими породами докембрийского возраста. Источником углеводородов являются кайнозойские сланцы и аргиллиты. Антиклинали, наклонные блоки разломов были определены как ловушки для накопления углеводородов в Турако, Кингфишере, Мпуте, Нгассе и Касамене. Посредством корреляции между сейсмическими последовательностями и стратиграфией пробуренных глубоких скважин в этом бассейне были интерпретированы пять стратиграфических слоев: (1) дорифтовый фундамент, (2) основание-Кисеги, (3) основание-Кайсо, (4) срединное Кайсо. и (5) поверхности среднего плейстоцена [5].

Из-за отсутствия разведочных скважин стратиграфия бассейна озера Танганьика изучена недостаточно. Однако исследования на строматолитах предоставляют информацию о колебаниях уровня озер (на основе их возвышения), палеогидрологии (с помощью анализов ^{13}C и ^{18}O строматолитовых карбонатов), палеосреде (по морфологии их роста) и хронологии (с помощью прямого датирования ^{14}C). Строматолиты встречаются в изобилии на берегах озера Танганьика и дают информацию о позднем голоцене [6].

Отложения из озера Танганьика до 11 м глубины образуют три слоя обломочных пород:

1. Нижний обломочный слой серого цвета (35000 лет назад).
2. Промежуточный детритовый слой (5000 лет назад), в котором бежевые глины являются центральной частью, включающей нижние и верхние серые глины.
3. Современный верхний детритовый слой, состоящий из темно-зеленых илов и песков [7].

Скорость осаднения колеблется от 0,3 до 1,4 мм/год в южной части озера и от 0,3 до 0,5 мм/год, в глубоких частях центрального озера [8]. Озеро Танганьика находится в кайнозойском (миоценовом) бассейне так же, как и озёра Малави, Альберт, Киву и др. [9].

На рисунке 1 показано расположение Восточно-Африканского рифта, вулканов, геотермальных источников, а также стратиграфические и тектонические особенности этого региона.

Озера Альберт и Танганьика представлены в западной ветви этой зоны.

Как показано в работах [10; 11], распределение органических веществ в отложениях Восточно-Африканского рифта обеспечивает образование органического углерода (углеводородов).

Озеро Альберт содержит отложения с нефтематеринскими породами с максимальным содержанием органического углерода порядка 5,3 %. Эти отложения обладают отличными коллекторскими качествами с пористостью более 35 %.

В озере Танганьика отложения в глубоких местах богаты органическими веществами [8], имеющими высокие значения общего органического углерода, варьирующимися от 4 до 12 % в зависимости от чередующихся периодов высокой и низкой биологической первичной продуктивности органического вещества [12].

Органические вещества осаждаются в депоцентрах озера. В озерах Альберт и Танганьика депоцентры определяются суббассейнами. Суббассейны ограничены крутыми пограничными разломами. Разломы характеризуются серией эшелонированных разломов с переменной полярностью (чередование грабенов и горстов), образующих аккомодационные зоны [13; 14]. Осадочные бассейны здесь состоят из полуграбенов, которые связаны между собой разломами. Полуграбены, разломы и складки определяют низкие аккомодационные зоны (в синклинали) и высокие аккомодационные зоны (в антиклинали) [4; 15]. Индивидуальные полуграбены отделены друг от друга аккомодационными зонами. Вдоль аккомодационных зон обычно бывает значительный сдвиг или растяжение. Аккомодационные зоны определяют расположение отдельных бассейнов и депоцентров. Они также контролируют распространение осадочных фаций в бассейнах.

В озере Танганьика края разломов имеют ступенчатую геометрию и связаны с трансферными или аккомодационными зонами [1; 12].

В рифте озера Альберт погружение не было затронуто более ранними разломами [16]. Оно связано с заполнением озерными отложениями, в которых были охарактеризованы два основных несоответствия, датируемых 6,2 млн лет (верхний миоцен) и 2,7 млн лет (плиоцен-плейстоцен) [17]. Несогласия ограничены сложными листрическими разломами.

В озере Танганьика история осадконакопления характеризуется ассоциацией трех типов отложений: скопления «заполнение бассейна»; линзовидные «глубокие озерные вееры» и депозиты «простыни». Интенсивность последовательных колебаний низкого уровня озера со временем уменьшалась в результате быстрого накопления осадками в условиях снижения тектонического погружения [18].

В озере Альберт аккомодационные зоны расположены недалеко от депоцентров. Северо-западная – юго-восточная гряда разделяет два основных депоцентра в этом озере [13].

В озере Танганьика различают высокие и низкие аккомодационные зоны.

В Восточно-Африканском рифте разломы способствовали появлению геотермальных источников. Например, в Кибиро геотермальные источники расположены в зонах разломов [19; 20]. Аналогично геотермальные источники в Кабези, Пембе, Банзе, Машузи и Мугаре вокруг

озера Танганьика находятся вдоль разломов [24]. Основные разломы связаны между собой мелкими разломами и определяют трансферные зоны [14]. На концах разломов аккомодационные зоны представляют собой места миграции и скопления флюидов [25].

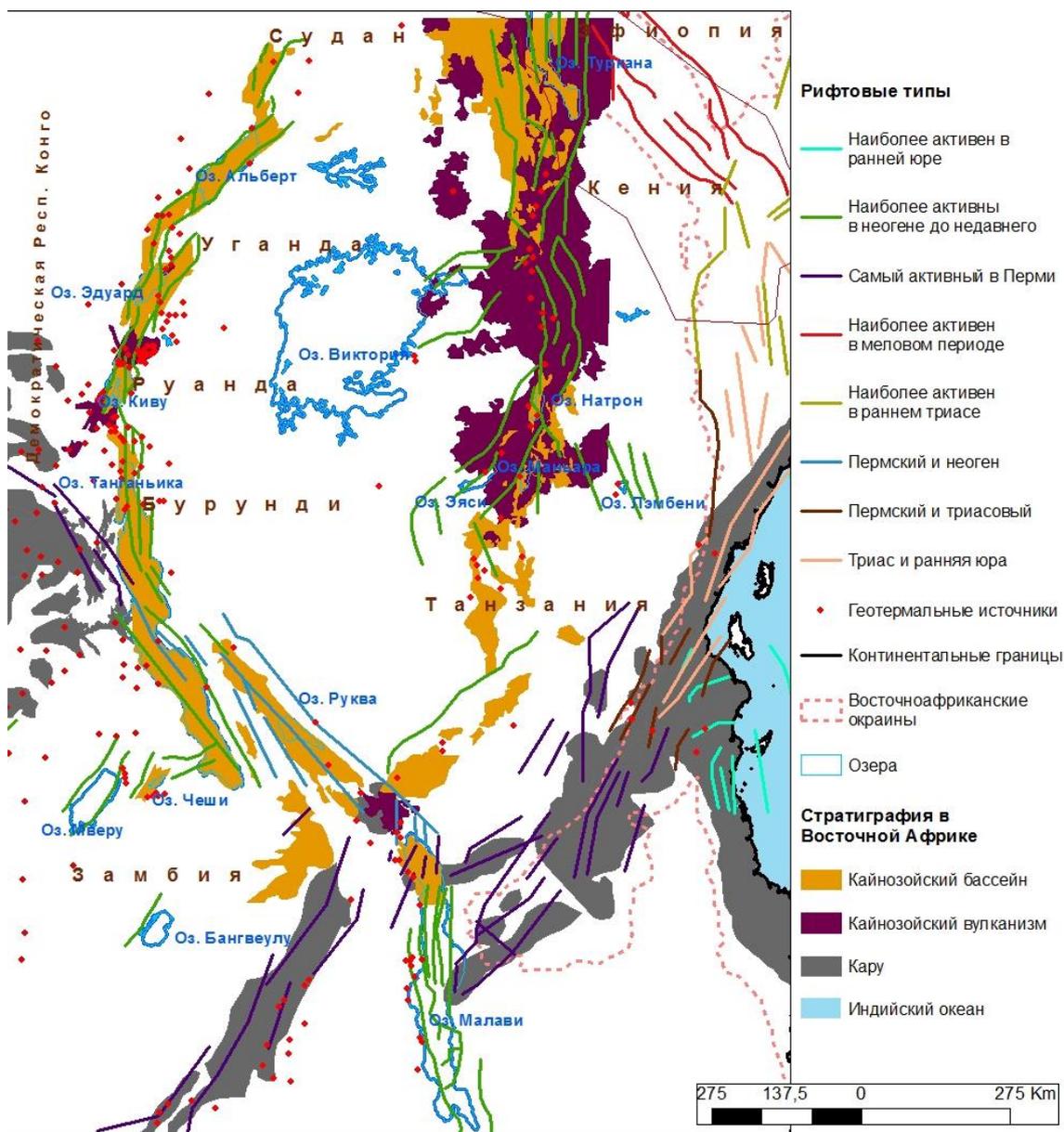


Рисунок 1. Расположение Восточно-Африканского рифта [21–23]

Геологические данные, полученные в бассейне озера Альберт, показали, что существует множество нефтяных выходов, распределенных в трансферных зонах в направлении основных разломов. По большей части механизм образования ловушек связан в трансферными зонами. Большинство скважин (Kaiso-Tonya, Butiaba-Waneko, Waiga-1, Waiga-2, Pakwach) было пробурено в этих областях [13; 25].

На рисунке 2 показаны озера Альберт и Эдвард, тектоника, геотермальные источники и выходы нефти. Также представлены разведочные скважины, в которых углеводороды обнаружены на 90 % (72/80 скважин). При этом возникает взаимодействие депоцентров с аэромагнитными аномалиями и наличием углеводородов. Рядом с разведочными скважинами наблюдаются нефтяные выходы и геотермальные источники.

В озере Танганьика трансферные зоны распространены по всему бассейну [9; 26]. Газовые выходы в Банзе, Пембе и Луханге связаны с трансферными зонами [24; 26–28]. В депоцентрах разломы заканчиваются либо в трансферных зонах, либо в аккомодационных зонах. Трансферные зоны – перспективные районы для разведки углеводородов [29]. Несмотря на отсутствие детальных исследований в озере Танганьика, можно увидеть нефтяные выходы и геотермальные источники вблизи зон переноса. Ещё видно, что нефтяные выходы, геотермальные источники и аэромагнитные аномалии обнаруживаются вблизи трансферных зон и депоцентров (рисунок 3).

Аэромагнитная съемка в бассейне озера Альберт показывает, что депоцентрам соответствуют магнитные аномалии. Вблизи депоцентров обнаружены нефтяные выходы и геотермальные источники. Большинство разведочных скважин, пробуренных на этих участках, подтвердили наличие там углеводородов.

Аэромагнитная съемка, проведенная в 1983 г. в северной части бассейна озера Танганьика, выявила аномалии вокруг участков нефтяных выходов в Каламбе и геотермальных источников [30].

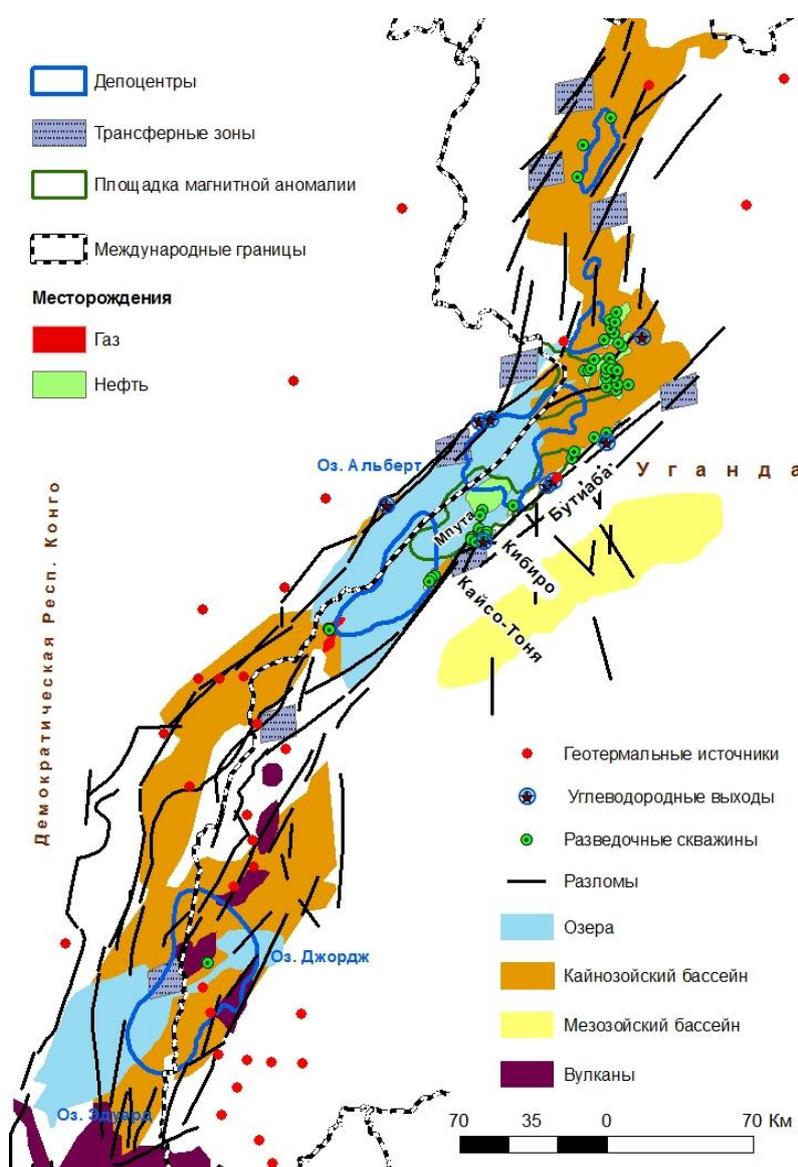


Рисунок 2. Наличие углеводородов в районе озера Альберт [13; 25]

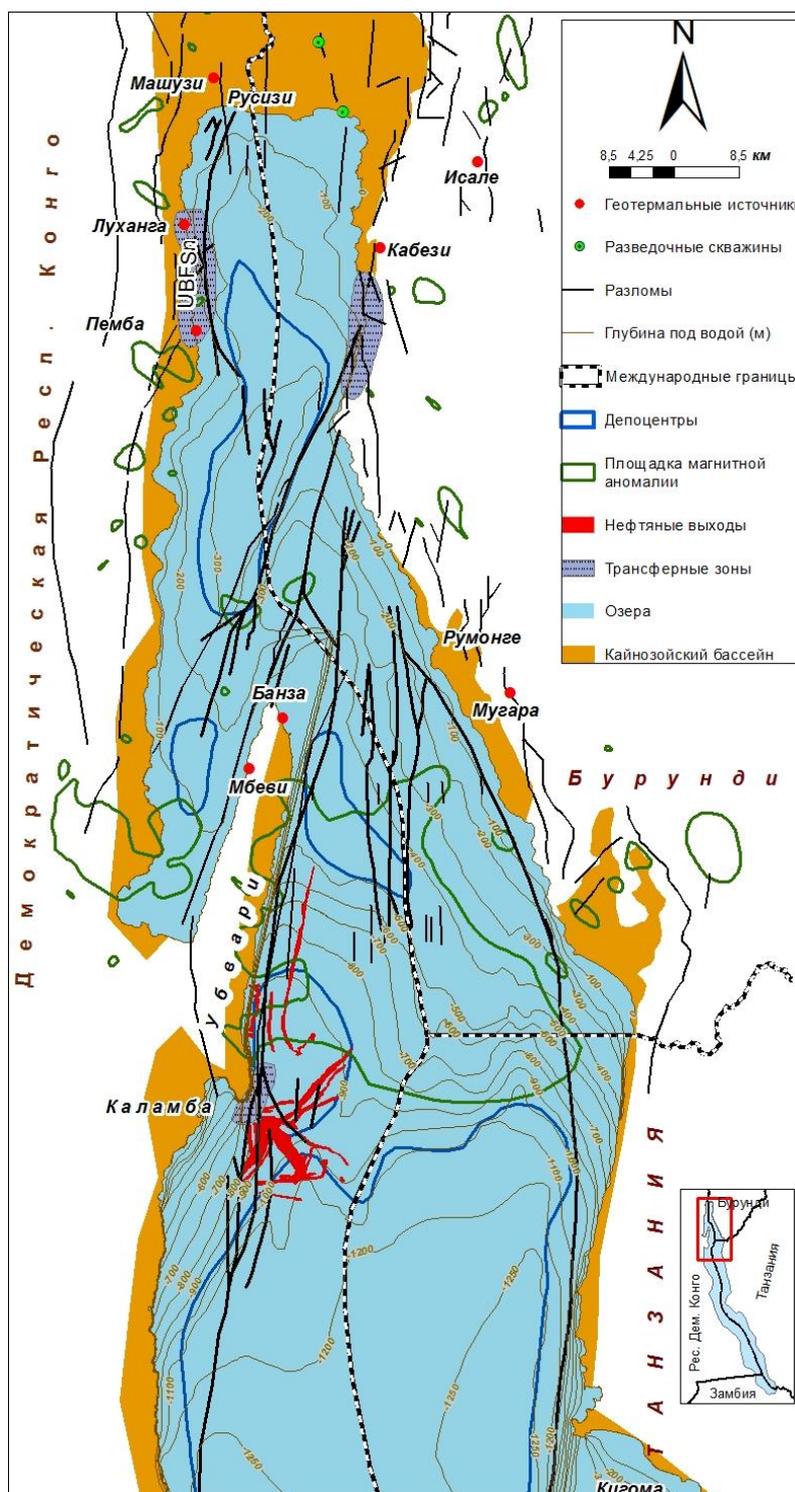


Рисунок 3. Наличие углеводородных признаков в районе озера Танганьика [9; 26; 30–32]

В западной ветви Восточно-Африканского рифта расположено множество геотермальных источников. Из этих источников вытекает горячая вода, выделяются CO_2 , H_2S , CH_4 или нефтяные продукты. Нефтяные выходы были прямыми индикаторами образования, миграции и накопления нефти в Альбертин Грабен (Альберт) [16]. Температура в геотермальных источниках в этом районе колеблется в пределах 33–70 °С [33].

В районе озера Танганьика основными геотермальными источниками являются: Банза, Пемба, Машузи, Мбеви, Кабези, Мугара, Рухва. На выходе из геотермальных источников температура воды колеблется от 38 до 68 °С [16; 21].

Некоторые из этих источников так же содержат газы (метан, CO₂ и H₂S) [34; 35].

Бассейн озера Альберт расположен в вулканическом регионе. Он простирается от вулканической провинции Вирунга до северной оконечности озера Эдуард. Кроме того, между озерами Эдуард и Киву находится вулкан Ньирагонго.

В районе озера Танганьика нет активных вулканов. Только один вулкан находится в Рунгве на юге, между озерами Танганьика, Рухва и Ньяса (Малави) [35]. Это означает, что геотермальные источники не имеют прямого отношения к вулканизму. Точно так же геотермальные источники вокруг озера Альберт не подвержены прямому влиянию вулканизма. Так, геотермальный источник Кибиро находится вблизи озера Альберт, недалеко от нефтяного выхода, в невулканической зоне.

В озере Альберт нефтяные выходы с морских и наземных объектов были отобраны и подвергнуты химическому анализу. Полученные результаты позволили оценить углеводородный потенциал этого района и выявить наиболее богатые углеводородами зоны.

Нефтяные выходы послужили основанием для выбора районов бурения разведочных скважин в Бутиабе, Кибиро и Семлики вокруг озера Альберт. Геофизические исследования тоже внесли свой вклад.

В бассейне озера Танганьика, нефтяные выходы в основном наблюдаются в Каламбе (в северо-западной части озера). Предварительные геохимические анализы смоляных шариков, собранных на полуострове Убвари (Каламба) 1981 г. показали, что эта нефть сильно окислена. Нефтяные выходы из Каламбы содержат 56 % (смоли и асфальтенов) и 44 % углеводородов [32; 36].

Нефтяные пробы из бассейна озера Альберт, отобранные в Параа и Кибиро, содержали большее количество углеводородов (50 % углеводородов и 50 % (смоли и асфальтенов), а общее содержание углеводородов из нефтяных выходов в Кибуку составляет до 63 % (30 % смоли и 7 % асфальтенов) [37].

Пробы из озера Танганьика были взяты на поверхности озера, в 3–4 км от берега мыса Каламба [27], что могло привести к разбавлению или разложению углеводородов. С другой стороны, нефтяные выходы из бассейна озера Альберт были собраны из береговых геотермальных источников [37].

Несмотря на некоторое сходство, упомянутое для двух озер, практически невозможно подтвердить или опровергнуть присутствие углеводородов в озере Танганьика без детальных геологоразведочных работ.

Сравнительная история поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений в районе озер Альберт и Танганьика

Разведка углеводородов в озере Альберт началась задолго до начала разведки в озере Танганьика и много работ уже сделано. В 1925 году была произведена оценка нефтяного потенциала Уганды. В этом же году нефтегазовые признаки были выявлены в 52 участках в озере Альберт и вокруг него [16; 38]. Нефтяные выходы из озера Танганьика были обнаружены в 1941 г. [39].

В озере Альберт исследования проводились интенсивно и с большей точностью, чем в озере Танганьика. Озеро Танганьика имеет площадь около 32 900 км², а озеро Альберт – около 5300 км². Значит, озеро Танганьика в 6 раз больше, чем озеро Альберт. В рамках проекта PROBE (1983–1986) были проведены сейсморазведочные работы на 2153 линейных км сейсмических 2D на озере Танганьика. В то время как для озера Альберт было собрано 7194 линейных км 2D и более 1608 км² 3D сейсмических данных. Следует отметить, что эти работы были выполнены в течение многих периодов. В озере Альберт сейсморазведка 3D, несомненно, также способствовала обнаружению залежей благодаря своим преимуществам по сравнению с 2D – дополнительному измерению и значительно улучшенному разрешению подземных объектов.

Первая скважина (Waki-1B) в этом озере была пробурена в 1938 году, в то время как в озере Танганьика нет ни одной скважины. С тех пор магнитные, гравиметрические и сейсмические измерения, связанные с геохимическими исследованиями, были усилены. Например, в 1980 г. аэромагнитная съемка проводилась на 15 000 пог. км. В 1992 г. гравиметрическая съемка 800 пог. км была проведена над озером Альберт.

В 1997 году с помощью двумерных и трехмерных сейсмических данных по этому району были выявлены перспективные объекты, пробурены 3 скважины общей глубиной 2 487 м и обнаружены признаки углеводородов.

Образцы, собранные из выходов нефти, были проанализированы по составу и указали на наличие озерных источников углеводородов.

С 2002 по 2006 год было пробурено 80 глубоких скважин до глубины 3,195 м.

Из этих 80 скважин углеводороды обнаружили в 72, то есть вероятность успеха составила более 90 %.

Этот успех является результатом усилий, предпринятых в предыдущей исследовательской работе. Помимо 80 разведочных скважин и геохимических анализов, в Альбертин Грабен было получено в общей сложности 7 194 линейных км 2-D и более 1 608 км² 3-D сейсмических данных. По оценкам фирмы Таллоу, извлекаемые запасы нефти в бассейне озера Альберт составляют примерно 1,7 млрд баррелей [40].

С другой стороны, геологическое строение озера Танганьика и его геохимический состав малоизучены. Первые сейсмические данные были собраны в рамках проекта GEORIFT, осуществленного компанией Elf-Aquitaine (1984–1985). Это исследование было основано на нескольких сотнях километров сейсмических профилей высокого разрешения (5 кГц), связанных с гравиметрической разведкой. В то же время в рамках проекта PROBE (Proto-Rifts and Oceanic Basin Evolution, Duke University 1983–1986) Университета Дьюка были собраны сейсмические профили с множественными отражениями, которые показали несколько сейсмических разрывов и последовательностей, а также глубинную тектоническую структуру прогиба.

Другое исследование было проведено в рамках проекта CASIMIR (Comparative Analysis of Sediment Infill Mechanisms In Rifts, 1990–1994). В результате были получены данные с высоким разрешением и с одноканальном спаркером сейсмического отражения.

В северной дельте этого озера AMOCO (Американская нефтяная компания: Университет Аризоны, 1988–1990) провела сейсмическую разведку и пробурила две разведочные скважины (Буринга 1 и Русизи 1). К сожалению, эти скважины не показали наличия углеводородов или индикаторов углеводородов. На сегодняшний день других скважин на этом участке не пробурено.

В 1997 году Танзания провела сейсморазведку в районе Кигома. Но результаты разведки не указали на наличие углеводородов. В 2010 году, после интерпретации данных, полученных в рамках проектов PROBE и GEORIFT, Beach Energy (Австралийская компания) провела аэрогравитационную градиентометрию и аэромагнитную съемку над южным блоком озера Танганьика. В рамках проекта были предоставлены данные для картирования архитектуры бассейна и было собрано около 28 000 погонных километров данных. Эти исследования были завершены в 2012 году морской сейсморазведкой 2D на 2100 км. Интерпретация результатов сейсморазведки обнаружила наличие нефтяных и газовых коллекторов. Но эти коллекторы еще не доказаны разведочным бурением.

В озере Альберт было пробурено несколько разведочных скважин. Они дали информацию о стратиграфии и позволили провести геохимические исследования в озере. А в озере Танганьика на сегодняшний день разведочные скважины не пробурены. Пробурены лишь скважины Буринга 1 и Русизи 1 в дельте Русизи на севере озера.

Анализ масштабов исследований в этих двух озерах безусловно показывает большую точность исследований в озере Альберт, чем в озере Танганьика. Открытие углеводородов в бассейне озера Альберт стало результатом большого ряда поисковых работ.

Необходимо увеличить масштаб и точность исследований в озере Танганьика.

Выводы

На данный момент следует констатировать, что строение и геология озера Танганьика мало изучены геологами-нефтяниками. Это озеро расположено между четырьмя странами (Бурунди, Танзания, Демократическая Республика Конго и Замбия). Вследствие этого сложно планировать исследования и разведку всего озера. Но организация, которая объединяет четыре страны вокруг этого озера, уже создана.

Большие глубины озера Танганьика также затрудняют разведку и бурение скважин для компаний, у которых нет специализированного оборудования для глубоководного бурения.

Хотя из-за отсутствия подробных разведочных работ в озере Танганьика у нас нет достаточной информации, чтобы подтвердить присутствие углеводородов, мы можем утверждать, что это озеро имеет характеристики (разломы, аккомодационные зоны, трансферные зоны, углеводородные выходы), подобные озеру Альберт и некоторым нефтеносным регионам африканского континента.

Например, трансферные зоны связаны с рифтингом и обеспечивают механизм миграции углеводородов и их накопление в коллекторах [41].

Трансферные зоны связаны с резервуарами углеводородов в бассейне озера Альберт. Они также наблюдаются в других восточноафриканских рифтовых бассейнах, таких как Малави [42]. Помимо Восточно-Африканского рифта, трансферные зоны находятся в других нефтяных бассейнах африканского континента, например в Кванзе (Анголе) [43] и вдоль побережья Габона до Дуалы (Камерун) [44]. Трансферные зоны на западном побережье Африки, возможно, являются источником больших запасов углеводородов в этом регионе. Кроме того, поверхностные нефтяные выходы распространены по всем прибрежным районам Кот-д'Ивуара, Ганы и Того [45].

Эта информация доказывает, что бассейн озера Танганьика имеет нефтегазовый потенциал. Технологии, которые использовались для открытия нефтяных и газовых месторождений в озере Альберт, могут служить руководством для исследований в озере Танганьика. Необходимо увеличивать размеры грантов на исследования и геологоразведочные

работы. Таким образом, мы узнаем, есть ли и где конкретно залежи углеводородов в бассейне озера Танганьика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Davison Ian, Steel Ian, “Geology and hydrocarbon potential of the East African continental margin: A review”, *Pet. Geosci.*, vol. 24, no. 1, pp. 57–91, 2018, doi: 10.1144/petgeo2017-028.
2. Моделевский М.С., Моделевский М.М., “Общая оценка нефтегазового потенциала Африканского Континента”, *Геология И Геофизика*, vol. 354, no. 6, pp. 1707–1714, 2016, doi: 10.15372/gig20160909.
3. T.L. Morse, N.F. Ponchaut, and G.N. Bigham, “Gas Extraction from Lake Kivu: The Dynamics of the Degassed Water Plume”, *World Environ. Water Resour. Congr. 2014 Water Without Borders – Proc. 2014 World Environ. Water Resour. Congr.*, May 2014, pp. 1372–1381, 2014, doi: 10.1061/9780784413548.138.
4. S. Sander and B.R. Rosendahl, “The geometry of rifting in Lake Tanganyika, East Africa”, *J. African Earth Sci.*, vol. 8, no. 2–4, pp. 323–354, 1989, doi: 10.1016/S0899-5362(89)80031-4.
5. T. Karp, C.A. Scholz, and M.M. McGlue, “Structure and stratigraphy of the Lake Albert rift, East Africa: Observations from seismic reflection and gravity data”, *AAPG Mem.*, vol. 95, pp. 299–318, 2012, doi: 10.1306/13291394M952903.
6. A.S. Cohen, M.R. Talbot, S.M. Awramik, D.L. Dettman, and P. Abell, “Lake level and paleoenvironmental history of Lake Tanganyika, Africa, as inferred from late Holocene and modern stromatolites”, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 109, no. 4, pp. 444–460, 1997, doi: 10.1130/0016-7606(1997)109<0444:LLAPHO>2.3.CO;2.
7. F. Baltzer, “A Late Pleistocene and Recent detrital sedimentation in the deep parts of northern Lake Tanganyika (East African rift)”. *Spec. Lacustrine Facies Analysis Edited by P. Anadón, L. Cabrera and K. Kelts, Publs Inter. Ass. Sediment, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, Paris, Berlin, Vienna*, pp. 13, 147–173, 1991.
8. E.T. Degens, R.P. Von Herzen, and H.K. Wong, “Lake tanganyika: Water chemistry, sediments, geological structure”, *Naturwissenschaften*, vol. 58, no. 5, pp. 229–241, 1971, doi: 10.1007/BF00602986.
9. C.K. Morley, “Variable extension in Lake Tanganyika”, *Tectonics*, vol. 7, no. 4, pp. 785–801, 1988, doi: 10.1029/TC007i004p00785.
10. A.Y. Huc, J. Le Fournier, M. Vandenbroucke, G. Bessereau, “Northern Lake Tanganyika – An Example of Organic Sedimentation in an Anoxic Rift Lake”, *Lacustrine Basin Explor. Case Stud. Mod. Analog.*, vol. M 50: pp. 169–185, 1990.
11. A.Y. Huc, “African Rifts and Source Rocks”, *Inst. des Sci. la Terre Paris (iSTeP), Umr 7193 UPMC-CNRS, UPMC Sorbonne Univ. F-75005 Paris, Fr.*, April, 2004.
12. J.-J. Tiercelin, A.S. Cohen, M.J. Soreghan, and K.E. Lezzar, “Pleistocene-Modern deposits of the Lake Tanganyika rift basin, E. Africa: An example of lacustrine source rocks and reservoirs”, *Lacustrine Reservoirs and Depositional Systems*. pp. 37–60, 1994.

13. Le Ministère des Travaux Publics, de l'Energie et des Mines (Le Gouvernement du Burundi), Limited Kenting Earth Sciences Lac Tanganyika – Carte de levé aéromagnétique 1/250 000, p. 1, 1983.
14. Morley C.K., Nelson R.A., Patton T.L., “Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts”, *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 74, no. 8, pp. 1234–1253, 1990, doi: 10.1306/OC9B2475-1710-11D7-8645000102C1865D.
15. Burgess C.F., Rosendahl, B.R., Sander, S., Burgess, C.A., Lambiase, J., Derksen S., and Meader N., “The structural and stratigraphic evolution of Lake Tanganyika: A case study of continental rifting”, *Dev. Geotecton.*, vol. 22, Chapter 35, pp. 859–881, 1988, doi: 10.1016/B978-0-444-42903-2.50040-3.
16. Wayland E.J., “Some Account of the Geology of the Lake Albert Rift Valley”, *Geogr. J.*, vol. 58, no. 5, pp. 344–359, 1921.
17. Simon Brendan, Guillocheau François, Robin Cécile, Dauteuil Olivier, Nalpas Thierry, Pickford Martin, Senut Brigitte, Lays Philippe, Bourges Philippe & Bez Martine, “The Lake Albert Rift (Uganda) – Sediment Budget, Deformation, Basin and Relief Evolution Since 17 Ma”, *Geophys. Res. Abstr.*, vol. 18, EGU General Assembly, p. 1, 2016, doi: 10.3997/2214-4609.201602371.
18. Lezzar K.E., Tiercelin J.J., De Batist M., Cohen A.S., Bandora T., Van Rensbergen P., Le Turdu C., Mifundu W. and Klerkx J., “New seismic stratigraphy and Late Tertiary history of the North Tanganyika Basin, East African Rift system, deduced from multichannel and high-resolution reflection seismic data and piston core evidence”, *Basin Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–28, 1996, doi: 10.1111/j.1365-2117.1996.tb00112.x.
19. K.B. Alexander, W. Cumming, and L. Marini, *Technical Review of Geothermal Potential of Technical Review Of Geothermal Potential Of Kibiro Geothermal Prospect, Uganda*, November. Addis Ababa, Ethiopia, 2016, p. 9.
20. Walter Bastien, Géraud Yves, Hautevelle Yann, Diraison Marc, Raison François, “Fluid circulations at structural intersections through the toro-bunyoro fault system (Albertine Rift, Uganda): A multidisciplinary study of a composite hydrogeological system”, *Geofluids*, vol. 2019, p. 20, 2019, doi: 10.1155/2019/8161469.
21. B.R. Rosendahl, “Architecture of Continental Rifts with Special Reference to East Africa”, *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* 1987. 15, pp. 445–503, 1987.
22. N.L. Banks, K.A. Bardwell, and S. Musiwa, “Karoo Rift basins of the Luangwa Valley, Zambia”, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, vol. 80, no. 80, pp. 285–295, 1995, doi: 10.1144/GSL.SP.1995.080.01.13.
23. D. Macgregor, J. Argent, and P. Sansom, “Introduction to the thematic set: Tectonics and petroleum systems of East Africa – Part II”, *Pet. Geosci.*, vol. 24, no. 3, pp. 245–246, 2018, doi: 10.1144/petgeo2018-080.
24. J.J. Tiercelin, C. Thouin, T. Kalala, and A. Mondeguer, “Discovery of sublacustrine hydrothermal activity and associated massive sulfides and hydrocarbons in the north Tanganyika trough, East African Rift”, *Geology*, vol. 17, no. 11, pp. 1053–1056, 1989, doi: 10.1130/0091-7613(1989)017<1053:DOSHAA>2.3.CO;2.
25. Abeinomugisha Dozith, Njabire Nurudin, “Transfer Zones and Hydrocarbon Accumulation in the Albertine Graben of the East African Rift System”, *AAPG Annu. Conv. Exhib. Long Beach, Calif.*, vol. 10401, p. 8, 2012.

26. C.K. Morley, R.A. Nelson, T.L. Patton, and S.G. Munn, “Transfer zones in the East African rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts”, *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 74, no. 8, pp. 1234–1253, 1990, doi: 10.1306/0C9B2475-1710-11D7-8645000102C1865D.
27. Bernd R.T. Simoneit, Aboul-Kassim, Tarek A.T., Tiercelin J.J., “Hydrothermal petroleum from lacustrine sedimentary organic matter in the East African Rift,” *Appl. Geochemistry*, vol. 15, no. 3, pp. 355–368, 2000, doi: 10.1016/S0883-2927(99)00044-X.
28. J.L. Bouroullec, J.P. Rehault, J. Rolet, J.J. Tiercelin, and A. Mondeguer, “Quaternary sedimentary processes and dynamics in the northern part of the Lake Tanganyika trough, East African Rift System. Evidence of lacustrine eustatism?”, *Bull. – Cent. Rech. Explor. Elf-Aquitaine*, vol. 15, no. 2, pp. 343–368, 1991.
29. Tian Fei, Yang Jianting, Cheng Ming, Lei Yuhong, Zhang Likuan, Wang Xiaoxue, Liu Xin, “Geometry, kinematics and dynamic characteristics of a compound transfer zone: The Dongying anticline, Bohai Bay Basin, eastern China”, *Open Geosci.*, vol. 8, no. 1, pp. 612–629, 2016, doi: 10.1515/geo-2016-0053.
30. Limited Kenting Earth Sciences, “Levée aéromagnétique”. p. 1, 1983.
31. D. Oppo and A. Hurst, “Seepage rate of hydrothermally generated petroleum in East African Rift lakes: An example from Lake Tanganyika”, *Mar. Pet. Geol.*, vol. 92, pp. 149–159, 2018, doi: 10.1016/j.marpetgeo.2018.02.031.
32. J.J. Tiercelin, J. Boulègue, and B.R.T. Simoneit, “Hydrocarbons, Sulphides, and Carbonate Deposits Related to Sublacustrine Hydrothermal Seeps in the North Tanganyika Trough, East African Rift”, *Bitumens Ore Depos.*, pp. 96–113, 1993, doi: 10.1007/978-3-642-85806-2_7.
33. Godfrey Bahati, “Geothermal Energy Development in Uganda: A Country Update 2012”, in *Proceedings of the 4th African Rift Geothermal Conference, 2012*, p. 10, [Online]. Available: [http://theargeo.org/home/files/Uganda/Geothermal Energy Development in Uganda_A Country Update 2012_Bahati.pdf](http://theargeo.org/home/files/Uganda/Geothermal_Energy_Development_in_Uganda_A_Country_Update_2012_Bahati.pdf).
34. R.W. Botz and P. Stoffers, “Light hydrocarbon gases in Lake Tanganyika hydrothermal fluids (East-Central Africa)”, *Chem. Geol.*, vol. 104, no. 1–4, pp. 217–224, 1993, doi: 10.1016/0009-2541(93)90152-9.
35. C. Coussement, P. Gente, J. Rolet, J.J. Tiercelin, M. Wafula, and S. Buku, “The North Tanganyika hydrothermal fields, East African Rift system: Their tectonic control and relationship to volcanism and rift segmentation”, *Tectonophysics*, vol. 237, no. 3–4, pp. 155–173, 1994, doi: 10.1016/0040-1951(94)90252-6.
36. B.R.T. Simoneit, T.A.T. Aboul-Kassim, and J.J. Tiercelin, “Hydrothermal petroleum from lacustrine sedimentary organic matter in the East African Rift”, *Appl. Geochemistry*, vol. 15, no. 3, pp. 355–368, 2000, doi: 10.1016/S0883-2927(99)00044-X.
37. Dou Lirong, Cheng Dingsheng, Wang Jianjun, Rubondo Ernest N.T., Kasande Robert, Byakagaba Abdul, Mugisha Frank, “Geochemical significance of seepage oils and bituminous sandstones in the Albertine graben, Uganda”, *J. Pet. Geol.*, vol. 27, no. 3, pp. 299–312, 2004, doi: 10.1111/j.1747-5457.2004.tb00060.x.
38. Wayland E.J., “Petroleum in Uganda”, *Geol. Surv. Uganda*, vol. Mem. I, pp. 1–61, 1925.

39. G. De Grand Ry, “Les Graben Africains et la recherche du pétrole en Afrique Orientale”, Publ. l’Institut R. Colon. Belge, vol. Collection, p. 87, 1941.
40. A. Heavey, “TULLOW Uganda Country Report: A creating shared prosperity in Uganda”, Kampala, 2013.
41. Debapriya Paul and Shankar Mitra, “Experimental models of transfer zones in rift systems”, Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., vol. 97, no. 5, pp. 759–780, 2013, doi: 10.1306/10161212105.
42. Scholz A. Christopher, Shillington J. Donna, Wright J.M. Lachlan, Natalie Accardo, James B. Gaherty, Patrick Chindandali, “Intrarift fault fabric, segmentation, and basin evolution of the Lake Malawi (Nyasa) Rift, East Africa”, Geosphere, vol. 16, no. 5, pp. 1293–1311, 2020, doi: 10.1130/GES02228.1.
43. Michael E. Brownfield and Ronald R. Charpentier, Geology and Total Petroleum Systems of the West-Central Coastal Province (7203), West Africa Geology and Total Petroleum Systems of the West-Central Coastal Province (7203), West Africa, no. 7203. 2006, p. 60.
44. J.B. Meyers, B.R. Rosendahl, H. Groschel-Becker, J.A. Austin, and P.A. Rona, “Deep penetrating MCS imaging of the rift-to-drift transition, offshore Douala and North Gabon basins, West Africa”, Mar. Pet. Geol., vol. 13, no. 7, pp. 791–835, 1996, doi: 10.1016/0264-8172(96)00030-X.
45. Robert E. Mattick, “Assessment of the Petroleum, Coal, and Geothermal Resources of the Economic Community of West African States (ECOWAS) Region”, U.S. Geol. Surv., vol. 82–714, p. 87, 1982.

Sendegeya Marcien

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
E-mail: sendegeyamarcien@gmail.com
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1107353

Atse Yao Dominique Bernabe

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
E-mail: atsedominique@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1178-3541>
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=869417

Maksimova Tamara Nikolaevna

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
E-mail: tomamaks@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=718123

Kotenev Yuri Alekseevich

Ufa state petroleum technological university, Ufa, Russia
E-mail: geokot@inbox.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1009835

Hydrocarbon potential of Lakes Albert and Tanganyika

Abstract. Lake Tanganyika is located in the East African Rift. Its characteristics are similar to those of sedimentary basins. This lake has an oil and gas potential. Some projects of hydrocarbons exploration were carried out in this basin during 1980–90 years. However, only the hydrocarbon clues were found, but not the hydrocarbon deposits. Similar projects have also been carried out in other lakes in the same East African rift during these periods, especially in lakes Albert and Malawi. After several years of unsuccessful exploration (since 1925), first deposits of oil and gas were discovered in Lake Albert in 2006.

The objective is to encourage researchers and exploration companies to invest in hydrocarbon research in Lake Tanganyika, since it took several years of research and exploration with significant funding to discover 1.7 billion barrels of recoverable oil in Lake Albert, which is six times smaller than Lake Tanganyika.

This article describes also the similarities for the two lakes (Tanganyika and Albert) and presents specific elements for research and exploration in a sedimentary basin located in a rift zone, especially in Lake Tanganyika.

The closest values of total organic carbon, the occurrence of oil and gas seepages, faults with transfer zones, geothermal springs spread in accommodation zones or transfer zones around the two lakes are the main reasons why it is necessary to continue to search and explore hydrocarbons in the Lake Tanganyika basin. Faraway of the East African Rift, especially in the Gulf of Guinea, transfer zones and hydrocarbon seepages are observed in oil basins.

Keywords: East African rift; depocentres; semi-grabens; faults; accommodation zones; transfer zones; volcanism; hydrocarbon seepages