



РИФТОВЫЕ БАССЕЙНЫ ПОЗДНЕГО ФАНЕРОЗОЯ АФРИКИ (РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ)

В.М. УСОВА

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Обоснована зависимость режимов развития рифтовых бассейнов позднего фанерозоя Афро-Аравии от размеров и возраста структур нижнекоровых комплексов (гранулитовых поясов), в которых они заложались. Предложена модель, согласно которой рифтообразование было связано с функционированием центров рождения и регенерации Африканского суперплюма и распространением поступившего из них разгоряченного сверхглубокого материала по каналам гранулитовых поясов.

Цель. Главной целью исследования являлось выяснение признаков и причин финальной дифференциации рифтовых бассейнов на тектонотипы «незавершенного» и «завершенного» развития, а также тектонических предпосылок миграции рифтообразования с юга на север и с запада на восток.

Материалы. Исследование базировалось на изучении множества опубликованных материалов, главным образом зарубежных авторов, по геологии рифтовых бассейнов и коровых комплексов.

Метод. Использован метод сравнительного анализа геолого-геофизических данных, относящихся к рифтовым бассейнам разных тектонотипов.

Результаты. Выявлены следующие закономерности развития рифтовых бассейнов.

1. Финальная тектоническая дифференциация бассейнов и их седиментационные структуры определялись размерами панафриканских гранулитовых поясов, по которым бассейны закладывались.
2. Рифтообразование мигрировало с юга на север и с запада на восток от более молодых сегментов гранулитовых поясов к их более древним сегментам и поясам с удалением от центров рождения Африканского суперплюма. При этом режиме «магматические» бассейны «завершенного» развития сменялись амагматичными бассейнами обоих тектонотипов.
3. Миграция рифтообразования с конца палеозоя на юге и триаса на западе до позднего кайнозоя между Африкой и Аравией сопровождалась сокращением временных интервалов и увеличением скорости прогибания создававшихся им бассейнов.

Заключение. Впервые для Афро-Аравии обоснована пространственно-временная зависимость рифтообразования от размеров и возрастов панафриканских гранулитовых поясов, по которым оно происходило, и их расположение относительно центров Африканского суперплюма.

Ключевые слова: рифтовые бассейны, Африканский суперплюм, гранулитовые пояса, закономерности развития

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: автор выражает слова благодарности профессору д.г.-м.н. Долгинову Е.А. за обсуждение вопросов, рассмотренных в настоящей статье.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Усова В.М. Рифтовые бассейны позднего фанерозоя Африки (региональные закономерности и концептуальные аспекты развития). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):58—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-58-68>

Статья поступила в редакцию 13.05.2024

Принята к публикации 17.06.2024

Опубликована 30.09.2024

Proceedings of higher educational establishments
Geology and Exploration
2024;66(3):58—68

RIFT BASINS OF THE LATE PHANEROZOIC OF AFRICA: REGIONAL PATTERNS AND CONCEPTUAL DEVELOPMENT ASPECTS

VALENTINA M. USOVA

*Peoples' Friendship University of Russia
6, str. Miklukho-Maklaya, Moscow 117198, Russia*

ABSTRACT

Background. This work substantiates the dependence of the development modes of rift basins of the Late Phanerozoic of Afro-Arabia on the size and age of the Lower crust structures (granulite belts) in which they were laid. The author proposes a model to correlate the rifting process with the centers of evolution and regeneration of the African superplume and the spread of heated super-deep material from these centers through the channels of granulite belts.

Aim. To clarify the signs and causes of the final differentiation of rift basins into the tectonic types of incomplete and completed development, as well as the tectonic prerequisites for the migration of rift formation from south to north and from west to east.

Materials and methods. The study was based on a review of scientific publications, mainly by foreign authors, on the geology of rift basins and crustal complexes. A comparative analysis of geological and geophysical data related to rift basins of different tectonic types was conducted.

Results. The following patterns of rift basin development were identified. (1) The final tectonic differentiation of basins and their sedimentation structures of the African granulite belts along which the basins were laid. (2) Rifting migrated from south to north and from west to east from younger granulite belts to older belts with a distance from the evolution centers of the African superplume. In this regime, the magmatic basins of completed development were replaced by amagmatic basins of both tectonic types. (3) The migration of rifting from the end of the Paleozoic in the south and the Triassic in the west to the Late Cenozoic between Africa and Arabia was accompanied by a reduction in time intervals and an increase in the rate of deflection of the basins created by this process.

Conclusion. For the first time in Afro-Arabia, the spatial and temporal dependence of rifting on the size and age of the pan-African granulite belts, along which it occurred, and their location relative to the centers of the African superplume was substantiated.

Keywords: rift basins, African superplume, granulite belts, development patterns

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Acknowledgments: the author expresses his gratitude to Professor E.A. Dolginov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), for discussing the issues discussed in this article.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Usova V.M. Rift basins of the late phanerozoic of Africa: regional patterns and conceptual development aspects. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):58—68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-58-68>

Manuscript received 13 May 2024

Accepted 17 June 2024

Published 30 September 2024

Многообразие рифтовых бассейнов позднего фанерозоя в Афродравии и разновозрастных рифтовых комплексов под морскими отложениями офшорных бассейнов делают данный регион уникальным для выявления закономерностей рифтообразования. Однако, несмотря на более чем 100-летнее многостороннее изучение научными, производственными коллективами и отдельными исследователями многих стран бассейнов рифтового происхождения, особенно в связи с их

нефтегазоносностью, остаются открытыми два важнейших вопроса: 1) причины дифференциации рифтовых бассейнов на тектонотипы «незавершенного» и «завершенного» развития (т.е. сохранивших свое изначально внутриматериковое положение и перешедших в стадии периконтинентального, синокеанического прогибания соответственно) и 2) тектонические обстоятельства, обусловившие миграцию рифтообразования.

5 — под осадочными комплексами: 5a — на материковых окраинах, 5b — в офшорных областях; 6—8 — внутри-континентальные рифтовые бассейны развития: 6 — позднего палеозоя — раннего мезозоя, 7 — меловые, 8 — Красного моря, 9 — границы распространения платформенных отложений палеозоя, 10 — восточная граница распространения платформенных отложений мезозоя на востоке Северной Африки и в пределах Сомалийского плато, 11 — возраст гранулитовых комплексов, 12 — складчатые пояса позднего фанерозоя.

Древние кратоны: I — Южно-Африканский; II — Конго, III — Западно-Африканский, IV — Танзанийский, V — Багенвулу; VI — Увейнат.

Рифтогенные бассейны в материковой части Африки: C3 — Среднего Замбези (C3-J1), Л — Луангва (P-T), Р — Рувуму (P-T), О — Огадена (P), Т — Термит (K1—2), С — Саламат, Му — Муджлад (K1), Ме — Мелут (K1), ГН — Голубого Нила (K1), А — Анза (K1), Си — Сирт, Б — инверсированный Бенуэ.

Пояса складчатости: К — Капский, Т-А — Тель-Атласский.

Периконтинентальные рифтогенные бассейны (на схеме указаны стратиграфический и абсолютный возраст рифтовых комплексов): 1 — Дахла-Дуккала, 2 — Сенегало-Мавританский, 3 — Гвинейско-Либерийский, 4 — Кот Д'ивуара, 5 — Тано, 6 — Кета (Дагомейский), 7 — Дуала-Рио Муни, 8 — Габонский, 9 — Нижнего Конго, 10 — Валвис-Людерец, 11 — Оранж, 12 — Дельты Замбези, 13 — Морондава, 14 — Танзанийский (Рувума), 15 — Кенийский (Ламу)

Fig. 1. The main crustal complexes of Africa and the ratio of rift basins of the Late Phanerozoic to them: 1—5 crustal complexes (on the surface and under sedimentary covers): 1—3 upper crust: 1 — Archaea-early Proterozoic (ancient cratons), 2 — mid-Late Proterozoic, 3 — late Late Proterozoic (Pan-African), 4—5 Lower Crustal Pan-African Paleozoic in places along the margins of Africa: 4 — on the surface (granulite belts): R — Rockell, D — Dahomey, Ko-Koako, VM — East Mozambican; 5 — under sedimentary complexes: 5a — on the mainland, 5b — in offshore areas; 6—8 intracontinental rift basins of development: 6 — late Paleozoic-Early Mesozoic, 7 — Cretaceous, 8 — Red Sea, 9 — Paleozoic platform sediment distribution boundaries, 10 — eastern boundary of Mesozoic platform sediment distribution in eastern North Africa and within the Somali Plateau, 11 — age of granulite complexes, 12 — folded belts of the Late Phanerozoic.

Ancient cratons: I — South African; II — Congo, III — West African, IV — Tanzanian, V — Bagenwulu; VI — Uweinat.

Rift basins in the African mainland: NW — Middle Zambezi (C3-J1), L — Luangwa (P-T), R — Ruvumu (P-T), O — Ogadana (P), T — Termite (K1—2), S — Salamat, Mu — Mujlad (K1), Me — Melut (K1), GN — Blue Nile (K1), A — Anza (K1), Si — Sirte, B — inverted Benue.

Folding belts: K — Cape, T-A — Tel-Atlas.

Pericontinental rift basins (the diagram shows the stratigraphic and absolute age of rift complexes): 1 — Dakhla-Dukkala, 2 — Senegalese-Mauritanian, 3 — Guinean-Liberian, 4 — Ivory Coast, 5 — Tano, 6 — Keta (Dahomey), 7 — Douala-Rio Muni, 8 — Gabonese, 9 — Lower Congo, 10 — Valvis-Luderec, 11 — Orange, 12 — Zambezi Delta, 13 — Morondawa, 14 — Tanzanian (Ruwuma), 15 — Kenyan (Lamu)

и скоростях прогибаний. Например, толщина рифтового разреза периконтинентального бассейна Морондава Мадагаскара (C₃-J₁) достигает 10 км, тогда как одновозрастной комплекс бассейна Среднего Замбези имеет толщину около 4,5 км. Однако противоположным является соотношение мощностей рифтового комплекса офшорного бассейна Рувума Танзании (P-J₁: 4,5 км) и стратиграфически более ограниченного комплекса рифта Луангва (P-T: 7 км). Сходными являются соотношение мощностей рифтового комплекса офшорного бассейна Ламу Кении (P-T: 4,5—5 км) и рифта Огадена Эфиопии (P: 6 км).

В бассейне Муджлад Южного Судана рифтовый комплекс неокома-баррема имеет толщину 9,5—10 км [3, 4]. Одновозрастный рифтовый комплекс в Габонском офшорном бассейне (K₁nc-a) имеет в 2 раза меньшую толщину (4,5 км). Примерно сходными являются максимальные мощности офшорного рифта «завершенного» развития Красного моря (Pg₃-N₂: 6 км) и внутриконтинентального рифта Туркана (N₁₋₂: 4 км) (табл. 1).

Отсутствие признаков системных различий в седиментационном развитии рифтовых бассейнов «завершенного» и «незавершенного» развития дополняется амагматичностью большинства тех и других, а также некоторыми другими факторами. В частности, это подкрепляется сходным резким замедлением скорости прогибания с переходом от баррема к апту как в бассейне Муджлад Судана, так и бассейнах «завершенного» развития, с которых началось прогибание периконтинентальных бассейнов Кета Того-Бенина, Габонского и Нижнего Конго Анголы, Конго (табл. 2).

Изменения в режимах прогибаний бассейнов сопровождалось сменой условий осадконакопления: в бассейне Муджлад от преимущественно озерного (песчано-глинистые фации) к дельтово-речным (песчаные фации) [3, 4], в бассейнах другого тектонотипа от озерно-речных (песчано-глинистые фации) к лагунным (эвапориты). Аптское «событие» в виде несогласия фиксируется также в платформенных бассейнах Северной Африки [7] и имеет региональное значение. Это обстоятельство

Таблица 1. Главные характеристики рифтовых бассейнов «незавершенного» и «завершенного» развития
Table 1. Main characteristics of rift basins of “incomplete” and “completed” development

Бассейны: нр — «незавершенного», зр — «завершенного» развития	Стратиграфические диапазоны осадочных комплексов (в индексах)	Максимальная толщина осадочных комплексов (в м)	Временные интервалы прогибаний (в млн лет)	Скорости прогибания (в м/млн лет)
Среднего Замбези (нр)	C ₃ -T	4500	107	42
Морондава (зр) (Мадагаскар)	C ₃ -T(J ₁)	~10 000	117	85
Огаден (нр) (Эфиопия)	P	6500	47	~140
Рувума (зр) (Танзания)	P	4000	47	~85
Муджлад (нр) (Ю. Судан)	K ₁ nc-a	14 000	45	~300
Габонский (зр)	K ₁ nc-a	4500	32	140
Рио-Муни (зр) (Экваториальная Гвинея)	K ₁ a	7000	13	~540

Таблица 2. Изменение скорости прогибания раннемеловых рифтовых бассейнов «незавершенного» и «завершенного» развития
Table 2. Change in the rate of deflection of Early Cretaceous rift basins of “incomplete” and “completed” development

Бассейны: нр — «незавершенного», зр — «завершенного» развития	Стратиграфические диапазоны осадочных комплексов (в индексах)	Максимальная толщина осадочных комплексов (в м)	Временные интервалы прогибаний (в млн лет)	Скорости прогибаний (в м/млн лет)
Нижнего Конго (зр)	K ₁ a-al ₁	1400	20	70
	K ₁ br	3100	4	770
	J ₃ km ² -K ₁ nc	2800	28	100
Габонский (зр)	K ₁ a	930	12	~80
	K ₁ br	3500	4	875
	K ₁ nc	2000	16	125
Бенин-Кета (зр)	K ₁ a-al ₁	1120	20	56
	K ₁ br	1400	4	350
	K ₁ nc	1000	16	60
Муджлад (нр)	K ₁ a	700	25	28
	K ₁ nc-br	9500	20	475

указывает на сходную реакцию процессов «незавершенного» и «завершенного» рифтообразования на широкомасштабные тектонические процессы и в известном смысле «генетическое» родство созданных ими структур. Свидетельством этому является провинциальная обособленность рифтовых бассейнов обоих тектонотипов разных возрастных групп. Очевидные предвестники финальной тектонической дифференциации рифтовых бассейнов проявились в особенностях их синседиментационных структур. Бассейны «незавершенного» развития характеризуются симметрично-одноосным строением. Бассейны «завершенного» развития в пределах подводных границ Африки имели одноосно-асимметричное строение, обусловленное приближенностью их осей

к материковой окраине и утонением осадочных комплексов в стороны океанов.

Рифтовые бассейны, определившие подводные границы Африки, являются лишь элементами более крупных разрушенных рифтовых систем, зеркально-симметричные части которых находятся на подводных окраинах континентов Гондванской группы. При реконструкции суперматерика устанавливается, что эти системы состояли из боковых депрессий и разделяющих их поднятий, местами с выходами на сводах пород фундаментов, и в целом соответствовали строению Красного моря (рис. 2).

Различия в сложности строения рифтовых систем «завершенного» развития и внутриконтинентальных бассейнов хотя и являются

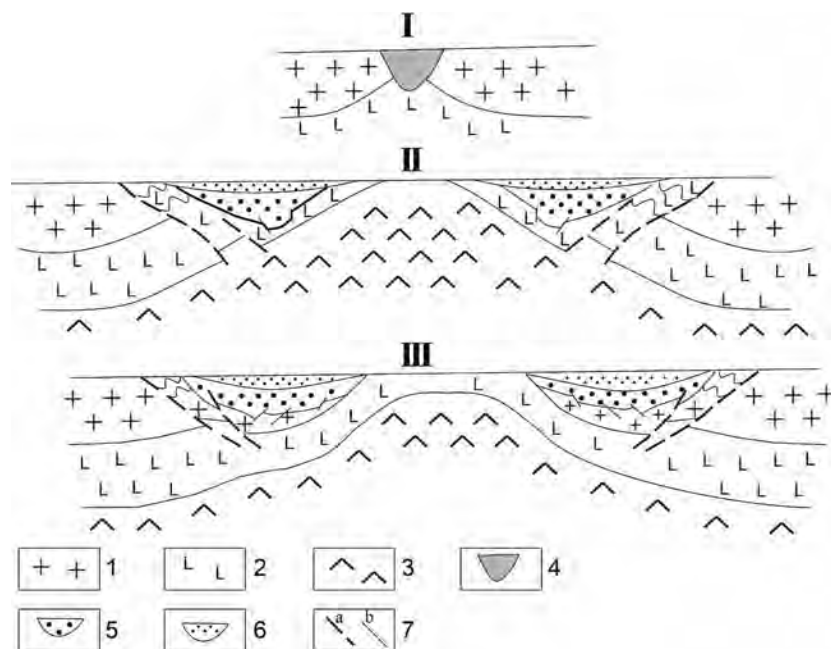


Рис. 2. Модели строения рифтовых бассейнов и систем «незавершенного» (I) и «завершенного» (II, III) развития и их соотношения с комплексами коровых инфраструктур (с учетом [17]): 1—2 — комплексы материковой коры: 1 — гранитно-метаморфические; 2 — гранулит-базитовые; 3 — литосферная мантия; 4—6 — комплексы рифтовых бассейнов: 4 — «незавершенного» развития, 5—6 «завершенного» развития (5 — горсто-грабеновых структур, 6 — остаточных прогибов — Sag Basins); 7 — разломы (а — образованные во время формирования коровой инфраструктуры, частично активированные при рифтообразовании, б — синрифтовые)

Fig. 2. Models of the structure of rift basins and systems of “incomplete” (I) and “completed” (II, III) development and their relationship to crustal infrastructure complexes [17]: 1—2 — complexes of the continental crust: 1 — granite-metamorphic; 2 — granulite-basite; 3 — lithospheric mantle; 4—6 — rift basin complexes: 4 — “incomplete” development, 5—6 — “completed” development (5 — handful-graben structures, 6 — residual deflections — Sag Basins); 7 — faults (a — formed during the formation of crustal infrastructure, partially activated during rifting, b — synrift)

индикаторами их главной финальной тектонической дифференциации, но не могут служить «материалом» для познания истинных причин этого «дуализма» процесса рифтообразования. Подход к решению этого и некоторых других близких вопросов был найден при сопоставлении бассейнов рифтового происхождения с их коровыми инфраструктурами. В частности, это дало возможность дополнительно определить тектонические условия миграции рифтообразования с юга Африки на север и от ее северо-западной окраины к востоку в Центральной район и далее в область сочленения Африки и Аравии, а также вероятную причину синмиграционного увеличения скорости прогибания бассейнов.

Соотношение рифтогенных бассейнов с коровыми инфраструктурами.

Давно показано, что рифтогенез позднего фанерозоя в материковой части Африки проявился

лишь в областях самой молодой, панафриканской коры, консолидированной с подстилающей ее литосферной мантией в интервалах 800—550 млн лет назад, по периферии материка местами 550—400 млн лет назад, и не затронул древние кратоны, сложенные коровыми комплексами архея, раннего протерозоя, и обрамляющие их складчатые пояса Ирумид и Катангид (рис. 1).

Помимо этого установлено, что в пределах панафриканской коры рифтовые бассейны всех указанных возрастных групп совпадают с гранулитовыми поясами, представляющими собой линейные выходы нижнекоровых комплексов [2]. Многочисленные геолого-геофизические данные по рассматриваемому и другим регионам свидетельствуют, что под рифтогенными периконтинентальными (большой частью офшорными) бассейнами залегают высокоплотные, как считается в разной степени растянутые комплексы так называемой «транзитной» коры, которые

образовывали ранее гранулитовые пояса. Их отторженцы залегают в виде надвигов и тектонических покровов иногда очень крупных или реликтовых клиппов на окраинах Африки и других континентов [1, 11, 13]. Большие, местами на сотни километров перемещения тектонических покровов в сторону «материковой» Африки указывают на очень крупные размеры реконструируемых внутригондванских гранулитовых поясов, по которым заложились рифтовые системы «завершенного» развития. Такую же природу, по всей видимости, имеет высокоплотностная («псевдоокеаническая», «псевдоконтинентальная») кора молодого рифтового бассейна Красного моря, перекрытая последовательно континентальными мелководно-морскими отложениями и эвапоритами разреза олигоцена-плиоцена.

Таким образом, мы приходим к, может быть, главному заключению, что в дифференциации рифтовых бассейнов на два тектонотипа главное значение имели размеры гранулитовых поясов, по которым они возникли.

Зависимость рифтовых бассейнов от размеров унаследованных или гранулитовых поясов выразилась также в различных сочетаниях их структур. Малые гранулитовые пояса представляют собой антиформы относительно простого строения, которые испытали «антиинверсию» во время рифтовых прогибаний, т.е. от оси антиформ оказались осями бассейнов «незавершенного» развития. Внутригондванские гранулитовые мегапояса характеризовались дивергентными покровно-надвиговыми структурами, которые определили симметрично биосевые структуры рифтовых бассейнов «завершенного» развития.

Проведенное исследование показало, что процессы рифтообразования зависели не только от размеров и сложности строения гранулитовых поясов, в недрах которых они протекали, но и от возраста этих нижнекорových геоструктур.

Самые ранние рифтовые бассейны «завершенного» развития Морондава Мадагаскара, подводных окраин Мозамбика формировались с позднего карбона до ранней юры на комплексах транзитной коры, имеющих, судя по сопряженным с ними тектоническим покровам гранулитов, палеозойский возраст (500—400—300 млн лет) [11, 13]. Более низкие минимальные изотопные датировки в 550—500 млн лет получены для Восточных гранулитов Танзании [10], погружающихся под рифтогенные офшорные бассейны Рувума, Танзании и Ламу Кении [11]. В отличие от более южных офшорных бассейнов рифтовое развитие двух

последних началось позже, в перми, но продолжалось также до ранней юры. Вдоль атлантической окраины Африки наблюдается следующая закономерность соотношения возраста рифтовых структур расположенных здесь офшорных бассейнов и сопряженных с ними инфра- и супракрустальных поясов панафриканской складчатости.

Вдоль атлантической окраины Африки протягиваются два зональных пояса панафриканской складчатости: Коако в Намибии и Рокелл в Либерии и Сьерра-Леоне. Внутренние зоны этих поясов (интерниды), приближенные к океану, сложены преимущественно нижнекоровыми комплексами. Их внешние зоны (экстерниды) образованы осадочными и отчасти в поясе Рокелл вулканическими породами позднего протерозоя, измененными в условиях фации зеленых сланцев. Промежуточная зона в поясе образована породами раннего протерозоя, амфиболитовой фации метаморфизма. Оба пояса характеризуются покровно-надвиговыми структурами с восточной и северной вергентностью соответственно в стороны сопряженных с ними древних кратонов.

Для средне-нижнекорových пород пояса Коако получены датировки в 500 млн лет, соответствующие заключительным фазам формирования его структуры. Эти значения, по всей видимости, соответствуют возрасту комплексов транзитной коры, подстилающих бассейны Людерец и Валвис, и южному сегменту Западно-Гондванского гранулитового ранее существовавшего мегапояса. Рифтовое развитие указанных офшорных бассейнов происходило с конца палеозоя (позднего карбона, перми) или триаса до изменения базальтов готтерива.

Расположенный южнее офшорный бассейн Оранж ЮАР имеет то же строение, что и бассейны Людерец и Валвис, что особенно подчеркивается распространением вдоль всей надводной юго-западной окраины Африки базальтов готтерива, образующих погружающееся в сторону океана «вулканическое плато». Это обстоятельство позволяет предполагать рифтовое развитие бассейна Оранж на нижнекорových комплексах того же возраста, что и двух и более северных офшорных бассейнов, т.е. на одновозрастном с ними сегменте гранулитового мегапояса.

По аналогии с рассмотренным выше районом Юго-Западной Африки изотопные датировки в 520—500 млн лет, полученные для гранулитов «приокеанической» зоны пояса Рокелл [10], могут быть приняты для нижнекорových комплексов транзитной коры офшорного Гвинейско-Либерийского бассейна, прошедшего рифтовое

развитие в юре, а также соответствующего сегмента внутригондванского гранулитового мегапояса.

Крупный Мавритано-Сенегальский офшорный бассейн прошел рифтовую стадию развития в триасе, на севере, возможно, также в поздней перми. Судя по району Акжужт (Мавритания), последние деформации нижекоровых комплексов его транзитной коры произошли в варисскую фазу диастрофизма [15]. В это время породы северного окончания интра-Западно-Гондванского гранулитового мегапояса были перемещены к востоку на эпикратонные осадочные комплексы позднего протерозоя и палеозоя.

На материковых окраинах Африки вдоль Гвинейского залива структурированные панафриканские гранулитовые комплексы отсутствуют, и здесь о возрасте транзитной коры под эпирифтовыми офшорными бассейнами, а вместе с этим и структур, в которых произошла их эксгумация, можно судить по косвенным данным.

На территории Того и Бенина протягивается субмеридиональный Дагомейский гранулитовый пояс, являющийся пограничным между эбурнидами Западно-Африканского кратона и панафриканской областью Центральной Африки. Для катазонально метаморфизованных пород этого пояса получена изотопная датировка в 620 млн лет. С приближением к океану этот пояс расширяется и его комплексы погружаются под периконтинентальный бассейн Кета. В юго-западном направлении на простирании пояса, выраженное в современном рельефе в виде горного сооружения, находится подводное поднятие, отделяющее бассейны Тано (Гана) и Кета (Того-Бенин). Данное обстоятельство дает основание предполагать распространение дагомейских гранулитов в область транзитной коры подводного широтного склона Африки и ее соответствующий «материковым» гранулитам возраст. Рифтовое развитие на дагомейских нижекоровых комплексах бассейна Кета происходило в неокоем апте, возможно, до раннего альба включительно [8].

О возрасте транзитной коры под рифтогенными офшорными бассейнами Дуала-Криби (Камерун) и Рио-Муни (Экваториальная Гвинея) можно судить по датировке гранулитов в 630 млн лет, вскрывающихся в прибрежном районе Камеруна. Возможно, к этому же возрасту относятся гиперстеисодержащие меланократовые гнейсы, выступающие на поднятии, которое разделяет береговые прогибы Камеруна и Экваториальной Гвинеи. На этом наиболее древнем для подводной атлантической окраины Африки нижекоровом основании в апте

заложились и завершили развитие самые молодые и «кратковременные» рифтовые бассейны. Наиболее неясным остается возраст транзитной коры под первично рифтовыми офшорными бассейнами Нижнего Конго и Габонским, что обусловлено отсутствием каким-либо образом сопряженных с ними выходов на материковой окраине панафриканских гранулитовых комплексов. Об этом можно судить, хотя из большей доли условности, чем для рассмотренных выше ситуаций, по возрасту вдоль берегового Западно-Конголезского пояса складчатости, сопряженного с бассейном Нижнего Конго и имеющего сходство по зональному строению с частично гранулитовым поясом Рокелл Западной Африки. С востока на запад в Западно-Конголезском поясе складчатости выделяются: внешняя зона, сложенная осадочными породами позднего протерозоя, измененными в условиях низких строений фации зеленых сланцев; центральная зона, образованная осадочными и вулканическими породами раннего протерозоя, преобразованными в РТ-условиях амфиболитовой фации; и внутренняя (приокеаническая) зона среднекоровых мигматито-гнейсов. Комплексы всех зон испытали финальные деформации с перемещением к востоку около 580 млн лет назад. Имеются все основания считать, что ниже-среднекоровые комплексы транзитной коры рассматриваемых периконтинентальных бассейнов образовывали осевые интерниды Западно-Коаголезского пояса, имеют этот же, что и внешние зоны, «деформационный» возраст и были вскрыты, как и другие комплексы транзитной коры, в эпоху панафриканского диастрофизма.

Приведенные выше сопоставления свидетельствуют о смещении «завершенного» рифтообразования, сокращении его временных интервалов (т.е. ускорении процессов) от более молодых к более древним сегментам внутригондванских гранулитовых мегапоясов конца позднего протерозоя — палеозоя. Хорошим дополнением к этой закономерности является самый молодой (позднекайнозойский) рифтовый бассейн «полузавершенного» развития Красного моря. Он заложился на самом древнем из панафриканских гранулитовом поясе, тектоническим отторжением которого является горстовое поднятие о-ва Забаргад со вскрытыми на нем пироксенсодержащими гнейсами с возрастом 700 млн лет [6, 9].

Обсуждение

Показано, что рифтогенез позднего кайнозоя между Африкой и Аравией и в Восточной Африке

связан с южной областью рождения Африканского суперплюма [12]. По логике такое же объяснение может быть дано и для более ранних проявлений рифтогенеза позднего фанерозоя, в первую очередь его миграции из Южной в Центральную Африку. Смещение «завершенного» рифтообразования от северо-западной границы Африки к востоку позволяет по аналогии связывать его и со вторым, западным центром рождения суперплюма [16].

Таким образом, имеются основания считать, что указанные выше закономерности рифтогенеза являлись результатом сочетания трех главных факторов: 1) инициативной роли двух плюмовых центров; 2) наиболее активным распространением температурно-возбужденной ими астеносферы по литосферным «каналам» гранулитовых поясов и 3) различным воздействием астеносферы на литосферу малых и крупных гранулитовых поясов.

С первым из этих допущений хорошо согласуются тектонические закономерности магматизма мезозоя. Наиболее широко в самом конце триаса — ранней юре основной, трапповый магматизм проявился в южном и западном центрах Африканского суперплюма. «Загадочным» является то обстоятельство, что эти почти синхронные плюмовые «извержения» мантийного материала совпали с древними, наиболее «холодными» Южно-Африканским и Западно-Африканским кратонами, характеризующимися наиболее глубокими литосферными «корнями». Это очевидное несоответствие требует специального рассмотрения и здесь нами не обсуждается. Базальтоидный магматизм раннего мезозоя проявился в значительных объемах лишь в рифтовых бассейнах «завершенного» развития, располагавшихся вблизи плюмовых центров: в ранней юре вдоль Гвинейско-Либерийской границы архейского ядра Западно-Африканского кратона и в заключительную стадию рифтообразования вдоль южнозамбикской границы Южно-Африканского кратона, также в аналогичную стадию рифтового развития в середине раннего мела вдоль западной границы этого кратона. В аспекте рассматриваемого вопроса показательно уменьшение интенсивности пред- и раннерифтового базальтоидного магматизма от Гвинеи и Кот-д'Ивуара к Того и Бенину по мере удаления от западного плюмового центра.

В соответствии с положениями одной из хорошо аргументированных общих моделей рифтогенеза [5] указанное соотношение рифтовых бассейнов с гранулитовыми поясами разных размеров можно связывать с различиями теплового состояния, толщины и реологических свойств литосферы этих гео-

структур. Бассейны первых из указанных тектонотипов могли образоваться на умеренно разогретой и относительно более толстой литосфере малых гранулитовых поясов. Бассейны второго типа могли возникнуть на «горячей» и более тонкой литосфере мегапоясов. Эти особенности литосферы могли обеспечить различные геологические свойства литосферы, сказавшиеся на ее пред- и синрифтовых преобразованиях: денсификации (эклогитизации) нижней коры в малых гранулитовых поясах, вызывавшее гравитационное синседиментационное опускание их комплексов и преимущественное растяжение всей эластичной литосферы мегапоясов. Одной из наиболее неопределенных является причина «миграционного» ускорения рифтообразования с удалением от южного и западного центров Африканского суперплюма. В первом приближении в соответствии с предложенными моделями эту закономерность можно связывать с изменением плотностных и реологических свойств до- и синрифтовой литосферы гранулитовых поясов, находившейся под воздействием растекавшейся от плюмовых центров и, скорее всего, при этом остывавшей астеносферы [5].

Более детальное рассмотрение этого вопроса требует дополнительного изучения геофизических данных и их соотношения с законами термодинамики.

Согласно данным сейсмотомографии [14], верхняя мантия рифтогенных бассейнов, разноудаленных от южного и западного центров и «питания» Африканского суперплюма, сохранила температурные различия до настоящего времени. Она осталась более «горячей» в приближенных к этим центрам бассейнах и менее разогретой в удаленных от них бассейнах. Обращает на себя внимание сходство температурного состояния литосферной мантии офшорных бассейнов рифтового происхождения и прилегающих к ним областей Индийского и Атлантического океанов. Такая температурная «гармония» может быть объяснена рождением и наращиванием в рифтовых системах «завершенного» развития различно разогретой океанической литосферы. Иначе говоря, нами допускается генерация Африканским суперплюмом не только рифтовых систем, разрушивших суперматерик по гранулитовым мегапоясам, но также через эндогенные системы последних, литосферы океанов.

Нельзя исключать, что увеличение возраста гранулитовых мегапоясов центральной Гондваны с удалением от центров Африканского суперплюма было связано с функционированием последних

уже во время формирования финальной коро-
во-мантийной структуры древнего суперматерика.

Выводы

Проведенное исследование показало, что риф-
тообразование позднего фанерозоя в Африке опре-

делялось сочетанием механизмов плюмотектони-
ки и структур панафриканских гранулитов поясов.
В специальной работе будет показано влияние ко-
ровых инфраструктур и Африканского суперплю-
ма на процессы углеводородов в бассейнах риф-
тового происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгинов Е.А. К проблеме происхождения океа-
нов. Бюлл. МОИП Отдел геологии. 1979. № 1(54).
С. 3—21.
2. Долгинов Е.А., Д'Альмейда Ж.Ф. Соотношение риф-
тов позднего фанерозоя со структурами докем-
брийского фундамента Аравийско-Африканской
платформы. Геотектоника. 2002. № 5. С. 23—31.
3. Долгинов Е.А., Фарах С. Новая интерпретация тек-
тонического развития мезо-кайнозойских осадоч-
ных бассейнов Муджлад и Мелут Южного Судана.
Вестник Российского университета дружбы наро-
дов. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 1.
С. 20—23.
4. Долгинов Е.А., Фарах С. Некоторые особенности
тектонического положения и развития мезозой-
ско-кайнозойского осадочного бассейна Муджлад
Южного Судана. Известия высших учебных заведе-
ний. Геология и разведка. 2008. № 3. С. 9—13.
5. Никишин А.М., Примица С.П., Рассказов С.В.
Континентальный рифтогенез, сопутствующие
процессы. Иркутск: Институт земной коры СО РАН,
2013. 216 с.
6. Bonatti E., Clocchiatti R., Colantoni P. Zabargad (St.
John's) Island: An uplifted fragment of sub-Red Sea
lithosphere. J. Geol. Soc. Vol. 140. 2015. P. 677—
690.
7. Boote D., Clark-Lowes D., Traut M. Traut Paleozoic pe-
troleum system of North Africa. Geological Society,
London, Special Publications. 1998. Vol. 132. P. 7—68.
8. Brownfield M.E., Charpentier R.R. Geology and total
petroleum systems of the Gulf of Guinea Province of
west Africa: U.S Geological Survey Bulletin 2207-C.
2006. 32 p.
9. Brueckner H.K., Elhaddad M.A., Hamelin B., Hem-
ming S., Kröner A., Reisberg L., Seyler M. A Pan African
origin and uplift for the gneisses and peridotites of
Zabargad Island, Red Sea: A Nd, Sr, Pb, and Os iso-
tope study. Journal of Geophysical Research: Solid
Earth. 1995. No. B11(100). P. 22283—22297.
10. Cahen L., Snelling N.J., Delhal J., Vail J.R., Bonhom-
me M., Ledent D. The Geochronology and Evolution
of Africa. Geological Magazine. 1985. No. 3(122).
P. 309—310.
11. Fritz H., Abdelsalam M., Ali K.A., Bingen B., Collins A.S.,
Fowler A.R., et al. Orogen styles in the East African
Orogen: A review of the Neoproterozoic to Cambrian
tectonic evolution. Journal of African Earth Sciences.
2013. No. 86. P. 65—106.
12. Kendall J.-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D.,
Stuart G.W., Ayele A. Mantle upwellings, melt migra-
tion and the rifting of Africa: Insights from seismic
anisotropy. In: The Afar Volcanic Province Within the
East African Rift System. Geol. Soc. London. UK. 2006.
Vol. 259. P. 55—72.
13. Macey H., Millerb J.A., Rowec C.D., Grantham G.H.,
Siegfriede P., Armstrongf R.A., Kempg, Bacalauh J.
Geology of the Monapo Klippe, NE Mozambique and
its significance for assembly of central Gondwana.
Precambrian Research. 2013. No. 233. P. 259—281.
14. Priestley K., McKenzie D., Debayle E., Pilidou S. The
African upper mantle and its relationship to tec-
tonics and surface geology. Geophysical Journal
International. 2008. Vol. 75. P. 1108—1126.
15. Villeneuve M., Fournier F., Cirilli S., Spina A., Ndiaye M.,
Zamba J., et al. Structure of the Paleozoic basement
in the Senegalo-Mauritanian basin (West Africa).
Bulletin de la Société Géologique de France. 2015.
No. 2—3(186). P. 193—203.
16. Wilson M., Guiraud R., Moreau C., Bellion Y.J.-C. Late
Permian to Recent magmatic activity on the African-
Arabian margin of Tethys. Geological Society,
London, Special Publications. 1998. No. 1(132).
P. 231—263.
17. Zwaan F., Chenin P., Erratt D., Manatschal G., Schre-
urs G. Complex rift patterns, a result of interacting
crustal and mantle weaknesses, or multiphase rift-
ing? Insights from analogue models. Solid Earth.
2021. No. 7(12). P. 1473—1495.

REFERENCES

1. Dolginov E.A. On the problem of the origin of oceans.
Byull. MOIP Department of Geology. 1979. No. 1(54).
P. 3—21 (In Russ.).
2. Dolginov E.A., D'Almeida J.F. Correlation of rifts
of the Late Phanerozoic with structures of the
Precambrian basement of the Arabian-African plat-
form. Geotectonics. 2002. No. 5. P. 23—31 (In Russ.).
3. Dolginov E.A., Farah S. A new interpretation of the
tectonic development of the Meso-Cenozoic sedi-
mentary basins of the Mujlad and Melut of Southern
Sudan. Bulletin of the RUDN. Engineering research.
2008. No. 1. P. 20—23 (In Russ.).
4. Dolginov E.A., Farah S. Some features of the tectonic
position and development of the Mesozoic-Cenozoic

- sedimentary basin of the Mujlad of South Sudan. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2008. No. 3. P. 9—13 (In Russ.).
5. Nikishin A.M., Primina S.P., Rasskazov S.V. Continental rifting, related processes / Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, 2013. 216 p. (In Russ.).
 6. Bonatti E., Clocchiatti R., Colantoni P. Zabargad (St. John's) Island: An uplifted fragment of sub-Red Sea lithosphere. *J. Geol. Soc.* Vol. 140. 2015. P. 677—690.
 7. Boote D., Clark-Lowes D., Traut M. Traut Paleozoic petroleum system of North Africa. Geological Society, London, Special Publications. 1998. Vol. 132. P. 7—68.
 8. Brownfield M.E., Charpentier R.R. Geology and total petroleum systems of the Gulf of Guinea Province of west Africa: U.S Geological Survey Bulletin 2207-C. 2006. 32 p.
 9. Brueckner H.K., Elhaddad M.A., Hamelin B., Hemming S., Kröner A., Reisberg L., Seyler M. A Pan African origin and uplift for the gneisses and peridotites of Zabargad Island, Red Sea: A Nd, Sr, Pb, and Os isotope study. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1995. No. B11(100). P. 22283—22297.
 10. Cahen L., Snelling N. J., Delhal J., Vail J. R., Bonhomme M., Ledent D. The Geochronology and Evolution of Africa. *Geological Magazine*. 1985. No. 3(122). P. 309—310.
 11. Fritz H., Abdelsalam M., Ali K.A., Bingen B., Collins A.S., Fowler A.R., et al. Orogen styles in the East African Orogen: A review of the Neoproterozoic to Cambrian tectonic evolution. *Journal of African Earth Sciences*. 2013. No. 86. P. 65—106.
 12. Kendall J.-M., Pilidou S., Keir D., Bastow I.D., Stuart G.W., Ayele A. Mantle upwellings, melt migration and the rifting of Africa: Insights from seismic anisotropy. In: *The Afar Volcanic Province Within the East African Rift System*. Geol. Soc. London. UK. 2006. Vol. 259. P. 55—72.
 13. Maceya H., Millerb J.A., Rowec C.D., Grantham G.H., Siegfriede P., Armstrongf R.A., Kempg, Bacalauh J. Geology of the Monapo Klippe, NE Mozambique and its significance for assembly of central Gondwana. *Precambrian Research*. 2013. No. 233. P. 259—281.
 14. Priestley K., McKenzie D., Debayle E., Pilidou S., The African upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology. *Geophysical Journal International*. 2008. Vol. 75. P. 1108—1126.
 15. Villeneuve M., Fournier F., Cirilli S., Spina A., Ndiaye M., Zamba J., et al. Structure of the Paleozoic basement in the Senegalo-Mauritanian basin (West Africa). *Bulletin de la Société Géologique de France*. 2015. No. 2—3(186). P. 193—203.
 16. Wilson M., Guiraud R., Moreau C., Bellion Y.J.-C. Late Permian to Recent magmatic activity on the African-Arabian margin of Tethys. Geological Society, London, Special Publications. 1998. No. 1(132). P. 231—263.
 17. Zwaan F., Chenin P., Erratt D., Manatschal G., Schreurs G. Complex rift patterns, a result of interacting crustal and mantle weaknesses, or multiphase rifting? Insights from analogue models. *Solid Earth*. 2021. No. 7(12). P. 1473—1495.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Усова В.М. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Valentina M. Usova — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Усова Валентина Михайловна — старший преподаватель департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

6, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117198, Россия

e-mail: usova-vm@rudn.ru

SPIN-код: 1276-3570

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-5913>

Scopus ID: 57205576129

Valentina M. Usova — senior lecturer, Department of Geology, Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University).

6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

e-mail: usova-vm@rudn.ru

SPIN-code: 1276-3570

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0023-5913>

Scopus ID: 57205576129