

22. О следах раскола островов протобаженита на седиментационном палеосклоне / В. Ф. Гришкевич [и др.] // Литосфера. – 2017. – Т. 17 (4). – С. 48–61.

23. Соколовский А. П., Соколовский Р. А. Аномальные типы разрезов баженовской и тутлеймской свит в Западной Сибири // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа. – 2002. – № 11. – С. 64–69.

24. Филиппович Ю. В. Типы и механизмы формирования аномальных разрезов баженовского горизонта и ачимовской толщи // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа. – 1999. – № 4.

25. Ясевич Г. С. Перспективы нефтегазоносности зон развития аномальных разрезов баженовской свиты Среднего Приобья // Труды ЗапСибНИГНИ. – Вып. 166. – Тюмень, 1981. – С. 51–60.

26. Фролов В. Т. Наука геология: философский анализ. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 128 с.

27. Фролов В. Т. Генетическая типизация морских отложений. – М.: Недра, 1984. – 222 с.

28. Иванчук П. П. Гидровулканизм в осадочном чехле земной коры. – М.: Недра, 1994. – 156 с.

#### *Сведения об авторах*

**Нежданов Алексей Алексеевич**, д. г.-м. н., профессор кафедры прикладной геофизики Тюменский индустриальный университет, заместитель начальника по научной работе ИТЦ ООО «Газпром геологоразведка», г. Тюмень, тел. 89129276988, e-mail: nezhdanovaa@gmail.com

**Кулагина Суфия Фагимовна**, заведующий лабораторией интерпретации сейсмической информации, Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпилемана, г. Тюмень, тел. 8(3452)400193, e-mail: sufya@crru.ru

**Корнев Владимир Александрович**, д. г.-м. н., профессор кафедры прикладной геофизики, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89523496466

**Хафизов Фаиз Закиевич**, д. г.-м. н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)22 97030, e-mail: hafizovfz@tyuiu.ru

#### *Information about the authors*

**Nezhdanov A. A.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Applied Geophysics, Industrial University of Tyumen, Deputy Director for Scientific Work of ITC LLC «Gazprom Geologorazvedka», Tyumen, phone: 89129276988, e-mail: nezhdanovaa@gmail.com

**Kulagina S. F.**, Head of the Laboratory of Interpretation of Seismic Data, V. I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil, Tyumen, phone: 8(3452)400193, e-mail: sufya@crru.ru

**Kornev V. A.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Applied Geophysics, Industrial University of Tyumen, phone: 89523496466

**Khafizov F. Z.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)22 97030, e-mail: hafizovfz@tyuiu.ru

УДК 552.144+622.276.1/4

### **ПРИМЕНЕНИЕ СИКВЕНСКОЙ СТРАТИГРАФИИ В РАЗРЕЗЕ ФОРМАЦИИ АБУ ДЖАБРА (СЕВЕРНЫЙ СУДАН)**

**APPLICATION OF SEQUENCE STRATIGRAPHY IN SECTION OF THE ABU  
GABRA FORMATION (NORTH SUDAN)**

**А. В. Поднебесных, А. Р. Хафизов, А. С. Енилин, М. Г. Петров**

A. V. Podnebesnykh, A. R. Khafizov, A. S. Enilin, M. G. Petrov

ООО «Ойлтим НТЦ», г. Сочи

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

*Ключевые слова: рифтовая впадина; нефть; Северный Судан*

*Key words: rift trough; oil; North Sudan*

Объектом исследования послужили продуктивные отложения формации Абу Джабра бассейна Муджлад, имеющие сложное геологическое строение, обусловленное преимущественно континентальными условиями осадконакопления [1]. Муджлад — самый большой по площади бассейн, расположенный в Судане — его площадь составляет около 160 000 км<sup>2</sup> (размер 800 x 200 км), протягиваясь с северо-запада на юго-восток. По исследованиям [2] толщина осадочного чехла в наиболее глубокой части бассейна достигает отметки 13,5 км.

*Геологическая позиция формации Абу Джабра.* Суданские рифты являются частью огромной Центрально-Африканской рифтовой зоны, протягивающейся от Гвинейского залива на западе до Красного моря на востоке. В Судане к этой зоне относятся крупные прогибы Муджлад, Мелут и Голубой Нил и несколько более мелких грабенов (рис. 1).

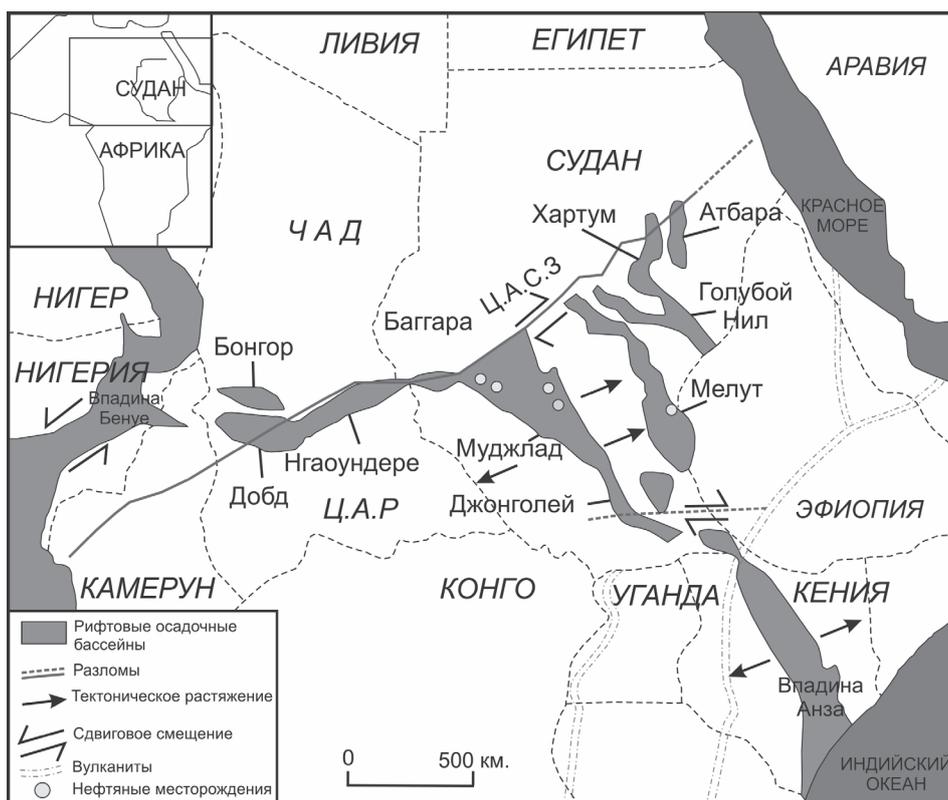


Рис. 1. Тектоническая модель Центрально- и Восточно-Африканских бассейнов [3]

Суданские рифты сформировались в пределах северо-восточного сектора гигантской Пан-Африканской плиты, сложенной главным образом архейскими и протерозойскими кристаллическими породами. Финальная часть кратонизации региона охватывает интервал 680–530 млн лет, в течение которого ранее метаморфизованные породы были прорваны редкими гранитоидными интрузиями и нарушены зонами разломов, вдоль которых нередко наблюдаются сдвиги сложной формы. В позднем мезозое-кайнозое в результате раздвигания древних глыб земной коры по этим разломам сформировалась система рифтов, которые и определили современное глубинное строение региона.

По существующим представлениям все осадочные бассейны Судана сформировались как рифтовые впадины сквозного развития, начиная с юрского периода до плиоцена [4]. На территории РФ существуют геологические аналогии рифтовых впадин Судана на территории Забайкалья, которые содержат проявления битумов [5]. Однако на данный момент перспективы разработки битумов рифтовых впадин Забайкалья остаются неясными. Несмотря на очевидные экономические перспективы развития топливно-энергетического комплекса региона, до сих пор отсутствуют четкая стратегия, направленная на улучшение качества запасов, и план геолого-разведочных работ на наиболее перспективных площадях.

Выше формации Шараф без стратиграфического несогласия залегает апт-раннеальбская формация Абу Джабра, сложенная преимущественно глинами и аргиллитами, обогащенными органическим веществом. Формирование формации Абу Джабра происходило в озерных условиях, в период быстрого погружения дна бассейна. По составу керогена и по степени его преобразования глинистые породы

формации относятся к разряду нефтематеринских. На нескольких площадях в северо-западной части бассейна Муджлад в песчаниках формации содержатся залежи нефти. Вверх по разрезу отложения формации Абу Джабра сменяются более грубозернистыми породами формации *Бентию*, образование которой происходило в течение верхнего альба-сеномана. Т. J. Schull [6] выделяет на контакте этих формаций стратиграфическое несогласие, приуроченное к границе между нижним и верхним альбом.

*Фациальная модель формации Абу Джабра.* На основе описания и анализа кернового материала для пород-коллекторов формации Абу Джабра по фаціальным признакам были выделены основные типы обстановок осадконакопления. Согласно полученным результатам в объеме формации Абу Джабра выделяются следующие фациальные ассоциации (ФА): забаровой лагуны; внутридельтовых заливов; краевой части дельтовых каналов/краевой части пояса меандрирования; центральной части дельтовых каналов /центральной части пояса меандрирования (рис. 2).

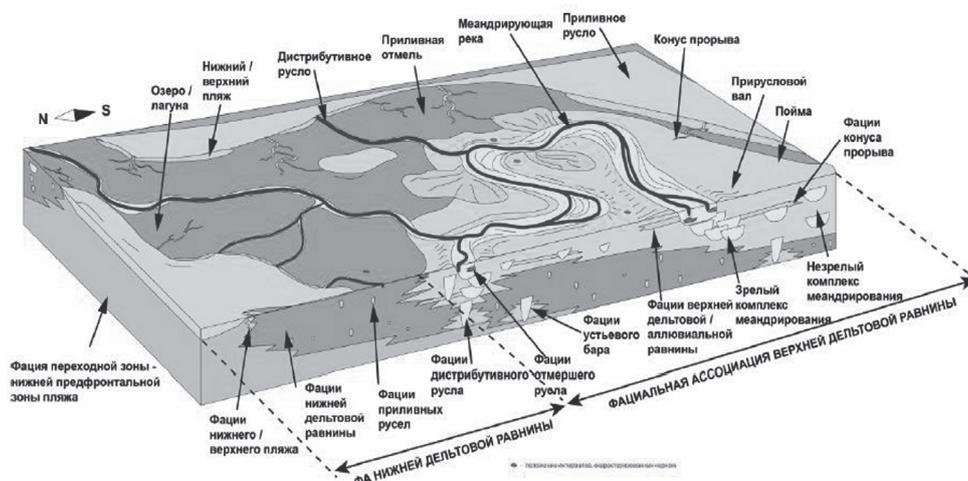


Рис. 2. Модель осадконакопления горизонта Абу Джабра

ФА забаровой лагуны образована глинистыми неколлекторами, включающими фаши маршей, озер, лагун, и коллекторскими фашиями дельтовых каналов, приносящих материал для образования баров, штормовых заплесков с баров, или же маломощных краевых частей проградирующих вдольбереговых баров. На общем пониженном фоне  $\alpha$ ПС (0,2–0,4 д. е.) и ГК характеризуются маломощными зубчатыми или колоколообразными пиками  $\alpha$ ПС со значениями в пределах 0,4–0,6 д. е.

ФА внутридельтовых заливов основывается на преобладании глинистых отложений, слагающих внутридельтовые заливы, над песчаными. Песчано-алевритовые отложения образуют конусы выноса промоин и намывные валы. Редко могут встречаться и более песчаные фашии комплексов, но они имеют подчиненное значение и представляют собой отдельные линзы. На каротажных диаграммах ФА характеризуются изрезанным профилем ПС и ГК и низкими значениями  $\alpha$ ПС.

ФА краевой части дельтовых каналов/краевой части пояса меандрирования включает в себя отложения внутридельтовых заливов, пойм, конусов прорыва, болот, озер и отложения дельтовых каналов или аккреционного комплекса меандрирования. Принципиальное отличие от ФА центральной части дельтового канала/центральной части пояса меандрирования — преобладание глинистых отложений и пойм над песчаными отложениями. Песчаные фашии дельтовых каналов и аккреционных комплексов являются коллекторами хорошего и среднего

качества, но могут представлять собой отдельные линзы на фоне глинистого материала или содержать локальные глинистые перемычки, разделяющие песчаные пропластки между собой. Форма кривых ПС и ГК имеет изрезанный характер за счет разделения различных аномалий, соответствующих песчаным телам, перемычками неколлектора.

ФА центральной части дельтовых каналов/центральной части пояса меандрирования также образована преимущественно отложениями дельтовых каналов/аккреционных комплексов и временно заливаемых участков пойм или внутридельтовых заливов, но отличается от ФА краевой части дельтовых каналов/краевой части пояса меандрирования существенно более песчаным разрезом (коэффициент песчаности равен 0,70–0,95 д. е.). Коллекторские свойства среднего и хорошего качества зависят от вертикально состыкованных отложений песчаного заполнения дельтовых каналов или аккреционных комплексов. Песчаные отложения дельтовых каналов/аккреционных комплексов настолько перемыты и сливаются в единые песчаные тела, что глинистые пропластки внутри них практически отсутствуют. Фации внутридельтовых заливов/пойм, конусов прорыва (конусов выноса промоин), болот и прирусловых валов могут встречаться, но уже в подчиненном значении. Форма кривых ПС и ГК имеет, как правило, прямоугольную форму, редко встречается колокольная форма кривых с характерным уменьшением зернистости вверх по разрезу.

Сиквенс-стратиграфическая модель осадконакопления формации Абу Джабра. Сиквенс-стратиграфический анализ отложений формации Абу Джабра проводился на основе выделения и прослеживания по керну скважин и данным ГИС ключевых стратиграфических поверхностей — региональных поверхностей субаэрального размыва, соответствующих границам сиквенсов, и поверхностей затопления [7]. Образования этих поверхностей отражают колебания относительного уровня моря, а сами поверхности маркируют коренную перестройку всей палеогеографической ситуации при их пересечении [8]. Первоначально основные стратиграфические поверхности фиксировались по керну, а затем путем интерполяции трассировались по латерали с использованием данных ГИС.

В пределах формации Абу Джабра частично или полностью выделяются отложения шести сиквенсов. Особенностью всей системы осадконакопления данной формации является близость фундамента, поэтому все выделенные сиквенсы выклиниваются в западном направлении (рис. 3).

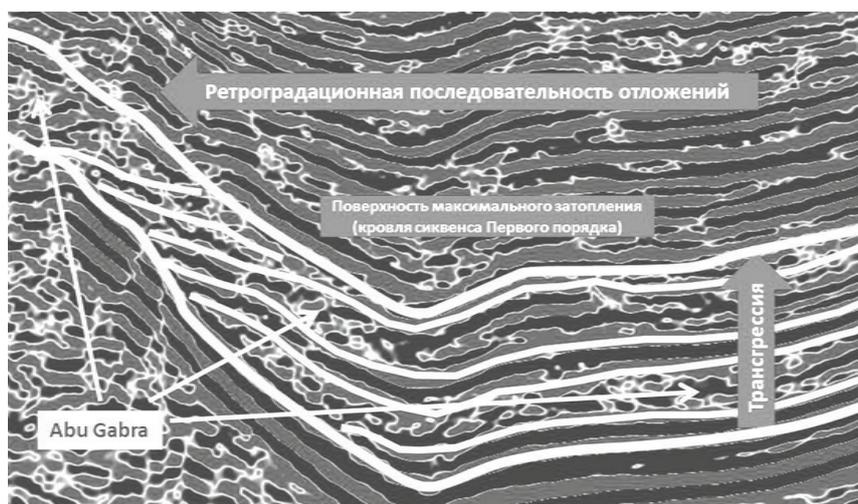


Рис. 3. Схема выделения сиквенсов в формации Абу Джабра

Накопление песчаников формации Абу Джабра — это результат многочисленных регрессий на фоне общей трансгрессии моря. Анализ керна показывает, что основной объем песчано-глинистых отложений формировался в периоды тектонической активности региона, когда скорость заполнения рифтовых впадин была максимальной. Состав фаций значительно изменялся с востока на запад: если в восточной части преобладают фации озер и внутридельтовых заливов, то в восточной части чаще встречаются отложения речных русел. Неоднородное распределение толщин отражает контрастный палеорельеф на момент формирования каждого из выделенных сиквенсов.

В некоторых районах на границах сиквенсов 2 и 3 отмечается резкая смена свойств, свойственная несогласным или эрозионным процессам, которые могли носить локальный характер. Клиновидная форма выделенных сиквенсов свидетельствует о максимальной проградации продуктивных отложений в восточном направлении. Формирование всего комплекса отложений формации Абу Джабра завершилось масштабной трансгрессией и образованием трансгрессивного тракта. Кровлей сиквенса 6 является поверхность максимального затопления первого порядка, связанная с региональной меловой трансгрессией.

Таким образом, применение методов сиквенс-стратиграфии дало возможность качественно расчленить достаточно мощные отложения формации Абу Джабра на синхронные интервалы, которые характеризуются определенной сменой обстановок осадконакопления. Проведенный анализ карт толщин системных трактов и карт атрибутов помог обоснованно спрогнозировать распределение обстановок осадконакопления на площади, не охваченной бурением. Проведенная работа показала высокую сложность изучаемой территории, где одним из главных факторов, оказывающих огромное влияние на состав и сохранность пород-коллекторов, является тектоническая активность. Все это позволило понять пространственно-генетические связи выделенных осадочных комплексов и построить реалистичную геологическую модель.

#### *Библиографический список*

1. Ltayeb O. A. Kh. Sedimentology of the Kordofan group sequences of the Melut Basin, Southeastern Sudan // M. Sc. Thesis (unpub.), University of Khartoum. – Sudan, 1993. – 93 p.
2. Mohamed A. E., Mohammed A. S. Stratigraphy and tectonic evolution of the oil producing horizons of Muglad basin, Sudan // J. Sc. Tech. – 2008. – Vol. 9. – P. 1–8.
3. Browne S. T., Fairhead J. D. Gravity study of the Central African rift system: a model of continental disruption. The Ngaoundere and Abu Gabra rifts // Tectonophysics. – 1983. – Vol. 94. – P.187–203.
4. Салех Фарах Ф. Особенности геологического строения и условий нефтеобразования в нефтеносных бассейнах Южного Судана: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2009. – 167 с.
5. Поднебесных А. В. Перспективы промышленной разработки проявлений битумов рифтовых впадин на территории Забайкалья // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 1. – С. 38–42.
6. Schull T. J. Rift basins of Interior Sudan: petroleum exploration and discovery // AAPG Bull. – 1988. – Vol. 72, № 10. – P. 1128–1142.
7. A Geologic Time Scale 2004 / F. M. Gradstein [et al.]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 589 p.

#### *Сведения об авторах*

**Поднебесных Александр Владимирович**, к. г.-м. н., технический директор ООО «НТЦ ОЙЛТИМ», г. Сочи, тел. 8(862)2255447, e-mail: PodnebesnyhAV@oilteam.ru

**Хафизов Айрат Римович**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой бурения нефтяных и газовых скважин, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, тел. 8(347)2431254, e-mail: hafizov57@mail.ru

**Енилин Арсен Сергеевич**, ведущий геолог ООО «НТЦ ОЙЛТИМ», г. Сочи, тел. 8(862)2255447, e-mail: EnilinAS@oilteam.ru

**Петров Михаил Геннадьевич**, ведущий разработчик ООО «НТЦ ОЙЛТИМ», г. Сочи, тел. 8(862)2255447, e-mail: PetrovMG@oilteam.ru

#### *Information about the authors*

**Podnebesnykh A. V.**, Candidate of Geology and Mineralogy, Technical Director, LLC «STC Oilteam», Sochi, phone: 8(862)2255447, e-mail: PodnebesnyhAV@oilteam.ru

**Khafizov A. R.**, Doctor of Engineering, Head of the Department of Drilling of Oil and Gas Wells, Ufa State Petroleum Technological University, phone: 8(347)2431254, e-mail: hafizov57@mail.ru

**Enilin A. S.**, Leading Geologist, LLC «STC Oilteam», Sochi, phone 8(862)2255447, e-mail: EnilinAS@oilteam.ru

**Petrov M. G.**, Leading Developer, LLC «STC Oilteam», Sochi, phone: 8(862)2255447, e-mail: PetrovMG@oilteam.ru