

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 551.71/.72

Особенности геологического строения африканского осадочного бассейна Таудени в связи с нефтегазоносностью

^aМ.Б. Балло^{ab}, Т.В. Карасева^{ab}, А.С. Капитанова^b

^aПермский государственный национальный исследовательский университет
614990, Пермь, ул. Букирева, 15

E-mail: babadjanmamadoub@gmail.com, E-mail: tvkaras@psu.ru

^bКамский научно-исследовательский институт комплексных исследований глубоких и сверхглубоких скважин

614016, Пермь, ул. Краснофлотская, 15. E-mail: kapitan19.95@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 3 августа 2020 г.)

Изложены результаты изучения строения осадочного бассейна Таудени, крупнейшего на северо-западе Африки. Выявлены характерные особенности строения бассейна, связанные с развитием Западно-Африканского кратона, проявлением герцинского и альпийского тектогенеза. На основе моделирования получены данные о низких скоростях осадконакопления протерозойских и силур-каменноугольных отложений, что способствовало формированию нефтегазоматеринских пород. Сделан вывод о необходимости продолжения геологоразведочных работ в бассейне в связи с повышенными перспективами нефтегазоносности.

Ключевые слова: *осадочный бассейн, докембрийские породы, история погружения, нефтегазоносность.*

DOI: 10.17072/psu.geol.19.4.388

Введение

На территории Африки выявлено более 60 осадочных бассейнов, которые подразделяются на континентальные, т. е. платформенные, связанные с орогенными поясами, и переходные, располагающиеся в зонах пассивных континентальных окраин и межплитных регионах (Baudino, Mongeetal, 2014). Осадочный бассейн Таудени, относящийся к континентальным бассейнам, является крупнейшим бассейном на северо-западе Африки, его площадь составляет почти 2 млн км² (Brownfield, Schenk et al., 2015). Он располагается в северной части Мали, восточной зоне Мавритании и юго-западных районах Алжира. Бассейн недостаточно изучен, проведены только геофизические работы в небольшом объеме и выполнено бурение единичных скважин, что во многом связано с

тем, что геологоразведочные работы проводились компаниями разных стран, а также с частыми военными конфликтами в регионе. Первые поисково-разведочные работы на нефть начались в 70–80-е гг. 20 в., в течение которых были пробурены четыре скважины, две в Мавритании (Аболаг-1 и Оуасса-1) и две в Мали (Ярба-1 и Атоулла-1). К настоящему времени всего пробурено 8 скважин и выполнен незначительный объем геофизического профилирования. В результате до сих пор нет однозначных мнений о строении, истории формирования и перспективах нефтегазоносности бассейна.

Геологическое строение бассейна Таудени

Осадочный бассейн Таудени располагается в пределах Западно-Африканского кратона, одного из пяти африканских кратонов с

кристаллическими породами докембрийского возраста. Бассейн занимает центральную часть кратона, что позволяет предполагать присутствие не только протерозойских, но и архейских пород в его фундаменте (Clauser, 1982; Баранов, 2018). Фундамент бассейна не вскрыт ни одной из пробуренных скважин. По геофизическим данным и результатам изучения выходов на поверхность он представлен также магматическими образованиями (Waters, Schofield, 2004).

Осадочные отложения бассейна – это в основном древние породы среднего и позднего протерозоя, а также палеозоя и (в меньшей степени) более молодые мезозой-кайнозойские комплексы пород и четвертичных осадков. Мощность осадочного чехла достигает 6 км и более (Monge, Vadali et al., 2016).

По своей относительной тектонической стабильности бассейн Таудени отличается от соседних сложных областей, таких как цепь Мавританидов на западе, Дагомейиды на востоке (рис.1). Некоторые исследователи (Villeneuve, 2005) выделяют два типа границ бассейна: относительно стабильные и мобильные. На севере и юге бассейна осадочный чехол имеет устойчивые границы, связанные с выходами фундамента. На севере

он ограничен щитом Регибат, на юге – щитом Менлео (или Мен). На востоке и западе, наоборот, чехол лежит на подвижных зонах. Западную границу составляют Мавританиды протяженностью более 1800 км между южным Марокко на севере и Сьерра-Леоне на юге. Они простираются в сторону хребта Регибат, а западная часть Мавританид погружена под прибрежный Сенегало-Мавританский осадочный бассейн.

Восточная граница бассейна Таудени проявляется менее четко, чем западная. С юга на север наблюдаются такие ограничивающие области, как дуга Дагомеидов и дуга Гурма.

По сравнению со сложными границами, сам бассейн Таудени имеет относительно простое строение. Он состоит в основном из двух крупных докембрийских депрессий (рис.2): депрессия Мактейр на западе в Мавритании и одноименная с бассейном депрессия Таудени восточнее, в Мали (Villeneuve, 2005). Депрессия Таудени, ориентированная в основном на запад-восток, значительно превышает по размерам депрессию Мактейр, которая ориентирована по направлению северо-запад– юго-восток. В северо-западных районах депрессии Мактейр мощность додевонских осадочных отложений по геофизи-

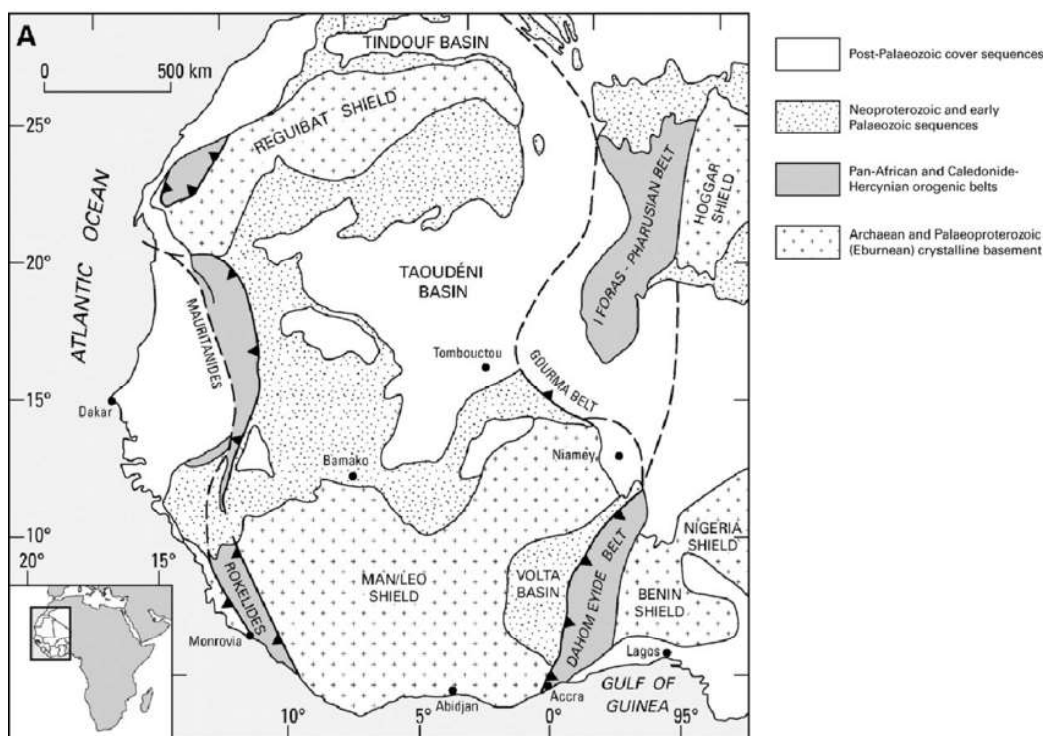


Рис.1. Схематическая геологическая карта Западно-Африканского кратона (Anani et al., 2013)

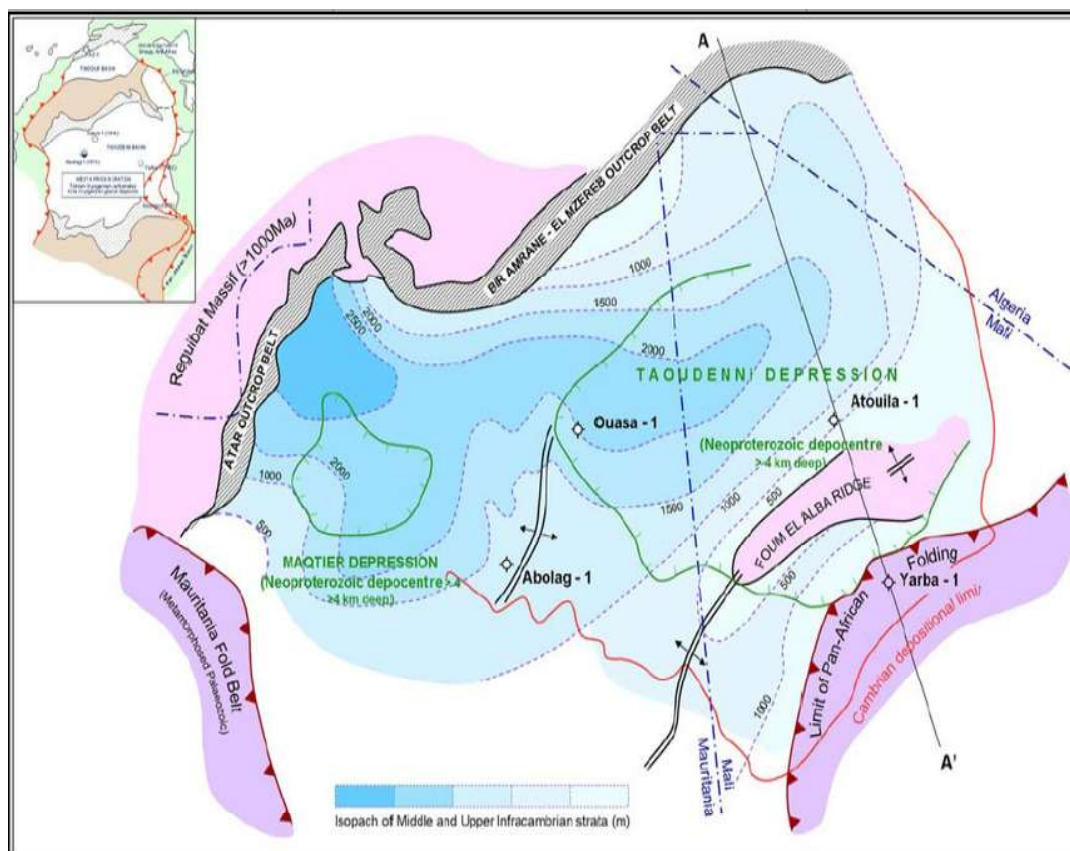


Рис. 2. Структура осадочного бассейна Таудени в докембрии (Villeneuve, 2005); изопахиты – изопакиты протерозоя

ческим данным достигает 2,5 км и более, в юго-восточных районах не превышает 2 км.

На большей части депрессии Таудени мощность этих отложений меньше, не превышает 2 км. Основная особенность бассейна Таудени связана с большой мощностью и широким развитием докембрийских осадочных образований, которые составляют до 50% разреза осадочных отложений. В бассейне выделяют также незначительные по размерам палеозойские впадины, которые преимущественно накладываются на докембрийскую структурную поверхность. Следует отметить, что палеозойские впадины в большей степени распространены на севере бассейна (Villeneuve, 2005).

По литологии осадочный чехол бассейна в нижней части представлен верхнепротерозойскими песчаниками (мощность до нескольких сотен метров), над которыми залегают глинистые сланцы с прослоями кремнистых пород и песчаников (Clauer et al., 1982). Глинистые сланцы по повышенному содержанию органического углерода рядом исследователей относятся к нефтегазоматеринским (Baudino, Monge, 2014; Qingchun,

2008). Материнские породы обогащены сапропелевым органическим веществом и распространены в депрессиях Мактейр и Таудени. Палеозойский комплекс выявлен в основном только в разрезах отрицательных структур – депрессий, синеклиз. Кембрийско-силурийские отложения сложены песчаниками и сланцевыми толщами с карбонатными прослоями в верхней части. Распространенные в силуре глинистые сланцы также могут быть нефтегазоматеринскими породами (Monge, Vadali et al., 2016). Девонский комплекс пород представлен чередованием известняков и мергелей с прослоями песчаников и глин. Каменноугольные отложения в нижней части состоят из карбонатно-глинистых отложений, а в верхнем отделе представлены песчано-глинистыми. Мощность отложений варьирует от 200 до 1000 м. В унаследованных от фундамента структурах осадочного чехла (впадинах и синеклизах) установлены континентальные отложения нижнего мела, сложенные красноцветами. Красноцветная толща широко распространена в северной, восточной и в центральной частях бассейна, где она перекры-

вается континентальной серией неогеновых отложений. На промежуточной континентальной толще, местами на фундаменте в бортовых зонах с размывом залегают морские и лагунные песчаные отложения верхнемелового и раннеэоценового возраста. На северо-западе территории отложения верхнего мела в нижней части сложены известняками и глауконитовыми песчаниками с переслаиванием известняков, глин, мергелей. Также широкое распространение получили континентальные образования миоценово-плиоценового возраста, выделяющиеся в заключительную континентальную серию, представленную глинами, песками, гравелитами, конгломератами, а также осадочными брекчиями, обломками глин, алевролитов и остатками окремнелой древесины. Отложения четвертичного возраста характеризуются разнообразием и представлены пестрой по составу толщей континентальных отложений линзовидного строения. Повсеместное развитие получили покровные железистолатеритные и железистые кирасы, реже – следы вулканизма (Villeneuve, Cornée, 1994). Выявленные в них на территории Мали месторождения бокситов составляют до 3% мировых запасов.

Таудени граничит с такими осадочными бассейнами, как Сенегало-Мавританский на западе, Тиндуф на севере (через хребет Регибат), Регган – на востоке. В отличие от Таудени, эти бассейны в основном не содержат метаморфизованные докембрийские осадочные отложения. Осадконакопление в Сенегало-Мавританском бассейне, известном также как Сенегальский или Дакарский бассейн, на большей части территории происходило преимущественно с раннепалеозойского времени. Бассейн Тиндуф начал формироваться с силурийского времени, Регган – с ордовикского времени. К промышленно нефтегазоносным относится только Сенегало-Мавританский бассейн, который простирается на общей площади 310 тыс. км² на суше и более 130 тыс. км² на море. Небольшие по размерам бассейны Тиндуф и Регган, как и Таудени, изучены недостаточно.

Моделирование погружения отложений бассейна Таудени в связи с нефтегазоносностью

На примере разреза самой глубокой в бассейне Таудени скважины Аболаг-1 было выполнено моделирование истории погружения отложений в программе PetroMod (рис.3). Скважина пробурена в южной части депрессии Мактейр, вскрыла широкий диапазон осадочных пород вплоть до среднепротерозойских и была относительно полно исследована. Глубина фундамента принята по геофизическим данным. В связи с противоречивостью результатов определения возраста пород нижней части разреза (от более 1100 до 700 млн лет) разными методами (Rooney, 2010), использовали усредненные данные. Возраст верхней части протерозойского разреза, определенный этими же методами, оказался довольно сходным – 695–610 млн лет.

По результатам моделирования основной этап погружения отложений связан со средне-позднепротерозойским временем. Установлено три основных этапа подъема и размыва отложений. Первый этап прервал позднепротерозойское погружение и привел к размыву значительной мощности (до 300 м) верхнепротерозойских отложений, он связан с общим панафриканским подъемом (Villeneuve, Cornée, 2004). Два последующих подъема – герцинский и альпийский – также привели к значительному разрушению отложений. Особенно большие мощности размыва (до 1000 м и более) наблюдались в период герцинского тектогенеза. В разрезе скважины отсутствуют пермские, триасовые и юрские отложения. Вследствие последующего альпийского орогенеза в разрезе присутствуют только верхнемеловые отложения. Обращают на себя внимание в целом невысокие скорости осадконакопления, изменяющиеся в диапазоне 5–28 м/млн лет (рис.4). Используемый в программе метод бэк стриппинг (backstripping), или метод обратного разуплотнения, учитывающий уплотнение пород при погружении, позволяет довольно точно определять этот параметр. Известно, что невысокие скорости седиментации способствуют формированию нефтега-

зоматеринских пород, которые по современным представлениям формирования нефтегазоносности являются ключевыми объектами при поисках залежей (Карасева, 2009). Наиболее низкие скорости осадконакопления наблюдались в позднем протерозое и в силурийско-каменноугольное время; именно в

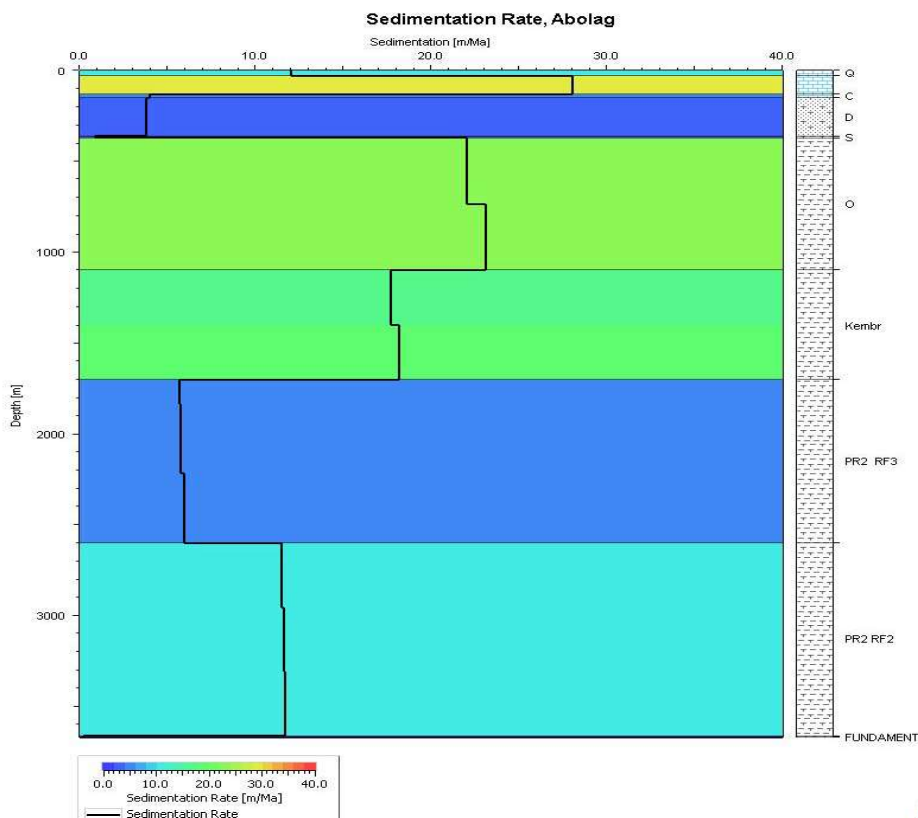
отложениях этого возраста выявлены материнские породы.

Следует отметить, что на севере и северо-западе Африки бассейн Таудени является единственным бассейном с материнскими породами в протерозое.



PetroMod

Рис. 3. Модель погружения отложений в районе бурения скважины Аболаг-1



PetroMod

Рис. 4. Модель изменения скорости осадконакопления в районе бурения скважины Аболаг-1

Изучение керна, шлама, каротажных данных и результатов испытаний в скважинах Оуаса-1 и Аболаг-1 показали (Monge, Badali et al., 2016), что имеется пять комплексов пластов-коллекторов, находящихся в благоприятном положении относительно материнских пород. Коллекторы представлены песчаниками: три пласта в докембрийских породах и один пласт в базальном девонском комплексе. Единственный карбонатный пласт встречен в докембрийских палеокарстовых известняках.

Процессы генерации углеводородов в материнских породах и их аккумуляции подтверждаются обнаружением значительных нефтегазопроявлений. По данным бурения нефтегазопроявления обнаружены в отложениях позднего докембрия, силура и позднего девона. Так, в скважине Аболаг-1 были получены газ (0,48 млн куб. футов) и газоконденсат. Нефтегазопроявления установлены в протерозойских карбонатах на границе с силицитами в скважине Ярба-1 в Мали. Газопроявления отмечены в скважине Атоулла-1. Эти результаты опровергают пессимистические прогнозы в ряде ранее опубликованных работ (Wenzhe, 2009, Моделевский, 2016) и дают возможность говорить о повышенных перспективах нефтегазоносности, однако для более уверенной оценки необходимо дальнейшее продолжение геологоразведочных работ. Особый интерес в этом плане представляют самые древние протерозойские отложения, которые, несмотря на открытие залежей нефти и газа в различных регионах (Восточная Сибирь в России, Австралия, Оман и др.), до сих пор для многих компаний остаются неперспективными или непонятными объектами.

Заключение

В результате изучения особенностей строения и формирования осадочного бассейна Таудени сделаны следующие выводы.

1. Формирование крупнейшего в северо-западной части Африканского континента осадочного бассейна Таудени связано с центральной частью Западно-Африканского кратона, что предопределило развитие архей-протерозойского фундамента, протерозойских осадочных пород и специфику раз-

вития его границ, связанных на севере и юге с выходами докембрийского фундамента.

2. Основные особенности строения осадочного чехла определяются развитием протерозойских осадочных пород значительной мощности и отсутствием в разрезе в основном пермских, триасовых, нижнеюрских отложений вследствие проявления герцинского и альпийского тектогенеза.

3. По результатам моделирования бассейна отличается невысокими скоростями осадконакопления, особенно низкие скорости наблюдаются в верхнепротерозойских и силурийско-каменноугольных отложениях, что способствовало развитию в них нефтегазоматеринских пород.

4. Проведенное исследование особенностей строения бассейна Таудени в комплексе с результатами изучения развития материнских пород, коллекторов и нефтегазопроявлений свидетельствует о необходимости продолжения приостановленных ныне геологоразведочных работ в связи с повышенными перспективами нефтегазоносности.

Библиографический список

- Баранов А.А., Бобров А.М. Строение и свойства коры архейских кратонов южных материков: сходство и различия // Геология и геофизика. 2018. №5. С.636–652. DOI:10.15372/GiG20180505.
- Карасева Т.В. Современные представления о формировании залежей нефти и газа // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. №11. С.27–33.
- Моделевский М.С., Моделевский М.М. Общая оценка нефтегазового потенциала Африканского континента // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 9, С. 1707–1714.
- Anani C., Moradeyo M., Atta-Peters D. et al. Geochemistry and provenance of sandstones from Anyaboni and surrounding areas in the voltaian basin. Ghana, 2013. August. 207 p.
- Baudino R., Monge M. A. et al. Assessing a petroleum system on the frontier of geological time: the Mesoproterozoic of the Taoudeni Basin (Mauritania) // Paper presented at the AAPG International Conference and Exhibition. 2014. 14–17 September. Istanbul, Turkey. P. 212–236.
- Brownfield M.E., Schenk C.J., Klett T.R. Assessment of Undiscovered Oil and Gas Resources of the Taoudeni Basin Province, Mali and Mauritania /USGS report. 2015. 26 p.

Clauer N., Caby R., Jeannette D., Trompette R.. Geochronology of sedimentary and metasedimentary Precambrian rocks of the West African craton // Precambrian Research. 1982. № 18. P.53–71. DOI.org/10.1016/0301-9268(82)90036-5

Monge A.M., Badali M., Baudino R. et al. An unusual Proterozoic petroleum play in western Africa: the Atar group carbonates (Mauritania) // Chapter in Geological Society London Special Publications. 2016. January 36 p.

Rooney A.D., Selby, D., Houzay J.P., Renne P.R. Re–Os geochronology of a Mesoproterozoic sedimentary succession, Taoudeni basin, Mauritania: implications for basin-wide correlations and Re–Os organic-rich sediment systematics // Earth and Planetary Science Letters. 2010. Vol. 289. P. 486–496. DOI.org/10.1016/j.epsl.2009.11.039

Qingchun J., Bo L. Petroleum systems of the Ta-

oudeni Basin, West Africa // Petroleum Science. China Academic Journal. 2008. February. P. 24–30.

Villeneuve M. Palaeozoic basins in West Africa and the Mauritanide thrust belt// Journal of African Earth Sciences. 2005. N 43. P. 166–195.

Villeneuve M., Cornee J. Structure, evolution and palaeogeography of the West African Craton and bordering belts during the Neoproterozoic// Precambrian Research. 1994. № 69. P. 307–326.

Waters C.N., Schofield D.I. Contrasting late Neoproterozoic to Ordovician successions of the Taoudeni Basin, Mauritania, and Souss Basin, Morocco// Journal of African Earth Sciences. 2004. Vol. 39. № 3–4. P. 301–309.

Wenzhe G. Hydrocarbon generation conditions and exploration potential of the Taoudeni Basin // Mauritania: Petroleum Science. 2009. Vol. 6. P. 29–37.

Features of the Geological Structure of the African Sedimentary Basin Taoudeni and its Oil-and-Gas Potential

^aM.B. Ballo, ^{ab}T.V. Karaseva, ^bA. S. Kapitanova

^aPerm State University

15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia. E-mail: babadjanmamadoub@gmail.com; tvkaras@psu.ru

^bKama Research Institute for Complex Research of Deep and Superdeep Wells

15 Krasnoflotskaya Str., Perm 614016. E-mail: kapitan19.95@mail.ru

The results of studying the structure of the Taoudeni sedimentary basin, the largest basin in north-west Africa, are presented. The characteristic features of the basin associated with the development of the West African craton, and manifestation of the Hercynian and Alpine tectonogenesis are revealed. Based on modeling data, the low rates of sedimentation of Proterozoic and Silurian–Carboniferous sediments were established that contributed to the formation of oil-and-gas source rocks. It is concluded that it is necessary to continue exploration in the basin in connection with the high prospects of oil-and-gas potential.

Key words: *sedimentary basin; Precambrian rocks; subsidence history; oil-and-gas potential.*

References

Baranov A.A., Bobrov A.M. 2018. Stroenie i svoystva kory arkheyskikh kratonov yuzhnykh materikov: skhodstvo i razlichiya [The structure and properties of the crust of the Archean cratons of the southern continents: similarities and differences]. Geologiya i geofizika. 5:636–652. (in Russian) doi:10.15372/GiG20180505

Karaseva T.V. 2009. Sovremennye predstavleniya o formirovaniy zalezhey nefi i gaza [Modern ideas about the formation of oil-and-gas deposits]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya. 11:27–33. (in Russian)

Modelevsky M.S., Modelevsky M.M. 2016. Obshchaya otsenka neftegazovogo potentsiala Afrikan-skogo kontinenta [General assessment of the oil-

and-gas potential of the African continent]. Geologiya i geofizika. 9:1707–1714. (in Russian)

Anani C., Moradeyo M., Atta-Peters D. et al. 2013. Geochemistry and provenance of sandstones from Anyaboni and surrounding areas in the voltaian basin. Ghana, August, p. 207.

Baudino R., Monge M.A. et al. 2014. Assessing a petroleum system on the frontier of geological time: the Mesoproterozoic of the Taoudeni Basin (Mauritania). In: Proc. AAPG International Conference and Exhibition. 14–17 September. Istanbul, Turkey, pp. 212–236.

Brownfield M.E., Schenk C.J., Klett T.R. 2015. Assessment of Undiscovered Oil and Gas Resources of the Taoudeni Basin Province, Mali and Mauritania. USGS open-file report, p. 26.

Clauer N., Caby R., Jeannette D., Trompette R. 1982. Geochronology of sedimentary and metasedimentary Precambrian rocks of the West African craton / *Precambrian Research*. 18:53–71. doi:10.1016/0301-9268(82)90036-5

Monge A.M., Badali M., Baudino R. et al. 2016. An unusual Proterozoic petroleum play in western Africa: the Atar group carbonates (Mauritania). Chapter in *Geological Society London Special Publications*. January. p. 36.

Rooney A.D., Selby D., Houzay J.P., Renne P.R. 2010. Re–Os geochronology of a Mesoproterozoic sedimentary succession, Taoudeni basin, Mauritania: implications for basin-wide correlations and Re–Os organic-rich sediment systematics. *Earth and Planetary Science Letters*, 289: 486–496. doi: 10.1016/j.epsl.2009.11.039

Qingchun J., Bo L. 2008. Petroleum systems of

the Taoudeni Basin, West Africa. *Petroleum Science*. China Academic Journal. February:24–30.

Villeneuve M. 2005. Palaeozoic basins in West Africa and the Mauritanide thrust belt. *Journal of African Earth Sciences*. 43:166–195.

Villeneuve M., Cornee J. 1994. Structure, evolution and palaeogeography of the West African Craton and bordering belts during the Neoproterozoic. *Precambrian Research*. 69: 307–326.

Waters C.N., Schofield I. 2004. Contrasting late Neoproterozoic to Ordovician successions of the Taoudeni Basin, Mauritania, and Souss Basin, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*. 39(3–4):301–309.

Wenzhe G. 2009. Hydrocarbon generation conditions and exploration potential of the Taoudeni Basin/Mauritania. *Petroleum Science*. 6:29–37.