

ЛИТОФАЦИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МОШАКОВСКОЙ СВИТЫ ЮГО-ЗАПАДА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ*

О.А. АНТИПОВА, О.В. ПОСТНИКОВА, В.С. ЯКУШЕВ, Л.В. МИЛОСЕРДОВА

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
65, Ленинский просп. г. Москва 119991, Россия
e-mail: oa_antipova95@mail.ru

Перспективы нефтегазоносности юго-запада Сибирской платформы во многом связаны с вендскими природными резервуарами. Одним из самых перспективных объектов являются отложения тасеевской серии, включающие терригенные отложения мошакловской свиты, широко развитые по периферии Байкинской антеклизы и прилегающим территориям. В отложениях тасеевской серии открыты залежи газа на Абаканском, Имбинском, Ильбокичском месторождениях. Терригенные отложения мошакловской свиты венда Ангарской зоны складок сформировались в условиях разных зон приливно-отливной равнины. Отложения имеют циклическое строение с регрессивной в нижней части и регрессивно-трансгрессивной направленностью циклитов в верхней. Нижние части регрессивных циклитов представлены алевро-глинистыми породами, которые вверх по разрезу сменяются более грубозернистыми. Верхние части этих циклитов сложены преимущественно песчаными разностями, в которых выявлены многочисленные следы роющих организмов, в частности, крупные формы *Skolithos*. Регрессивно-трансгрессивные циклиты имеют несколько иное строение. В нижней части циклита залегают аргиллиты алевроитистые, которые вверх по разрезу сменяются смешанными сульфатно-карбонатно-глинистыми породами. В средней части циклита встречаются тонкие песчаные прослои. Породы-коллекторы мошакловской свиты представлены крупно-, средне- и разномзернистыми песчаниками, обломочная часть в которых сложена кварцем, полевыми шпатами и обломками эффузивных и метаморфических пород. Пустотное пространство относится к межзерновому типу, а также связано с пустотами выщелачивания в зонах растворения карбонатного цемента и полевых шпатов. Породы-коллекторы приурочены к верхним частям регрессивных и средним частям регрессивно-трансгрессивных циклитов. Фильтрационно-ёмкостные свойства пород определяются не только их фациальной принадлежностью, но и в значительной степени интенсивностью и направленностью вторичных процессов, в том числе трещиноватостью.

Ключевые слова: породы-коллекторы; венд; приливно-отливная равнина; зона Ангарских складок; Сибирская платформа.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-4-44-49

LITHOFACIAL MODELS OF PRODUCTIVE DEPOSITS OF THE MOSHAKOV FORMATION WITHIN THE SOUTHWESTEN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM

O.A. ANTIPOVA, O.V. POSTNIKOVA, V.S. YAKUSHEV, L.V. MILOSERDOVA

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
building 1, 65, Leninsky prosp., Moscow 119991, Russia
e-mail: oa_antipova95@mail.ru

The oil and gas potential of the south-western part of the Siberian platform is related mainly to the Vendian reservoir rocks. One of the most prospective objects are the deposits of Taseeva series, which include clastic deposits of the Moshakov formation. These deposits are widely developed along the periphery of the Baykit anticline and adjacent territories. Gas deposits were discovered at the Abakan, Imbinskoe and Ilbokichskoye fields in deposits of Taseeva group. The Vendian terrigenous deposits of the Moshakov formation within the Angara folded zone formed in the environment of different zones of the tidal plain. The deposits have a cyclical structure with a regressive orientation of the sedimentary cyclites in the lower part and a regressive-transgressive one in the upper part. The lower parts of the regressive cyclites are represented by silty clay rocks, which are replaced up in the section by more coarse grained ones. The upper parts of the cyclite are built mostly by the sandy variations. Numerous traces of burrowing organisms have been identified in the rocks, in particular, large forms of *Skolithos*. Regressive-transgressive cyclites have a slightly different structure. Silty argillites occur in the lower part of the cyclite, which are replaced upwards along the section by mixed sulphate-carbonate-clay rocks. In the middle part of the cyclite there are thin sandy interbeds. The reservoir rocks are represented by coarse, medium and differently grained sandstones. The clastic part of sandstones is composed of quartz, feldspars and fragments of volcanic and metamorphic rocks. Void space refers to the intergranular type and is also associated with leaching voids in the zones of dissolution of carbonate cement and feldspars. The reservoir rocks are confined to the upper parts of the regressive and middle parts of the regressive-transgressive cyclites formed in the conditions of the sandy covers of the tidal plain. Reservoir properties of rocks are determined not only by their facies but also to a large extent by the intensity and direction of secondary transformations including fracturing.

Keywords: reservoir rocks; Vendian; tidal plain; Angara folded zone; Siberian platform.

Вендские продуктивные отложения тасеевской серии распространены в пределах юго-западной части Сибирской платформы и представляют собой один из наиболее перспективных объектов для открытия месторождений газа и газового конденсата. К настоящему времени в пределах исследуемого региона в отложениях тасеевской серии были выявлены крупные месторождения, как Абаканское, Имбинское, Ильбокичское и др.

Фактический материал и методы исследований

Фактический материал включал в себя керновый материал по 15 скважинам глубокого бурения (общим объемом около 1400 м), данные ГИС по 15 скважинам, 750 петрографических шлифов; результаты петрофизических исследований (более 700 измерений пористости и проницаемости), а также результаты петрофизических исследований. Экспериментальные исследования проводились с использованием поляризационного микроскопа Axio Imager A2m Carl Zeiss и стереомикроскопа Carl Zeiss Micro Imaging GmbH; исследования минерального состава пород-коллекторов — на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV с приставкой для микроанализа OXFORD INSTRUMENTS IE350-1W500-NKL; определение элементного состава пород — с помощью энергодисперсионного спектрометра. Морфометрические характеристики пустотного пространства были получены по результатам имидж-анализа цифровых изображений шлифов с применением специализированного программного обеспечения AxioVision, исследование морфометрических характеристик пустотного пространства литотипов пород-коллекторов — с помощью рентгеновского контроля и 3D реконструкции DeskTom 130.

Постановка проблемы

В тектоническом отношении район исследований расположен в пределах зоны Ангарских складок, Богучано-Манзинского выступа и склона Байкитской антеклизы (юго-западная окраина Сибирской платформы) [2] (рис. 1).

Мошакловская свита относится к тасеевской серии венда, пестроцветные отложения которой имеют толщины около 1500 м и широко распространены на западе Сибирской платформы. Породы мошакловской свиты завершают разрез тасеевской серии и представлены комплексом гравийно-песчаных, песчаных, алевро-песчаных, алевро-глинистых разностей и смешанных сульфатно-карбонатно-глинистых [1, 3—5, 7].

Текстурные особенности отложений мошакловской свиты весьма разнообразны и изменчивы как по разрезу, так и по площади. Для мошакловской свиты характерно наличие текстур косой, косоволнистой, местами пологоволнистой слоистости,

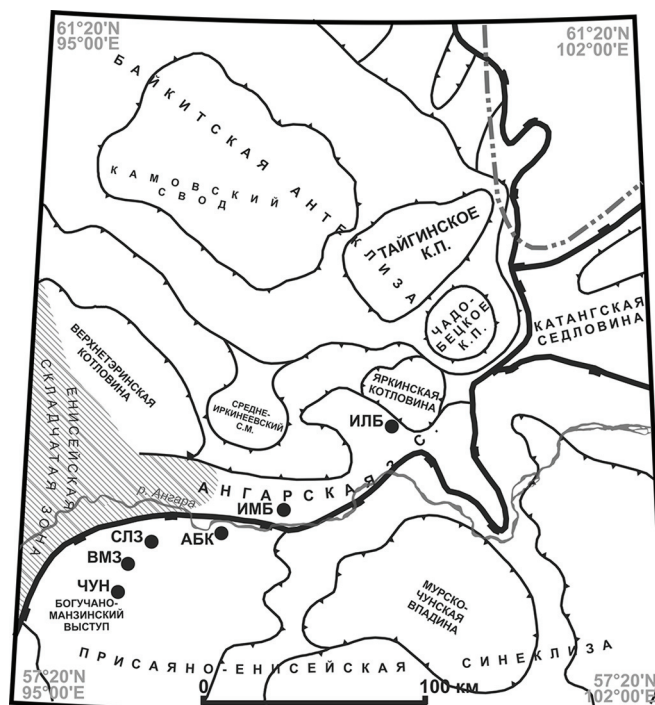


Рис. 1. Район исследований на фрагменте тектонической карты венд-нижнепалеозойского структурного яруса Лено-Тунгусской провинции Сибирской платформы [2]: точки — местоположения скважин, по которым проведены исследования кернового материала (ЧУН — Чунская, ВМЗ — Верхнеманзинская, СЛЗ — Сользаводская, АБК — Абаканская, ИМБ — Имбинская, ИЛБ — Ильбокичская площади)

встречаются текстуры оползания, тонкогоризонтально-слоистые и массивные текстуры. Как правило, в верхней и средней частях разреза присутствуют многочисленные текстуры биотурбации.

В отложениях мошакловской свиты часто отмечаются многочисленные субвертикальные взаимопересекающиеся трещины, реже наклонные. Раскрытость таких трещин составляет в среднем 0,5 см, местами достигает 1,2 см. Трещины соединяют тонкие поровые прослои, образуя при этом сложную фильтрационно-ёмкостную систему. Трещины частично, а участками полностью залечены сидеритом и анкеритом, местами доломитом [6].

Породы-коллекторы отложений мошакловской свиты относятся к поровому и порово-трещинному типам.

Выделенные по комплексу литолого-петрофизических исследований породы-коллекторы порового типа представлены преимущественно песчаниками разно-, крупно-, среднезернистыми, реже мелкозернистыми.

В областях развития интенсивной тектонической раздробленности в отложениях мошакловской свиты развиты породы-коллекторы порово-трещинного типа. Выделенные по комплексу литолого-петрофизических исследований породы-коллекторы порово-трещинного типа представлены преимущественно песчаниками разно-, средне—мелкозернистыми.

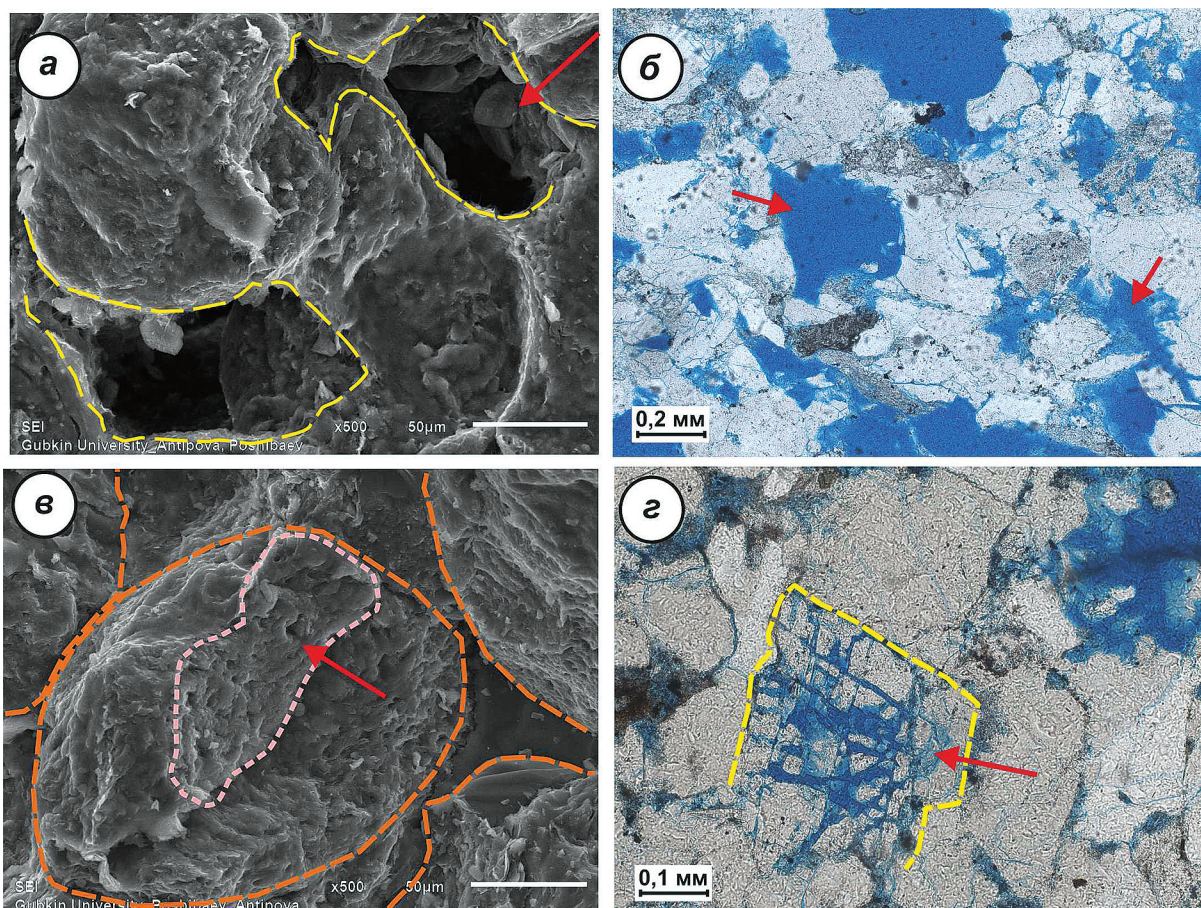


Рис. 2, а — межзерновые пустоты в песчанике (скв. Абаканская 1); б — пустоты выщелачивания по карбонатному цементу (скв. Ильбокичская 3); в — микропустоты в корродированных обломках кварца (скв. Имбинская 4); г — микропустоты в корродированных обломках калиевого полевого шпата (скв. Ильбокичская 3)

Пустотное пространство в коллекторах представлено в основном межзерновыми порами, реже пустотами выщелачивания по карбонатному цементу и микропустотами в корродированных обломках кварца и калиевых полевых шпатов (рис. 2).

Границы межзерновых пустот могут быть извилистыми, а также иметь правильные изометричные формы в участках развития регенерации зёрен. Пустоты выщелачивания, как правило, имеют сложную извилистую форму. Микропустоты в корродированных обломках кварца и калиевых полевых шпатов отмечаются редко, их размеры составляют 1—3 мкм.

По результатам имидж-анализа цифровых изображений шлифов и микротомографии пористость пород-коллекторов мошакской свиты в пределах зоны Ангарских складок (скважина Абаканская 1) колеблется от 5,37 до 11,62%. По результатам микротомографии объём пустот представлен в диапазоне от $13,64 \times 10^{-6}$ до $58,69 \times 10^{-4}$ мм³. Межзерновые поры имеют размеры 0,002—2,250 мм. По результатам петрофизических исследований значения пористости колеблются в диапазоне от 0,37 до 10,76%, а проницаемость не превышает 15,04 мД.

В пределах склона Байкитской антеклизы (скважина Ильбокичская 3) значения пористости

пород-коллекторов мошакской свиты попадают в диапазон от 6,15 до 26,78%. Объём пустот составляет от $3,13 \times 10^{-6}$ до $52,1 \times 10^{-4}$ мм³. Размеры межзерновых пор лежат в диапазоне от 0,072 до 3,770 мм. Значения пористости составляют 0,12—9,15%, а проницаемость не превышает 1,9 мД.

Для прогнозирования зон распространения и свойств пород-коллекторов мошакской свиты был проведен циклостратиграфический анализ этих отложений и определены условия осадконакопления выделенных седиментационных циклитов.

Результаты и обсуждение

Пестроцветные отложения мошакской свиты с постепенным переходом залегают на сероцветных терригенных и терригенно-карбонатных отложениях чистяковской свиты.

Особенности текстурных характеристик, резко различающаяся степень отсортированности и окатанности обломочного материала, обилие следов биотурбации осадка свидетельствуют о формировании отложений мошакской свиты в пределах приливно-отливной равнины (рис. 3).

В разрезе мошакской свиты выделяются четыре осадочных циклита. Три нижних цикли-

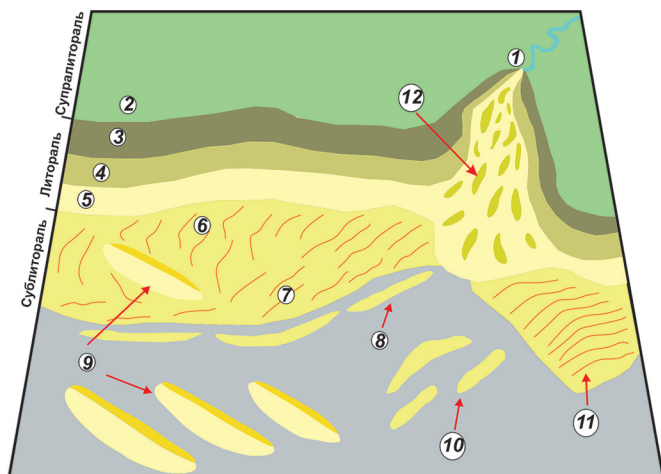


Рис. 3. Условия осадконакопления и распределение песчаных тел в приливо-отливной равнине, по [8] с изменениями: 1 — эстуарий, 2 — супралиторальная зона, 3 — глинистая зона, 4 — песчано-алевроглинистая зона, 5 — песчаная зона, 6 — песчаный покров, 7 — фронтальная часть песчаного покрова, 8 — окаймляющие песчаные тела, 9 — приливо-отливные хребты, 10 — изолированные песчаные тела, 11 — дюнное поле, 12 — бары

та имеют регрессивное строение, а верхний — регрессивно-трансгрессивное (рис. 4).

Цикличность строения разреза обусловлена пульсационным характером движения береговой ли-

нии. Нижние части первого и второго циклитов, сложенные алевроглинистыми породами, видимо, формировались в условиях низкой гидродинамической активности дистальной части приливо-отливной равнины (рис. 5, а). Для пород этой части циклита характерны текстуры горизонтально-слоистые, ритмично-слоистые, со слабыми признаками волновой ряби. Следов биотурбации в нижней части циклита практически не наблюдается (скв. Верхнеманзинская 1). Вверх по разрезу зона осадконакопления перемещается в область развития песчаных покровов. Здесь широко развиты следы биотурбации, в частности, крупные формы *Skolithos* (скв. Абаканская 3) (рис. 5, б) [8].

В отдельных скважинах (скв. Чунская 1) в отложениях верхних частей циклитов отмечаются породы с косослоистыми текстурами, которые сформировались в условиях направленных потоков (рис. 5, в). Возможно, эти отложения характеризуют отдельные протоки в пределах приливо-отливной равнины.

В отложениях нижней части третьего циклита широко развиты текстуры оползания и следы послойного перемещения слабоконсолидированных обломков и взмучивания осадка (скв. Сользавод-

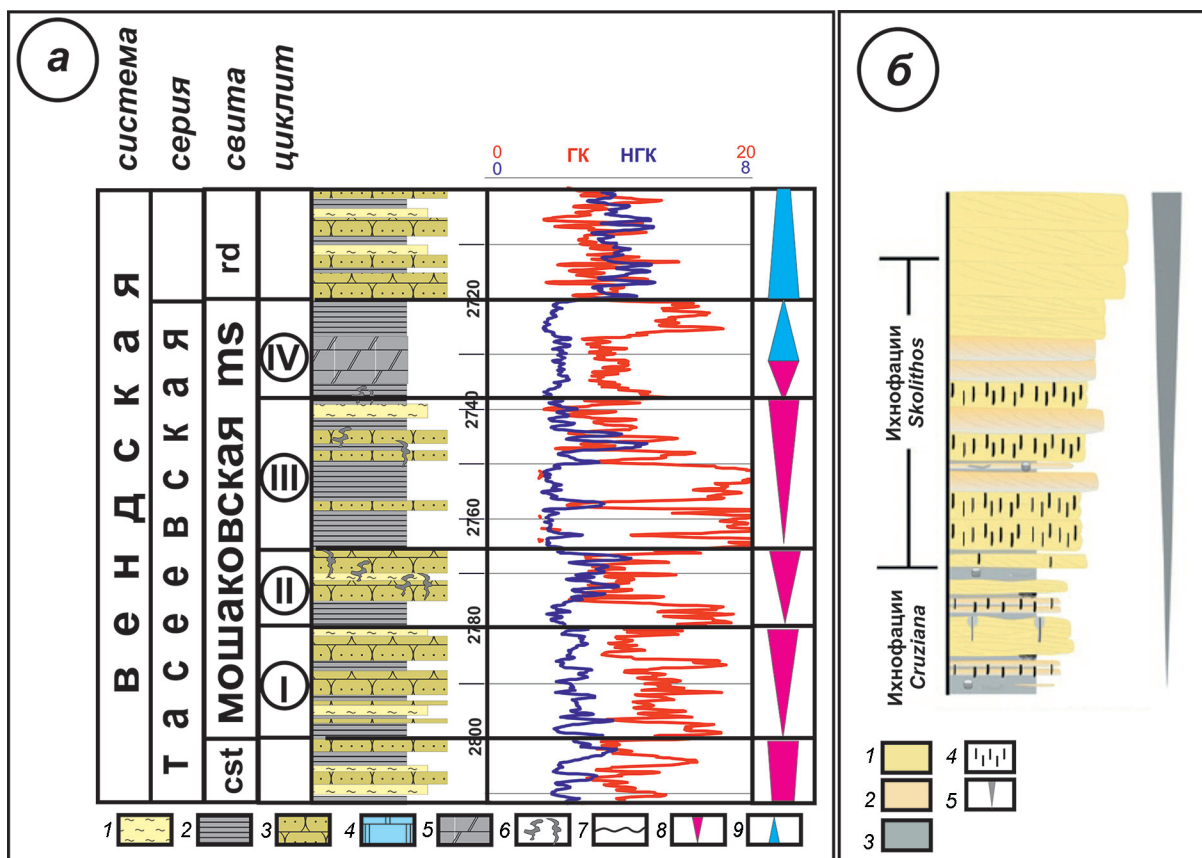


Рис. 4, а — разрез отложений мошакской свиты в пределах зоны Ангарских складок (скв. Абаканская 1): 1 — алевролиты, 2 — аргиллиты, 3 — песчаники, 4 — следы роющих организмов, 5 — предполагаемый перерыв в осадконакоплении, 6 — регрессивный циклит, 7 — трансгрессивный циклит; б — разрез отложений приливо-отливной равнины в зоне развития песчаных покровов, по [8]: 1 — песчаники, 2 — алевролиты, 3 — аргиллиты, 4 — следы роющих организмов, 5 — регрессивный циклит; cst — чистяковская свита, rd — редколесная свита

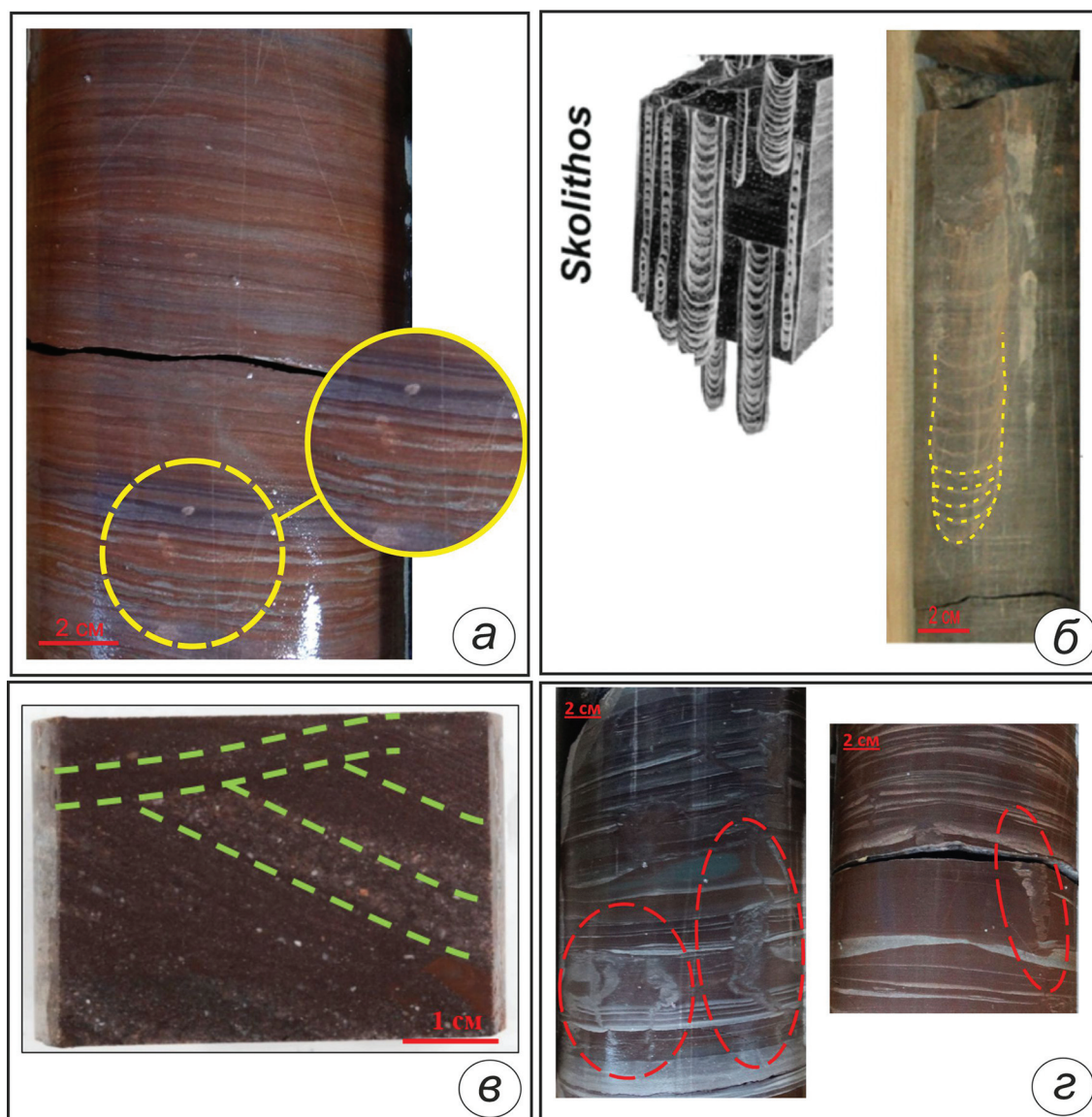


Рис. 5. *а* – отложения мошакской свиты в гидродинамически застойных зонах дистальной части приливо-отливной равнины (скв. Верхнеманзинская 1); *б* – следы роющих организмов *Skolithos* в песчаных покровах приливо-отливной равнины (скв. Абаканская 1); *в* – текстуры срезания и косой слоистости в отложениях мошакской свиты (скв. Чунская 1); *г* – следы роющих организмов (скв. Сользаводская 1)

ская 1). Такие текстуры характерны для глинистой зоны литорали.

В отложениях верхней части циклита развиты породы смешанного сульфатно-карбонатно-глинистого состава (скв. Абаканская 1, Имбинская 4). Они формировались в условиях щелочных прибрежно-морских озер с повышенной солёностью.

Строение четвертого седиментационного циклита мошакской свиты, в отличие от нижележащих циклитов, регрессивно-трансгрессивное.

В основании четвертого циклита залегают смешанные породы со значительным количеством глинистого материала и активно развитыми текстурами биотурбации (рис. 5, *г*). Вверх по разрезу они переходят в аргиллиты тонкослоистые с редкими тонкими прослоями песчаников с отчетливыми следами волновой слоистости.

Если в нижних двух циклитах верхняя часть представлена достаточно крупной пачкой песчаных пород со следами *Skolithos*, то в разрезе четвертого циклита верхняя часть представляет собой переслаивание песчаных и алевроглинистых пород со значительно более мелкими следами биотурбации (скв. Абаканская 1, Сользаводская 1). Для пород этой части разреза характерны параллельно-слоистые, пологоволнисто-слоистые и линзовидно-слоистые, а также шаровые и подушечные текстуры, образование которых типично для застойных зон. В целом формирование отложений верхней части четвертого циклита, видимо, происходило в условиях верхней части литорали, где существовали полуизолированные замкнутые водоёмы с очень спокойным гидродинамическим режимом.

Выводы

Образование отложений мошакской свиты происходило в условиях приливно-отливных равнин с редкими озёрными водоёмами и протоками, которые сформировались после отступления чистяковского морского бассейна. Верхняя часть разреза мошакской свиты несет в себе следы начала мощной трансгрессии вендского бассейна, которая превратила приливно-отливную зону в область мелководного морского бассейна.

Породы-коллекторы, представленные песчаниками разнотекстурными, приурочены к верхним частям первого, второго, третьего циклов и средней части четвертого цикла.

Фильтрационно-ёмкостные свойства пород определяются не только их фациальной принадлежностью, но и в значительной степени интенсивностью и направленностью вторичных процессов, таких как выщелачивание, регенерация, инкорпорация, карбонатизация, сульфатизация, а также трещиноватостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анатольева А.И. Древняя красноцветная терригенно-гематитовая формация на юго-западе Сибирской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1968. № 5. С. 79–92.
2. Конторович А.Э., Беляев С.Ю., Конторович А.А. и др. Тектоническая карта венд-нижнепалеозойского структурного яруса Лено-Тунгусской провинции Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 851–862.
3. Мельников Н.В., Ефимов А.С., Смирнов Е.В. и др. Присаяно-Енисейская синеклиза - объект газопроисхождения работ на юго-западе Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 2. С. 13–20.
4. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: «Гео», 2005. 428 с.
5. Постникова О.В., Пошибаев В.В., Антипова О.А., Духненко Ю.А. Прогноз распространения коллекторов мошакской свиты венда в пределах юго-западной окраины Сибирской платформы // Экспозиция Нефть Газ. 2017. № 4. С. 14–18.
6. Сим Л. А., Постников А. В., Постникова О. В. и др. Влияние новейшей геодинамики на газоносность Иркенеево-Чадобецкого рифтогенного прогиба // Экспозиция Нефть Газ. 2016. № 6. С. 8–12.
7. Советов Ю.К. Седиментология и стратиграфическая корреляция вендских отложений на юго-западе Сибирской платформы: выдающийся вклад внешнего источника классического материала в образование осадочных систем // Литосфера. 2018. Т. 18. № 1. С. 20–45.
8. Knaust, D., Bromley R.G. (Eds.), Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Developments in Sedimentology, 2012, vol. 64, Elsevier, Amsterdam, pp. 529–561.

REFERENCES

1. Anatol'eva A.I. Old red-colour terrigene-gematite formation at the south-west Siberian Platform. *Bull. Soc. Imp. Nat. Mosc., geol.*, 1968, no 5, pp. 79–92. (In Russian)
2. Kontorovich A.E., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.A. and other. Tectonic map of the Vendian-Lower Paleozoic structural stage of the Lena-Tunguska petroleum province, Siberian Platform Russian. *Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 8, pp. 851–862. (In Russian)
3. Melnikov N.V., Efimov A.S., Smirnov E.V. Prisaiano-Yenisei Syncline is an object of gas prospecting in the southwest of the Siberian Platform. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2010, no. 2, pp. 13–20. (In Russian)
4. Melnikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B. and other. *Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Riphean and Vendian of Siberian Platform and its Folded Margins*. Novosibirsk, 2005. 428 p. (In Russian)
5. Postnikova O.V., Poshibaev V.V., Antipova O.A., Dukhnenko Y.A. Prediction of distribution of reservoir rocks of the Vendian Moshakovskaya suite within the southwest end of the Siberian platform. *Exposition Oil Gas*, 2017, no. 4, pp. 14–18. (In Russian)
6. Sim L.A., Postnikov A.V., Postnikova O.V. and other. Influence of recent geodynamics to gas productivity of Irkinevo-Chadobets riftogenic trough. *Exposition Oil Gas*, 2016, no. 6, pp. 8–12. (In Russian)
7. Sovetov J.K. Sedimentology and stratigraphic correlation of Vendian deposits in the southwestern Siberian Craton: major contribution of an exorotonic clastic source to sedimentary systems. *Lithosphere (Russia)*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 20–45. (In Russian)
8. Knaust, D., Bromley R.G. (Eds.), Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. *Developments in Sedimentology*, 2012, vol. 64, Amsterdam, Elsevier, pp. 529–561.