

УДК 551.8:552.578.2+550.4:546.65(571.1)

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
ПО ДАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВК. С. Иванов^{1,*}, В. А. Волков², Н. В. Вахрушева¹

Представлено академиком РАН В.А. Коротеевым 29.06.2018 г.

Поступило 11.07.2018 г.

Баженовская свита представлена позднеюрскими чёрными сланцами. Россия находится на первом месте в мире по запасам сланцевой нефти, что связано преимущественно с баженовской свитой. Для реконструкций обстановок осадкообразования главных типов пород свиты применены распределения лантаноидов. Результаты указывают на формирование баженовских отложений в относительно мелководных условиях — в пределах внутреннего и внешнего шельфа эпиконтинентального моря, типа Карского или Восточно-Сибирского, относительно глубоководная часть которого находилась севернее Широкого Приобья. Эти выводы подтверждают некоторые прежние оценки, но получены на основании совершенно других, независимых данных. Геохимическое изучение разных типов пород баженовской свиты дало идентичные результаты, что свидетельствует в пользу достоверности полученных выводов.

Ключевые слова: Западная Сибирь, баженовская свита, нефть, геохимия редкоземельных элементов, палеогеография.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524882181-184>

Баженовская свита Западной Сибири представлена позднеюрскими чёрными битуминозными сланцами — в основном аргиллитами и силицитами, толщина свиты в среднем около 20 м. Свита является одной из наиболее изучаемых геологических формаций Евразии ([1–7] и многие др.), поскольку она обычно рассматривается как главная нефтематеринская толща, породившая согласно этой парадигме месторождения нефти Западно-Сибирского мегабассейна. Кроме того, сейчас отмечается большой интерес к сланцевой нефти. По западным оценкам Россия находится на первом месте в мире (причём с большим отрывом) по запасам сланцевой нефти, что связано преимущественно с баженовской свитой. Она распространена на территории свыше 1 млн км², откуда и получают огромные ресурсы сланцевой нефти, оценки которых разнятся на порядок и более, и доходят до сотен миллиардов тонн. Оценки извлекаемой части этих ресурсов почти на два порядка меньше. Но освоение баженовской свиты возможно лишь в будущем, причём при ряде условий ([8] и др.), одним из которых является комплексное исследование состава и свойств пород свиты.

Минеральный состав пород определялся рентгеноструктурным анализом в ИМин УрО РАН

¹ Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург

² Научно-аналитический центр рационального
недропользования им. В.И. Шпилемана, Тюмень

*E-mail: ivanovks@igg.uran.ru

П.В. Хворовым на дифрактометре Shimadzu XRD-6000. Химический состав изучен на спектрометре EDX-900 HS, “Shimadzu”; ICP-MS анализы проведены на ELAN-9000 в ИГГ УрО РАН.

Для реконструкций обстановок осадкообразования применены распределения лантаноидов [9, 10], которые являются наименее подвижными элементами в зоне диагенеза и катагенеза ([11] и др.). Основную часть РЗЭ осадок получает из воды ([9] и др.); при уплотнении осадка возможно увеличение суммы лантаноидов, но спектр РЗЭ остаётся неизменным, что позволяет применять лантаноиды для реконструкций обстановок осадкообразования ([10] и др.). Основной причиной фракционирования лантаноидов в зоне седиментогенеза является различие их форм миграции — взвесь, сорбированный комплекс, растворённое вещество [9]. Фракционирование лантаноидов приводит к преимущественному накоплению в прибрежных зонах лёгких редких земель, в центральных частях бассейнов — тяжёлых РЗЭ совместно с иттрием. Применены следующие критерии [10]: $\Sigma(\text{REE}+\text{Y})$; La/Yb, La/Sm, Ce/Sm, Yb/Sm, Y/Sm — индикаторы фациальных условий седиментации; $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ — индикатор климата; Ce/Ce* — индикатор обстановок осадкообразования; Eu/Eu*, Ce/La — индикаторы эндогенного воздействия при осадкообразовании, спектры лантаноидов, нормированные к глинам платформ [9]. По [4] концентрации РЗЭ в баженовской свите определяются составом пород, темпом седиментации, окислительно-восстановительным потенциалом обстановок формирования отложений; глинистые минералы и

апатит концентрируют РЗЭ более активно, чем органическое вещество.

Нами в разрезах свиты (исследован керн 52 скважин с нефтеразведочных площадей ХМАО-Югры) выделялись следующие основные литотипы: глинисто-кремнистые породы (силициты); битуминозные аргиллиты (соответствующие по [7, 12] микститам); карбонатные породы.

Силициты — породы тёмно-коричневого цвета, тонкослоистой текстуры. Содержание кварца варьируется от 50 до 85% и более; мода 65–70%. Обломки (2–3% объёма) представлены плагиоклазом и, редко, кварцем. Цементирующая масса кремнисто-глинисто-гидрослюдистого состава, неравномерно пропитана битумом. Среди слоистых силикатов в силицитах преобладают гидрослюды; их количество составляет 5–25%. Содержание каолинита 2–5%; иллит-сметита от 1 до 10%, иногда — более. Пирит (от 1 до 12%) образует пылевидную вкрапленность микроглобулей или расположен по слоистости породы, а также слагает микропрожилки и обособления, вплоть до конкреций. Радиоларии обычно образуют маломощные прослои, они замещены криптозернистым кварцем, карбонатом и/или пиритом. Органическое вещество образует в основном уплощённо-линзовидные выделения.

На спектрах РЗЭ проявлены слабая положительная аномалия по европию–гадолинию и иногда отрицательная — по церию (рис. 1а). Выявляются (рис. 1б) положительные аномалии по урану и бария, отрицательные — по рубидию, торью, танталу и ниобию. Сумма РЗЭ меняется от 40 до 164 г/т (и выше — в силицитах с высоким содержанием фосфора). Для силицитов (по сравнению с аргиллитами) характерно большее обогащение ТРЗЭ $(La/Yb)_n = 0,39–0,86$ (рис. 2а). Силициты являются наиболее глубоководными образованиями среди пород баженовской свиты. Их фигуративные точки (рис. 2а) попадают в поля внутреннего и внешнего шельфа. Отношение $Ce/Ce^* = Ce_n / (La_n + Pr_n) / 2$ составляет 1,03 (среднее из 75 анализов), что характеризует эпиконтинентальные обстановки осадкообразования [14, 15]. Коэффициенты $La/Yb = 6,9$; $La/Sm = 4,3$; $Ce/Sm = 9,1$; $Yb/Sm = 0,6$; $Y/Sm = 6,1$ определяют мелководно-морские условия седиментации. Средние $Ce/La > 2$ указывают, вероятно, на отсутствие гидротермального воздействия на силициты на постседиментационной стадии. Отношение $\Sigma Ce / \Sigma Y$ (где ΣCe равна сумме РЗЭ от La до Eu, ΣY — от Gd до Lu), составляет в силицитах баженовской свиты 2,1, что характерно для аридного климата.

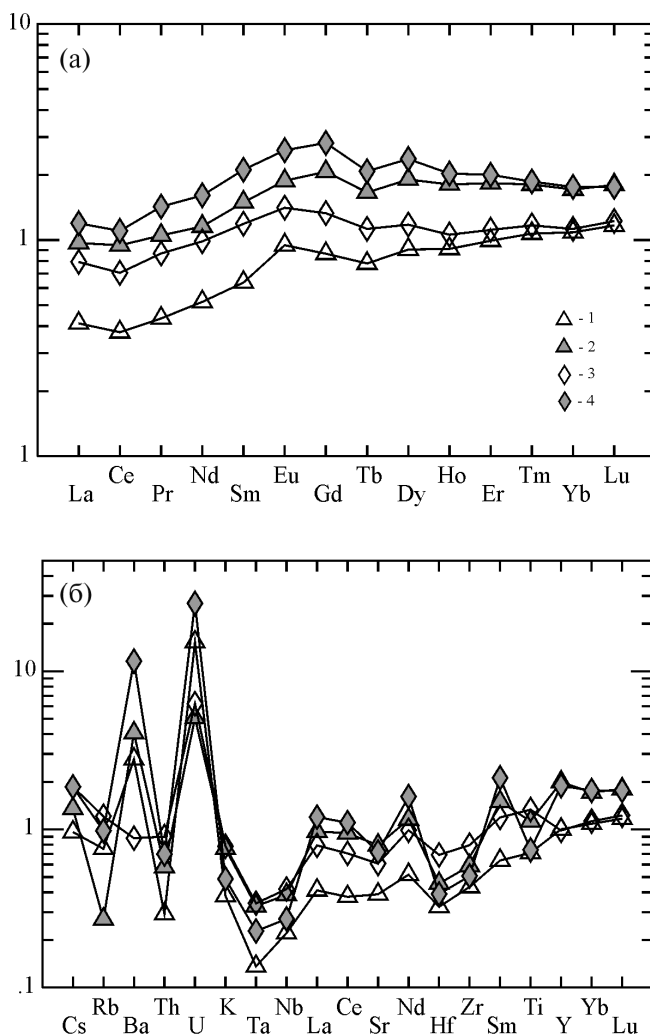


Рис. 1. Пример спектров распределения редких (б) и редкоземельных (а) элементов в силицитах (треугольники) и аргиллитах (ромбы) баженовской свиты (скважина 14, Мултановская площадь) — нормировано по [13]. Условные обозначения, глубина: 1 — 2855; 2 — 2879,4; 3 — 2845; 4 — 2850,7 м.

Битуминозные аргиллиты баженовской свиты тёмно-коричневого до чёрного цвета, алевро-пелитовой структуры, тонкослоистой текстуры. Содержание кварца изменяется от 10 до 50%, с двумя модальными значениями 25–30 и 40–45%. Кварц в основном аутигенный, от криптозернистого до халцедоновидного, обычно пелитовой размерности. Обломки, количество которых редко превышает 3–5%, представлены угловатыми зёрнами плагиоклаза и кварца, редко — калишпата, магнетита, рутила и др. Цемент глинисто-гидрослюдистый с неравномерной пропиткой битумом. Среди слоистых силикатов преобладают гидрослюды и иллит-сметит; суммарно содержание глинистых минералов варьирует от 25 до 75%, с модой в 35–40%. Характерна вкрапленность микроглобулярного пирита, в сра-

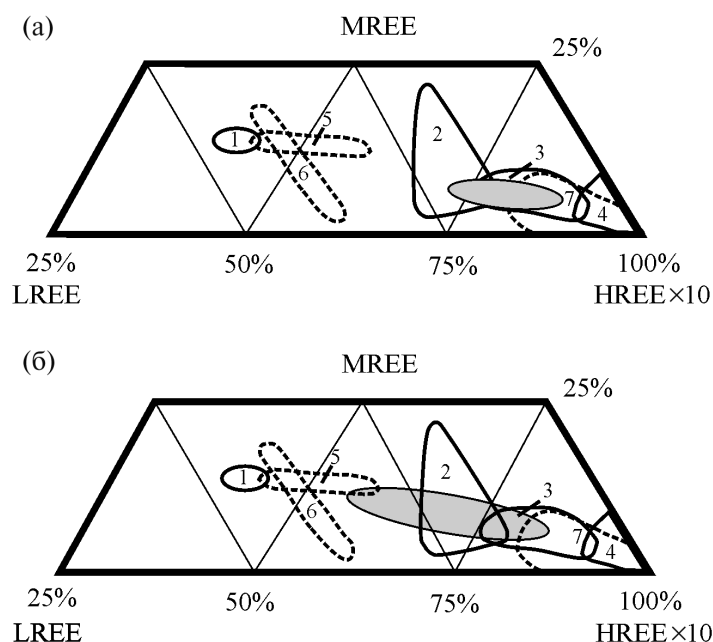


Рис. 2. Лантаноиды в силицитах (а) и аргиллитах (б) баженовской свиты (области составов показаны серым цветом) на диаграмме LREE–MREE–(HREE × 10). Выделены поля (по [10]): сплошной линией – растворённые в воде современных озёр, морей и океанов: 1 – озёрные воды; 2 – воды морей, заливов внутреннего шельфа; 3 – воды открытого океана, внешнего шельфа Атлантики; 4 – глубинные воды донных котловин открытого океана; штриховой линией – 5 – осадки озёр, 6 – осадки Чёрного моря, 7 – осадки осевой части Восточно-Тихоокеанской провинции, рифтовых зон, центральных частей Мирового океана.

стании с ним отмечается марказит. Обычен карбонат – кальцит и/или доломит. Аксессуары представлены апатитом, баритом, сфалеритом и др. Состав аргиллитов может заметно варьировать по разрезу в пределах одной скважины.

Аргиллиты характеризуются пологими спектрами распределения лантаноидов с $(La/Yb)_n = 0,66–0,97$ (редко до 1,56). Сумма лантаноидов в аргиллитах составляет 111–202 г/т. Аргиллиты являются менее глубоководными образованиями (по сравнению с силицитами), их фигуративные точки (рис. 2б) попадают в основном в поля морей и заливов внутреннего шельфа. Отношение $Ce/Ce^* = Ce_n/(La_n + Pr_n)/2$ составляет 1,0 (среднее из 58 анализов), что характеризует эпиконтинентальные обстановки осадкообразования [14, 15]. Коэффициенты $La/Sm = 4,3$; $Ce/Sm = 8,8$; $Yb/Sm = 0,5$; $Y/Sm = 4,5$ определяют [9] мелководно-морские (прибрежные) условия седиментации. Отношение $\Sigma Ce/\Sigma Y$ составляет в аргиллитах свиты 2,6, что характерно для семиаридного климата.

Карбонатные породы встречены в виде прослоев в аргиллитах и силицитах. Они делятся на продукты геохимического осаждения кальцита и/или доломита, а также метасоматические образования, которые проявлены очень локально. Анализ распре-

деления лантаноидов в карбонатных породах показал, что они изофациальны силицитам и аргиллитам.

Таким образом, результаты исследований указывают на формирование баженовских отложений в относительно мелководных условиях – в пределах внутреннего и внешнего шельфа эпиконтинентального моря типа Карского или Восточно-Сибирского, относительно глубоководная часть которого находилась севернее широтного Приобья. Эти выводы подтверждают некоторые прежние оценки ([5] и др.), но получены на основании совершенно других и независимых данных. Геохимическое изучение разных типов пород баженовской свиты дало идентичные результаты, что также свидетельствует в пользу достоверности полученных выводов.

Источник финансирования. Исследования сотрудников ИГГ УрО РАН проводятся при поддержке Российского научного фонда, проект № 16–17–10201.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушатинский И.Н., Харин В.С. В сб.: Строение и нефтегазоносность баженовских отложений Западной Сибири. Тр. ЗапСибНИГН. Тюмень, 1985. С. 54–64.
2. Гурари Ф.Г., Вайц В.Я., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Перозин Г.Н., Предтеченская Е.А., Рудниц-

- кая Д.И., Стасова О.Ф., Фролов В.Х., Фролова В.А. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. М.: Недра, 1988, 199 с.
3. Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Казаненков В.А., Казарбин В.В., Махнева Е.Н., Ямковская Л.Я. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39 (11). С. 1477–1491.
 4. Занин Ю. Н., Замирайлова А. Г., Эдер В. Г., Красавчиков В.О. // Литосфера. 2011. № 6. С. 38–54.
 5. Волков В.А. Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры. Ханты-Мансийск, 2014. Т. 1. С. 98–109.
 6. Зубков М.Ю. // Гор. ведомости. 2016. № 3/4. С. 46–68.
 7. Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. // Геология и геофизика. 2016. Т. 57 (11). С. 2034–2043.
 8. Иванов К.С. // Урал. геол. журн. 2016. № 6. С. 3–10.
 9. Балашов Ю.Л. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 258 с.
 10. Шатров В.А. Лантаноиды как индикаторы обстановок осадкообразования (на основе анализа опорных разрезов протерозоя и фанерозоя Восточно-Европейской платформы). Автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. М., 2007, 36 с.
 11. Предовский А.А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980. 152 с.
 12. Оксенюк Е.Е., Козлов И.В., Баширов Р.И. // Недропользование-XXI век. 2018. №1. С. 30–37.
 13. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
 14. Murray R.W., Buchholtz ten Brink M.R., Jones D.L., Gerlach D.C., Russ G.Pr. // Geology. 1990. V. 18. P. 268–271.
 15. Murray R. W., Buchholtz ten Brink M. R., Brumsack W., Gerlach D.C., Russ G. Pr. // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1991. V. 55, P. 2453–2466.

PALEOGEOGRAPHY OF THE BAZHENOV FORMATION OF WEST SIBERIA ACCORDING TO THE DISTRIBUTION OF RARE EARTH ELEMENTS

K. S. Ivanov¹, V. A. Volkov², N. B. Vakhrusheva¹

¹ Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ekaterinburg, Russian Federation

² Autonomous Institution of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra “V.I. Shpilman research and analytical Centre
for the rational use of the subsoil”, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS V.A. Koroteev June 29, 2018

Received July 11, 2018

The Bazhenov formation is presented by the Late Jurassic black shales. Russia is on the first place on the reserves of “shale oil” that is mostly connected with the Bazhenov formation. For the reconstructions of sedimentation environments of the main types of the formation rocks the REE distributions have been used. The results point out to the formation of the Bazhenov deposits in relatively shallow environments – within the limits of inner and outer shelf of the epicontinental sea, the type of the Kara or East-Siberian Sea, relatively deep-water part of which is located north of the Latitudinal Priobye. These results confirm some previous estimates, but have been obtained on the base of quite different independent data. The geochemical study of different types of rocks of the Bazhenov formation gave the identical results, that testify in favor of reliability of the results obtained.

Keywords: Western Siberia, Bazhenov formation, oil, Geochemistry of rare earth elements, paleogeography.