

Многоуровневая литологическая типизация пород баженовской свиты

Multi-level lithological typization of rocks of the Bazhenov formation

V.D. Nemova¹¹LUKOIL-Engineering LLC, RF, Moscow

E-mail: Varvara.Nemova@lukoil.com

Keywords: Bazhenov formation, source formation, oil reservoirs, lithological typization of deposits, material composition, reservoir productivity, post-sedimentation transformations

The Bazhenov formation is the main source formation in Western Siberia and contains oil-saturated reservoirs. The Bazhenov formation is promising for oil production, but at the same time it is extremely complex. The article proposes a multi-level lithological typization of sediments, developed on the basis of the study of more than 100 wells with the core of the Bazhenov formation within the Khanty-Mansiysk Autonomous District. Lithotipization contains 4 levels of detail. The first level includes two classes of rocks: carbonate-clay-carbon-siliceous (oil source rocks) and siliceous-carbonate (potential reservoirs). The rocks of the first class are oil source, contain liquid hydrocarbons in a sorbed state, which cannot be extracted using existing technologies. The rocks of the second class are also oil source, however, they often have reservoir properties, which is justified by a comparison of core studies with well and field studies to determine the intervals of inflow. The second level of lithotipization contains seven groups of lithotypes, which are divided by the ratio of rock-forming components. Groups of lithotypes of the first class have their location in the section and differ in logging curves; it is extremely difficult to separate the groups of lithotypes of the second class according to the logging data and they can be found throughout the section. The third level of lithotipification consists of 11 lithotypes, distinguished by mineral composition, organic matter content, structural and texture features. The fundamental difference between this typification and the previous ones is the consideration of the texture features of the rocks, which allows you to immediately separate the source rocks and potential reservoirs. The fourth level of lithotipization is the mapping of the variety of rocks of the Bazhenov formation, where 33 subtypes of rocks are distinguished, which differ in mineral and biogenic inclusions, impurities, textures, and secondary transformations. Isolation of lithological subtypes of rocks with a characteristic set of faunal residues and impurities is necessary during detailed facies reconstructions. This classification allows the transition from studying rocks in transparent sections to building a three-dimensional geological model without losing a large amount of detailed lithological information. Confidently interpret the well data, compare geological sections of the suite according to core and GIS data with each other, determine the factors that control the productivity of the stratum, establish patterns of distribution of properties of potential reservoirs.

Баженовская свита является основной нефтематеринской формацией Западной Сибири, добыча нефти из которой возможна при использовании современных технологий разработки. Промышленные притоки нефти из баженовских пластов получены более чем на 70 месторождениях, но опытно-промышленная разработка ведется всего на нескольких по следующим причинам. Во-первых, в Западной Сибири довольно много традиционных запасов углеводородов в песчаных коллекторах, расположенных как выше баженовского горизонта, так и под ним. Во-вторых, традиционные методики выделения коллекторов, картирования их свойств по площади и подсчета запасов практически неприменимы для отложений баженовской свиты, что часто создает огромные трудности при планировании на ней геолого-разведочных работ. В-третьих, при опробовании выявлена значительная дифференциация отложений по продуктивности, даже на небольшом расстоянии в первые сотни метров. Все это обуславливает низкую степень изученности баженовской свиты.

Несмотря на стремительное развитие технологий, появление большого числа инновационных методов геофизи-

В.Д. Немова¹, К.Г.-М.Н.¹ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

Адрес для связи: Varvara.Nemova@lukoil.com

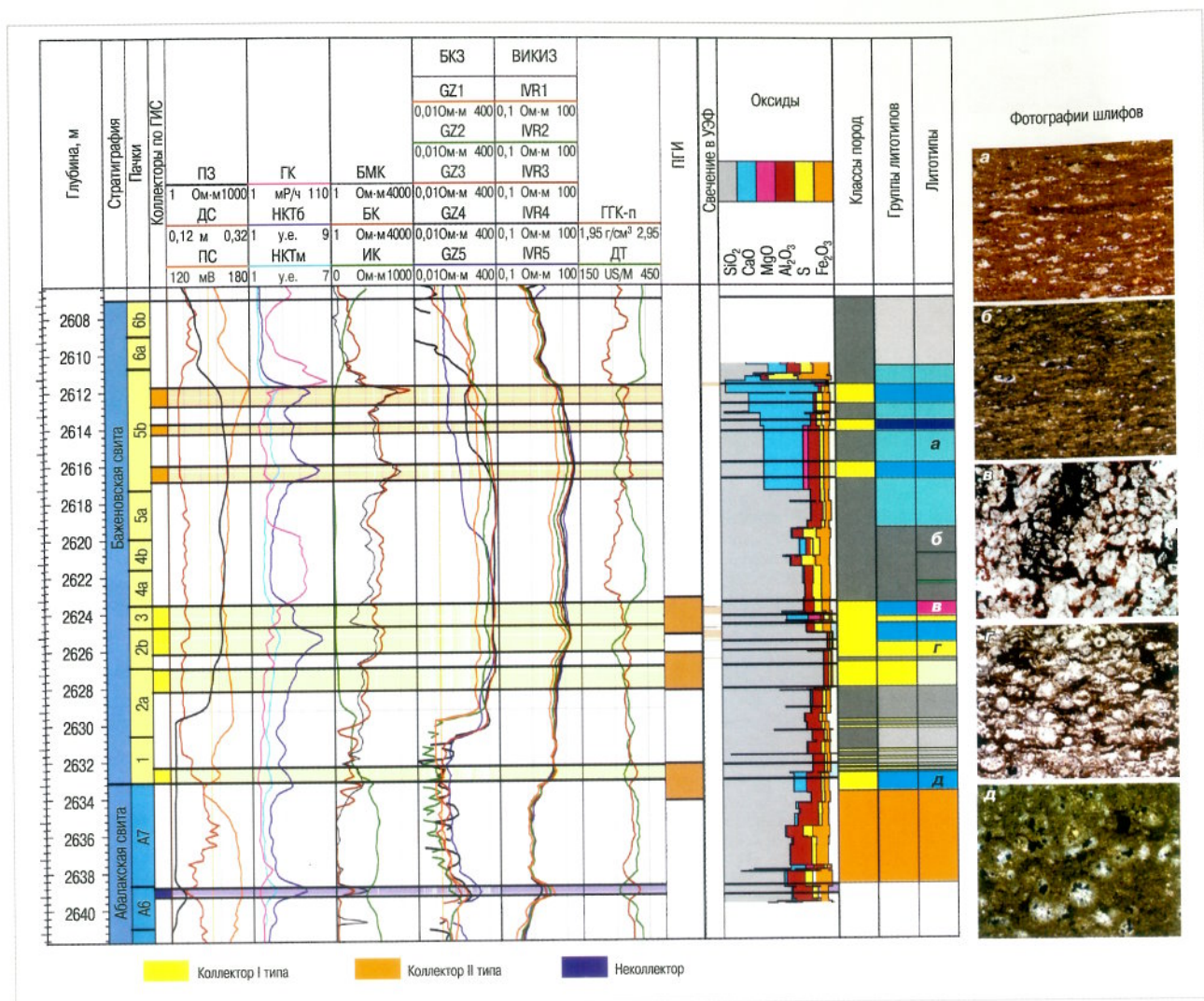
Ключевые слова: баженовская свита, нефтематеринская формация, коллекторы нефти, литотипизация отложений, осадконакопление, вещественный состав, продуктивность толщ, постседиментационные преобразования

DOI: 10.24887/0028-2448-2019-8-13-17

ческих исследований скважин (ГИС), лабораторного обораживания для специализированных исследований различных свойств пород, изучение сложнопостроенных объектов необходимо начинать с керна. Исследование керна позволяет определить минерально-компонентный состав отложений, провести их типизацию, объединив в группы, учесть изменчивость разреза, характер и направленность постседиментационных процессов, предположить морфологию геологических тел. Все это способствует систематизации знаний об объекте, позволяя перейти от изучения керна к дистанционным методам исследований и уверенной интерпретации их результатов.

В данной статье предложена многоуровневая литотипизация отложений баженовской свиты, которую можно использовать для решения различных практических задач. Она разработана на основании изучения керна более 100 разрезов баженовского горизонта (4000 м) в пределах ХМАО (единичные на юге ЯНАО). Керна отличается высокой степенью сохранности и представительностью. Изучено, описано и сфотографировано более 3000 шлифов (В.Д. Немова, М.В. Ильина, М.Е. Смирнова, И.М. Гусев, Е.В. Щепетова). Все данные систематизированы в едином ключе.

В литотипизации существуют четыре уровня детальности (см. рисунок). Первый уровень включает два класса пород: 1) карбонатно-глинисто-углеродисто-кремнистые; 2) кремнисто-карбонатные. Породы первого класса являются нефтематеринскими, в них жидкие углеводороды присутствуют в сорбированном состоянии и не могут быть извлечены с использованием существующих технологий. Это тонко-слоистые, тонко-линзовиднослоистые породы, обогащенные глинистыми компонентами и органическим веществом. Породы второго класса также являются нефтематеринскими с содержанием органического вещества $C_{орг}$ от 1–3 до 5–8 %, однако именно в них часто находится миграционно способная нефть, поступающая в скважины, т.е. эти породы могут обладать коллекторскими свойствами. Часто в породах второго класса отчетливо видны реликты первич-



Пример разреза скважины в интервале баженовской свиты с результатами интерпретации данных ГИС и многоуровневой литологической типизации пород, проведенной по керну и шлифам (цвета соответствуют цветам в таблице): а – углеродисто-глинисто-карбонатно-кремнистые породы с реликтами радиолярий и кокколитофорид; б – глинисто-кремнистые высокоуглеродистые породы с реликтами радиолярий, фораминиферами; в – вторичный доломит по радиоляриту; г – радиоляриты; д – вторичные известняки по радиоляритам

ной биогенной структуры (в основном радиоляриевой), встречаются массивные и отчетливо линзовидные текстуры – свидетельства теченьевых процессов и перемива отложений. Для них характерны низкое содержание глинистых компонентов и органического вещества, окремнение и вторичная карбонатизация пород.

Классы пород уверенно отличаются друг от друга по каротажным характеристикам: породы второго класса на кривых ГИС определяются как уплотненные интервалы, выделяются локальными снижениями показаний гамма-каротажа (ГК), увеличенными показаниями нейтронного каротажа (НК). На основе выделенных по керну классов пород, увязанных с данными ГИС, можно уверенно сопоставлять разрезы скважин между собой.

Второй уровень литотипизации содержит шесть групп литотипов. Породы каждого класса разбиты на три группы. Следует отметить, что и ранее предлагались обобщенные литотипизации [1]. Класс нефтематеринских пород можно разделить по соотношению в нем породообразующих компонентов на кремнисто-глинистые, глинисто-кремнистые, углеродисто-глинисто-кремнистые, углеродисто-глинисто-карбонатно-кремнистые. Класс потенциальных коллекторов разделяется на радиоляриты, вторичные карбонаты по радиоляритам, кремнисто-фосфатно-карбонатные породы,

не связанные с радиоляритами. Группы литотипов первого класса можно различить между собой по каротажным кривым, группы литотипов второго класса разделить по данным каротажа крайне сложно. Группа кремнисто-глинистых и глинисто-кремнистых пород выделяется по низким показаниям ГК и потенциал-зонда (ПЗ), повышенным показаниям нейтронного каротажа (НКТ), группа углеродисто-глинисто-кремнистых пород – по высоким показаниям ГК и ПЗ при низких показаниях НКТ; класс углеродисто-глинисто-карбонатно-кремнистых пород выделяется наиболее высокими показаниями ГК, низкими показаниями НКТ и ПЗ.

Кроме того, в разрезе баженовской свиты группы пород первого класса имеют свое местоположение: в кровле и подошве встречаются кремнисто-глинистые породы; в нижней толще баженовской свиты – глинисто-кремнистые породы; в верхней – углеродисто-глинисто-кремнистые породы, перекрытые углеродисто-глинисто-карбонатно-кремнистыми отложениями. Группы пород второго класса могут встречаться по всему разрезу, однако группа кремнисто-фосфатно-карбонатных пород обычно приурочена к верхней толще баженовской свиты.

Третий уровень предлагаемой литотипизации – собственно литотипы пород. В основе их выделения минераль-

ный состав, содержание органического вещества, структурно-текстурные особенности пород. В баженовской свите предлагается выделять 11 литотипов. Принципиальным отличием данной типизации от предыдущих является учет текстурных особенностей пород, который позволяет сразу разделить нефтематеринские породы и потенциальные коллекторы, а также учет генезиса пород. Обычно на этапе литотипизации генетический анализ не проводится, это следующий этап исследований. Однако значительный накопленный объем данных литологических исследований позволил уверенно обосновать некоторые принципиальные моменты, связанные с генетической интерпретацией пород баженовской свиты, что дает возможность использовать полученные результаты уже на этапе литотипизации.

Ниже приведена краткая характеристика основных литотипов.

Литотипы нефтематеринских пород

– Глинисто-кремнистые и кремнисто-глинистые углеродистые породы линзовидно-пятнистые от светло- до темно-коричневого цвета, с колломорфной или тонкочешуйчатой алевро-пелитовой структурой, тонко-горизонтально слоистой, микро-линзовидной текстурой. Основная масса породы представлена слабо раскристаллизованным кремнеземом (халцедон, опал-КТ, единичные зерна терригенного кварца), чешуйками глин (преимущественно смектит-иллиты). Пирит рассеянный, заполняет органические остатки планктона. Органическое вещество послойно обогащает породы. Присутствуют перекристаллизованные скелеты радиолярий, алевритовая примесь плохо окатанных зерен кварца и полевых шпатов (до 5 %), иногда породы послойно карбонатизированы или в них рассеяны единичные кристаллы карбонатов (до 5 %), присутствуют редкая примесь зерен глауконита, фораминиферы и ихтиодетрит. Поровое пространство отсутствует.

– Глинисто-кремнистые и кремнисто-глинистые высокоуглеродистые породы (см. рисунок) отличаются от предыдущих более темной окраской за счет высокого содержания органического вещества, в значительной степени маскирующего минеральные компоненты пород. В данном литотипе больше остатков радиолярий, обычно сплюснутых и перекристаллизованных, редко с сохранившейся формой кремнистого или карбонатизированного скелета, частично замещенного пиритом. Встречаются прослои или обломки двустворок, ихтиодетрит. Поровое пространство отсутствует.

– Углеродисто-глинисто-карбонатно-кремнистые породы (см. рисунок) выделяются появлением в основной массе большого количества кокколитофорид, что придает породе шагреновую поверхность. Кокколитофориды уверенно диагностируются на растровом электронном микроскопе. Состав пород существенно карбонатный (кальцит), не свойственный другим разностям нефтематеринских пород. Породы часто имеют порфировидную текстуру в результате присутствия скелетов радиолярий удовлетворительной сохранности (слабо сплюснутых). Характерно наличие включений карбонатных и фосфатных линз, ихтиодетрита, пелоидно-интракластовых известняков. Поровое пространство отсутствует.

– Туфы и туффиты встречаются в разрезах в виде миллиметровых прослоев (до 2 см), имеют яркий рыжий цвет

в ультрафиолетовом свете, представляют собой тонкослоистые породы с высоким содержанием вулканокластического пеплового материала. Поровое пространство отсутствует.

Литотипы пород потенциальных коллекторов

– Силициты – кремнистые однородные породы, светло-коричневые, с колломорфной, комковатой, неясно биоморфной структурой, неясно слоистой или массивной текстурой, состоящие из плохо раскристаллизованного кремнезема, с алевритовой примесью зерен кварца и полевых шпатов, единичными перекристаллизованными раковинами радиолярий, остатками органического вещества в виде тонких линз и ниток, рассеянным пиритом, ихтиодетритом. Поровое пространство отсутствует, однако порода может быть трещиноватой.

– Силициты радиоляритовые светло-коричневые, бурые породы с отчетливо биоморфной радиоляриевой структурой, массивной или неясно слоистой текстурой, сложенные окремнелыми (преимущественно халцедоном) остатками скелетов радиолярий, изредка слабо карбонатизированными, расположенными в глинисто-углеродистой основной массе породы, отмечается наличие углеводов внутри раковин, иногда встречаются единичные зерна глауконита, ихтиодетрит. Поровое пространство располагается внутри незалеченных камер радиолярий, в межформенном пространстве пород.

– Радиоляриты (см. рисунок) – светло-коричневые, бурые породы с отчетливо биоморфной радиоляриевой структурой, массивной или неясно слоистой текстурой, целиком сложенные окремнелыми (преимущественно халцедоном) остатками скелетов радиолярий, иногда слабо карбонатизированными, с примазками глин, органическим веществом в межскелетном пространстве, в некоторых случаях отмечается наличие углеводов внутри раковин, редко встречаются единичные зерна глауконита, ихтиодетрит. Поровое пространство располагается внутри незалеченных камер радиолярий, в межформенном пространстве пород.

– Доломиты по радиоляритам (см. рисунок) – темно-коричневые породы, часто пятнистые, со средне-мелкозернистой структурой, массивные или неясно слоистые, в основном представлены идиоморфными кристаллами доломита и замещенными кремнеземом раковинами радиолярий. Раковины часто пиритизированы, органическое вещество рассеяно по породе. Поровое пространство располагается внутри незалеченных камер радиолярий, в межформенном пространстве пород.

– Известняки по радиоляритам (см. рисунок) – темно-коричневые породы, часто пятнистые, с биоморфной радиоляриевой структурой, микритовые или средне-мелкозернистые. Основная часть представлена раковинами радиолярий, полностью выполненными средними и мелкими кристаллами кальцита, в межраковинном пространстве – микритовым кальцитом, раковины часто пиритизированы, органическое вещество рассеяно по породе. Поровое пространство отсутствует, однако порода может быть трещиноватой.

– Известняки пелоидно-интракластовые – породы рыжего цвета, пятнистые, с микритовой, органогенно-обломочной и другими структурами; неяснослоистой, линзовидной или беспорядочной текстурой, сложенные кокколитофори-

Стратиграфическая приуроченность	Доминирующий состав	Классы пород	Группы литотипов	Литотипы	Особенности пород	Подтипы
Верхне туллейская подсвита/ фроловская свита	Глинистый (более 50 % глинистых минералов)			Глинисто-кремнистые породы низко-углеродистые ($C_{орг} < 5\%$)	Преимущественно кремневый состав, однородная массивная порода.	
				Глины низкоуглеродистые ($C_{орг} < 5\%$)	Гомогенные. Погасание монокристаллом. Могут быть карбонатизированными и пиритизированными	С тонкой параллельной слоистостью С тонкой линзовидной слоистостью
Баженовский горизонт (бажендовская свита и нижнетуллейская подсвита)	Кремнистый (Более 50 % кремнезема)	Нефтематеринские карбонатно-глинисто-кремнистые углеродистые породы (Н)	Кремнисто-глинистые, глинисто-кремнистые породы (Н-ПК)	ТUFFы и тUFFиты	Вулканокластов более 50 %	*Единичные миллиметровые прослои; яркое рыжее свечение в ультрафиолетовом свете
				Кремнисто-глинистые углеродистые породы ($C_{орг} = 5-10\%$)	Тонко-параллельно-и линзовидно-слоистые.	С рыбьими костями (более 25 %)
				Глинисто-кремнистые углеродистые породы ($C_{орг} = 5-10\%$)	Тонко-параллельно-и линзовидно-слоистые.	С остатками двустворок Алевритистые (более 10 % алевритовой примеси) Карбонатистые (более 10 % карбонатной примеси) Сильно пиритизированные (более 25 % пирита) С остатками двустворок С рыбьими костями (более 25 %)
				Углеродисто-глинисто-кремнистые породы (Н-УПК)	Тонко-параллельно-и линзовидно-слоистые	Карбонатистые (более 10 % карбонатной примеси) Глинистые (преобладание глин в составе) Сильно пиритизированные (более 25 % пирита) С остатками двустворок С рыбьими костями (более 25 %)
				Углеродисто-глинисто-кремнистые породы (Н-УПКК)	Содержат большое число кокколитофорид, Тонко-параллельно-и линзовидно-слоистые. Шагреновая поверхность пород в шлифах. Встречаются фосфаты, разнообразные известняки.	Глины известковистые Известняк кокколитофоридовый Сильно пиритизированные (более 25 % пирита) С остатками двустворок С присутствием кальцифер С рыбьими костями (более 25 %)
			Радиоляриты (К-Р)	Силициты массивные	Кремневая однородная массивная порода	Сильно пиритизированные (более 25 % пирита)
				Силициты радиоляриевые (<50 % скелетов в породе)	Кремневая однородная массивная порода с остатками либо реликтами радиолярий	Сильно пиритизированные (более 25 % пирита)
				Радиоляриты (>50 % скелетов в породе)	Биоморфная структура	Сильно пиритизированные (более 25 % пирита) С отчетливо биоморфной структурой, поровое пространство С рыбьими костями (более 25 %)
		Кремнисто-карбонатные породы (К)	Вторичные карбонаты, замещившие радиоляриты (К-КР)	Доломиты по радиоляритам		Сильно пиритизированные (более 25 % пирита)
				Известняки по радиоляритам		Сильно пиритизированные (более 25 % пирита) С пойкилитовым цементом С карбонатными пелоидами С фосфатными и карбонатными пелоидами
			Кремнисто-фосфатно-карбонатные породы (К-КФК)	Известняки пелоидно-интракластовые	Генетически тяготеют к группе литотипов В4. Шагреновая поверхность пород в шлифах	Интракластовые Пелоидно-интракластовые С рыбьими костями (более 25 %) Карбонатизированные спиккулиты
	Карбонатный (более 50 % карбонатного вещества)			Известняки/доломиты брекчированные		
				Первичные известняки	Известняки конкреционные, септариевые	Большое количество подтипов
				Глины кремнистые	Глины с кремневыми линзами, с остатками радиолярий, карбонатизированными	Карбонатистые (10-50 % карбонатной примеси)
				Глины с примесью	Малокремнистые (до 25 %). Биотурбитовые, с алевритовой примесью, с кальцитом, глауконитом	Алевритистые (10-25 % алевритовой примеси) Карбонатистые (10-50 % карбонатной примеси) С глауконитом (от 5 до 50 %)
				Глауконититы	Породы зеленого цвета	
				Алевро-глинистые, глинисто-алевритовые породы	Постоянное присутствие алевритового компонента (от 25 %)	С глауконитом (от 5 до 50 %)
Абалакская свита	Глинистый (более 50 % глинистых минералов)					

дами (основной объем породы), в которых встречаются кальцитовые или фосфатные пелоиды, обломки различных карбонатов, фораминиферы, радиолярии, часто кальцитизированные, ихтиодетрит. Данные породы могут иметь разнообразный облик. Поровое пространство отсутствует, однако порода может быть трещиноватой.

Приведенная краткая характеристика литотипов баженовской свиты позволит систематизировать результаты изучения пород в прозрачных шлифах. Литологические типы пород баженовской свиты значительно разнообразнее, поэтому далее предлагается еще один уровень типизации (четвертый) – 33 подтипа пород, различающихся включениями (минеральными и биогенными), примесями, текстурами, вторичными преобразованиями. Многоуровневая литотипизация пород баженовской свиты представлена в таблице.

Практическое применение литотипизации

Использование многоуровневой литотипизации позволяет структурировать результаты изучения большого объема шлифов, которые часто остаются невостребованными при построении геологических моделей, хотя содержат важную геологическую информацию об объекте исследований.

Выделение литологических подтипов пород с характерным набором фаунистических остатков и примесей необходимо при проведении детальных фациальных реконструкций. Например, появление значительного количества ихтиодетрита в породах указывает на усиление гидродинамической активности в бассейне, формирование конденсированных прослоев, обогащенных костями рыб, с которыми ассоциируются высокочемки коллекторы нефти. Литотипы могут быть уверенно объединены в группы и классы пород, что позволит использовать результаты литологических исследований при интерпретации данных ГИС, корреляции разрезов скважин, построении трехмерных моделей и др.

Детальные седиментологические исследования показали, что, казалось бы, монотонные разрезы баженовской свиты характеризуются частой сменой условий осадконакопления, в частности, изменением гидродинамики вод морского бассейна, кислородного режима, на которые накладываются процессы вторичных преобразований пород. Вместе эти условия привели к огромному разнообразию литологических типов и подтипов, на основании которых затруднительно сопоставлять разрезы скважин между собой. Для надежной межскважинной корреляции необходимо переходить к группам литотипов, классам пород либо использовать ассоциации литотипов – пачки [2].

При разработке баженовских отложений всегда стояли вопросы, чем контролируется продуктивность разрезов и как объяснить ее высокую изменчивость по площади. Сравнение разрезов скважин, по которым имелись данные анализа керн, каротажа и промыслово-геофизических исследований (ПГИ), позволило установить, что интервалы притока в геологическом разрезе связаны с породами второго класса – уплотненными кремнисто-карбонатными породами. Более того, сравнение нефтематеринских пород, развитых на одних и тех же стратиграфических уровнях, показало их довольно высокую степень выдержанности. Можно сделать вывод, что в пределах больших площадей (более 10 км²) нефтематеринские породы имеют достаточно выдержанный минерально-компонентный состав, который по определенным законам

плавно изменяется по разрезу, за исключением карбонизации и локальных размывов, обладающих своими признаками [3].

Породы второго класса (потенциальные коллекторы) отличаются высокой изменчивостью минерального состава по латерали. Уплотненные интервалы имеют закономерное положение в разрезе, их минеральный состав изменяется от кремнистого до известкового и доломитового. Согласно приведенным данным продуктивность разреза баженовской свиты контролируется различиями именно в составе пород второго класса [4], факторы формирования которых определяют продуктивность баженовской свиты.

Таким образом, на основании результатов исследований большого объема кернового материала баженовской свиты разработана и предложена для практического использования многоуровневая классификация пород, позволяющая интерпретировать и сравнивать геологические разрезы баженовской свиты по данным анализа керн и ГИС между собой даже при неполном выносе керн или его отсутствии в ряде скважин, а также определять факторы, контролирующие продуктивность толщи и устанавливать закономерности распределения свойств потенциальных коллекторов.

Автор выражает благодарность д.г.-м.н., проф. В.Т. Фролову, И.В. Панченко (ЗАО «МиМГО»), д.г.-м.н., проф. Е.Ю. Барабошкину, к.г.-м.н. Е.В. Щепетовой (ГИН РАН) за дискуссии при разработке литологической типизации пород баженовской свиты, а также М.Е. Смирновой, М.В. Ильиной, И.М. Гусеву (ЗАО «МиМГО») за большую работу по описанию и фотографированию шлифов – апробацию предложенной типизации.

Список литературы

1. Коровина Т.А. Закономерности формирования и распространения коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты для оценки перспектив нефтегазосности западного склона Surgutского свода: дис. ... геол.-минер. наук. – Санкт-Петербург, 2004.
2. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения и ГИС / И.В. Панченко, В.Д. Немова, М.Е. Смирнова (и др.) // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 22–34.
3. Панченко И.В. Размывы в баженовских отложениях Западной Сибири: значение для корреляций разрезов и прогноза коллекторов // Тезисы 3-го научно-практического семинара EAGE/SPE «Наука о сланцах». – М., 2019.
4. Литологические особенности строения нижнетурлейской подсвиты Фроловской НГО в связи с особенностями ее нефтеносности / А.Д. Алексеев, В.Д. Немова, В.Н. Колосков, С.С. Гаврилов // Геология нефти и газа. – 2009. – № 2. – С. 27–33.

References

1. Korovina T.A., *Zakonomenosti formirovaniya i rasprostraneniya kolektorov v bituminoznykh otlozheniyakh bazhenovskoy svity dlya otsenki perspektiv neftegazonosnosti zapadnogo sklona Surgut'skogo svoda* (Patterns of formation and distribution of reservoirs in the bituminous sediments of the Bazhenov formation to assess the oil and gas potential of the western slope of the Surgut arch): thesis of candidate of geological and mineralogical science. St. Petersburg, 2004.
2. Panchenko I.V., Nemova V.D., Smirnova M.E. et al., *Stratification and detailed correlation of Bazhenov horizon in the central part of the Western Siberia according to lithological and paleontological core analysis and well logging* (In Russ.), *Geologiya nefiti i gaza*, 2016, no. 6, pp. 22–34.
3. Panchenko I.V., *Razmyvy v bazhenovskikh otlozheniyakh Zapadnoy Sibiri: znachenie dlya korrelyatsiy razrezov i prognoza kolektorov* (Scour in the Bazhenov sediments of Western Siberia: the value for the correlation of sections and reservoir forecast). Proceedings of 3rd EAGE/SPE scientific workshop "Nauka o slantsakh" (The science of shale), Moscow, 2019.
4. Alekseev A.D., Nemova V.D., Koloskov V.N., Gavrilov S.S., *Lithological peculiarities of Lower Turleimsky subsuite structure of Frolovsky oil-and-gas-bearing area in view of its oil potential* (In Russ.), *Geologiya nefiti i gaza = The Journal Oil and Gas Geology*, 2009, no. 2, pp. 27–33.