



УДК 553.983

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ  
НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА НА ПРИМЕРЕ  
БИТУМИНОЗНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКОЙ  
БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ**

**STRUCTURAL FEATURES OF NON-TRADITIONAL TYPE RESERVOIR  
ROCKS ON THE EXAMPLE OF BITUMINOUS DEPOSITS  
OF THE BAZHENOV OIL AND GAS SOURCE FORMATION**

**Жарикова Наиля Халимовна**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры разработки и эксплуатации  
нефтяных и газовых месторождений,  
Санкт-Петербургский горный университет  
Zharikova\_Nkh@pers.spmi.ru

**Савенок Ольга Вадимовна**

доктор технических наук,  
профессор кафедры разработки и эксплуатации  
нефтяных и газовых месторождений,  
Санкт-Петербургский горный университет  
Savenok\_OV@pers.spmi.ru

**Кусова Лизавета Геннадиевна**

студентка направления подготовки  
21.05.06 «Нефтегазовая техника и технологии»,  
Санкт-Петербургский горный университет  
kusovalisa@gmail.com

**Аннотация.** В статье проведено выявление особенностей строения, состава, битуминозности и особенностей пустотного пространства пород-коллекторов нетрадиционного типа на примере битуминозных отложений нефтегазоматеринской баженовской свиты. Выполнен анализ предыдущих исследований с целью определения положения в разрезе и на территории Западной Сибири нефтегазоматеринских отложений; установлена степень изученности и геологического строения отложений баженовской свиты; выявлены макроскопические особенности (текстура, включения, состав и др.) пород на основе описания керны по разрезам скважины № 4 рассматриваемой площади; проведена типизация пород баженовской свиты по комплексу данных; проведён анализ пустотного пространства и выяснение условий образования нетрадиционных коллекторов в нефтегазоматеринских толщах.

**Ключевые слова:** территориальное и стратиграфическое положение отложений баженовской свиты; нефтегазоносность отложений баженовской свиты; выделение литотипов в разрезе скважины; характеристика литотипов по результатам описания керны; геофизическая характеристика литотипов; петрографические особенности литотипов; вещественный состав литотипов по результатам рентгенофазового анализа; пустотно-поровое пространство и распределение битумоидов в литотипах.

**Zharikova Nailia Khalimovna**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor of the department  
of development and operation  
of oil and gas fields,  
Saint Petersburg mining university  
Zharikova\_Nkh@pers.spmi.ru

**Savenok Olga Vadimovna**

Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the department of development  
and operation of oil and gas fields,  
Saint Petersburg mining university  
Savenok\_OV@pers.spmi.ru

**Kusova Lizaveta Genadievna**

Student training direction 21.05.06  
«Oil and gas equipment and technologies»,  
Saint Petersburg mining university  
kusovalisa@gmail.com

**Annotation.** The article reveals the features of the structure, composition, bituminousness and features of the void space of reservoir rocks of an unconventional type using the example of bituminous deposits of the Bazhenov oil and gas source formation. An analysis of previous studies was carried out in order to determine the position in the section and on the territory of Western Siberia of oil and gas source deposits; the degree of knowledge and geological structure of the deposits of the Bazhenov formation was established; macroscopic features (texture, inclusions, composition, etc.) of rocks were identified based on the description of the core from the sections of well No 4 of the area under consideration; typification of the rocks of the Bazhenov formation was carried out according to the data set; an analysis of the void space and clarification of the conditions for the formation of unconventional reservoirs in oil and gas source strata was carried out.

**Keywords:** territorial and stratigraphic position of the deposits of the Bazhenov formation; oil and gas potential of the deposits of the Bazhenov formation; identification of lithotypes in the well section; characterization of lithotypes based on the results of core description; geophysical characteristics of lithotypes; petrographic features of lithotypes; material composition of lithotypes according to the results of X-ray phase analysis; void-pore space and distribution of bitumoids in lithotypes.



## **Территориальное и стратиграфическое положение отложений баженовской свиты**

Баженовская свита выделена Ф.Г. Гурари (1959) в составе марьяновской свиты и отражена в ранге пачки в региональной стратиграфической схеме 1960 года. Своё название свита получила по селу Баженово Саргатской площади, расположенной к северо-западу от Омска на левом берегу Иртыша. Свита распространена в центральной части Западно-Сибирского мегабассейна и сплошным чехлом развита на площади около 1 290 тыс. км<sup>2</sup>. Развитие отложений баженовской свиты связано с Тамбейско-Омской зоной, распространённой с севера на юг от пос. Тамбей до Омска; с запада на восток – от устья Иртыша до посёлка Ларьяк.

Битуминозная толща (формация), составной частью которой является баженовская свита, имеет скользкий возраст и представлена тремя свитами: подавляющая её часть относится к баженовской свите (волга / титон – низы берриаса) Тамбейско-Омской зоны; с запада отложения баженовской свиты сменяются нефтематеринскими отложениями мулымьинской (волжский ярус / титон – готерив) свиты, распространённой в Игримо-Леушинской зоне, и тутлеймской (титон – низы валанжина) свиты, приуроченной к Березово-Тобольской зоне. К бортам мегавадины нефтематеринские высокобитуминовые отложения замещаются сероцветными возрастными аналогами.

Тамбейско-Омская зона по типам разрезов подразделяется на ряд районов, основное место среди которых занимает Салымский район с сопредельными участками Среднего Приобья. Обычные разрезы изучаемой толщи представлены битуминозными кремнисто-глинистыми отложениями, в так называемых аномальных разрезах присутствуют также песчаники и обычные сероцветные глины.

Абсолютно преобладающее значение в битуминозной формации имеет баженовская свита, в центральных районах в её составе выделено 4 пачки, отвечающих нижнему, среднему, верхнему подъярусам волжского яруса и нижней части берриаса. Две последние пачки обычно объединяют в одну. Мощность нижней пачки соответствует 10–15 м, средняя пачка имеет мощность до 12–15 м, верхняя – около 5–10 м. На основной площади своего распространения битуминозные отложения баженовской свиты подстилаются пелитовыми и слабоалевритистыми глинистыми породами абалакской свиты (верхи бата – низы титона) и георгиевской (верхи оксфорда – низы титона) свиты со средней мощностью 30–40 м (до 80 м) и 10–15 м (до 30 м), а перекрываются глинистыми неокомскими отложениями (мощностью до десятков метров) различных свит (рис. 1).

Кровлей битуминозной толщи являются глины подачимовской пачки (берриас), имеющие мощность до десятков метров, в Красноленинском – глины мощной (сотни метров) фроловской свиты (берриас-апт).

На отдельных площадях отмечаются локальные участки, где подстилающие глины (чаще георгиевской свиты) выпадают из разреза, а битуминозные отложения с несогласием размещаются на нижележащих породах (васюганской и других свит, вплоть до пород фундамента). Отмечаются также случаи местного размыва верхней части битуминозной толщи.

Баженовская свита относится к верхней части юры и нижней меловой системе. Рассматриваемая площадь расположена в пределах Пудинско-Тымской зоны нефтегазоаккумуляции. Корреляция стратиграфических подразделений верхней юры – нижнего мела приведена на рисунке 2.

Особенностью баженовской свиты является её литологический состав. Преобладают тонкоплитчатые высокобитуминовые силициты, кремнистые и известковистые аргиллиты, радиоляриты и кремнисто-известковистые породы. Содержание биогенного кремнезёма в них достигает до 80 %.

Отложения баженовской свиты в пределах этой зоны имеют преимущественно волжский возраст (захватывая верхи позднего кимериджа и низы раннего берриаса) и согласно подстилаются морскими глинистыми отложениями георгиевской свиты и со скользкими временными границами перекрываются морскими глинами куломзинской свиты.

В восточном направлении баженовская свита выклинивается, замещаясь одновозрастными аналогами марьяновской свиты.

## **Нефтегазоносность отложений баженовской свиты**

Впервые на возможную нефтеносность баженовской свиты указал Ф.Г. Гурари, он же и предложил способ её вскрытия открытым забоем. Первоначально предполагалось, что баженовская свита имеет однородный литологический состав и строение разреза, но по мере накопления фактического материала стали выявляться литологические различия в строении этих образований.

Промышленные притоки нефти из баженовской свиты впервые получены в 1967 году при испытании скважины № 15-р Салымского месторождения – приток нефти (дебитом 5 м<sup>3</sup>/сут.) и газа (дебитом 1000–1200 м<sup>3</sup>/сут.). В 1968 году в разведочной скважине № 12-р был получен приток нефти (дебитом более 600 тонн/сут.).

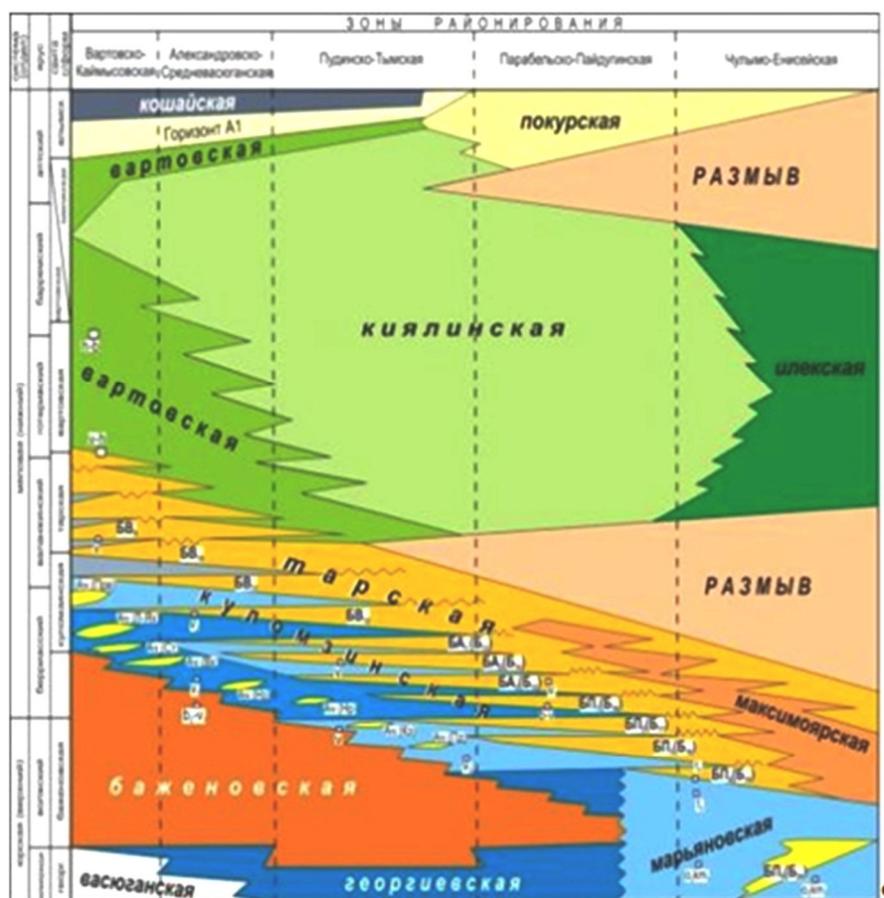
В первый период высказывалось мнение, что притоки нефти получены не из баженовских аргиллитов, а из вышележащих песчаников и алевролитов мегионской свиты. Однако после проведения серии исследований была доказана приуроченность залежей к баженовским аргиллитам.

Как оказалось, залежи нефти не контролируются рельефом продуктивного горизонта. Так, в изученной бурением части Большесалымского месторождения выделяются 20 локальных структур.



Общая шкала					Региональный стандарт		Региональные стратиграфические подразделения								
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Зона	Региональный	Подъярус	Местная зона, подзона, слои								
Ю р с к а я					Бореальный аммонитовый стандарт		по аммонитам			по белемнитам		по двустворкам			
							по аммонитам			по белемнитам		по двустворкам			
Нижний мел					Верхний		S. maurynijensis			Lag. gustomesovi, Arctol. porrectiformis		Simobelus compactus		Buchia unscensis	
Дурангиты					Верхний		Craspedites taimyrensis					B25			
Микрокантоцерасы					Верхний		C. subditus			Lobelus russiensis		Lagonibelus napaeensis		Buchia obliqua	
							Craspedites okensis					B24			
Титон					Средний		Epilaugeites vogulicus			Simobelus mamillaris		Boreioteuthis explanata		Buchia mosquensis, Buchia russiensis	
							Laugeites groenlandicus								
Семиформицерасы					Средний		Crendonites spp.			Simobelus lopsiensis		B23			
							Dorsoplanites maximus								
Неошетцерасы					Нижний		Dorsoplanites ilovaiskii			Simobelus lopsiensis		B22			
							Pavlovia iatriensis								
Хибонотцерасы					Нижний		Pectinatites pectinatus			Simobelus lopsiensis		B21			
							Subdichotomoceras subcrassum								
Аулакошетцерасы					Верхний		Eosphinctoceras magnum			Simobelus lopsiensis		B20			
							V. dividuum								
Кимеридж					Верхний		A. autissiodorensis			Lagonibelus ingens		B19			
							Aulacostephanus eudoxus								
Кимеридж					Нижний		Aulacostephanus mutabilis			Lagonibelus ingens		B18			
							Rasenia cymodoce								
Оксфорд					Верхний		Amoeboceras kitchini			Cylindroteuthis cuspidata		B17			
							Rasenia borealis								
Оксфорд					Средний		Pictonia involuta			Cylindroteuthis cuspidata		B16			
							Amoeboceras kitchini								
Оксфорд					Средний		R. pseudo-cordata			Cylindroteuthis cuspidata		B15			
							A. rosenkrantzi								
Оксфорд					Средний		A. regulare			Cylindroteuthis cuspidata		B14			
							Amoeboceras serratum								
Оксфорд					Средний		Amoeboceras glosense			Pachyteuthis pandariana		B13			
							Cardioceras tenuiserratum								
Оксфорд					Средний		Cardioceras densiplicatum			Pachyteuthis pandariana		B12			
							Cardioceras cordatum								
Оксфорд					Нижний		Cardioceras percaelatum			Pachyteuthis pandariana		B11			
							Cardioceras gloriosum								
Оксфорд					Нижний		C. obliteratum, C. scarburgense			Pachyteuthis pandariana		B10			
							Eboraceras subordinarium								
Келловей					Верхний		Longaeviceras keyserlingi			Holcobeloides beaumontianus		B9			
							Rondiceras (?) stenolobum								
Келловей					Средний		Cadoceras wosnessenskii, C. postelatmae			Holcobeloides beaumontianus		B8			
							Cadoceras durum								
Келловей					Средний		Cadoceras sublaeve			Holcobeloides beaumontianus		B7			
							Cadoceras tolype								
Келловей					Нижний		Cadoceras tschernyschewi			Holcobeloides beaumontianus		B6			
							Cadoceras elatmae								
Бат					Верхний		Cadoceras calyx			Communicobelus subextensoides		B5			
							Cadoceras variable								
Бат					Верхний		Clydoniceras discus			Communicobelus subextensoides		B4			
							Oxycerites orbis								
Бат					Верхний		Procerites hodsoni			Communicobelus subextensoides		B3			
							Procerites hodsoni								

Рисунок 1 – Фрагмент региональной стратиграфической схемы келловей и верхней юры Западной Сибири



**Условные обозначения**

- БВ<sub>1</sub> - Тагринский цикллит
- БВ<sub>2</sub> - Сороминский цикллит
- БВ<sub>3</sub> - Первомайский цикллит
- БВ<sub>4</sub> - Лонтынь-Яхский цикллит
- БА<sub>1</sub> (Б<sub>1</sub>) - Столбовой цикллит
- БА<sub>2</sub> (Б<sub>2</sub>) - Вахский цикллит

- БА<sub>3</sub> (Б<sub>3</sub>) - Назинский цикллит
- БП<sub>1</sub> (Б<sub>1</sub>) - Норольский цикллит
- БП<sub>2</sub> (Б<sub>2</sub>) - Казанский цикллит
- БП<sub>3</sub> (Б<sub>3</sub>) - Пудинский цикллит
- БП<sub>4</sub> (Б<sub>4</sub>) - Парабельский цикллит
- БП<sub>5</sub> (Б<sub>5</sub>) - Пайдугинский цикллит

**Ачимовский пласт:**

- Ач (Прв) - Первомайского цикллита
- Ач (Л-Ях) - Лонтынь-Яхского цикллита
- Ач (Ст) - Столбового цикллита
- Ач (Вх) - Вахского цикллита
- Ач (На) - Назинского цикллита
- Ач (Нр) - Норольского цикллита
- Ач (Кз) - Казанского цикллита
- Ач (Пд) - Пудинского цикллита

**Рисунок 2** – Корреляция стратиграфических подразделений верхней юры – нижнего мела

На территории, в пределах которой скважинами установлена промышленная нефтеносность баженовской свиты, на структуры приходится только 18,7 % продуктивных скважин. Кроме этого, залежи нефти в баженовской свите характеризуются практически полным отсутствием воды, т.е. не имеют ни краевых, ни подошвенных, ни поровых вод.

С открытием промышленной нефтеносности в Салымском районе началось комплексное изучение баженовской свиты: условий продуктивности, вопросов генезиса и литологического состава. Главной задачей, которую необходимо было решить, являлось создание методики выделения коллекторов и связанных с ними залежей углеводородов. Этим вопросам посвящены исследования в целом ряде научно-исследовательских институтов.

Первые оценки запасов нефти в баженовской свите появились в 70-х гг. прошлого столетия, после которых о баженовской свите как о дополнительном источнике сырья заговорили не только специалисты, но и политики, и журналисты. Причина такого интереса – огромные величины ресурсов лёгкой нефти, аккумулированной в отложениях баженовской свиты. Ресурсы многократно выше, чем в традиционных терригенных отложениях Западной Сибири. Их оценки у разных авторов отличались на порядок, что обусловлено неоднозначностью определения площадей залежей, неопределённостью идентификации коллекторов в разрезе скважин.

Первый опыт разработки залежи нефти в баженовской свите приобретён на Салымском месторождении, которое введено в разработку в 1974 году.

Продуктивность отложений баженовской свиты связана с коллекторами трёх основных типов:

- 1) тонколистоватыми кремнисто-глинистыми разностями;
- 2) кавернозно-трещиноватыми карбонатными породами;
- 3) песчаными линзами в составе глинистой толщи (аномальные разрезы).



Для первого типа распространение нефтяных залежей и нефтепроявлений контролируется зоной высокого (5–25 %) содержания органического сапропелевого вещества в породе и областью повышенных тепловых потоков (более 60 Вт/м<sup>2</sup>).

Для второго типа коллекторов – кроме перечисленных, фактором является процентное содержание карбонатных разностей.

Мировым энергетическим агентством потенциальные геологические ресурсы нефти в баженовской свите оценены в объеме 140 млрд тонн (извлекаемые – 20 млрд тонн) – в целом по Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

В государственном балансе запасов по состоянию на 01.01.2013 г. учтены запасы по 92 месторождениям Западной Сибири. Отношение геологических запасов к извлекаемым запасы по категории ABC<sub>1</sub> составляют 1227,0/289,8 млн тонн, по категории C<sub>2</sub> – 1025,0/227,3 млн тонн.

**Характеристика объекта исследования**

Отложения баженовской свиты, ставшие объектом изучения, вскрыты бурением скважиной № 4 на площади, расположенной на западе Томской области в пределах Пудинского нефтегазоносного района Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

На исследования отобран керн из двух скважин, в которых при испытании обнаружены прямые признаки нефтегазопроявлений: в 2011 году по скважине № 3 получен приток нефти 5,7 м<sup>3</sup>/сут.

Максимальные температуры в породах баженовской свиты на этой территории составляют 440–445 °С, что соответствует уровню мезокатагенеза МК<sub>2</sub>, (главная фаза нефтеобразования), и близка к степени прогрева нефтегазоматеринских отложений на Салыме и Баккене (табл. 1).

**Таблица 1** – Уровень катагенеза и максимальные температуры

Уровень катагенеза	МК <sub>1</sub> <sup>2</sup>	МК <sub>2</sub>	
Rvto, %	0,65–0,85	0,85–1,15	
T <sub>max</sub> , °C	435–440	440–445	> 445
Площадь	Торцовая Снежная Киев-Ёганская	Западно-Квензерская	Салым, Bakken (435–455 °C)

Породы баженовской свиты в районе рассматриваемой площади обладают отличным генерационным потенциалом. Содержание C<sub>орг</sub> в них достигает 15 %, среднее содержание – составляет 5-11 %.

**Характеристика разреза баженовской свиты и макроскопическая характеристика литотипов по результатам описания керна**

Керн изучался в интервале глубин 2822,3–2795,0 м. На литолого-петрографический и рентгенофазовый анализы отобрано 18 образцов (табл. 2).

**Таблица 2** – Интервалы отбора, выход и наличие керна, номера проанализированных образцов керна скважины № 4 и места их отбора

Номер керна	Интервал отбора, м	Выход / наличие керна, м	Номер образца	Место отбора образцов, н.к.	Уточнённое место отбора образцов, м
1	2801,0–2795,0	1,5 / 1,5	18	0,50	2797,00
			17	1,35	2800,40
2	2806,5–2801,0	5,1 / 5,1	16	0,96	2801,96
			15	2,02	2803,02
			14	2,62	2803,62
			13	3,87	2804,87
3	2812,7–2806,5	6,2 / 6,2	12	0,26	2806,76
			11	2,43	2808,93
			10	4,30	2810,80
4	2813,9–2812,7	1,2 / 1,18	9	5,29	2811,79
			8	0,56	2813,26
5	2816,0–2813,9	2,02 / 1,98	7	1,07	2813,77
			6	0,08	2813,98
			5	0,63	2814,53
			4	1,25	2815,15
6	2822,3–2816,0	6,3 / 0,86	3	1,72	2815,62
			2	1,90	2815,80
			1	0,48	2816,48



#### Интервал 2822,3–2815,8 м

В нижней части (интервал 2822,3–2816,0 м) породы представлены аргиллитами тёмно-серыми скрытослоистыми и однородными, содержащими включения мелких (1–2 мм) округлых послойно уплотнённых конкреций пирита, трубчатых пиритизированных раковин диаметром менее 1 мм, остатков ростров белемнитов (диаметром менее 0,5 см), сложенных кальцитом.

В верхней части (интервал 2816,0–2815,80 м) в аргиллитах встречаются крупные (толщиной 0,80 см) округлые послойно уплотнённые и выклинивающиеся конкреционные скопления тонкозернистого пирита, иногда – редкие послойно-уплотнённые линзовидные скопления известковистого материала грязно-белой окраски (рис. 3).



**Рисунок 3** – Послойные линзовидные скопления известковистого материала в породах из интервала 2816,0–2815,80 м скважины № 4

Граница с перекрывающим слоем волнистая и на контакте слоев (толщиной 5 см) отмечается послойное обогащение глинистых пород тонко распылённым пиритом.

#### Интервал 2815,8–2813,9 м

В интервале распространены аргиллиты коричневато-чёрные битуминозные, тонко отмученные, преимущественно однородные, в начале слоя (толщиной 0,15 м) скрытослоистые за счёт обогащения одинаково ориентированными прерывистыми тонкими (менее 1 мм) прослойками кремнистого состава (возможно, радиолариевые скопления).

Породы очень плотные, окремнённые, участками в них наблюдаются редкие фосфатизированные остатки онихитов белемнитов (рис. 4), по всему слою присутствуют ростры белемнитов, сложенные кальцитом и иногда пиритом.



Ростры белемнитов

Неотчётливая волнистая слоистость

**Рисунок 4** – Особенности пород из интервала 2815,8–2813,9 м скважины № 4

В середине слоя распространены преимущественно однородные аргиллиты, в кровле – в аргиллитах отмечается отчётливая слоистость, обусловленная наличием в аргиллитах грязно-белых и буровато-серых кремнистых прослоев и прослоев с тонко распылённым пиритом.

Все породы обладают жирной поверхностью и сильным запахом нефти.

#### Интервал 2813,9–2812,7 м

В интервале распространены аргиллиты буровато-чёрного цвета с неравномерной горизонтальной, линзовидной и косой слоистостью (рис. 5) за счёт изменения окраски от более светлой до более тёмной.

В основании (0,31 м) породы имеют преимущественно глинистый состав, кверху обогащаются кремнистым материалом и более крепкие. Встречаются очень мелкие онихиты белемнитов, иногда (0,7–0,8 и 0,9 к.к.) породы пиритизированы. Пирит присутствует в виде конкреционных стяжений. Участками (0,18–0,12 м от н.к.) в породах отмечается косая слоистость за счёт прослоев, обогащённых кремнистым и, воз-



можно, фосфатным материалом. Толщина слоёв около 1 см. В кровле (0,12–0 м от н.к.) породы разбиты субвертикальными и наклонными трещинами на крупные куски, на плоскостях наслоения в них присутствует белый кальцит. По всему слою отмечается характерный запах, присущий нефти.



**Рисунок 5** – Косоволнистая слоистость в аргиллитах из интервала 2813,9–2812,7 м скважины № 4

Интервал 2812,7–2812,09 м

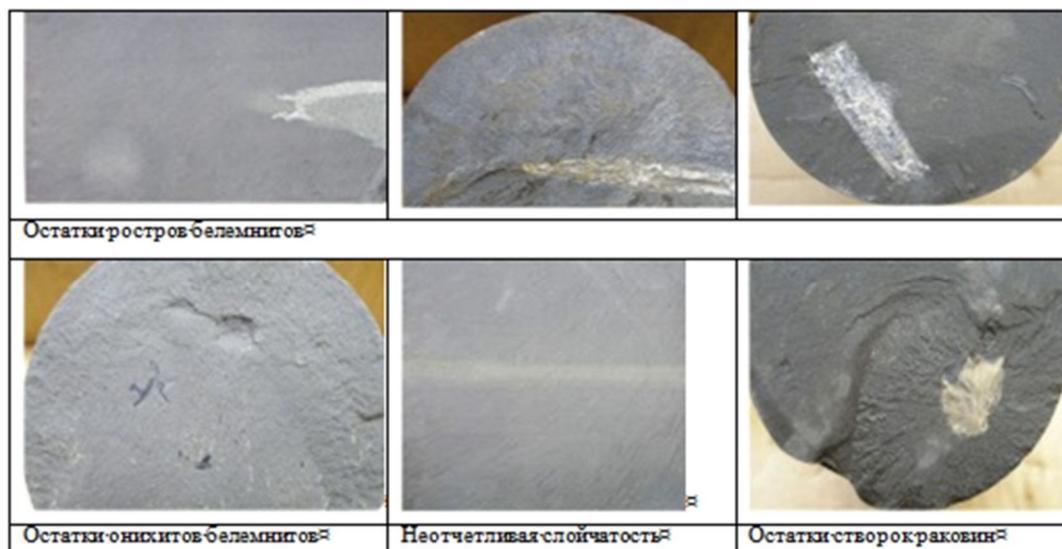
В разрезе распространены аргиллиты тёмно-серые с буроватым оттенком, однородные, кремнёвые. В породах отмечается тонкая пиритизация в виде округлых (размером 1–2 мм) пиритовых конкреций, включения кальцитизированных ростов и онихитов (рис. 6) белемнитов.



**Рисунок 6** – Особенности пород из интервала 2812,7–2812,09 м скважины № 4

Интервал 2812,09–2806,38 м

В интервале распространены аргиллиты буровато-чёрные, тонко отмученные с послойными включениями фосфатизированных онихитов белемнитов, фосфатизированными остатками ихтиофауны, раздробленными остатками створок раковин и кальцитизированных ростов белемнитов (рис. 7). Они имеют редкую, неотчётливую горизонтальную слоистость, которая фиксируется по изменению тона окраски.



**Рисунок 7** – Особенности пород из интервала 2812,09–2806,38 м скважины № 4



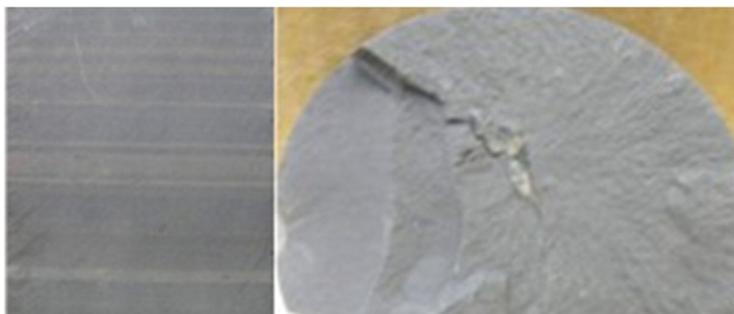
В нижней части слоя присутствуют тонкие (толщиной менее 1 мм) прослойки кремнистого состава. Участками породы пиритизированы и содержат включения конкреционных стяжений и прослойки (до 0,8 см толщиной) с тонкораспыленным и конкреционным пиритом. Породы плотные, окремнённые, жирные на ощупь, насыщены нефтью, обладают сильным запахом нефти.

Интервал 2806,38–2801,0 м

Вначале интервала (0,10 м) распространены аргиллиты карбонатизированные с более светлым, чем в предыдущем слое оттенком.

Вверх по разрезу они сменяются (4,88 м) аргиллитами буровато-чёрными однородными, тонко отмученными, иногда неотчётливо и (участками) отчётливо горизонтально слоистыми с онихитами белемнитов и с кальцитизированными органогенными остатками (рис. 8). На плоскостях наложения наблюдаются скопления тонко распыленного пирита.

Породы нефтенасыщены, в них наблюдается сильный запах нефти.



Горизонтальная слоистость Кальцитизированные органогенные остатки

**Рисунок 8** – Особенности пород из интервала 2806,38–2801,0 м скважины № 4

Интервал 2801,0–2795,0 м

В интервале распространены (0,35 м) тёмно-серые однородные аргиллиты, содержащие остатки фосфатизированного ихтиодетрита. Порода рассечена трещинами различного направления и раскола на куски.

Выше по разрезу (1,15 м) распространены глинистые тёмно-серые породы, однородные и участками тонко горизонтально слоистые.

Слоистость в них обусловлена наличием тонких (менее 1 мм) прослоев и неправильно-линзовидных включений кремнистого состава (рис. 9).



Неправильно-линзовидное включение кремнистого материала

Послойные скопления кремнистого материала

**Рисунок 9** – Особенности пород из интервала 2801,0–2795,0 м скважины № 4

Породы неравномерно пиритизированы. Пирит образует конкреционные скопления и послойные присыпки. В породах присутствуют фосфатизированные остатки ихтиофауны.

Таким образом, по особенностям отложений можно выделить интервалы со следующими литотипами:

1. Интервал 2822,3–2815,8 м.

Литотип I. Аргиллиты тёмно-серые скрытослоистые и однородные, с остатками трубчатых и створчатых раковин, остров белемнитов, следами жизнедеятельности донных животных, с сыпью и конкрециями пирита, послойными скоплениями известкового материала.

2. Интервал 2815,8–2813,9 м.

Литотип II. Аргиллиты коричневатые-черные битуминозные, преимущественно однородные и скрытослоистые с кремнистыми прослойками и остатками белемнитов, окремнённые.



3. Интервал 2813,9–2812,7 м.

Литотип III. Аргиллиты буровато-чёрные битуминозные, с горизонтальной, линзовидной и косой слоистостью, с прослойками кремнистого материала, онихитами белемнитов, створками мелких раковин, с сыпью и конкрециями пирита, окремнённые.

4. Интервал 2812,7–2812,09 м.

Литотип IV. Аргиллиты тёмно-серые с бурым оттенком и буровато-чёрные, битуминозные, тонко отмученные, с прослойками кремнистого материала, остатками белемнитов, ихтиофауны, створчатых и трубчатых раковин, с присыпками и конкрециями пирита, окремнённые, участками карбонатизированные.

5. Интервал 2812,09–2806,38 м.

Литотип V. Аргиллиты тёмно-серые, однородные и с прослойками кремнистого материала, с остатками онихитов белемнитов, пиритизированные: с присыпками и конкрециями пирита.

**Геофизическая характеристика литотипов**

По каротажу аргиллиты, слагающие изученный разрез (рис. 10), характеризуются слабо дифференцированной кривой самопроизвольной поляризации (ПС), имеющей отрицательное отклонение, что отвечает трещиноватым участкам. Для них характерны очень низкие значения удельной проводимости на диаграммах индукционного каротажа (ИК), отражающие высокую битуминозность отложений.



Рисунок 10 – Геофизическая характеристика разреза баженовской свиты и места отбора образцов в скважине № 4



Литотипы характеризуются по каротажу следующими особенностями:

- для литотипа I, представленного аргиллитами тёмно-серыми скрытослоистыми и однородными, с остатками трубчатых и створчатых раковин, ростров белемнитов, следами жизнедеятельности донных животных, с сыпью и конкрециями пирита, послойными скоплениями известкового материала, характерно низкое значение на кривых NKT, GR, R, PZ и LLD, высокое значение на кривых IK;
- для литотипа II, представленного коричневато-чёрными аргиллитами глинисто-кремнистыми битуминозными с остатками водорослей, онихитов и ростров белемнитов, радиолярий, спикулы губок, характерно низкое значение на кривых NKT и GR, среднее значение на кривых IK и LLD, высокое – на кривых R и PZ;
- для литотипа III, представленного аргиллитами глинисто-кремнистыми буровато-чёрными с неравномерной горизонтальной, линзовидной и слабо полого-наклонной слоистостью, с прослоями кремнистого материала, онихитами белемнитов, створками мелких раковин, с сыпью и конкрециями пирита, характерно низкое значение на кривых GR и IK, высокое на кривых NKT, R, PZ и LLD;
- для литотипа IV, представленного аргиллитами тёмно-серыми с бурым оттенком и буровато-чёрными, битуминозными, тонко отмученными, с остатками белемнитов, ихтиофауны, створчатых и трубчатых раковин, с присыпками и конкрециями пирита, характерно низкое значение на кривых NKT, IK и LLD, высокое на кривых GR, R и PZ;
- для литотипа V, представленного аргиллитами кремнисто-глинистыми с тонкими кремнистыми прослойками, с остатками онихитов белемнитов, пиритизированные: с присыпками и конкрециями пирита, характерно низкое значение на кривых NKT и IK, среднее на кривых GR, R, PZ и LLD.

### Петрографические особенности литотипов

В ходе микроскопических петрографических исследований выявлены особенности состава и распределения компонентов (минеральных, органических остатков, рассеянного органического вещества и др.), слагающих литотипы, их микротекстурные и микроструктурные характеристики, уточнено название литотипов.

Литотип I (рис. 11) представлен аргиллитами алевроитовыми глинистыми тёмно-серыми скрытослоистыми, содержащими конкреции, сыпь и скопления пирита и хлорит. Микротекстура пород неоднородная, структура алевропелитовая, пелитовая, органическая. Порода сложена агрегатом чешуйчатых глинистых минералов, тонко раскристаллизованным кремнистым веществом, содержит алевроитовую примесь кварца и полевых шпатов. В породах отмечаются остатки трубчатых и створчатых раковин, ростров белемнитов, радиолярий, присутствуют следы жизнедеятельности мелких илоядных животных (шл. 1, глубина 2816,48 м).

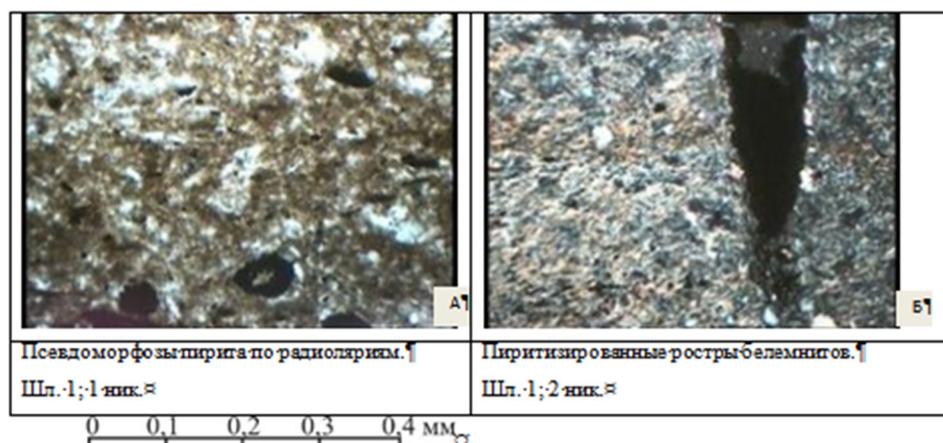


Рисунок 11 – Петрографические особенности литотип I

Литотип II (рис. 12) представлен коричневато-чёрными аргиллитами глинисто-кремнистыми битуминозными однородными и скрытослоистыми, в которых кремнистый материал преобладает над глинистым. Структура пород лепидобластовая, пелитовая, биогенная. Отмечаются остатки водорослей, онихитов и ростров белемнитов, радиолярий, спикулы губок. Породы слабо пиритизированы и слабо карбонатизированы (шл. 2, глубина 2815,8 м; шл. 3, глубина 2815,62 м; шл. 4, глубина 2815,15 м; шл. 5, глубина 2814,53 м; шл. 6, глубина 2813,98 м).

Литотип III (рис. 13) представлен аргиллитами глинисто-кремнистыми буровато-чёрными с неравномерной горизонтальной, линзовидной и слабо полого-наклонной слоистостью. Они сложены пелитовым и чешуйчато-волоконистым агрегатом, карбонатизированы слабо пиритизированы, содержат спикулы губок и раковины радиолярий, встречаются редкие остатки онихитов белемнитов и мелких двустворок (шл. 7, глубина 2813,77 м; шл. 8, глубина 2813,26 м).

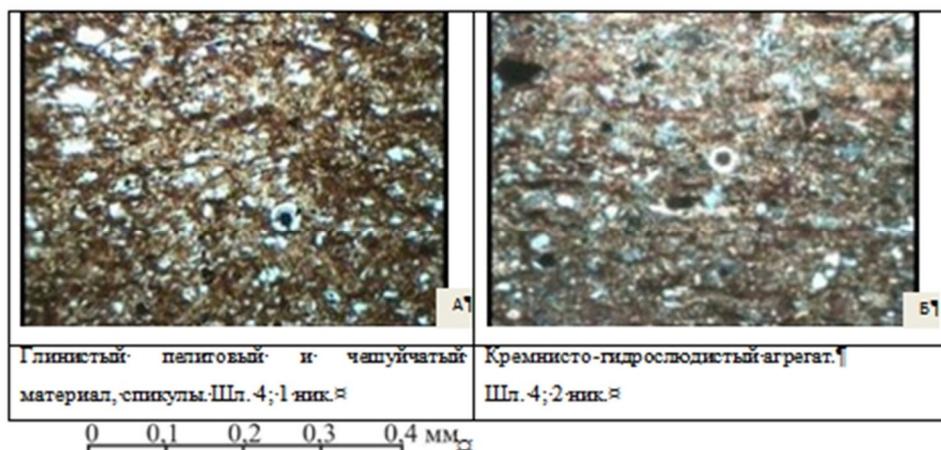


Рисунок 12 – Петрографические особенности литотип II

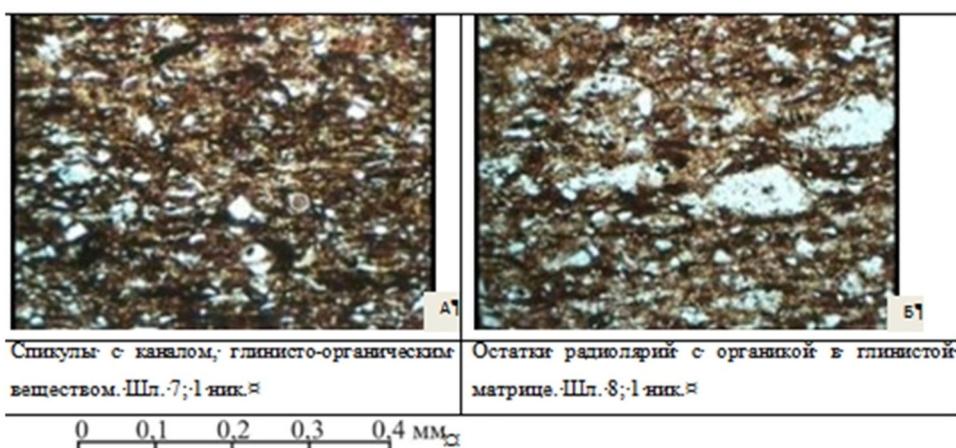


Рисунок 13 – Петрографические особенности литотип III

Литотип IV (рис. 14) – аргиллиты глинисто-кремнистые буровато-чёрные. В отличие от выше описанных, литотип сложен более тонко отмученным глинисто-кремнистым материалом. Кремнистый материал часто образует послойно уплощённые линзы и прослойки, подчёркивая горизонтальную и пологую волнисто-линзовидную слоистость. Количество кремнистого материала в литотипе повышено и достигает 65 %. Отмечаются послойные присыпки и конкреции пирита, рассеянный кальцит. Органогенные остатки представлены радиоляриями, онихитами белемнитов, остатками ихтиофауны, створчатых и трубчатых раковин (шл. 9, глубина 2811,79 м; шл. 10, глубина 2810,8 м; шл. 11, глубина 2808,93 м; шл. 12, глубина 2806,76 м; шл. 13, глубина 2804,87 м; шл. 14, глубина 2803,62 м; шл. 15, глубина 2803,02 м; шл. 16, глубина 2801,96 м).

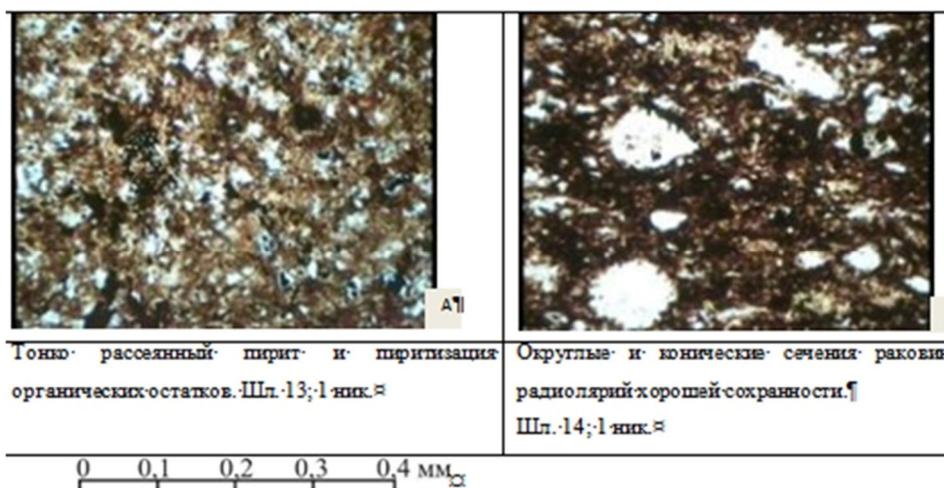


Рисунок 14 – Петрографические особенности литотип IV



Литотип V (рис. 15), распространен в верхней части изученного разреза, породы вновь представлены аргиллитами кремнисто-глинистого состава, в которых пелитовый глинистый материал преобладает над кремнистым. Породы имеют тёмно-серую окраску, однородные или с тонкими кремнистыми прослойками, слабокарбонатизированные, содержат присыпки и конкреции пирита.

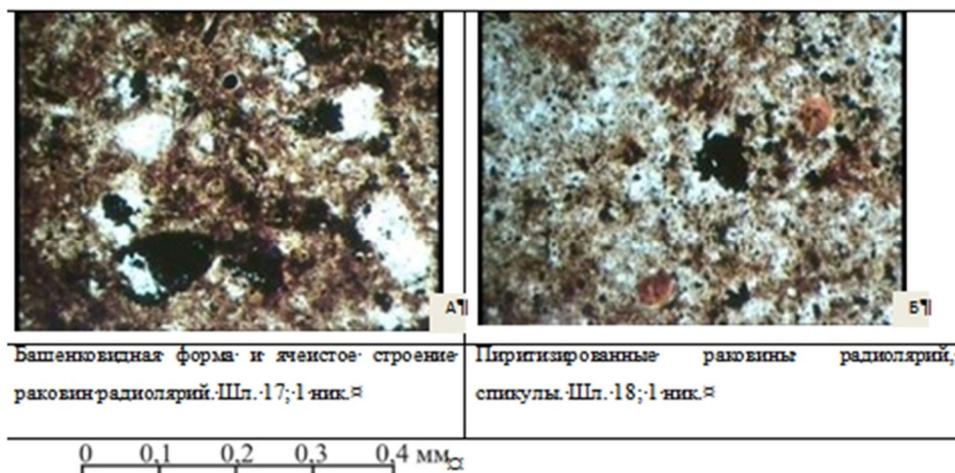


Рисунок 15 – Петрографические особенности литотип V

Органогенные остатки в них представлены фосфатизированными обломками фауны, плохо сохранившимися скелетами раковин радиолярий. Отмечаются остатки растительной органики чёрного цвета в виде удлинённых обрывков очень плохой сохранности (шл. 17, глубина 2800,4 м; шл. 18, глубина 2797,0 м).

Таким образом, установлено, что битуминозные аргиллиты глинисто-кремнистые литотипов I, II и III выделенные в средней части разреза (интервал глубин 2816,0–2801,0 м), по сравнению с низжезалегающими (литотип I, интервал 2822,3–2816,0 м) и вышезалегающими (литотип V, интервал 2801,0–2795,0 м) их аргиллитами, характеризуются более однородной микротекстурой, более мелким размером слагающих частиц, обогащены кремнистым материалом, иногда кальцитом и пиритом. По особенностям строения и вещественного состава они характеризуют баженовскую свиту. Породы литотипа I относятся к георгиевской свите, а аргиллиты кремнисто-глинистые (литотип V) представляют нижнюю часть куломзинской свиты.

**Вещественный состав литотипов по результатам рентгенофазового анализа**

По результатам рентгенофазового анализа (РФА) литотип I характеризуется следующими особенностями: аргиллиты имеют преимущественно глинистый состав (64 %) при подчинённом содержании кремнистого материала (25 %), присутствием примеси кальцита (1 %) и повышенным по сравнению с другими литотипами содержанием пирита (10 %) (рис. 16).

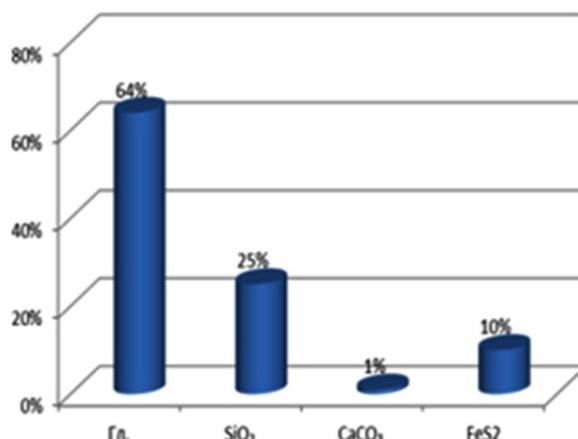


Рисунок 16 – Состав литотипа I по РФА

Литотип II характеризуется примерно равным соотношением глинистого (43,2–49,3 %) и кремнистого (47,6–53,3 %) материала с незначительным превышением (5,7–3,1 %) кремнистой составляющей. Породы слабо пиритизированы (2,1–5,4 %) и слабо карбонатизированы (0,5–2,8 %).



В баженовских аргиллитах отмечается повышенное содержание и присутствие сингенетических (в породе) и эпигенетических (в трещинах) битумоидов смешанного типа при преобладании смолистых (жёлто-бурое свечение). Перераспределение битумоидов осуществлялось как внутри баженовской толщи (в трещинах битумоид более лёгкого состава), так и путём миграции битумоидов из нефтематеринских баженовских аргиллитов в ниже- и вышезалегающие породы георгиевской и куломзинской свит, в которых преобладающими типами являются более миграционно подвижные лёгкие (голубое и светло-жёлтое свечение) и маслянистые (жёлтое свечение) эпибитумоиды, распределённые преимущественно рассеянно, точечно и по трещинам.

Накопление пород баженовской свиты отражало условия максимальной позднеюрско-раннемеловой трансгрессии морского бассейна. Осадки георгиевской свиты отлагались в условиях слабого насыщения кислородом придонных вод (следы донных организмов), баженовской – в условиях высоко восстановительной среды и застойного режима бассейна, о чём свидетельствует тонкодисперсный характер пород и постоянное присутствие и высокое содержание индикаторного минерала – пирита.

Глинистые илы были обогащены кремнистым и карбонатным материалом биогенного и химического происхождения и рассеянным органическим веществом, что впоследствии привело к формированию битуминозной толщи тонко отмученных и тонкослоистых нефтематеринских аргиллитов со смешанным составом сингенетических битумоидов, накопившейся в областях относительно глубоководных иловых впадин.

Осадки нижней части куломзинской свиты накапливались в стабильной среде с низкой гидродинамической активностью, но в менее глубоководных условиях (терригенная примесь, растительный детрит).

#### Список литературы:

1. Брэдучан Ю.В., Гулари Ф.Г., Захаров В.А. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). – Новосибирск : Наука, 1986. – 217 с.
2. Горпинченко А.Н., Жарикова Н.Х., Савенок О.В. Геологические основы разработки нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие. – Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2022. – 240 с.
3. Ежова А.В. Геологическая интерпретация геофизических данных. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 116 с.
4. Коровина Т.А. Закономерности формирования и распространения коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты для оценки перспектив нефтегазоносности западного склона Сургутского свода : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – СПб., 2004. – 108 с.
5. Олли И.А. Органическое вещество и битуминозность осадочных отложений Сибири (по результатам люминесцентно-микроскопического метода). – Новосибирск : Издательство «Наука» (Сибирское отделение), 1975. – 137 с.
6. Прищепа О.М., Ильинский А.А., Аверьянова О.Ю. Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ – резерв сырьевой базы углеводородов России. – СПб. : ВНИГРИ, 2016. – 323 с.
7. Савенок О.В., Арутюнов Т.В. Сланцевые углеводороды: анализ текущего состояния и перспективы разработки. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – 272 с.
8. Самойленко В.В. Геохимия органического вещества баженовской свиты юго-востока Западной Сибири и генетически связанных с ним флюидов : дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2011. – 181 с.
9. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В. Методология оценки ресурсов сланцевых отложений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 266–271.
10. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Исследование сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности баженовской свиты и формации Баккен // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 28–46.
11. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Методология оценки запасов сланцевого газа // Наука и технологии в нефтегазовом деле: сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию Кубанского государственного технологического университета и 25-летию кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов Армавирского механико-технологического института (09–10 февраля 2018 г.). Секция 3 «Управление и мониторинг разработки месторождений нефти и газа». – Краснодар : ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. – С. 127–129.
12. Белозеров И.П., Губайдуллин М.Г. О концепции технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов на цифровой модели ядра // Записки Горного института. – 2020. – Т. 244. – С. 402–407.
13. Боровский М.Я., Борисов А.С., Богатов В.И. Геофизическая разведка на нетрадиционные источники углеводородного сырья // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 1. – С. 31–34.



14. Брехунцов А.М., Нестеров И.И., Нечипорук Л.А. Битуминозные глинистые отложения баженовского горизонта – приоритетный стратегический объект нефтедобычи в Западной Сибири // Электронный научный журнал «Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика». – 2014. – Вып. 2 (10) [Электронный ресурс]. – URL : [http://oilgasjournal.ru/vol\\_10/brekhuntsov.pdf](http://oilgasjournal.ru/vol_10/brekhuntsov.pdf)
15. Жарикова Н.Х., Савенок О.В., Ситёв Р.Р. Особенности геологического строения баженовской свиты на примере Ай-Пимского нефтяного месторождения // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 73–84.
16. Жарикова Н.Х., Савенок О.В., Ситёв Р.Р. Анализ геологического строения Сорковского нефтегазового месторождения по результатам изучения керна разведочной скважины // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 1. – С. 85–99.
17. Ли Цуньи, Недолилко Н.М. Литолого-петрографическая характеристика отложений баженовской свиты на 3-К площади (по скважине 3) // Тезисы 69-ой Международной молодёжной научной конференции «Нефть и газ – 2015». – М. : Издательство РГУ нефти и газ имени И.М. Губина, 2015. – С. 68.
18. Ли Цуньи, Недолилко Н.М. Литолого-петрографическая характеристика отложений баженовской свиты на юго-востоке Нюрольской впадины // Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – С. 256–259.
19. Ли Цуньи, Недолилко Н.М. Петрографический состав и битумоиды в отложениях георгиевской, баженовской и куломзинской свит на Западно-Квензерской площади // Тезисы XXI Губкинских чтений «Фундаментальный базис и инновационные технологии поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа». – М. : Издательство РГУ нефти и газ имени И.М. Губина, 2016. – С. 48–57.
20. Ли Цуньи, Недолилко Н.М. Ключевые технологии разведки и добычи сланцевого газа // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри. – Нерюнгри : Издательство Сибирского технического института, 2015. – С. 16.
21. Ли Цуньи, Недолилко Н.М. Экологические проблемы при добыче сланцевой нефти и пути их решения // Проблемы геоэкологии и устойчивого развития в XXI веке. Экология человека и планеты: материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. – С. 442–445.
22. Ли Цуньи. Литолого-петрографические особенности и условия формирования отложений баженовской свиты на Западно-Квензерской площади (Томская область) / Национальный исследовательский Томский политехнический университет; науч. рук. Н.М. Недолилко. – Томск, 2016.
23. Магомет Р.Д. Добыча сланцевого газа // Записки Горного института. – 2014. – Т. 207. – С. 125–130.
24. Манылова М.В. Перспективы развития сланцевой промышленности России на основе инновационного проекта // Записки Горного института. – 2005. – Т. 161. – С. 46–48.
25. Недолилко Н.М., Ли Цуньи. Литолого-петрографические особенности отложений баженовской свиты на Западно-Квензерской площади (юго-восток Нюрольской впадины, Томская область) // Научный альманах. – 2015. – № 8 (10). – С. 1212–1220.
26. Савенок О.В., Кусова Л.Г. Анализ геологического строения баженовской свиты и критерии прогноза её нефтегазоносности // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 164–181.

#### List of references:

1. Braduchan Yu.V., Gurari F.G., Zakharov V.A. Bazhenov horizon of Western Siberia (stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil-bearing capacity). – Novosibirsk : Nauka, 1986. – 217 p.
2. Gorpinchenko A.N., Zharikova N.Kh., Savenok O.V. Geological bases of oil and gas fields development: textbook. – Ukhta : Ukhta State Technical University. 2022. – 240 p.
3. Ezhova A.V. Geological interpretation of geophysical data. – Tomsk : Tomsk Polytechnic University Press, 2012. – 116 p.
4. Korovina T.A. Laws of formation and distribution of reservoirs in bituminous sediments of the Bazhenov Formation to assess oil and gas potential of the western slope of the Surgutian fold : Ph. ... candidate of geological-mineralogical sciences. – SPb., 2004. – 108 p.
5. Olli I.A. Organic matter and bituminosity of Siberian sediments (on the results of luminescence-microscopic method). – Novosibirsk : Publishing House «Nauka» (Siberian Branch), 1975. – 137 p.
6. Prischepa O.M., Ilyinsky A.A., Averyanova O.Yu. Oil and gas of low-permeability shale strata – reserve of raw hydrocarbon base of Russia. – SPb. : VNIGRI, 2016. – 323 p.
7. Savenok O.V., Arutyunov T.V. Shale hydrocarbons: analysis of the current state and development prospects. – Krasnodar : Publishing House – Yug, 2019. – 272 p.



8. Samoilenko V.V. Geochemistry of organic matter of the Bazhenov Formation of southeastern West Siberia and genetically related fluids : Ph. ... Cand. of Geology and Mineralogy. – Tomsk, 2011. – 181 p.
9. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V. Methodology of resource assessment of shale deposits // Mountain Information–Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2015. – № 3. – P. 266–271.
10. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Study of shale rocks and the nature of shale oil–bearing formation of the Bazhenov Formation and Bakken Formation // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2015. – № 1. – P. 28–46.
11. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Methodology of evaluation of shale gas reserves // Science and technology in oil and gas business: collection of abstracts of the International Scientific–Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of Kuban State Technological University and the 25th anniversary of the department of machines and equipment of oil and gas fields of Armavir Mechanical and Technical Institute (09–10 February 2018). Section 3 «Management and monitoring of oil and gas field development». – Krasnodar : FGBOU VPO «KubGTU», 2018. – P. 127–129.
12. Belozero I.P., Gubaidullin M.G. On the concept of technology for determining filtration–volume properties of terrigenous reservoirs on digital core model // Notes of the Mining Institute. – 2020. – V. 244. – P. 402–407.
13. Borovsky M.Y., Borisov A.S., Bogatov V.I. Geophysical exploration for unconventional sources of hydrocarbon raw materials // Bulatov Readings. – 2021. – V. 1. – P. 31–34.
14. Brekhuntsov A.M., Nesterov I.I., Nechiporuk L.A. Bituminous clayey sediments of Bazhenov horizon – priority strategic object of oil production in Western Siberia // Electron scientific journal «Georesurs. Geoenergetics. Geopolitics». – 2014. – Vol. 2 (10) [Electronic resource]. – URL : [http://oilgasjournal.ru/vol\\_10/brekhuntsov.pdf](http://oilgasjournal.ru/vol_10/brekhuntsov.pdf)
15. Zharikova N.Kh., Savenok O.V., Sityov R.R. Features of the geological structure of the Bazhenov formation by the example of the Ai–Pim oil field // Bulatov readings. – 2022. – V. 1. – P. 73–84.
16. Zharikova N.Kh., Savenok O.V., Sitev R.R. Analysis of the geological structure of the Sorovskoye oil and gas field based on the results of study of the exploration well core // Bulatov Readings. – 2022. – V. 1. – P. 85–99.
17. Qunyi Li, Nedolivko N.M. Lithological and petrographic characteristics of the deposits of the Bazhenovskaya formation in the Z–K area (according to well 3) // Theses of the 69th International Youth Scientific Conference «Oil and gas – 2015». – M. : Publishing house of Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubin, 2015. – P. 68.
18. Li Tsunyi, Nedolivko N.M. Lithological and petrographic characteristics of deposits of the Bazhenov Formation in the southeast of the Nyurola Depression // Proceedings of the XIX International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 70th anniversary of the victory of the Soviet people over Nazi Germany. – Tomsk : Tomsk Polytechnic University Press, 2015. – P. 256–259.
19. Cunyi Li, Nedolivko N.M. Petrographic composition and bitumoids in sediments of Georgievskaya, Bazhenovskaya and Kulomzinskaya formations of West–Kwenserskaya area // Abstracts of XXI Gubkin readings «Fundamental basis and innovative technologies of prospecting, exploration and development of oil and gas fields». – M. : Publishing house of Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2016. – P. 48–57.
20. Li Tsunyi, Nedolivko N.M. Key technologies of shale gas exploration and production // Materials of XVI All–Russian scientific–practical conference of young scientists, graduate students and students in Neryungri. – Neryungri : Publishing house of Siberian Technical Institute, 2015. – P. 16.
21. Li Tsunyi, Nedolivko N.M. Environmental problems in shale oil extraction and ways to solve them // Problems of geoecology and sustainable development in the XXI century. Ecology of man and the planet: Proceedings of the VIII All–Russian Scientific Student Conference with elements of the scientific school named after Professor M.K. Korovin. – Tomsk : Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2015. – P. 442–445.
22. Li Tsunyi. Lithological and petrographic features and conditions of formation of the Bazhenov Formation in the Zapadno–Kvenserskaya Area (Tomsk Region) / National Research Tomsk Polytechnic University; Superv. N.M. Nedolivko. – Tomsk, 2016.
23. Magomet R.D. Extraction of shale gas // Notes of the Mining Institute. – 2014. – V. 207. – P. 125–130.
24. Manylova M.V. Prospects for the development of the shale industry in Russia on the basis of an innovation project // Zapiski Gornogo Institut. – 2005. – V. 161. – P. 46–48.
25. Nedolivko N.M., Qunyi Li. Lithological and petrographic features of deposits of the Bazhenov Formation in the Zapadno–Kvenserskaya area (southeast of the Nyurolskaya Depression, Tomsk Oblast) // Nauchnyi Almanak. – 2015. – № 8 (10). – P. 1212–1220.
26. Savenok O.V., Kusova L.G. Analysis of the geological structure of the Bazhenov Formation and criteria for prediction of its oil and gas content // Science. Technology. Technology (Polytechnic Bulletin). – 2022. – № 3. – P. 164–181.