

УДК 552.52:550.42

## МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПРИРОДА СВЕЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ПРОСЛОЕВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА

Кондрашова Елена Сергеевна<sup>1,2</sup>,  
deevael@yandex.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>2</sup> АО «ТомскНИПИнефть»,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Мира, 72.

**Актуальность.** Изучение минералого-геохимических особенностей люминесцирующих прослоев, выделенных в отложениях баженовской свиты на территории Западно-Сибирского осадочного бассейна (Томской области и сопредельных регионов), позволит уточнить их минеральный состав и природу образования, а также оценить возможность их использования как дополнительных региональных реперов для восстановления палеогеографической истории формирования свиты.

**Цель:** изучить минералогические и геохимические особенности и определить природу образования люминесцирующих прослоев в отложениях баженовской свиты.

**Объекты:** осадочные породы, люминесцирующие прослои и вмещающие отложения баженовской свиты.

**Методы:** рентгеновская дифрактометрия, петрографический анализ, сканирующая электронная микроскопия, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, инструментальный нейтронно-активационный анализ, рентгенолюминесценция.

**Результаты.** На территории распространения баженовской свиты в центральной и юго-восточной части Западно-Сибирского осадочного бассейна обнаружены люминесцирующие в ультрафиолетовом освещении прослои мощностью от 2 мм до 15 см. Изучение минерального состава позволило разделить выделенные прослои на две группы по основной минеральной фазе. Изучение прослоев I группы показало, что они сложены в основном глинистыми минералами с примесью обломочного алевритового материала. Основными глинистыми минералами в них являются каолинит и смешаннослойные образования ряда иллит-сметтит. Ко II группе отнесены прослои с преимущественно кремнистым (кварцевым) составом. При анализе данных химического состава выявлено, что изучаемые прослои имеют пониженные содержания элементов (Co, Ni, Cu, Zn, Mo и др.) по сравнению с «обычными» породами баженовской свиты в связи с низким содержанием захороненного органического вещества, с которым традиционно связывается накопление некоторых элементов. Отмечены повышенные концентрации тория в образцах изучаемых прослоев. Проведенные исследования выявили признаки присутствия вулканогенного материала. Предполагается, что выделенные прослои имеют вулканическое происхождение и образовались в результате диа- и катагенетического преобразования вулканокластического материала туфовых осадков в присутствии большого количества органического вещества.

### Ключевые слова:

Западная Сибирь, баженовская свита, петрография, геохимия, вулканогенный материал.

### Введение

Баженовская свита (БС) в настоящее время является объектом пристального внимания геологов и рассматривается не только как главная нефтематеринская толща для нефтегазовых месторождений Западной Сибири, но и как нетрадиционный коллектор и перспективный объект для добычи углеводородов в категории «сланцевая нефть».

Изучение стратиграфии, условий формирования и особенностей состава отложений БС, вопросов ее нефтегазоносности проводилось многими исследователями, среди которых могут быть названы Ф.Г. Гурари, Н.П. Запивалов, Ю.В. Брэдучан, В.Б. Белозеров, В.М. Гавшин, Т.И. Гурова, И.В. Гончаров, Т.В. Дорофеева, А.Г. Замирайлова, О.Г. Зарипов, В.А. Захаров, М.Ю. Зубков, А.Э. Конторович, И.И. Нестеров, Г.Н. Перозио, И.И. Плуман, Е.А. Предтеченская, В.В. Самойленко, И.Н. Ушатинский, С.И. Филина, Б.Н. Шурыгин, В.Г. Эдер, и др. Типизацией и классифицированием пород баженовской свиты занимались многие специалисты – Т.И. Гурова, В.П. Казаринов, И.Н. Ушатинский, Т.В. Дорофеева, С.И. Филина, А.Э. Конторович, М.Ю. Зубков, Ю.Н. Занин, В.Г. Эдер и многие другие исследователи.

В литологическом плане строение баженовской толщи неоднородное. В ней выделяется несколько разновидностей переслаивающихся между собой кремнисто-глинистых (силициты, аргиллиты), карбонатных (известняки, мергели) и смешанных по составу пород. К основным минеральным компонентам в составе баженовской свиты относятся кварц, глинистые минералы (смешаннослойный иллит-сметтит, каолинит, хлорит), полевые шпаты, пирит, карбонатные минералы, в небольшом количестве фосфатные минералы. К неминеральным компонентам отнесено органическое вещество (кероген) [1].

Изучение многочисленных разрезов баженовской свиты в центральной и юго-восточной частях Западно-Сибирского бассейна в лаборатории седиментологии АО «ТомскНИПИнефть» (входит в ПАО «НК «Роснефть») привели к обнаружению необычных люминесцирующих прослоев в ультрафиолетовом (УФ) свете, которые предположительно имеют пирокластическую вулканогенную (пепловую) природу. Ранее проведенные исследования их петрографии и минералогии подтвердили их вулканическое происхождение [2, 3]. Выделенные прослои зафиксированы в многочисленных

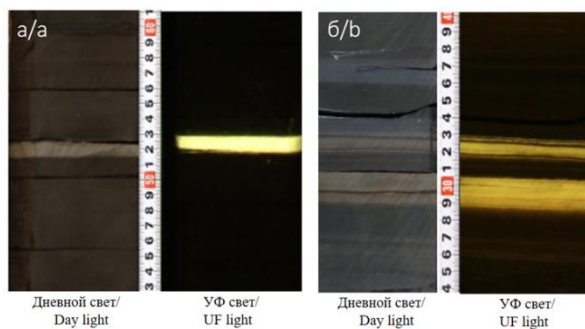
разрезах, вскрывающих баженовский горизонт (более чем в 100 скважинах), и, тем самым, покрывают практически всю территорию распространения свиты.

С целью продолжения минералогических исследований, а также определения геохимической специализации возможного верхнеюрского вулканизма была собрана представительная коллекция образцов из аномально люминесцирующих прослоев и вмещающих их пород.

#### Характеристика объекта исследования

При изучении керна скважин, вскрывающих отложения баженовской свиты, в УФ свете были обнаружены прослои с яркой люминесценцией. Цвет люминесценции от желтого до оранжевого. Мощность таких прослоев меняется от 0,2 до 1,5 см. Количество подобных встречаемых прослоев в пределах одной скважины доходит до 4 шт. Отмечены также участки, представляющие собой серии с переслаиванием люминесцирующих слоев и слоев без свечения. В таких случаях мощность участков от 6 до 15 см (рис. 1).

Выделенные прослои по внешнему облику разделены на две группы: I группа – единичные прослои мощностью от 0,2 до 1,5 см (рис. 1, а). II группа – смежные прослои (тонкие миллиметровые серии) с суммарной мощностью от 6 до 15 см (рис. 1, б). Прослои I группы приурочены к верхней части баженовской свиты, а образцы II группы – к нижней. В разрезе одной скважины могут присутствовать прослои двух групп одновременно, расстояние между группами прослоев составляет от 1,5 до 10 м (рис. 2, а). Между прослоями I и II групп часто встречаются тонкие прослои (до 0,5 см) с очень слабым, едва видимым свечением, такие прослои автором не рассматривались в виду их малой мощности и неяркого свечения (рис. 2, б).

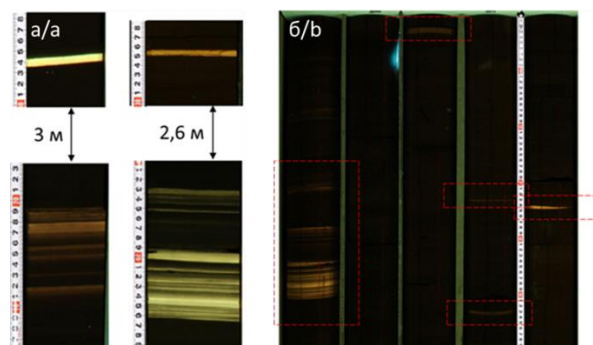


**Рис. 1.** Фотографии люминесцирующих прослоев в кернах скважин: а) прослой I группы, б) прослой II группы. Фото керна выполнены в дневном и ультрафиолетовом (УФ) свете

**Fig. 1.** Photo of luminescent layers in the core of wells: а) layers of the I group, б) layers of the II group. Photo have done in daylight and ultraviolet (UV) light

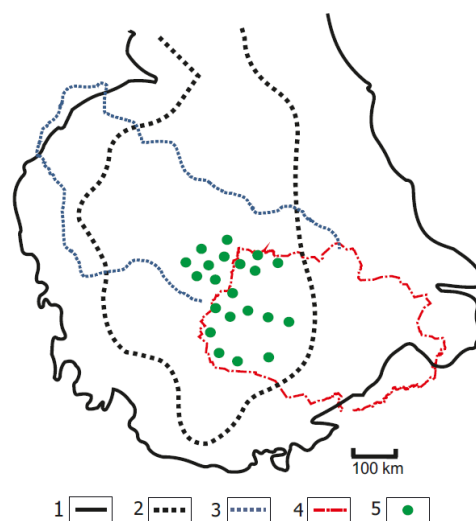
Люминесцирующие прослои были обнаружены более чем в 100 скважинах в центральной и юго-восточной частях Западно-Сибирского бассейна (ЗСБ), вскрывающих отложения баженовской свиты. Географически все эти скважины расположены в пределах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) и Томской области (ТО) (рис. 3). Это позво-

ляет утверждать, что они встречаются по всей площади распространения свиты и могут быть использованы в качестве региональных реперов. Для этого выделенные горизонты должны быть подробно исследованы в отношении их состава и происхождения. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы охарактеризовать минеральный и химический состав этих люминесцирующих прослоев.



**Рис. 2.** Распределение люминесцирующих прослоев в скважине. Фото керна выполнены в УФ освещении. а) расстояние между группами прослоев в разных скважинах, б) прослой с сильным и слабым свечением в разрезе одной скважины

**Fig. 2.** Distribution of luminescent layers in the well under UV lighting. а) distance between the groups of layers in different wells, б) layers with strong and weak luminescence in one well



**Рис. 3.** Территория исследований и схема распределения скважин с люминесцирующими прослоями: 1 – границы распространения баженовской свиты и ее стратиграфических аналогов; 2 – обогащенные ОР породы баженовской свиты; 3 – территориальная граница ХМАО; 4 – территориальная граница Томской области; 5 – скважины с люминесцирующими прослоями

**Fig. 3.** Research area and distribution pattern of wells with luminescent layers: 1 – distribution limit of Bazhenov formation and its counterparts; 2 – organic-rich shale of Bazhenov formation; 3 – territorial border of Khanty-Mansi Autonomous Okrug; 4 – territorial border of the Tomsk region; 5 – wells with luminescent layers

### Методика исследования

Для изучения были выбраны скважины в центральной части ЗСБ (с запада на восток) и скважины юго-восточной окраины бассейна, в разрезах которых отмечены прослои с наиболее интенсивной люминесценцией и с максимальной мощностью прослоя. Образцы для исследований отобраны непосредственно из люминесцирующих прослоев и вмещающих их глинисто-кремнистых пород. Для вмещающих пород автор использует общий термин «баженовиты». Отбор образцов проводился непосредственно из керна колонки откачиванием и/или отпиливанием части керна (пластины) по напластованию. Также отбирались образцы из вмещающих пород на расстоянии 1–5 см выше и ниже относительно люминесцирующих прослоев.

При выполнении исследования применялся комплекс методов изучения минерального и элементного состава: рентгеновская дифрактометрия, петрографический анализ (изучение шлифов), инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) и атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АС), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), рентгенолюминесценция.

Количественно-минералогический рентгенофазовый валовый анализ образцов из люминесцирующих прослоев и вмещающих их пород проводился автором в лаборатории седиментологии АО «ТомскНИПИнефть» с использованием рентгеновского дифрактометра RIGAKU Ultima IV. Для проведения валового анализа подготавливались неориентированные – воздушно-сухие – препараты (порошкообразные).

Петрографический анализ заключался в изучении шлифов. Исследование минерального состава, структурно-текстурных особенностей люминесцирующих прослоев, характера контактов с вмещающими породами, а также других особенностей пород выполнялось автором в лаборатории седиментологии АО «ТомскНИПИнефть» с помощью поляризационного микроскопа Olympus BX51 со встроенной цифровой камерой.

ИНАА осуществлялся в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ.

Исследования методами ИСП-МС и ИСП-АЭС проведены в аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Определение содержания малых элементов выполнено с использованием кислотного разложения ( $\text{HClO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HF}$ ).

Главные породообразующие элементы (Al, Ti, Fe, Mg, Ca, Na, K, P) определены с помощью ИСП-АЭС. Определение содержания  $\text{H}_2\text{O}$ , ППП,  $\text{SiO}_2$  осуществлялось методом гравиметрии.

Изучение микроминеральных форм элементов в изучаемых прослоях производилось на сканирующем электронном микроскопе в МИНОЦ «Урановая геология» в отделении геологии ТПУ. Состав микровключений определялся с помощью энергодисперсионного спектрометра для проведения рентгено-спектрального анализа.

### Результаты исследований и их обсуждение

Особенности минералогии люминесцирующих прослоев и вмещающих пород

Изучение минерального состава, структурно-текстурных и других особенностей люминесцирующих прослоев, а также их контакта с вмещающими породами проводилось для каждой группы.

Прослои I группы представлены *глинистыми породами (аргиллитами)*. Основную массу пород составляет неразличимый глинистый материал, в который погружены обломочные зерна кварца, полевых шпатов угловатой вытянутой формы, обломки слюд и включения пирита. Распределение зерен неравномерное, сортировка отсутствует (рис. 4, а). Отмечаются включения аутигенного каолинита. Соотношение глинистой матрицы и обломочной составляющей в породах 70/30. Граница контакта люминесцирующих прослоев и баженовитов всегда четкая, неровная. Отчетливо наблюдается «врезание» крупных угловатых обломочных зерен в обогащенные органическим веществом (ОВ) баженовиты (рис. 4, б). Также отмечается градиционное распределение зерен по удалению от контакта.

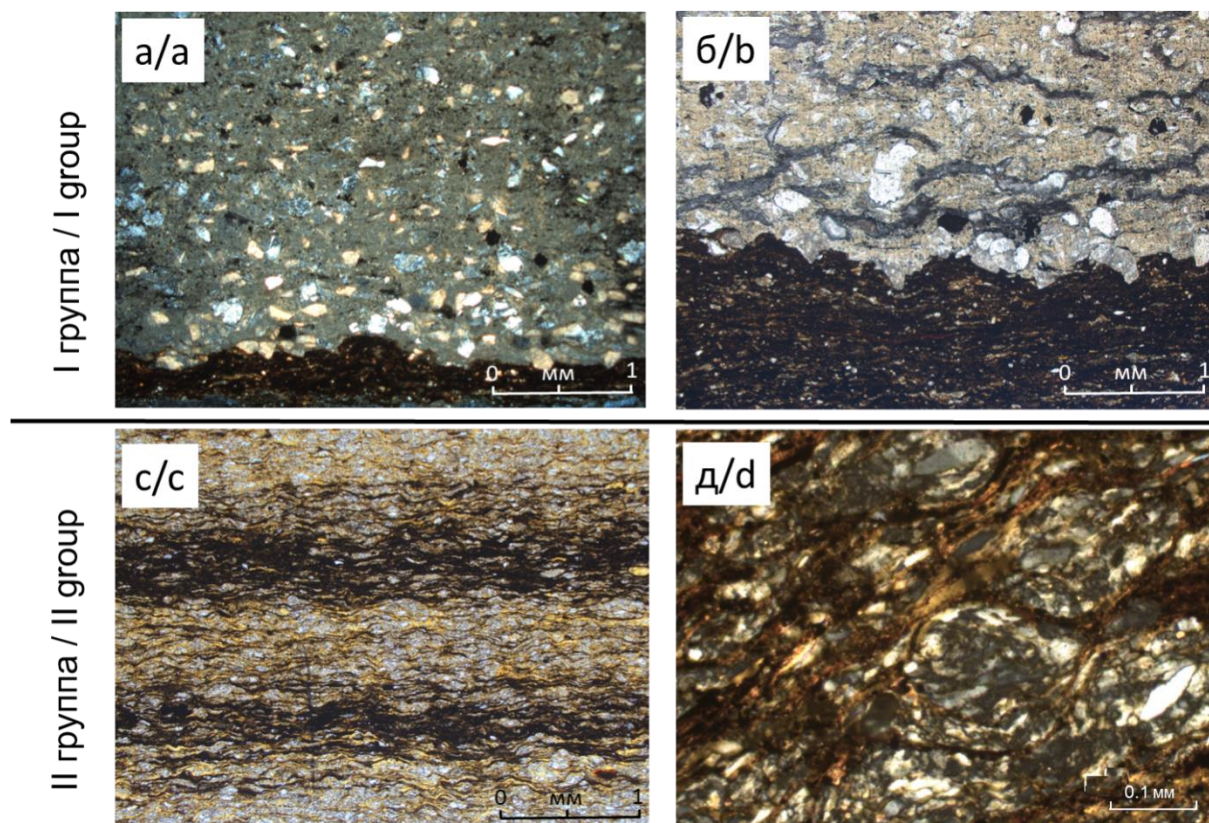
Для прослоев II группы характерно ритмичное чередование тонких (до 1–2 мм) параллельных горизонтальных слойков серых, коричнево-серых люминесцирующих пород и темно-серых до черных глинисто-кремнистых пород (баженовитов) (рис. 4, в). Люминесцирующие породы представлены алевролитами кварцевыми разномасштабными с глинисто-гидрослюдистым цементом и радиоляритами. Алевролиты кварцевые тонко-мелкозернистые до алевроаргиллитов с лепидобластовой и линзовидной микротекстурой, обусловленной послойным распределением тонких волнистых чешуй глинистых включений, облекающих остроугольные вытянутые, овальные, уплощенные ориентированные зерна кварца, реже полевые шпаты (ПШ) и кремневые обломки пород. Текстура слабоволнистая, узорчатая, линзовидная, подчеркнутая ступками, цепочками, пятнами бурого ОВ, аутигенным пиритом и глинисто-гидрослюдистым цементом (рис. 4, д). Соотношение терригенной (обломочной) составляющей и глинисто-гидрослюдистой матрицы в алевролитах неодинаковое и варьирует от 70/30 до 90/10 соответственно. Радиоляриты состоят из скоплений остатков радиолярий округлой, овальной формы. Наблюдается перекристаллизация реликтов радиолярий. Отмечаются сегрегации пирита. Текстурированный рисунок подчеркивается линзовидным распределением бурого ОВ, выполняющего роль цемента. Результаты рентгенофазового анализа (РФА) приведены в табл. 1. Полученные данные РФА подтверждают данные петрографического анализа.

Изучение образцов I группы методом валового рентгенофазового анализа неориентированных препаратов показало, что в минеральном составе преобладают глинистые минералы (50–70 %) – каолинит и смешаннослойные минералы (ССМ) ряда иллит-сметит, также в составе присутствует кварц (1,5–5 %,



редко до 10 %), ПШ (2–20 %), пирит (2–5 %), карбонатные минералы (кальцит, реже доломит) (1–5 %),

тридимит/кristобалит (1–7 %), иллит (1–5, редко до 10 %).



**Рис. 4.** Микрофотографии пород изучаемых прослоев: I группа: а) структура породы, обломочные зерна кварца, ПШ, обломки пород в глинисто-гидрослюдистой основной массе, николи скрещены; б) граница прослая и баженовита, врезание обломочных зерен в подстилающие породы; николи скрещены, II группа: с) переслаивание люминесцирующих слойков алевролитов (светлое) и слойков с повышенным содержанием ОВ (темное), николи параллельны; д) линзовидная микротекстура, николи скрещены

**Fig. 4.** Microphotographs of the rocks of the studied layers: I group: a) rock structure, detrital quartz grains, feldspars, rock fragments in the clay-hydromica bulk, crossed polars; b) boundary of the layer and bazhenovite, incision of detrital grains into the underlying rocks, crossed polars, II Group: c) interbedding luminescent layers of siltstones (light) and layers with a high content of organic matter (dark), plane polarized light; d) lenticular microtexture, crossed polars

Породы I группы по преобладающей минеральной фазе разделены на два типа: тип А – преобладающий минерал каолинит, тип Б – основная фаза смешанно-слоистые минералы. Следует отметить, что прослои, обогащенные каолинитом, встречаются в скважинах, вскрывающих баженовскую свиту на территории ТО, а обогащенные ССМ – в скважинах ХМАО.

Результаты изучения образцов II группы показали, что главным минеральным компонентом является кварц (до 90 %), также присутствует ПШ (2–10 %), пирит (2–5 %). Глинистые минералы (2–10 %, редко до 10 %) представлены иллитом/мусковитом, каолинитом, в единичных образцах отмечен кальцит в количестве 1–3 %. Для данной группы пород далее по тексту используется термин «кремнистый».

Для баженовита по данным РФА характерно присутствие кварца в качестве основной фазы (50–60 %), повышенного количества пирита, глинистые минералы (до 15 %) представлены иллитом/мусковитом при небольшом содержании ССМ (до 15 %). Каолинит присутствует в изученных баженовитах в подчинен-

ном количестве (до 3 %). Хлорит в составе не обнаружен. Отмечено наличие карбонатных минералов (кальцит, доломит) в содержании до 5 %, ПШ до 15 %.

Микроминеральный состав люминесцирующих прослоев изучен с помощью электронного микроскопа. В составе встречаются включения и агрегаты глинистых минералов, полевых шпатов, кварца, фосфатные, сульфидные, сульфатные минералы, циркон.

Кристаллы циркона встречаются редко. Форма кристаллов в основном призматическая, характерны механические повреждения и следы коррозии по граням.

Пирит в основном представлен агрегатами фрамбоидной формы. Присутствие фрамбоидов пирита говорит о его аутигенном происхождении. По данным Я.Э. Юдовича образование пирита обычно связывается со средообразующей функцией ОВ, за счет которой идет микробиологическая сульфат-редукция с последующим связыванием серы в пирит в восстановительных условиях [4].

**Таблица 1.** Минеральный состав изученных пород (люминесцирующих прослоев и вмещающих пород), %

**Table 1.** Mineral composition of the studied rocks (luminescent layers and enclosing rocks), %

Группа пород/Минерал Group of rocks/Mineral	I						II			Баженовиты Bazhenovity		
Кварц/Quartz	4,0	4,9	2,0	3,2	2,0	10,2	78,7	92,2	81,5	68,1	62,5	68,6
Плагиоклаз/Plagioclase	4,2	4,5	2,0	18,2	20,8	17,2	1,0	2,4	7,3	6,0	13,2	7,5
КФШ/K-feldspar	1,4	0,0	0,0	2,4	4,3	0,0	1,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
Пирит/Pyrite	3,1	3,5	3,2	3,8	4,8	6,5	2,6	1,0	5,2	8,9	7,2	6,9
Кальцит/Calcite	1,5	1,0	1,0	2,5	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	2,5
Доломит/Dolomite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	2,0	0,0
Тридимит/Кристобалит Tridimit /Cristobalite	3,9	5,7	4,9	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Каолинит/Kaolinite	69,5	74,2	56,6	5,0	5,5	0,0	15,7	1,5	2,4	0,0	0,0	2,8
Иллит/Illite	1,2	1,2	1,5	2,1	1,8	1,9	1,0	1,0	1,2	10,0	11,6	10,2
ССМ/Mixed layer minerals	11,2	5,0	28,8	62,8	59,8	64,2	0,0	0,0	0,0	1,4	3,5	1,5
Сумма/Sum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Фосфатные минералы отмечаются преимущественно в глинистых прослоях I группы. Обнаружены как скрытокристаллические минеральные включения причудливой округлой формы, так и отдельные кристаллические формы. Скрытокристаллические агрегаты предположительно имеют связь с биогенными остатками. По данным энергодисперсионных спектров отмечаются фосфаты кальция (фторапатит, хлорапатит) и в единичных случаях редких земель и тория (монацит?).

Включения барита отмечены в каждой группе пород в форме отдельных индивидов и агрегатов различной формы, ассоциирующих с фрамбоидами пирита и с биогенными остатками. Следует отметить, что в породах I группы барит встречается чаще, чем в породах II группы.

#### Природа образования изучаемых пород

По особенностям строения, текстурным признакам и вещественному составу исследуемых прослоев можно предположить их первично вулканическую природу. Для выделенных прослоев характерна более светлая окраска, четкие ровные границы с выше- и нижележащими отложениями. При исследовании на оптическом микроскопе выявлены остроугольные, копьевидные зерна кварца, таблитчатые зерна ПШ (редко). Выявлены окремненные обломки, предположительно, раскристаллизованного стекла. Для глинистых разностей прослоев (I группа) характерно неравномерное, иногда градиционное (по направлению к границе слоя) распределение несортированного обломочного материала. На границе слоя отмечены угловатые зерна, врезанные и вдавленные во вмещающий нижний слой. Все эти признаки косвенно могут говорить о присутствии в осадке материала вулканического происхождения и последующего его постдиагенетического преобразования.

Для существенно кремнистых пород (II группа) таких отчетливых признаков присутствия вулканического материала не обнаружено. Породы почти нацело сложены кварцевым агрегатом, отмечаются лепидобластовые ориентированные зерна кварца и в подчиненном количестве глинисто-гидрослюдистый цемент. Предполагается, что породы претерпели существенное преобразование в процессах диа- и катагенеза и сейчас находятся на стадии метagenеза. Для

пород характерны линзовидные, уплотненные обломки кремнистого состава (раскристаллизованное стекло?), обтекаемые цементом и ОВ, также отмечаются угловатые, игольчатые зерна кварца.

Подобные люминесцирующие прослои глинистого состава в отложениях баженовской свиты на территории ХМАО отмечены в работах И.В. Панченко и соавторов, Е.Е. Оксенойд, Т.Д. Булатова. Выделенные авторами прослои отнесены к туфам и туффитам [5, 6]. По своему строению и вещественному составу породы схожи с прослоями I группы.

Дж.Д. Пирсом и соавторами в позднемиоценовых сланцах провинции Eagle Ford, США (аналог битуминозных отложений баженовской свиты), также выявлены тонкие прослои туфов, залегающих в нефтематеринских породах [7]. Выделенные авторами прослои также имеют преимущественно глинистый состав (каолинистый и смешаннослойный).

Следует отметить, что люминесцирующие прослои кремнистого состава (II группа) в отложениях баженовской свиты описаны впервые и детального их изучения не проводилось.

#### Химический состав исследуемых прослоев и вмещающих пород

Среднее содержание химических элементов в изучаемых породах и баженовитах приведено в табл. 2.

Оценка полученных результатов проводилась путем сравнения данных с результатами определений содержания элементов для пород БС по Л.П. Рихванову и соавторам и В.М. Гавшину, а также с кларком содержания элементов в глинах и глинистых породах по Н.А. Григорьеву [8–10].

При сравнении средних содержаний элементов в составе вмещающих пород (баженовитов) и содержания элементов для пород БС, указанных в работах [8, 9], отмечены повышенные концентрации Zn, Mo, Ni, V, U и Ba (табл. 2). Многими исследователями отмечается связь накопления данных микроэлементов с содержанием ОВ в осадке, а также связывается с сероводородным заражением в иловых осадках [9, 11].

Анализ среднего химического состава для пород I группы приводится без разделения на типы по преобладающей минеральной фазе. Пониженные концентрации элементов характерны для Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Nb, Mo и Cd. Повышенные содержания отмечаются для As, Pb, Li, несколько повышенные для Sr

и Zr. Среди группы РЗЭ повышенные концентрации характерны только для La, Ce и Pr, в то время как содержание остальных членов группы не превышает средних значений для вмещающих пород.

Следует отметить различие концентраций некоторых элементов внутри I группы (между типами А и Б). Так, для образцов смешаннослойного состава (тип Б) отмечаются повышенные концентрации Ba, Cu, Zn, Ga, As, La, Ce и Nd. Для пород каолинистового состава (Тип А) отмечается небольшое превышение в содержании Ni и Mo.

**Таблица 2.** Содержание химических элементов в исследуемых прослоях и вмещающих породах, г/т

**Table 2.** Trace element concentrations in studied rocks (luminescent layers and enclosing rocks), ppm

Элемент Element	Среднее значение/Average, %					
	II группа II group	I группа I group	Баженовиты Bazhenovity	[8]	[9]	[10]
Li	20,4	77,6	21,8	29,9	н.д.	46,0
Be	0,4	1,0	1,8	<5	н.д.	2,8
Sc	4,0	11,2	14,2	12,5	9,1	15,0
V	159	607	615	347	539	120
Cr	36,4	19,6	77,3	74,7	78,0	76,0
Co	9,6	5,2	30,9	27,4	н.д.	19,0
Ni	107	35,6	325	162	291	47,0
Cu	41,5	74,1	131	99,0	132	36,0
Zn	168	102,8	848	447	678	52,0
Ga	3,5	12,3	13,4	14,1	н.д.	16,0
Ge	0,4	0,4	1,3	2,0	н.д.	2,0
As	6,0	33,9	16,6	30,3	45,0	9,3
Rb	14,9	16,4	64,2	65,7	90,0	130
Sr	119	418	364	301	н.д.	240
Y	11,0	12,3	38,2	26,6	н.д.	31,0
Zr*	26,7	82,5	77,9	108	211	190
Nb	1,9	2,9	6,1	8,2	н.д.	11,0
Mo	91,9	34,1	245	152	122	1,6
Ag*	0,3	0,6	0,9	<0,7	н.д.	0,2
Cd	3,6	1,8	17,0	11,4	н.д.	1,0
Sn	0,2	2,3	1,1	1,6	н.д.	3,5
Sb	2,3	3,8	7,3	4,8	6,9	1,0
Cs	1,1	3,6	5,0	4,9	н.д.	10,0
Ba	806	3788	1484	1995	2264	460
La	6,8	35,4	21,0	24,3	27,0	48,0
Ce	14,0	70,6	42,9	44,7	53,0	75,0
Pr	1,7	7,1	5,3	5,6	н.д.	10,0
Nd	8,2	22,8	24,6	23,2	н.д.	36,0
Sm	1,7	3,6	5,3	3,9	6,3	8,0
Eu	0,4	0,8	1,4	1,2	1,3	1,2
Gd	1,9	2,9	5,9	5,4	н.д.	5,8
Tb	0,2	0,4	0,8	0,7	0,9	0,8
Dy	1,6	2,2	5,4	4,5	н.д.	4,4
Ho	0,3	0,5	1,0	0,9	н.д.	0,7
Er	1,0	1,4	3,4	2,6	н.д.	1,9
Tm	0,1	0,2	0,4	0,4	н.д.	0,6
Yb	0,9	1,4	3,4	3,2	3,2	2,5
Lu	0,1	0,2	0,5	0,4	н.д.	0,4
Hf	0,7	5,1	1,7	2,6	3,1	5,0
Ta	0,2	1,6	0,4	0,3	0,6	1,4
W	0,4	0,7	1,0	1,2	н.д.	2,6
Tl	0,8	0,7	2,4	2,7	н.д.	0,0
Pb	4,6	36,3	15,7	15,1	н.д.	14,0
Th	3,5	62,8	7,1	6,2	6,3	10,0
U	22,1	39,2	60,0	38,3	35,7	4,5

Примечание: н.д. – нет данных.

Note: н.д. – no data.

Для пород II группы содержание всех элементов ниже в 2–4 раза по сравнению с баженовитами.

При сравнении содержаний элементов I и II групп отмечаются пониженные концентрации практически всех элементов в составе II группы, кроме Mo, Cd, Zn, Ni, Co и Cr.

Различия в накоплении тех или иных элементов в породах I и II групп можно объяснить разным минеральным составом и низким содержанием ОВ. Так, по ранее проведенным исследованиям, представленным в работе [2, 3], содержание  $C_{орг}$  для изучаемых пород по данным пиролизического метода составляет 0,2–1,5 %, а для вмещающих пород  $C_{орг}$  варьирует от 5 до 18 %. Следовательно, исследуемые прослои сильно обеднены ОВ. По данным И.Н. Ушатинского [11] с органическим веществом баженовской свиты наиболее тесно связаны V, Cu, Ni, Mo и U. Именно этими компонентами обогащены изучаемые вмещающие породы и обеднены люминесцирующие прослои, вследствие разного (низкого) содержания ОВ.

Можно предположить, что снижение концентраций микроэлементов в изучаемых прослоях может быть вызвано резкой сменой условий при осадконакоплении в иловых водах. Такие условия могут быть вызваны синхронным поступлением в осадок материалов вулканогенного пирокластического (пеплового) материала совместно с осадками нормальной морской седиментации. Поступление в осадок продуктов пеплового материала в связи с его повышенной реакционной способностью, а также присутствием в нем токсичных продуктов (As, Hg, Cd и др.) [12] может влиять на продуктивность организмов вплоть до их массовой гибели, что объясняет низкое содержание ОВ в исследуемых породах.

Отдельно следует отметить характер распределения содержаний радиоактивных элементов Th и U. Для пород II группы средние содержания этих элементов в несколько раз ниже, чем во вмещающих породах. Так, среднее содержание в баженовитах Th – 7,1 г/т, U – 60 г/т, Th/U соотношение составляет 0,1, тогда как среднее содержание Th и U в породах II группы составляет 3,5 г/т (единичное значение 16 г/т) и 22,1 г/т соответственно, Th/U – 0,15. Для пород I группы содержание U в среднем составляет 39,2 г/т, Th – 62,8 г/т, Th/U – 1,6. Концентрации Th в породах I группы в 8 раз превышают содержание во вмещающих породах.

Накопление урана имеет тесную связь с накоплением ОВ в условиях восстановительной среды [9, 11, 13, 14]. Кларк тория в черных сланцах, по данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, составляет 6–7 г/т, аномальным считается его содержание свыше 10 г/т. Накопление тория может быть связано с привнесом его либо в составе терригенного (обломочного) материала, либо в составе вулканогенно-обломочного материала [15]. По данным Ю.Н. Занина и соавторов [14] наблюдается значимая положительная корреляция тория с глинистым материалом. Авторы предполагают, что содержание тория в более глинистых породах БС повышено относительно менее глинистых. Анализируя полученные данные, можно сделать заключе-

ние, что наиболее вероятный источник поступления титана в исследуемые породы – вулканогенный пирокластический (пепловый) материал. Выделенные титрий-содержащие горизонты простираются на сотни километров и могут являться следствием обширного пеплопада верхнеюрского времени. Пеплопады многократно проявлялись в юрское время на территории Западной Сибири, что было убедительно показано в работах [16, 17].

Химический состав изученных прослоев, а также вмещающих пород методом ИСП-АС приведен в табл. 3. Данные химического анализа породообразующих оксидов сопоставляются с данными петрографиче-

ского и рентгенофазового анализа. Содержание кремнезема в породах I группы колеблется в пределах 45,2–50,3 %, глинозема – 27,1–35,7 %, для пород II группы 66,0–84,9 и 0,5–12,0 %, для баженовитов 56,0–64,8 и 6,4–10,1% соответственно. Повышенные значения  $Al_2O_3$  и  $K_2O$  в породах I группы подтверждают данные о высоком содержании ПШ и глинистых минералов в породах, так же как высокие концентрации  $SiO_2$  в прослоях II группы свидетельствуют о более кремнистом составе пород, по сравнению с баженовитами. Для баженовитов отмечается повышенная железистость, что может быть обусловлено более высоким содержанием пирита.

**Таблица 3.** Породообразующие оксиды в исследуемых прослоях и вмещающих их породах (вес. %)

**Table 3.** Rock-forming oxides concentrations in studied rocks (luminescent layers and enclosing rocks) (wt. %)

Образец Sample	Оксид/Oxide Группа/Group	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$	$H_2O^-$	ППП	$TiO_2/Al_2O_3$
1	II группа II group	78,6	0,1	2,6	2,1	<0,01	0,2	0,1	0,3	0,4	0,0	0,1	15,3	0,04
2		84,9	0,0	0,8	0,8	<0,01	0,0	0,3	0,1	0,1	0,0	–	12,8	0,03
3		72,1	0,2	12,0	1,3	0,0	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,3	12,7	0,01
4		72,8	0,2	3,4	1,6	0,0	0,4	0,8	0,6	0,5	0,1	0,3	19,0	0,05
5		72,7	0,2	3,9	3,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,7	0,2	0,3	17,7	0,05
6		83,7	0,0	1,1	0,5	<0,01	0,2	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	13,7	0,04
7	I группа Тип А I group Type A	45,2	0,3	34,9	2,0	0,0	0,4	0,9	0,4	0,8	0,2	1,0	13,7	0,01
8		46,9	0,4	34,0	1,1	0,0	0,8	1,1	0,6	2,5	0,2	1,8	10,3	0,01
10		47,6	0,3	33,8	1,0	0,0	0,7	0,8	0,7	2,2	0,2	0,6	11,8	0,01
11		45,6	0,4	35,7	1,5	0,0	0,4	0,8	0,4	0,7	0,2	1,3	12,7	0,01
12		45,6	0,3	35,7	1,4	0,0	0,2	0,6	0,3	0,4	0,2	0,9	14,2	0,01
17	I группа Тип Б II group Type B	50,3	0,3	28,4	2,2	0,0	1,7	0,3	1,5	2,5	0,2	2,4	9,0	0,01
18		45,9	0,3	31,3	3,5	0,0	1,0	1,0	0,3	1,2	0,1	2,8	12,5	0,01
20		48,3	0,3	27,1	4,5	0,0	1,5	0,6	1,5	2,6	0,2	2,2	10,5	0,01
21		49,9	0,2	28,9	2,0	0,0	1,3	0,4	1,4	2,5	0,2	2,1	9,6	0,01
22	Баженовиты Bazhenovity	56,0	0,4	9,9	5,4	0,0	0,8	0,4	0,8	2,4	0,2	0,6	22,8	0,04
23		64,8	0,3	10,1	3,8	0,0	1,0	0,6	1,2	1,3	0,1	0,6	15,8	0,03
24		61,4	0,3	6,4	5,7	0,0	1,7	2,5	0,6	1,2	0,4	0,6	18,8	0,04
25		58,6	0,4	8,3	5,0	0,0	0,8	1,7	0,7	1,7	0,2	0,6	21,7	0,04

Титановый модуль (отношение  $TiO_2$  к  $Al_2O_3$ , ТМ) широко используется специалистами в качестве вспомогательного критерия для определения исходного состава измененного пеплового материала [18–21]. Среднее значение ТМ для глинистых пород I группы составляет 0,01, для пород II группы и баженовитов оно составляет 0,04.

Согласно данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис ТМ служит индикатором петрофонда основного или кислого состава. Для риолитовых туфов характерны очень низкие значения ТМ (0,02 до 0,01) [18]. По данным Д.А. Спирса и Р. Канариса-Сотириу величина ТМ для риолитовой пирокластике не превышает 0,02, для пирокластике основного состава, наоборот, более 0,06. Промежуточные значения ТМ свидетельствуют о вкладе вулканического пепла среднего либо щелочного состава [19].

Для оценки происхождения и классификации измененного вулканического пепла широко используется классификационная диаграмма Дж.А. Винчестера и Р.А. Флойда, основанная на отношении  $Zr/TiO_2$  к  $Nb/Y$  [22].

Исследуемые породы двух групп занимают на классификационной диаграмме поле, соответствующее риодацитам/дацитам (рис. 5). При этом породы I группы тяготеют к риолитам, в то время как породы II группы смещены ближе к полю андезитов, что свидетельствует об их разной вулканической специализации или разном составе выпавших осадков.

Использование данной диаграммы для установления происхождения пепла как единственного метода определения ограничено. Ограничения связаны с различной подвижностью элементов, лежащих в основе диаграммы. Установлена мобильность и вынос Zr, Nb и Y из пепловых горизонтов в процессе разложения и перераспределения первичного минерального вещества [23, 24]. Также содержания Zr зависят от пробоподготовки, используемой при анализе. Кислотное разложение, применяемое в ИСП-МС, может привести к занижению результатов по данному элементу и искажению результатов на диаграмме [21]. В связи с вышесказанным корректное использование диаграммы и интерпретации данных следует применять совместно с другими критериями (модулями и т. д.).



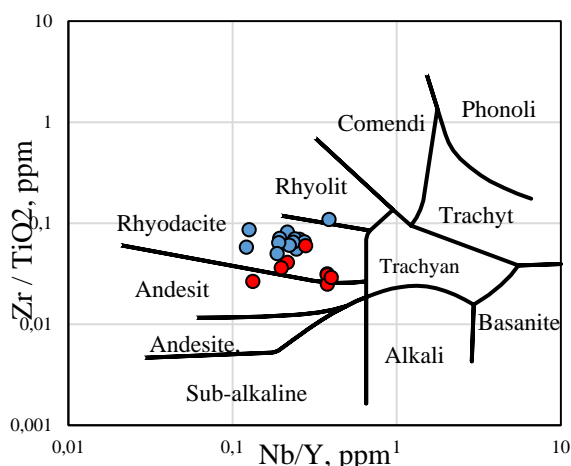


Рис. 5. Положение изученных проб на  $Zr/TiO_2$ -Nb/Y диаграмме [22]

Fig. 5. Location of the samples according to chart  $Zr/TiO_2$  and Nb/Y relation [22]

#### Закономерности распределения редкоземельных элементов

В процессе изучения баженовской свиты рядом авторов уделялось большое внимание анализу распределения в ней редкоземельных элементов (РЗЭ) и их закономерностей (В.М. Гавшин, Ф.Г. Гурари,

Н.А. Доронина, М.Ю. Зубков, О.Г. Зарипов, Ю.Н. Занин, И.И. Ушатинский и др.).

При изучении пород на электронном микроскопе РЗЭ отмечены в составе фосфатных фаз, предположительно, в монаците (рис. 6).

Среднее содержание РЗЭ в глинистых породах I группы составляет 149,9 г/т, в кремнистых породах II группы – 37,1 г/т, для баженовитов – 120 г/т.

О природе исходного вещества горных пород можно судить по результатам изучения редкоземельных элементов. Характер кривых распределения средних значений РЗЭ в породах I, II группы и вмещающих пород свидетельствует о различном составе формирующего их исходного материала. Вмещающие отложения и породы II группы имеют схожий характер распределения элементов (рис. 7).

Особенности распределения РЗЭ в породах II группы и вмещающих породах указывают на то, что породы формировались путем переотложения из водных растворов (гидрогенное накопление), а материал для пород I группы поступал в кластогенной форме (пепел?). Для пород I группы распределение РЗЭ однотипное и отражает риодацитовый состав пеплов со слабоконтрастной отрицательной европиевой аномалией. Графики распределения РЗЭ для пород I и II групп, нормированные на хондрит, представлены на рис. 8.

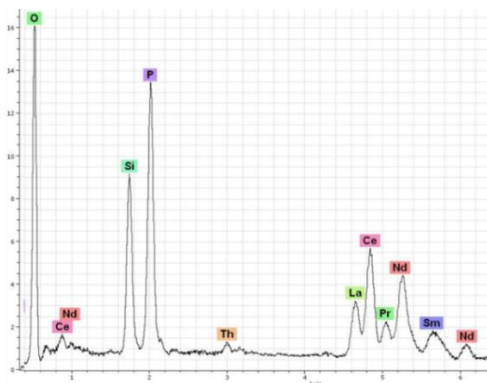
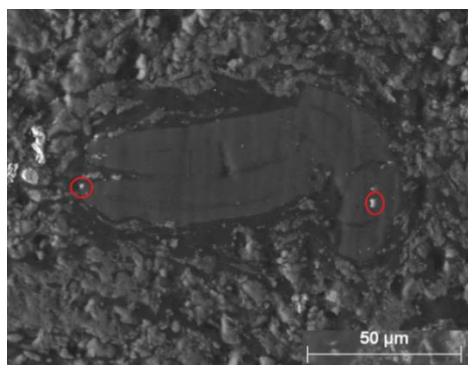


Рис. 6. Минеральное включение фосфата (монацита), содержащие РЗЭ и торий в скрытокристаллической кремнисто-фосфатно-кальцевой массе

Fig. 6. Mineral inclusion of phosphate (monazite) containing REE and thorium in cryptocrystalline silicon-phosphate-calcium mass

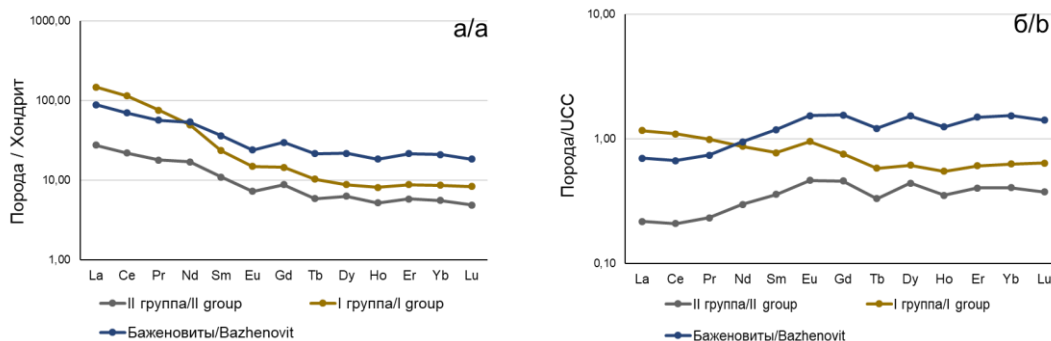
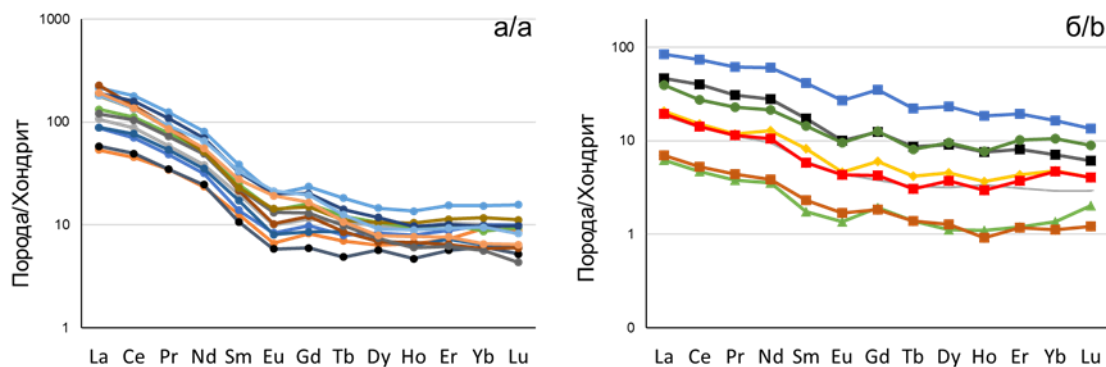


Рис. 7. Нормированные графики распределения РЗЭ (по средним значениям) в исследуемых и вмещающих породах: а) нормировано на кларк в верхней континентальной земной коре (UCC) [25]; б) нормировано на хондрит [26]

Fig. 7. Normalized REE (by average values) in the studied and host rocks: а) UCC-normalized REE patterns [25]; б) chondrite-normalized REE patterns [26]





**Рис. 8.** Нормированные графики распределения РЗЭ: а) в прослоях I группы; б) в прослоях II группы. Нормировано на хондрит [26]

**Fig. 8.** Chondrite-normalized REE patterns: a) in the layers of the I group; b) in the layers of II group [26]

Лантан-иттербиевое отношение в изученных прослоях изменяется в широких пределах – от 6,3 до 34,6. Наименьшие значения La/Yb отношения характерны для пород II группы (7,5) и вмещающих пород (6,3). Для каолиновых прослоев I группы (Тип А) соотношение составляет 22,5, для смешаннослойных прослоев I группы (Тип Б) – 34,6. Для пород основного состава La/Yb отношение ниже, чем для кислых. Согласно работе Л.С. Бородина при переходе от базальтов к кислым породам относительное содержание La возрастает в несколько раз [27]. Таким образом, полученные данные указывают, что исследуемые глинистые прослои I группы тяготеют к кислым породам, а кремнистые (II группа) и вмещающие породы – к более основным.

Данные по распределению РЗЭ и La/Yb отношение согласуются с данными изучения  $TiO_2/Al_2O_3$  отношения и с положением исследованных проб на диаграмме Винчестера и Флойда (рис. 5), которые указывают на более кислый состав вулканогенного материала в глинистых породах и более основной для кремнистых и вмещающих пород.

#### Природа люминесценции исследуемых отложений

На начальных этапах исследования характер и природа свечения люминесцирующих прослоев связывались либо с наличием свободных углеводов (УФ) (в виде нефтенасыщения), либо с возможным присутствием в породах карбонатного материала. По результатам валового рентгенофазового анализа в составе исследуемых образцов содержание карбонатных минералов не превышает примесного содержания (не более 5 %). Для подтверждения причины свечения за счет наличия УФ было произведено экстрагирование образцов. После экстрагирования хлороформом и в спирто-бензольной смеси свечение осталось, и можно сделать вывод, что оно не связано с присутствием УФ. Также для выяснения причин свечения был произведен ступенчатый нагрев образца в порошке с последующим фотографированием в дневном и ультрафиолетовом свете. Отмечено, что свечение исчезает в температурном интервале от 450 до 500 °C [3, 28].

По данным проведенной рентгенолюминесценции выяснилось, что свечение не связано с кристалличе-

ской структурой, т. е. центры люминесценции не находятся в решетках минералов. Таким образом, мы имеем дело со свечением неструктурных дефектов, а с центрами автономных образований, слабо взаимодействующими с кристаллической решеткой минералов. Такими центрами могут служить органические молекулы  $PO_2NO$ ,  $NH$  и др., которые не возбуждаются рентгенолюминесценцией [29]. В проведенных ранее исследованиях [2, 3] показано повышенное содержание азота в породах и наличие в составе группы азотистых соединений и  $NH_4$  на ИК-спектрах исследуемых пород.

Предполагается, что обогащение осадка азотом произошло из-за резкого и обильного поступления в иловые воды пеплового материала, что повлекло за собой массовую гибель организмов с высвобождением азотистых соединений и последующей сорбцией их на глинистом субстрате. В постседиментационном процессе окремнения осадка мог произойти захват органических молекул, содержащих азот. Таким образом на данном этапе исследований природа люминесценции точно не установлена и предполагается, что свечение обусловлено наличием азотистых соединений в породах. Для более точной диагностики природы люминесценции необходимо выполнить дополнительные исследования (фотолюминесценцию, газовую хроматографию и др.). В работах И.В. Панченко и соавторов и Е.Е. Оксенойд природа люминесценции в подобных туфовых прослоях связывается с наличием минералов группы цеолитов [5, 6]. По данным настоящего исследования в изучаемых породах минералы группы цеолитов не выявлены. По данным рентгенолюминесценции также можно судить о том, что свечение не обусловлено минералами данной группы.

#### Заключение

При исследовании отложений баженовской свиты в центральной и юго-восточной частях Западно-Сибирского осадочного бассейна при УФ освещении обнаружены прослои с яркой люминесценцией. По визуальному признаку они разделены на 2 группы: I группа формирует прослои мощностью до 1 см, II группа представляет собой серию тонких прослоев

мощностью до 15 см. По данным петрографического анализа и рентгеновской дифрактометрии породы I группы имеют существенно глинистый состав, II группы – кремнистый. Изученные породы отличаются от вмещающих пород по содержанию кварца, глинистых минералов, ПШ, также породы менее обогащены пиритом и органическим веществом. По преобладающей минеральной фазе породы I группы разделены на два типа: тип А – каолинитовый и тип Б – смешаннослойный иллит-сметитовый.

Люминесцирующие прослои различны по содержанию микроэлементов. По полученным данным химического состава породы I и II существенно отличаются.

Для пород I группы, имеющих существенно глинистый состав, характерны пониженные концентрации Co, Cr, Ni, Zn, Cu, Rb, Nb, Mo и Cd по сравнению с вмещающими породами. Повышенные концентрации отмечаются для Pb, Li, As, Sr и Zr. Среди группы РЗЭ повышенные концентрации характерны только для La, Ce и Pr.

Для пород II группы содержание всех элементов ниже в сравнении с баженовитами. При сравнении содержаний элементов I и II групп отмечаются пониженные концентрации практически всех элементов в составе II группы, кроме Mo, Cd, Zn, Ni, Co и Cr.

По минеральным, структурно-текстурным признакам, особенностям химического состава природа исследуемых прослоев определена как первично вулканическая. Предполагается, что выделенные прослои образовались за счет привноса в иловые воды пеплового материала с последующим его постседиментационным преобразованием. На признаки присутствия пеплового материала указывают морфологические особенности обломков кварца, ПШ, границы прослоев. При изменении вулканического материала для пород характерна глинизация (превращение в бенто-

ниты) и окремнение осадка. Глинистые минералы предположительно образовались в процессе трансформационных преобразований пеплового материала. О наличии вулканического материала также свидетельствует низкое содержание в породах ОВ ( $C_{org}$ ) и повышенное содержание Th, который мог попасть в осадок с пепловым материалом.

Согласно геохимическим особенностям (ТМ, классификационная диаграмма, распределение РЗЭ) породы обеих групп имеют риодацитовый состав, при этом прослои I группы тяготеют к кислым по составу породам (риолитам), а прослои II группы – к средним (андезитам). Форма проявления, различный состав исследуемых пород, различия в концентрациях микроэлементов могут говорить о разном масштабе проявления вулканической деятельности, в результате которой накопились исследуемые осадки. Так, прослои II группы в своем строении выражены маломощными (до 1–3 мм) ритмичными переслаиваниями с породами, обогащенными ОВ. Предполагается, что вулканогенный материал поступал пульсационно, таким образом, что между «выбросами» успевали накопиться осадки и ОВ. Данные серии характерны для нижней части свиты. Вверх по разрезу встречаются одиночные маломощные прослои до 1 см, что свидетельствует о единоразовом поступлении пеплового материала в осадок с более долгими временными перерывами.

К аналогам исследуемых прослоев могут быть отнесены тонштейны в угленосных формациях (преимущественно каолинитовые состава), бентониты и калиевые-бентониты [20, 21, 30].

Природа люминесценции исследуемых прослоев на данном этапе изучения уточняется.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90008.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоливко Н.М., Перевертайло Т.Г. Литолого-петрографические особенности коллекторов баженовской свиты на юго-востоке Западно-Сибирской провинции (Томская область) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 1. – С. 77–87.
2. Петрография и минералогия глин аномально люминесцирующих прослоев баженовской свиты Западно-Сибирского осадочного бассейна / М.В. Шалдыбин, В.В. Крупская, А.В. Глозов, О.В. Доржиева, И.В. Гончаров, В.В. Самойленко, Е.С. Деева, Ю.М. Лопушняк, О.В. Бетхер, С.В. Закусин // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 2. – С. 36–40.
3. The nature, origin and significance of luminescent layers in the Bazhenov Shale Formation of West Siberia, Russia / M.V. Shal'dybin, M.J. Wilson, L. Wilson, Yu.M. Lopushnyak, R. Brydson, V.V. Krupskaya, E.S. Kondrashova (Deeva), A.V. Glotov, I.V. Goncharov, V.V. Samoilenko, S.I. Arbuzov, O.V. Bether, L. Brown, D. White, N.V. Dorofeeva // Marine and Petroleum Geology. – 2019. – V. 100. – P. 358–375.
4. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. – Л.: Наука, 1988. – 272 с.
5. Туфы и туффиты в баженовском горизонте (Западная Сибирь) / И.В. Панченко, В.А. Камзолкин, А.В. Латышев, И.Д. Соболев // VIII Всероссийское литологическое совещание: Эволюция осадочных процессов в истории Земли. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. – Т. I. – С. 258–260.
6. Оксенойд Е.Е., Булатов Т.Д. Туфогенные прослои в отложениях баженовского горизонта в Среднем Приобье (Западная Сибирь) // 12 Уральское совещание: Осадочная геология Урала и прилегающих регионов: сегодня и завтра. – Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2018. – С. 247–250.
7. Zircon U-Pb geochronology and sources of volcanic ash beds in the Upper Cretaceous Eagle Ford Shale, South Texas / J.D. Pierce, S.C. Ruppel, H. Rowe, D. Stockli // GSA Journal. – 2016. – V. 5. – P. 253–274.
8. Черные сланцы баженовской свиты // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2019. – № 6. URL: <https://magazine.neftgaz.ru/archive/453929/> (дата обращения: 01.04.2020).
9. Гавшин В.М., Бобров В.А. Закономерности распределения микроэлементов в баженовской свите // Доманиты Сибири и их роль в нефтегазоносности. Новосибирск: СНИИГиМС, 1982. – С. 76–91.
10. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785–792.
11. Ушатинский И.Н. Состав и микроэлементы пород баженовской свиты и вмещающих глин // Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири. – Новосибирск: ИГТ СО АН СССР, 1984. – С. 21–31.
12. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. – Л.: Недра, 1982. – 208 с.
13. Плумен И.И. Ураноносность черных аргиллитов волжского яруса Западно-Сибирской плиты как критерий геохимических

- условий осадконакопления // Геохимия. – 1971. – № 9. – С. 1138–1143.
14. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Уран, торий и калий в черных сланцах баженовской свиты Западно-Сибирского морского бассейна // Литология и полезные ископаемые. – 2016. – № 1. – С. 82–94.
15. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. – Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. – 304 с.
16. Ван А.В. Мезозойско-палеогеновый вулканизм на территории Западно-Сибирской низменности // Доклады АН СССР. – 1973. – Т. 210. – № 5. – С. 1156–1159.
17. Ван А.В., Предтеченская Е.А., Злобина О.Н. Продукты вулканизма в юрских отложениях Приуральской части Западно-Сибирской плиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 5. – С. 15–22.
18. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. – СПб: Наука, 2000. – 479 с.
19. Spears D.A., Kanaris-Sotiriou R. A geochemical and mineralogical investigation of some British and other European tonsteins // Sedimentology. – 1979. – V. 26. – P. 407–425.
20. Spears D.A. The origin of tonsteins, an overview, and links with seatearths, fireclays and fragmental clay rocks // International Journal of Coal Geology. – 2012. – V. 94. – P. 22–31.
21. Altered volcanic ashes in coal and coal-bearing sequences: a review of their nature and significance / S. Dai, C.R. Ward, I.T. Graham, D. French, J.C. Hower, L. Zhao, X. Wang // Earth-Science Reviews. – 2017. – V. 175. – P. 44–74.
22. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // Chemical Geology. – 1977. – V. 20. – P. 325–343.
23. Spears D.A., Arbuzov S.I. A geochemical and mineralogical update on two major tonsteins in the UK Carboniferous Coal Measures // International Journal of Coal Geology. – 2019. – V. 210. – Article 103199.
24. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia / S.I. Arbuzov, D.A. Spears, A.V. Vergunov, S.S. Ilenok, A.M. Mezhibor, V.P. Ivanov, N.A. Zarubina // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 113. – Article 103073.
25. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: its composition and evolution. – Oxford: Blackwell Scientific, 1985. – 312 p.
26. McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth // Chemical Geology. – 1995. – V. 120. – P. 223–253.
27. Бородин Л.С. Геохимия главных серий изверженных пород. – М., Недра, 1981. – 195 с.
28. Деева (Кондрашова) Е.С., Шалдыбин М.В. Природа и особенности минералогии аномально люминесцирующих прослоев баженовской свиты Западно-Сибирского бассейна // Уральская минералогическая школа-2018: XXIV Всероссийская научная конференция. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2018. – С. 43–46.
29. Таращан А.Н. Люминесценция минералов. – К.: Наук. Думка, 1978. – 296 с.
30. Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia) / S.I. Arbuzov, A.M. Mezhibor, D.A. Spears, S.S. Ilenok, M.V. Shalabybin, E.V. Belaya // International Journal of Coal Geology. – 2016. – V. 152. – P. 99–111.

Поступила 13.04.2020 г.

#### Информация об авторах

**Кондрашова Е.С.**, аспирант, инженер отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета; инженер сектора литологии АО «ТомскНИПИнефть».

UDC 552.52:550.42

## MINERALOGY, GEOCHEMISTRY AND THE NATURE OF LIGHTNING OF LUMINESCENT LAYERS IN THE BAZHENOV FORMATION OF THE WEST SIBERIAN SEDIMENTARY BASIN

Elena S. Kondrashova<sup>1,2</sup>,  
deevael@yandex.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>2</sup> Institute of oil and gas JSC «TomskNIPIneft»,  
72, Mira avenue, Tomsk, 634050, Russia.

**Relevance.** The study of mineralogical and geochemical features of luminescent layers in the Bazhenov formation of West Siberian sedimentary basin (Tomsk region and adjacent regions) will allow clarifying their mineral composition and nature of formation, as well as the opportunity of their use as additional regional horizon to restore the paleogeographic history of the Bazhenov formation.

**The main aim** of the research is to study the mineralogical and geochemical features and determine the origin of luminescent layers in the deposits of the Bazhenov formation.

**Objects:** sedimentary rocks, luminescent layers and enclosing rocks of the Bazhenov formation.

**Methods:** X-ray diffractometry, petrographic analysis, scanning electron microscopy, inductively coupled plasma mass spectrometry, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, instrumental neutron activation analysis, x-ray luminescence.

**Results.** The luminescent layers in ultraviolet light were detected in the distribution area of the Bazhenov formation in the central and south-eastern part of the West Siberian sedimentary basin. Thickness of layers varies from 2 mm to 15 cm. The study of the mineral composition made it possible to divide the separated layers into two groups according to the main mineral phases. The study of layers of the I group showed that they are composed mainly of clay minerals with an admixture of clastic silty material. The main clay minerals in them are kaolinite and mixed-layer minerals of the illite-smectite series. Layers with a predominantly siliceous (quartz) composition correspond to the II group. When analyzing chemical composition data it was identified that the studied layers as a whole have lower element contents (Co, Ni, Cu, Zn, Mo and others) compared to the «ordinary» rocks of the Bazhenov formation due to the low content of buried organic matter, which is traditionally associated with the accumulation of some microelements. The elevated concentrations of thorium in the samples of the studied layers are noted. The study shown the signs of the presence of volcanic material. It is assumed that the studied layers are of volcanic origin and were formed as a result of the dia- and catagenetic transformation of the volcanoclastic material of tuff sediments in the presence of a large amount of organic matter.

### Key words:

West Siberia, the Bazhenov formation, petrography, geochemistry, volcanogenic material.

The reported study was funded by RFBR, project number 19-35-90008.

### REFERENCES

- Nedolivko N.M., Perevertajlo T.G. Lithological and petrographic characterization of bazhenov suite reservoir rocks in the south-east of the Western-Siberian province (Tomsk Region). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2019, vol. 330, no. 1, pp. 77–87. In Rus.
- Shal'dybin M.V., Krupskaya V.V., Glotov A.V., Dorzhieva O.V., Goncharov I.V., Samoylenko V.V., Deeva E.S., Lopushnyak Yu.M., Bether O.V., Zakusin S.V. Petrography and clay mineralogy of anomaly luminescent layers in Bazhenov suite of Western Siberia sedimentary basin. *Oil-industry*, 2018, no. 2, pp. 36–40. In Rus.
- Shal'dybin M.V., Wilson M.J., Wilson L., Lopushnyak Yu.M., Brydson R., Krupskaya V.V., Kondrashova (Deeva) E.S., Glotov A.V., Goncharov I.V., Samoilenko V.V., Arbuzov S.I., Bether O.V., Brown L., White D., Dorofeeva N.V. The nature, origin and significance of luminescent layers in the Bazhenov Shale Formation of West Siberia, Russia. *Marine and Petroleum Geology*, 2019, vol. 100, pp. 358–375.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Geokhimiya Chernykh slantsev* [The geochemistry of black shales]. Leningrad, Nauka Publ., 1988. 272 p.
- Panchenko I.V., Kamzolkin V.A., Latyshev A.V., Sobolev I.D. Tuffy i tuffity v bazhenovskom gorizonte (Zapadnaya Sibir) [Tuffs and tuffites in the Bazhenov horizon (Western Siberia)]. *VIII Vserossiyskoe litologicheskoe soveshchanie: Evolyutsiya osadochnykh protsessov v istorii Zemli* [VIII All-Russian Lithological Conference. Evolution of sedimentary processes in the earth's history]. Moscow, National University of Oil and Gas «Gubkin University», 2015. Vol. I, pp. 258–260.
- Oksenoyd E.E., Bulatov T.D. Tufogennyye prosloi v otlozheniyakh bazhenovskogo gorizonta v Srednem Priobe (Zapadnaya Sibir) [Tufogenic interlayers in sediments of the Bazhenov horizon in the Middle Ob region (Western Siberia)]. *XII Uralskoe soveshchanie: osadochnaya geologiya Urala i prilozhashchikh regionov: segodnya i zavtra* [XII Ural Meeting: Sedimentary Geology Urals and adjacent regions: today and tomorrow]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN Publ., 2018. pp. 247–250.
- Pierce J.D., Ruppel S.C., Rowe H., Stockli D. Zircon U-Pb geochronology and sources of volcanic ash beds in the Upper Cretaceous Eagle Ford Shale, South Texas. *G-CAGS Journal*, 2016, vol. 5, pp. 253–274.
- Chernye slantsy bazhenovskoy svity [Black slates of the Bazhenov formation]. *Delovoy zhurnal Neftegaz.RU*, 2019, no. 6. Available at: <https://magazine.neftegaz.ru/archive/453929/> (accessed 01 April 2020).
- Gavshin V.M., Bobrov V.A. Zakonomernosti raspredeleniya mikroelementov v bazhenovskoy svite [Patterns of distribution of trace elements in the Bazhenov formation]. *Domanikity Sibiri i ikh rol v neftegazonosnosti* [Domanikites of Siberia and their role in oil and gas potential]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 1982. pp. 76–91.
- Grigorev, N.A. Srednee sodержание khimicheskikh elementov v gornykh porodakh, slagayushchikh verkhnyuyu chast kontinentalnoy kory [Average concentrations of chemical elements in rocks of the upper continental crust]. *Geokhimiya*, 2003, no. 7, pp. 785–792.

11. Ushatinskiy I.N. Sostav i mikroelementy porod bazhenovskoy svity i vmeshchayushchikh glin [Composition and microelements of rocks of the Bazhenov Formation and host clays]. *Assotsiatsiya mikroelementov s organicheskim veshchestvom v osadochnykh tolshchakh Sibiri* [The association of trace elements with organic matter in sedimentary sequences of Siberia]. Novosibirsk, IGG Publ., 1984. pp. 21–31.
12. Neruchev S.G. *Uran i zhizn v istorii Zemli* [Uranus and life in the history of the Earth]. Leningrad, Nedra Publ., 1982. 208 p.
13. Pluman I.I. Uranonosnost chernykh argillitov volzhskogo yarusa Zapadno-Sibirskoy plity kak kriteriy geokhimicheskikh usloviy osadkonakopleniya [Uranium content of black mudstones of the Volga layer of the West Siberian Plate as a criterion of geochemical conditions of sedimentation]. *Geokhimiya*, 1971, no. 9, pp. 1138–1143.
14. Zanin Yu.N., Zamiraylova A.G., Eder V.G. Uran, toriy i kaliy v chernykh slantsakh bazhenovskoy svity Zapadno-Sibirskogo morskogo basseyna [Uranium, Thorium, and Potassium in the Black Shales of the Bazhenov Formation of the West Siberian Sea Basin]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2016, no. 1, pp. 82–94.
15. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Elementy-primesi v chernykh slantsakh* [Impurity elements in black shales]. Ekaterinburg, UIF Nauka Publ., 1994. 304 p.
16. Van A.V. Mezozoysko-paleogenovy vulkanizm na territorii Zapadno-Sibirskoy nizmennosti [Mesozoic-Paleogene volcanism in the West Siberian lowland]. *Doklady AN SSSR*, 1973, vol. 210, no. 5, pp. 1156–1159.
17. Van A.V., Predtechenskaya E.A., Zlobina O.N. Produkty vulkanizma v yurskikh otlozheniyakh Priural'skoy chaste Zapadno-Sibirskoy plity [Volcanism products in the Jurassic deposits of the Ural part of the West Siberian Plate]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2011, no. 5, pp. 15–22.
18. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Osnovy litokhimii* [Foundations of lithochemistry]. St-Petersburg, Nauka Publ., 2000. 479 p.
19. Spears D.A., Kanaris-Sotiriou R. A geochemical and mineralogical investigation of some British and other European tonsteins. *Sedimentology*, 1979, vol. 26, pp. 407–425.
20. Spears D.A. The origin of tonsteins, an overview, and links with seatearths, fireclays and fragmental clay rocks. *International Journal of Coal Geology*, 2012, vol. 94, pp. 22–31.
21. Dai S., Ward C.R., Graham I.T., French D., Hower J.C., Zhao L., Wang X. Altered volcanic ashes in coal and coal-bearing sequences: A review of their nature and significance. *Earth-Science Reviews*, 2017, vol. 175, pp. 44–74.
22. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 1977, vol. 20, pp. 325–343.
23. Spears D.A., Arbuzov S.I. A geochemical and mineralogical update on two major tonsteins in the UK Carboniferous Coal Measures. *International Journal of Coal Geology*, 2019, vol. 210, article 103199.
24. Arbuzov S.I., Spears D.A., Vergunov A.V., Ilenok S.S., Mezhibor A.M., Ivanov V.P., Zarubina N.A. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia. *Ore Geology Reviews*, 2019, vol. 113, article 103073.
25. Taylor S.R., McLennan S.M. *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford, Blackwell Scientific, 1985. 312 p.
26. McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 1995, vol. 120, pp. 223–253.
27. Borodin L.S. *Geokhimiya glavnykh seriy izverzhennykh porod* [Geochemistry of the main series of igneous rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 195 p.
28. Deeva (Kondrashova) E.S. Shal'dybin M.V. Priroda i osobennosti mineralogii anomalno lyuminesitsiruyushchikh prosloev bazhenovskoy svity Zapadno-Sibirskogo basseyna [The nature and characteristics of mineralogy abnormally luminescent layers Bazhenov Formation of the West Siberian basin]. XXIV Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya. *Uralskaya mineralogicheskaya shkola-2018* [XXIV Scientific Conference. Ural Mineralogical School 2018]. Ekaterinburg, Alfa Print Publ., 2018. pp. 43–46.
29. Tarashchan A.N. *Lyuminesitsiya mineralov* [Luminescence of minerals]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1978. 296 p.
30. Arbuzov S.I., Mezhibor A.M., Spears D.A., Ilenok S.S., Shal'dybin M.V., Belaya E.V. Nature of tonsteins in the Azeisk deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia). *International Journal of Coal Geology*, 2016, vol. 152, pp. 99–111.

Received: 13 April 2020.

#### Information about the authors

**Elena S. Kondrashova**, post-graduate student, engineer National Research Tomsk Polytechnic University; engineer JSC «TomskNIPIneft».