

4. Биндеман Н. Е. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. – Л.: Госгеолтехиздат, 1963.
5. Орадovская А. Е., Лапшин Н. Н. Санитарная охрана водозаборов подземных вод. – М.: Недра, 1987. – 167 с.
6. Методические рекомендации по обоснованию выбора поглощающих горизонтов и проектированию закачки сточных вод на газовых предприятиях Западной Сибири. ВРД. – Тюмень: ТюменьНИИГипрогаз, 2001. – 83 с.

Сведения об авторах

Лазутин Николай Константинович, аспирант, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89129913086, e-mail: kpw@yandex.ru

Бешентев Владимир Анатольевич, д. г.-м. н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89123958903, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Бешентева Ольга Григорьевна, к. г.-м. н., старший гидрогеолог, ООО «Недра-Консалт», г. Тюмень, тел. 89123958904, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Information about the authors

Lazutin N. K., Postgraduate, Industrial University of Tyumen, phone: 89129913086, e-mail: kpw@yandex.ru

Beshentsev V. A., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 89123958903, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Beshentseva O. G., Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Hydrogeologist, LLC «Nedra-Consult», Tyumen, phone: 89123958904, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

УДК 552.5:550.8.05

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОРОД БАЖЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАСЕЙНА
CHARACTERISTIC OF MINERAL AND MATTER COMPOSITION OF BAZHEN ROCKS FROM THE CENTRAL PORTION OF THE WEST SIBERIAN BASIN

Е. Е. Оксенойд

E. E. Oksenoyd

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

Ключевые слова: баженовская свита; минерально-вещественный состав; классы пород; глинистые минералы; Западная Сибирь

Key words: Bazhenov formation; mineral and matter composition; rock classes; clay minerals; Western Siberia

Определение минерально-вещественного состава имеет важное практическое значение для подсчета запасов [1] и моделирования технологии извлечения углеводородов из баженовских отложений. Баженовский горизонт (БГ) принимается в объеме верхов нижневолжского (верхняя юра) — низов нижнеберриасского (нижний мел) подъярусов. Прослеживается в южных, центральных и северных районах Западной Сибири на площади около 2 млн км². На большей части территории своего развития горизонт сложен битуминозными углеродистыми отложениями, представленными и сменяющимися друг друга в направлении с запада на восток согласно [2], нижней частью мулымьинской свиты, нижней частью тутлеймской свиты и баженовской свитой (БС).

В Научно-аналитическом центре рационального недропользования им. В. И. Шпилемана изучение баженовских отложений активно ведется с 2012 года. Проведено много исследований, накоплен значительный объем данных по литологии, геохимии и нефтеносности. В данной работе нами представлены результаты расчета и анализа минерально-вещественного состава пород преимущественно баженовской и тутлеймской свит БГ. Существенной особенностью предлагаемых вниманию материалов является то, что область исследований не ограничена рамками одного месторождения или района, а охватывает почти всю территорию развития высокоуглеродистых пород баженовского горизонта в границах ХМАО — Югры.

Методика определения минерально-вещественного состава баженовских пород. Анализировалась выборка из более 3 000 образцов по 200 скважинам (рис. 1). По территории скважины распределены неравномерно, большая часть

пробурена в районе западного борта Фроловской мегавпадины и на территории от Сургутского свода до Александровского мегавала, а также на Салымском и Верхнесалымском мегавалах.

Для расчета минерально-вещественного состава использовались данные рентгеноструктурного (РСА) и рентгенофлуоресцентного (РФА) анализов. Оба эти метода не позволяют охарактеризовать содержание твердого органического вещества, поэтому использовалась величина содержания органического углерода.

Основными породообразующими компонентами баженовской свиты являются кремнистое, глинистое, карбонатное и органическое вещество, альбит и пирит.

Необходимость расчета минерально-вещественного состава была обусловлена двумя факторами. Во-первых, содержания минералов по РСА определяются без учета органического вещества, аморфных агрегатов и тех глинистых минералов, которые не дают четких пиков. Во-вторых, около половины образцов было охарактеризовано лишь данными РФА и содержанием органического углерода ($C_{орг}$ или ТОС).

Результаты рентгенофазового анализа образцов баженовских отложений представлены соотношением содержания минералов, среди которых основными являются следующие: кварц, плагиоклаз (альбит), глинистые минералы, кальцит, доломит, пирит.

Первый этап расчета минерально-вещественного состава — расчет содержания керогена по величине $C_{орг}$. Для этого необходимо знать степень катагенеза, которую обычно характеризуют по величине отражательной способности витринита (R_0).

Для определения коэффициента пересчета содержания органического углерода в концентрацию органического вещества (ОВ) использовалась карта изоресплендвинитита (R_0), построенная в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. Снятому с карты значению R_0 ставилась в соответствие концентрация углерода в органическом веществе согласно схеме соотношения разных характеристик стадий катагенеза по Н. Б. Вассоевичу [3]. Определенным таким образом доли содержания углерода в ОВ изменяются от 75 до 84 %. Соответственно, величина коэффициента пересчета $C_{орг}$ в ОВ составила 1,33–1,19.

На втором этапе проводился пересчет концентраций оксидов, измеренных в результате рентгенофлуоресцентного анализа, в соотношения минеральных фаз. Было определено содержание кремнистых, глинистых, карбонатных минералов, альбита и пирита.

Расчет содержания пирита проведен отдельно для двух выборок: по содержанию серы и оксида железа. Обычно используется расчет по содержанию серы, поскольку считается, что почти вся сера (95–99 %) в битуминозных отложениях БС

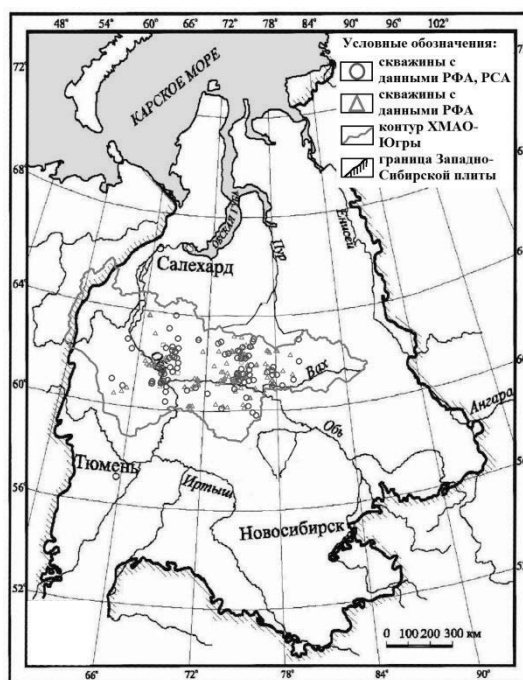


Рис. 1. Схема расположения изученных скважин

относится к пиритной. С другой стороны, в баженовских отложениях сера входит в состав керогена. Таким образом, рассчитывая пирит по сере, мы в ряде случаев получаем завышенные значения.

По половине проб определения содержания серы отсутствовали, поэтому содержание пирита рассчитано по оксиду железа. При этом получаемое количество пирита также, возможно, несколько завышено, так как железо может содержаться в глинистых минералах и сидерите.

Для проверки полученных содержаний основных компонентов баженовских пород проводилось сравнение результатов расчетов с данными PCA (рис. 2).

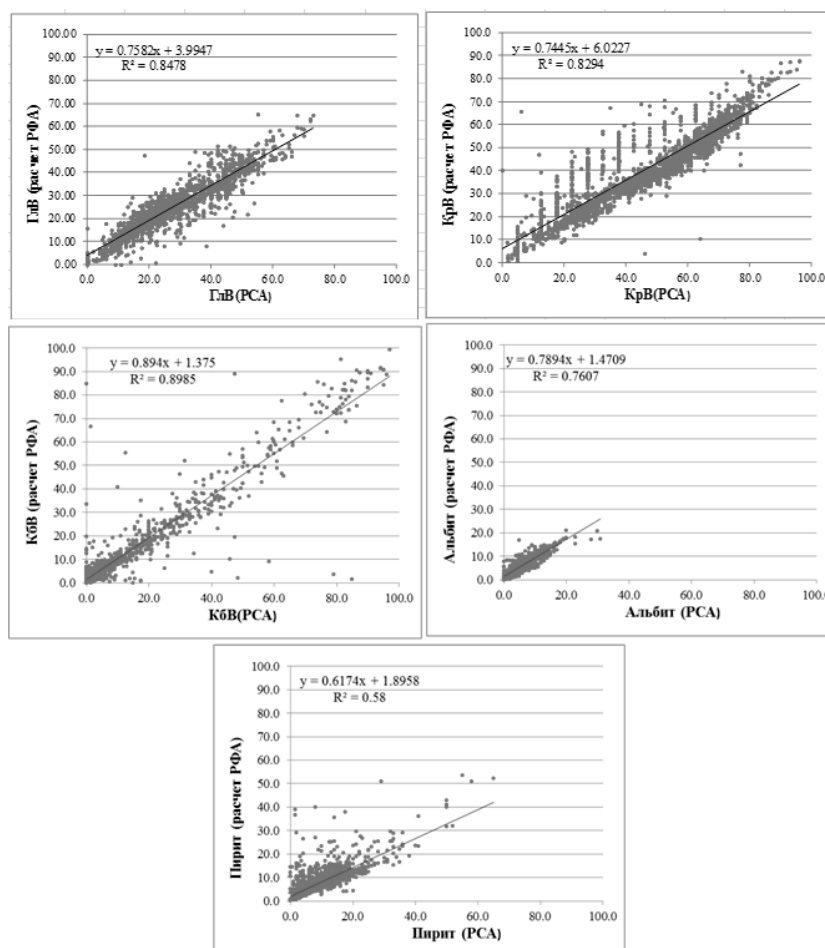


Рис. 2. Сопоставление расчетных (по РФА) и определенных (по РСА) содержаний компонентов вещественного состава

По выборке из 1 896 анализов были проведены попарные сопоставления содержаний глинистого (ГлВ), кремнистого (КрВ), карбонатного (КбВ) вещества, пирита и альбита. Парные регрессии характеризуются высоким уровнем корреляционных связей. Наиболее высокая достоверность аппроксимации у карбонатного вещества $R^2 = 0,9$. У глинистого, кремнистого веществ и альбита $R^2 = 0,85$, $R^2 = 0,83$ и $R^2 = 0,76$ соответственно.

На втором этапе проверки методики расчета минерально-компонентного состава пород были построены графики изменения по глубине содержаний основных

компонентов БС: рассчитанных по РФА и определенных по РСА для нескольких скважин с наиболее представительным выносом керна в интервале БГ из разных выборок и разных районов.

Получена хорошая сходимость результатов по трем компонентам: глинистые минералы, карбонатные минералы и альбит. Наблюдаемые в отдельных экстремумах расхождения массовых концентраций не превышают 5 %.

Превышение значений РСА над расчетными содержаниями по РФА наблюдается для кремнистых минералов и пирита. Величина превышения коррелируется с содержанием органического вещества: минимальна в средней части свиты, там, где содержание ОВ не превышает 10 %.

Проведенная верификация данных позволяет использовать полученные расчетные концентрации основных вещественных компонентов БС для дальнейшего анализа особенностей строения изучаемых отложений.

Анализ минерально-вещественного состава баженовских пород. Построены гистограммы распределения содержания основных породообразующих компонентов БС: кремнистого (КрВ), глинистого (ГлВ), органического, карбонатного веществ (КбВ), пирита и альбита (рис. 3).

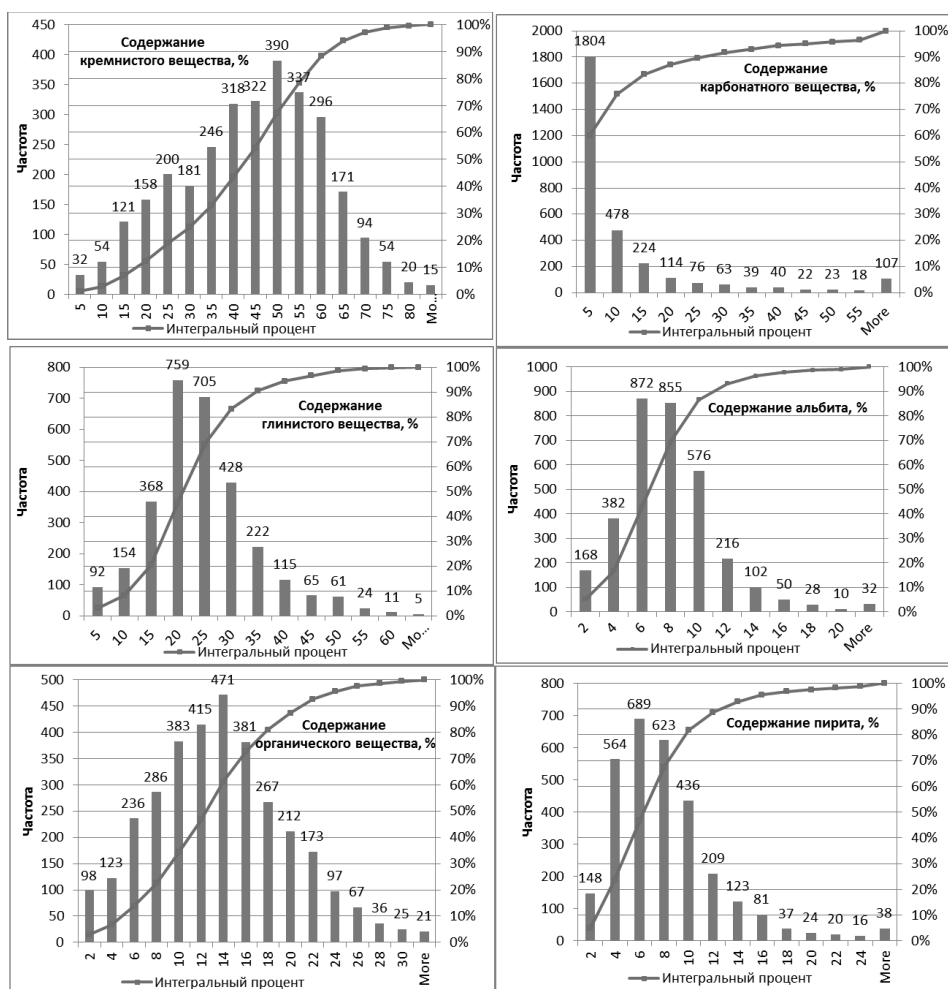


Рис. 3. Гистограммы распределения расчетного содержания основных породообразующих компонентов баженовской свиты

Основным компонентом рассматриваемых отложений является кремнистое вещество, концентрация которого варьирует от 0 до 90 %. Среднее значение и медиана распределения составляют 42 и 43 %. Треть рассматриваемой выборки можно отнести к силицитам ($KpB > 50 \%$). Распределение содержания кремнистого вещества бимодальное с минимумом, соответствующим 25–30 %, разделяющим разности, содержащие менее 30 % KpB и представляющие около трети проб, и более кремнистые.

Величина содержания глинистого вещества изменяется от 0 до 65 %. Среднее значение и медиана распределения составляют 22 и 21 %. Наиболее распространенные значения глинистости — 15–25 %. Количество аргиллитов ($ГлВ > 50 \%$) в выборке составляет менее 2 %.

Содержание органического вещества изменяется от 0 до 58 %. Среднее значение и медиана распределения составляют 12,8 и 12,4 %. В 70 % случаев содержание $ОВ$ превышает 8 %, наиболее распространенные значения содержания — 8–16 %.

Распределение содержания карбонатного вещества отличается по форме от всех рассматриваемых распределений своей несимметричностью, среднее значение составляет 9,8 %, а медиана — 3,6 %. В 60 % случаев карбонатность не превышает 5 %. Чистых карбонатов ($КбВ > 50 \%$) в выборке насчитывается 4 %.

Содержание альбита изменяется от 0 до 50 %. Среднее значение, медиана и мода распределения составляют 7,0, 6,6 и 6 %. В 70 % случаев концентрация не превышает 8 %, наиболее распространенные значения — 4–8 %.

Величина содержания пирита изменяется от 0 до 53 %. Среднее значение и медиана распределения составляют 7 и 6 %. Наиболее распространенные значения концентрации пирита — 2–10 %.

Анализ содержаний глинистых минералов в породах баженовского горизонта. Использовались данные РСА по методу Ритвельда. По дифрактограммам глинистые минералы преимущественно представлены гидрослюдай, смешаннослойными образованиями (иллит-сметтит), каолинитом и хлоритом.

Выборка представлена 59 скважинами, неравномерно распределенными по территории исследования: 46 скважин расположены к востоку от Фроловской мегавпадины, 4 — на крайнем западе (за пределами или возле границы внутренней битуминозной области БГ по Ю. В. Брадучану [2]), остальные 9 — в зоне сочленения Краснотеннинского свода и Фроловской мегавпадины и в районе Салымского мегавала. Лишь пятая часть (11 скважин) из вышеупомянутых 59 скважин характеризуется достаточно полным выносом керна в интервале баженовского горизонта.

Анализ показал, что во внутренней битуминозной высокоуглеродистой области БГ среди глинистых минералов преобладают гидрослюда и смешаннослойный минерал иллит-сметтит. В выборке из 1 355 проб (54 скважины) гидрослюда диагностируется во всех пробах, ее содержание достигает 34 % и в основном варьирует в диапазоне 5–15 % (рис. 4), среднее значение, мода и медиана распределения составляют 12 %.

Гидрослюда, по мнению ряда авторов [4, 5], являются гетерогенными образованиями. Гидрослюда модификации 1М являются аутигенными и образовались за счет катагенетической трансформации монтмориллонитовых образований, а гидрослюда модификации 2М₁ преимущественно аллотигенные.

Смешаннослойный минерал иллит-сметтит определен в 1 295 пробах. Его максимальное содержание — 28 %, концентрация в основном не превышает 10 %, в половине случаев $\leq 5 \%$. Среднее значение — 6,6 %, мода и медиана распределения составляют 4 и 5 %.

Смешаннослойные сметтитовые образования (ССО) в БС представлены смешаннослойными сметтит-гидрослюдистыми сростками с нерегулярным чередованием слоев [4]. По поводу происхождения этих образований существуют две ос-

новые точки зрения, основное различие которых базируется на оценке роли экзогенного материала в изучаемых отложениях.

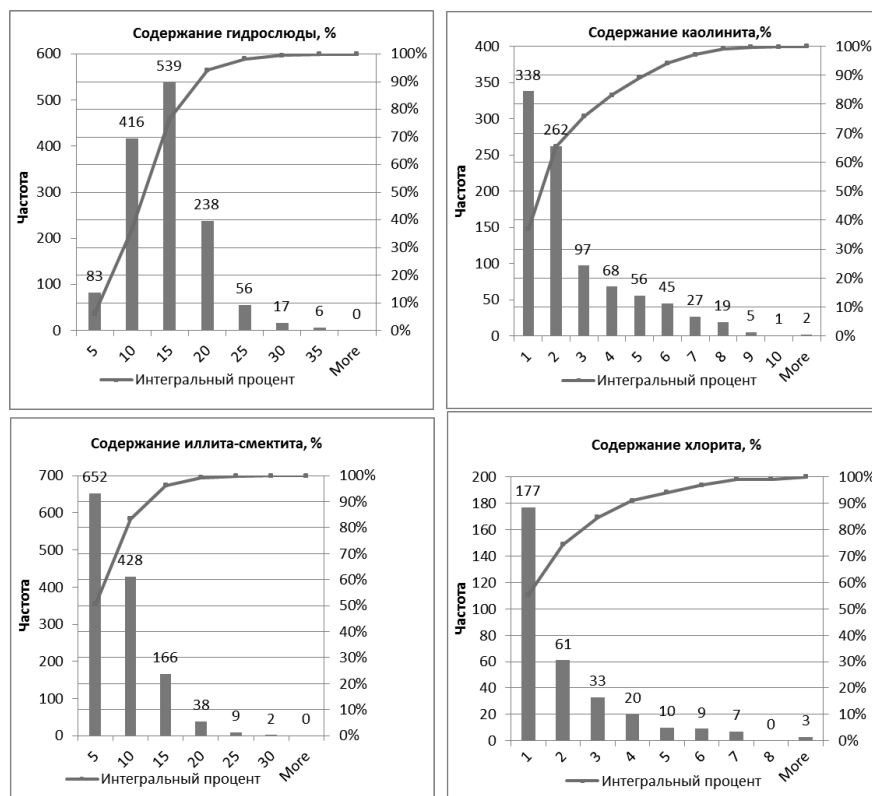


Рис. 4. Распределения содержаний глинистых минералов в отложениях базеновской свиты

Некоторые авторы [6] отрицают участие вулканогенного материала в формировании отложений БС и рассматривают происхождение ССО как катагенетическое (частично аллотигенное) за счет трансформации принесенного из коры выветривания монтмориллонита. Вследствие воздействия ряда факторов, препятствующих катагенетическим изменениям (изоляция толщи, консервирующая роль битумоидов, кремнезема, отсутствие пластовой воды, бедность калием и т. д.), гидрослюдизация монтмориллонита, несмотря на повышенную температуру, происходила значительно медленнее, чем во вмещающих глинах, поэтому здесь сохранились сростки с большим содержанием смектитового компонента.

Другие исследователи [7] предполагают, что образование смешаннослойных минералов гидрослюдисто-монтмориллонитового состава происходит за счет изменения кислого вулканогенного материала.

Каолинит содержится в 920 пробах, максимальное содержание — 14 %. Чаще всего его концентрация не превышает 2 %. Среднее значение — 2,6 %, мода и медиана распределения составляют 1 и 2 %.

Каолинит также, вероятно, имеет различное происхождение. Ближе к окраинным частям бассейна присутствует аллотигенный каолинит, который отлагался в относительно более мелководных, приближенных к источникам сноса районах. Это объясняется тем, что среди глинистых материалов он испытывает наиболее сильную коагуляцию, попадая с суши в воды бассейна с нормальной соленостью [8].

В 4 скважинах на крайнем западе рассматриваемой территории за пределами битуминозной высокоуглеродистой области БГ каолинит становится основным глинистым минералом со средней концентрацией в породе более 10 %. В скв. Северо-Западно-Толумской 11 015 в нижней подсвите мулымьинской свиты его содержание в среднем составляет 30–35 % по РСА.

Аутигенный каолинит может образовываться в результате процесса преобразования ССО → гидрослюда → каолинит [5], а может развиваться по органическим остаткам.

Реже всего в пробах отмечается хлорит (320 проб). При его наличии в пробе обычно (более чем в 50 % случаев) его содержание составляет менее 1 %, в 90 % случаев < 4 %. Среднее значение — 2,0 %, мода и медиана распределения совпадают и равняются 1 %.

В вышеупомянутых 4 скважинах на крайнем западе рассматриваемой территории средние концентрации хлорита достигают 5–15 % по РСА, в основном более высокие содержания отмечаются в кровельной части БГ.

Хлорит обычно присутствует в смеси с другими глинистыми минералами. Происхождение его преимущественно аллотигенное и частично трансформационное.

На рисунке 5 представлены типичные содержания основных вещественных компонентов и глинистых минералов в породах внутренней битуминозной высокоуглеродистой области БГ.

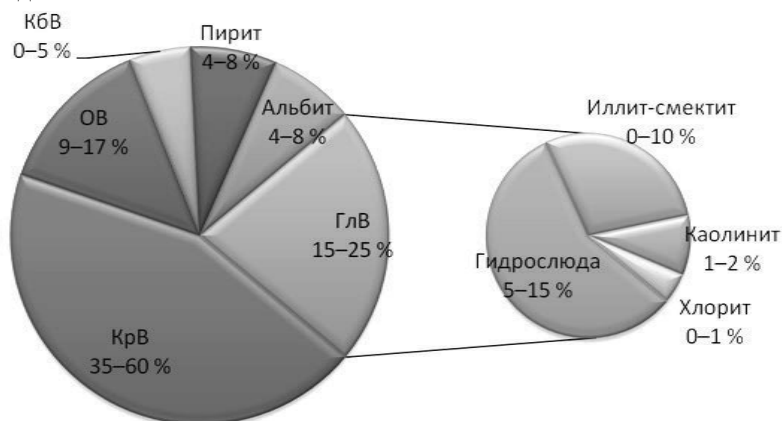


Рис. 5. Типичные содержания основных вещественных компонентов и глинистых минералов в породах внутренней битуминозной углеродистой области баженовского горизонта

К представленной выборке более чем из 3 000 проб была применена классификация пород БС по соотношению четырех породообразующих компонентов: кремнистого (КрВ), глинистого (ГлВ), карбонатного (КбВ) и органического веществ, предложенная А. Э. Конторовичем с соавторами [9]. Для деления пород на классы и подклассы были выбраны граничные значения концентраций: 25 и 50 % — для минеральных фаз и 10 % — для ОВ.

Среди силицитов (КрВ > 50 %) количество силицитов керогеновых (ОВ > 10 %) несколько превышает количество «собственно» силицитов: 18,8 против 15,0 %, среднее содержание керогена в подклассах составляет 13,2 и 6,9 %, кремнезема — 56,9 и 61,9 %.

В работе [9] класс аргиллитов (ГлВ > 50 %) представлен единственным подклассом аргиллитов кремнистых, встречаемость которых составляет 0,5 %. В проанализированной выборке аргиллиты разделились на кремнистые (1,9 %) и собственно аргиллиты (2,1 %), среднее содержание глинозем/кремнезем в этих литоти-

пах составляет 57,7/34,9 и 60,5/16,7 % в первом и втором случаях соответственно. Содержание керогена в глинистых породах низкое: 5,5 и 8,3 %.

Среди в целом малочисленных карбонатов ($K\delta B > 50\%$) собственно карбонаты преобладают над керогеновыми карбонатами (3,7 против 0,3 %), соотношение карбонатные минералы/кероген составляет 70,6/3,6 и 60,1/14,8 % в первом и втором случаях соответственно.

В классе микститов (содержание ни одного из компонентов не достигает 50 %) по количеству преобладающих групп минералов с содержанием 25–50 % и керогена $> 10\%$ выделяются микститы однокомпонентные (кремнистые, глинистые, карбонатные), двухкомпонентные (карбонатно-глинистые, кремнисто-глинистые, карбонатно-кремнистые, кероген-кремнистые, кероген-глинистые) и трехкомпонентные (кероген-глинисто-кремнистые и кероген-кремнисто-карбонатные). Две трети проб этого класса относятся к трем подклассам: кремнисто-глинистые (10,4 %), кероген-кремнистые (18,1 %) и кероген-глинисто-кремнистые (12,2 %).

Распределение классов и подклассов пород показано на треугольной диаграмме (рис. 6).

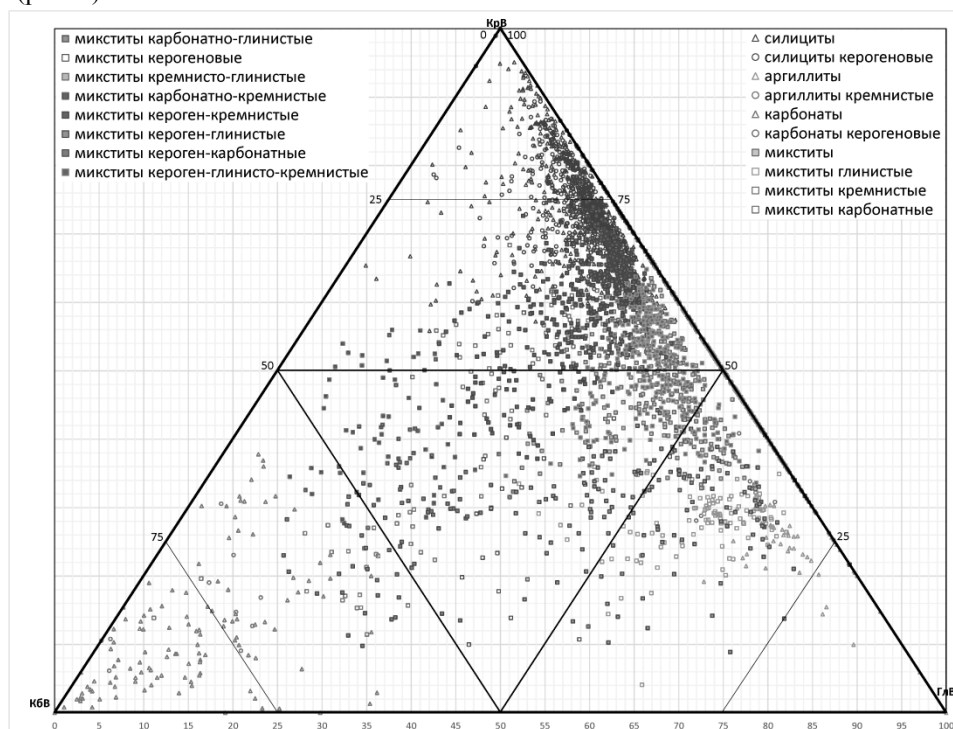


Рис. 6. Треугольная диаграмма вещественной классификации пород баженовской свиты

В вершинах треугольника — содержание кремнистого, карбонатного и глинистого веществ (КрВ, КбВ и ГлВ). Красный цвет выбран для карбонатного вещества, синий — для кремнистого, зеленый — для глинистого, фиолетовый — для керогена. Чистые разности показаны треугольниками, керогеновые и кремнистые подтипы — кружками, микститы — квадратами.

Диаграмма отражает высокую встречаемость и большие концентрации кремнезема в породах БС, глинистое вещество на втором месте по распространенности, но не в чистом виде, а в сочетании с другими компонентами, карбонаты встречаются реже, но зато их больше в чистом виде.

На рисунке 7 показаны средние содержания породообразующих компонентов в классах и подклассах пород БС.

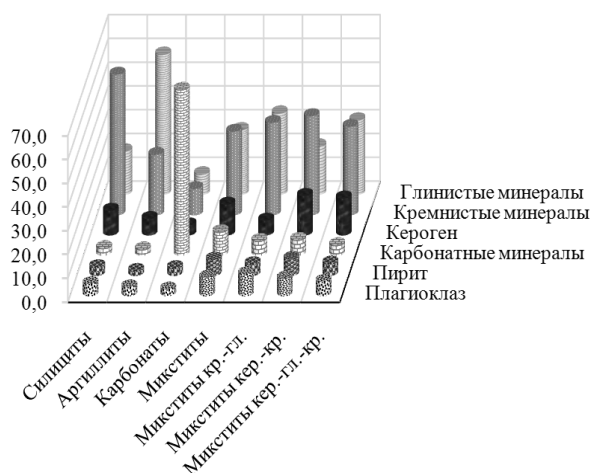


Рис. 7. Средние содержания порообразующих компонентов в классах и подклассах пород баженовской свиты

различается в 2–3 раза. Карбонаты содержат примерно одинаковое количество глинозема (9 %) и кремнезема (11 %).

Микститы, подтверждая свое название, характеризуются более высокими концентрациями керогена (13 %), пирита (7 %), альбита (плагиоклаза) 8 %. Силициты содержат достаточно много ОВ — 10 %, а меньше всего его в карбонатах — 4 %.

Таким образом, проведенный анализ минерально-вещественного состава и разделение пород на классы показывают, что к целевым объектам с точки зрения продуктивности баженовской свиты могут быть отнесены силициты и микститы, поскольку они, с одной стороны, содержат больше всего органического вещества (то есть в том числе и углеводородов), с другой стороны, являются наиболее распространенными классами пород баженовской свиты.

Библиографический список

1. Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. – 2017. – № 4. – С. 68–101.
2. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность) / Ю. В. Брадучан [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1986. – 216 с.
3. Геология и геохимия нефти и газа / О. К. Баженова [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 384 с.
4. Рыльков А. В., Ушатинский И. Н. Литогеохимия мезозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна / М-во образования и науки РФ, Тюмен. гос. нефтегазовый ун-т, Ин-т геологии и нефтегазодобычи. – Тюмень: Альфа-СТАМП, 2015. – 103 с.
5. Сидоренко О. В., Зонн М. С., Корж М. В. Некоторые закономерности формирования и коллекторские свойства глинистых пород баженовской свиты Западной Сибири. – М.: ИГиРГИ, 1986. – С. 27–41.
6. Ушатинский И. Н., Гаврилова Л. М., Волкова Л. Я. Геохимия порообразующих и малых элементов баженовской свиты Среднего Приобья // Геохимия сложнопостроенных месторождений нефти и газа. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1988. – С. 44–62.
7. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Ф. Г. Гурари [и др.]. – М.: Недра, 1988.
8. Саркисян С. Г., Котельников Д. Д. Глинистые минералы и проблемы нефтегазовой геологии. – М.: Недра, 1980.
9. Классификация пород баженовской свиты / А. Э. Конторович [и др.] // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 11. – С. 2034–2043.

Сведения об авторе

Оксенойд Елена Ефимовна, заведующий лабораторией геологии баженовско-абалакского нефтегазоносного комплекса, Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В. И. Шпилемана, г. Тюмень, тел. 8(3452)404708, e-mail: oksenoyd@cr.ru

Information about the author

Oksenoyd E. E., Head of Laboratory of Bazhenov-Abalak Oil and Gas Bearing Complex, V. I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil, Tyumen, phone: 8(3452)229708, e-mail: oksenoyd@cr.ru