

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Эдер Вика Георгиевна

**Литология и условия образования баженовской свиты
Западной Сибири**

Специальность 25.00.06 – Литология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого–минералогических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в ФГБУ Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Научный консультант - *Конторович Алексей Эмильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН*

Официальные оппоненты - *Прищепин Олег Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», заведующий кафедрой геологии нефти и газа*

Фортулатова Наталья Константиновна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУ ВНИГНИ, заместитель генерального директора по научной работе

Чернова Оксана Сергеевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», профессор отделения нефтегазового дела инженерной школы природных ресурсов

Защита состоится «30» апреля 2021 года в 14:30 часов на заседании диссертационного совета МГУ.04.06 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, ГСП-1, аудитория 621.

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Отдела диссертаций Научной библиотеки МГУ (Ломоносовский проспект, д. 27). Со сведениями о регистрации участия в защите в интерактивном режиме и с диссертацией в электронном виде можно ознакомиться на сайте ИАС «ИСТИНА» по адресу: <https://istina.msu.ru/dissertations/341413883/>

Автореферат разослан: «21» января 2021 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

кандидат геолого-минералогических наук



Полудеткина Е.Н.

Общая характеристика работы

Объектом исследования послужила баженовская свита (БС) позднеюрско–раннемелового возраста. Свита, представленная тонкозернистыми породами преимущественно биогенного кремнистого и кремнисто–карбонатного состава, имеет среднюю мощность 20–35 м, обогащена органическим веществом (ОВ) и пиритом. Эта уникальная высокоуглеродистая толща морского происхождения, образовалась в одном из самых крупных черносланцевых бассейнов мира в период трансгрессии моря в условиях преобладания химического выветривания в областях сноса.

Актуальность работы. В последнее время, в связи с необходимостью расширения сырьевой базы углеводородов (УВ), в качестве объекта разработки привлекаются нетрадиционные коллекторы – тонкозернистые высокоуглеродистые породы морского происхождения (черные сланцы). К отложениям этого типа в России относится баженовская свита, которая является основной нефтематеринской толщей Западно–Сибирского бассейна (ЗСБ).

БС была выделена в 1959 г. Ф.Г. Гурами, который позднее (в 1961 г.) сделал предположение об ее нефтеносности. Несколько позже оно было подтверждено Г.Р. Новиковым, Ф.К. Салмановым и А.А. Тяном (1970). Значительный объем работ по изучению БС осуществлен с 1959 по 1980 гг. (Т.Ф. Антонова, Ю.В. Брэдучан, Е.А. Гайдебурова, Ф.Г. Гурами, Т.И. Гурова, Н.П. Запывалов, В.А. Захаров, О.Г. Зарипов, В.П. Казаринов, Ю.Н. Карогодин, Т.Т. Клубова, А.Э. Конторович, Р.А. Коньшева, Б.А. Лебедев, В.И. Москвин, И.И. Нестеров, Г.М. Парпарова, Г.Н. Перозио, И.И. Плуман, И.Д. Полякова, М.Д. Поплавская, Г.Э. Прозорович, В.Н. Сакс, Ф.К. Салманов, С.Г. Саркисян, Р.С. Сахибгареев, Г.П. Сверчков, В.А. Успенский, А.А. Трофимук, А.С. Фомичев, Э.М. Халимов, Г.С. Ясович и др.). С 1980 по 2005 гг. на фоне общего экономического спада в стране объем работ по БС заметно сократился. В это

время литологические и геохимические особенности баженовских отложений изучали В.М. Гавшин, В.П. Данилова, Т.В. Дорофеева, Ю.Н. Занин, М.С. Зонн, М.Ю. Зубков, Т.Т. Клубова, А.Э. Конторович, М.В. Корж, Т.А. Коровина, А.В. Осыко, Г.Н. Перозио, И.Д. Полякова, С.В. Сараев, И.Н. Ушатинский, С.И. Филина и др. С 2005 г. по настоящее время, в связи с постепенным исчерпанием запасов в традиционных коллекторах и с учетом успешного опыта добычи «сланцевой» нефти в США, появилась необходимость более всестороннего и детального литолого–геохимического исследования БС, в котором принимают участие специалисты различных организаций и научных школ М.В. Дахнова, М.Ю. Зубков, Ю.Н. Занин, А.Г. Замирайлова, А.Э. Конторович, Е.А. Костырева, Т.А. Коровина, А.Г. Мухер, Е.А. Предтеченская, М.Б. Скворцов, Н.С. Балушкина, О.А. Важенина, Г.А. Калмыков, Н.И. Коробова, В.Д. Немова, Е.Е. Оксенойд, И.В. Панченко, С.В. Рыжкова, В.С. Славкин, М.А. Тугарова, М.В. Шалдыбин, Е.В. Щепетова, А.Ю. Юрченко и другие. Автор диссертационной работы с 1997 г по настоящее время также принимала активное участие в изучении вещественного состава БС.

Исследователи, изучавшие литологию БС, в большинстве случаев в отдельных районах ЗСБ, использовали разные методики определения минерального состава пород и различные классификационные схемы, в связи с чем сопоставление полученных ранее и новых данных весьма затруднено. Несмотря на значительное количество публикаций, касающихся вещественного состава, строения и условий формирования БС, до сих пор отсутствуют региональные работы по типизации разрезов и сравнительному анализу пород этой толщи, их определению в рамках единой классификационной схемы. Соответственно, нет единого представления о вариациях состава и условиях образования свиты в разных районах ее распространения.

В последнее время БС сравнивают с формацией Баккен – черносланцевой формацией, которая успешно разрабатывается на углеводородное сырье в Северной Америке (EIA, 2017). По данным А.Э. Конторовича и соавторов (2014) в верхнеюрской высокоуглеродистой толще Западной Сибири заключены крупнейшие запасы УВ, составляющие около 20 млрд.т. В то же время, она существенно отличается по строению от формации Баккен, средняя пачка которой представлена переслаиванием карбонатно–алевритовых и песчаных пород мощностью 10 – 20 м (Kreiss et al., 2006), именно эта часть используется для гидроразрыва. Отличия БС связаны с тем, что в этой толще отсутствует пласт, подобный средней пачке формации Баккен. Наиболее хрупкими породами свиты (с низкими содержаниями ОВ и глинистого вещества) являются силициты–радиоляриты и карбонаты (Занин и др., 2005; Балущкина и др., 2014, 2016; Эдер и др., 2015а, 2017; Конторович и др., 2016). Мощность прослоев этих пород может существенно варьировать (от 2–5 см до 4 м). Латеральная изменчивость литологического состава БС отмечается даже в соседних скважинах, поэтому для прогнозирования особенностей строения свиты на значительной площади необходима систематизация вещественных характеристик свиты, полученных в различных по строению разрезах. Как показал опыт применения гидроразрыва в БС на территории ХМАО–Югры, эффект интенсификации неустойчив, чем и объясняется отсутствие долговременных трендов в динамике дебитов скважин (Коровин, Печерин, 2016). Для подсчета запасов и дальнейшего планирования методов разработки актуальным является анализ латеральных изменений в строении разреза и вещественном составе БС.

Развитие представлений об условиях седиментации и закономерностях вторичных преобразований пород БС является основой для решения фундаментальной проблемы – реконструкции условий формирования черносланцевых отложений.

Целью диссертационной работы являлось выявление закономерностей изменения литологических и геохимических характеристик баженовской свиты в разрезах и на площади ее распространения в Западной Сибири, уточнение условий седиментации и характера постседиментационных преобразований ее пород.

Для этого решались следующие **задачи**:

– детальное изучение вещественного состава БС с помощью современных методов исследования осадочных образований, классификация пород;

– установление закономерностей строения, типизация и сравнительный анализ разрезов БС в разных районах ЗСБ по результатам детального послойного литологического изучения кернa с учетом данных ГИС;

– реконструкция обстановок осадконакопления, уточнение и детализация седиментационной модели БС, отражающей этапы развития Западно–Сибирского палеобассейна в течение поздней юры и раннего мела;

– выявление закономерностей аутигенного минералообразования, включая поиск литолого–геохимических свидетельств концентраций аутигенных минералов на геохимических барьерах; выяснение особенностей преобразования минерального состава БС в процессах диа– и катагенеза на основании закономерностей распределения ОВ, пирита, отношения С/S, аутигенных карбонатов и геохимических редокс–показателей (степень пиритизации, уран аутигенный, отношения Мо/Mn и др.).

Научная новизна

1. В результате детального литолого–геохимического изучения БС выявлены принципиальные отличия в распределении типов пород в разных районах ее распространения. Выяснено, что в Центральном (Мансийская синеклиза, Хантейская гемиянтеклиза) и Юго–восточном (Колтогорско–Нюрольский желоб и примыкающие к нему положительные структуры) районах, условно выделяемых нами на территории исследования, широко

распространены силициты и силициты керогеновые, а также микститы кероген–глинисто–кремнистые. Микститы кероген–кремнисто–карбонатные и кероген–карбонатные (кокколитовая пачка) характерны для верхней части свиты Центрального района, встречаются в единичных разрезах сводовых структур в Северном (северная часть Южно-Надымской мегамоноклизы, Большехетская мегасинеклиза) районе и присутствуют в виде редких маломощных прослоев в БС Юго–восточного района. Микститы кремнисто–глинистые присутствуют в составе БС Северного, Юго–восточного и Южного районов (Северо-Межовская мегамоноклиналь, Межовский мегамыс). Аргиллиты и микститы глинистые характерны, в основном, для Северного района.

2. Предложен новый методический подход, который позволяет выполнить предварительное расчленение БС на литологически различные пачки по данным рентгенофлуоресцентного анализа пород (РФА). Показано, что по величине отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ среди них могут быть выделены высококремнистые породы – силициты (>8), а также глинистые породы – микститы глинистые и аргиллиты (<3). Промежуточные значения отношения ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3-8$) соответствуют различным типам микститов. Микститы кероген–карбонатно–кремнистые и кероген–карбонатные (кокколитовая пачка), а также карбонатные породы выделяются в разрезе по повышенному содержанию в них СаО.

3. Определены дополнительные критерии выделения верхней границы БС (в Центральном районе) на основе анализа содержания ОВ и пирита в породах. Установлено, что у верхней границы (редокс-барьер), как правило, залегают пиритизированные в диа– и катагенезе породы с низкими значениями C/S (<2), образованные в результате миграции сульфидов железа в гелеобразном виде, а также H_2S и ее взаимодействия с реакционноспособным железом. Над верхней границей присутствуют пиритовые низкоуглеродистые породы с относительно низким содержанием ОВ ($<5\%$) и высоким

содержанием пирита (10–15%), под верхней границей – пирит-керогеновые породы с высоким (15–25%) и примерно равным содержанием ОВ и пирита. Эта закономерность позволяет уточнять положение верхней границы БС при изучении конкретных разрезов.

4. Разработана пространственно–временная модель осадконакопления для баженовской свиты. Проведена типизация разрезов, определены границы различных областей седиментации в пределах территории развития свиты, реконструировано соотношение биогенных и терригенных компонентов в осадках на разных этапах седиментации.

5. Установлено, что в Центральном районе литологическая неоднородность БС связана, в основном, с вторичными преобразованиями пород (главным образом, карбонатизацией). В Юго–восточном и Южном районах неоднородность состава и строения БС обусловлена, в наибольшей степени, неравномерным распределением глинистого материала по площади палеобассейна на разных этапах седиментации.

6. Выявлены закономерности диа– и катагенетического минералообразования в отложениях БС. Установлен генезис и рассмотрены механизмы образования скоплений аутигенных минералов (пирита, карбонатов) на границах пачек разного литолого–геохимического состава, с различными окислительно–восстановительными и/или кислотно–щелочными характеристиками (на геохимических барьерах).

7. Установлено, что на стадии катагенеза происходили доломитизация, новообразование сульфидов железа и перераспределение продуктов преобразования органического вещества у верхней границы БС. Определены литологические критерии распознавания разрезов БС со степенью преобразованности органического вещества, соответствующей градации мезокатагенеза МК₂. Для таких разрезов характерна высокая доля доломитсодержащих пород, пород с относительно пониженным содержанием

ОВ (<15%), а в кровле свиты отсутствуют породы с высоким содержанием и ОВ и пирита (по 20–25% каждого).

Практическая и фундаментальная значимость работы

Полученные результаты необходимы:

- для реконструкции механизмов формирования черносланцевых отложений в эпиконтинентальных бассейнах;
- оптимизации геологоразведочных работ, подсчета запасов, повышения эффективности разработки БС;
- интерпретации результатов геолого–геофизических исследований, полученных при изучении этой толщи с целью поисков залежей УВ;
- проведения в дальнейшем междисциплинарных исследований и решения региональных и межрегиональных практических и теоретических задач, связанных с разработкой черносланцевых отложений.

Объем и методика исследования

Работа выполнялась в лаборатории седиментологии ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирске. Использованный каменный материал, представляет собой полную коллекцию керн БС, собранную в результате планомерных и целенаправленных литологических работ, проводимых в течение многих десятилетий в ИНГГ СО РАН. Диссертантом лично отобран и исследован керновый материал БС центральной, юго–восточной и южной частей ЗСБ, при выполнении работы также были проанализированы коллекции к.г.–м.н. А.Г. Замирайловой и проф. Ю.Н. Занина. Вся коллекция образцов изучена комплексом литолого–геохимических методов (петрографическим, физико–химическим и др.) в рамках единого методического подхода и единой классификационной схемы, что предопределяет сопоставимость полученных результатов.

Для решения поставленных задач использован следующий фактический материал. В ходе работы выполнено описание и фотографирование керн БС 67 скважин (около 1500 обр.), пробуренных на территории распространения

этой толщии, проведено петрографическое изучение шлифов пород (1435 шт.), определены содержания породобразующих оксидов методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), форм железа и серы – химическими методами, содержание $C_{орг}$ – весовым полумикрометодом и методом пиролиза. В сканирующем электронном микроскопе с микрозондовым спектрометром изучено 352 образца пород БС. Содержания редкоземельных и рассеянных элементов были определены методами масс–спектрометрии с индуктивно–связанной плазмой (457 обр.) и атомной абсорбции (148 обр.); минеральный состав был изучен методом рентгеноструктурного анализа в 649 образцах проб и фракций <0,002 мм; 105 образцов карбонатных и карбонатсодержащих пород исследованы методами изотопного анализа с определением величин C^{13} и O^{18} . Геохимические анализы пород БС были сделаны в аналитических лабораториях ИНГГ и ИГМ СО РАН. Комплексное описание пород выполнено для 1491 образца по результатам исследований в оптическом и электронном микроскопах, рентгеноструктурного анализа, а также пересчета химического состава. По результатам РФА, определения форм железа и содержания $C_{орг}$, проведен пересчет химического состава пород на минеральный состав по методике О.М. Розена с соавторами (Розен и др., 2000); далее породы были определены по классификации, предложенной специалистами ИНГГ СО РАН (Конторович и др., 2016). В рамках этой классификации для пород БС введено понятие «микстит» (преимущественно биогенный) – это класс пород, в которых содержание ни одного из породобразующих компонентов (кремнезем, глинистый и карбонатный материалы, ОВ) не достигает 50 %.

При изучении особенностей строения БС широко применялся сравнительный анализ распределения основных породобразующих компонентов (кремнезема, глинистого материала, карбонатов, пирита, ОВ) по разрезу и по площади территории исследования. Для этого также были построены карты–схемы распространения этих компонентов в нижней, средней и верхней частях БС в программе ArcGIS. Особое внимание уделялось

типизации разрезов, которая включала построение гистограмм распределения средних содержаний основных компонентов БС, анализ закономерностей расположения в разрезе основных пачек пород, характеристик ГИС и др. Для реконструкции окислительно–восстановительных условий использовались следующие редокс–показатели: степень пиритизации железа (Гуляева, 1953, Страхов, Залманзон, 1954, Конторович и др., 1967, 1972, Raiswell et al., 1988), содержание урана аутигенного (Wignall, Myers, 1988), элементные индикаторы – Mn/Al (Hofmann et al., 1999) и Mo/Mn (Холодов, Недумов, 1991). Для предварительной оценки состава областей сноса, а также наличия гидротермальной или эксгаляционной деятельности во время образования БС осуществлялся анализ особенностей элементного состава пород, включая редкоземельные элементы.

Отдельной задачей исследования являлся поиск интервалов БС, где в диа– и/или катагенезе происходило изменение физико–химических условий и концентрировались такие аутигенные минералы как пирит, карбонаты (кальцит, доломит) и барит. Для всех изученных разрезов построены диаграммы коррелятивной зависимости C/S, проанализированы значения коэффициента корреляции и отклонения от зависимостей, а также изучены особенности распределения по разрезу кремнезема и глинистого материала, кальцита, доломита, пирита, $C_{орг}$ и редокс–показателей. Исследованы изменения в содержании кремнистого, глинистого материала и СП в интервалах залегания карбонатных, пиритовых и барий–содержащих пород для уточнения условий образования БС. Определение тенденций изменения литологического состава с ростом степени катагенетической преобразованности ОВ проводилось при помощи сравнительного анализа распределения в разрезах свиты доломита, кальцита, ОВ, пирита и величины отношения C/S. Использовалась оценка степени катагенетической преобразованности ОВ в породах БС, приведенная в работах (Конторович и др., 1967; Фомин, 2014).

Исследования проводились в рамках тематических планов НИР ИНГГ СО РАН, а также заказов Минприроды (ВНИГНИ), Минэнерго, нефтегазовых компаний Роснефть, Юганскнефтегаз, Бейкер Хьюз и др.

Защищаемые положения

1. С использованием единого методического подхода установлены закономерности изменения литолого–геохимических характеристик баженовской свиты Западной Сибири по вертикали и латерали. В пределах Мансийской синеклизы и Хантейской гемиантеклизы характерны: значительное увеличение мощности высокоуглеродистых кремнистых пород (силицитов, микститов кероген–глинисто–кремнистых и кероген–кремнистых), присутствие в ее верхней части микститов кероген–карбонатно–кремнистых (кокколитовой пачки). В районе Колтогорско–Нюрольского желоба и примыкающих к нему положительных структур наблюдается сокращение (в 2 раза и более) суммарной мощности кремнистых пород и карбонатов, отсутствие кокколитовой пачки. Севернее Ортъягунского мезомыса – отмечается увеличение в разрезе мощности низкоуглеродистых микститов кремнисто–глинистых и глинистых, наиболее существенное сокращение суммарной мощности кремнистых пород, пониженная карбонатность. На основе установленных закономерностей распределения основных типов пород выделено 14 типов разреза БС, и 4 области седиментации, которые имеют свои особенности.

2. Выявлены пространственно–временные закономерности седиментогенеза баженовской свиты. Показано, что в районе Мансийской синеклизы и Хантейской гемиантеклизы, где преобладали условия гемипелагического осадконакопления, в раннерязанское время произошла смена преимущественно кремнистой биогенной седиментации на кремнисто–карбонатную, что связывается с потеплением и аридизацией климата и изменением геохимической обстановки в палеобассейне. В районе Колтогорско–Нюрольского желоба и примыкающих к нему положительных

структур в рассматриваемый период, в связи с проградацией береговой линии, увеличился привнос терригенного глинистого материала. В пределах северной части Южно-Надымской мегамоноклизы и Большехетской мегасинеклизы преобладала терригенная седиментация с накоплением преимущественно глинистого материала при подчиненной роли биогенного осадконакопления.

3. Установлено, что у границ баженовской свиты (на редокс–барьерах) в диа- и катагенезе развивалась интенсивная пиритизация пород за счет миграции из БС сульфидсодержащих флюидов, диффузии H_2S и взаимодействия ее с реакционноспособным железом. На этих интервалах, одновременно являвшихся кислотнo–щелочными барьерами, главным образом, в районе Мансийской синеклизы и Хантейской гемиантеклизы, в диагенезе также происходила карбонатизация пород. В самой баженовской свите эти процессы действовали на границах литологических пачек, различающихся по кислотнo–щелочным характеристикам (например, силицитов и микститов кероген–глинисто–кремнистых, микститов–глинисто–кремнистых и микститов кероген–карбонатно–кремнистых). В катагенезе процессы карбонатизации продолжились и не были приурочены к границам изменений физико–химических условий осадка.

4. Выявлена направленность литолого–геохимических изменений по мере возрастания степени катагенетического преобразования органического вещества в баженовской свите: при переходе от $МК_1^2$ к $МК_2$ возрастает содержание доломита, отмечаются более низкие величины отношения C/S , снижается содержание $ОВ$ и пирита как в целом по разрезу, так и в пирит–керогоновой пачке, при существенном увеличении мощности низкоуглеродистой пиритовой пачки, залегающей у верхней границы свиты.

Апробация работы и публикации

Диссертант является автором и соавтором 108 публикаций по теме диссертационной работы, в том числе 29 статей, опубликованных в ведущих российских (Геология и геофизика, Литология и полезные ископаемые,

Геохимия, Геология нефти и газа, Литосфера и др.) и зарубежных (Marine Petroleum Geology, Sedimentology, Sedimentary Geology, Chemia de Erde) научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 25.00.06. Результаты работы опубликованы в виде 75 тезисов в материалах конференций и совещаний (из них 36 в изданиях, регистрируемых в РИНЦ), с 2000 г. по настоящее время регулярно докладывались на российских и международных конференциях в Московском государственном университете им. Ломоносова (2019 г.), Российском государственном университете им. Губкина (2015 г.), Санкт–Петербургском государственном университете (2012 г.), ИНГГ СО РАН (Новосибирск, 2012, 2015–2018 г.), ВНИГРИ (Санкт–Петербург), Казанском федеральном университете (2019 г.), УрО РАН (Екатеринбург, 2016, 2018 г.), Новосибирском государственном университете (1998–2000 г.), Томском политехническом университете (1997, 1999 г.), Томском государственном университете (2003 г.), а также на международных совещаниях EAGE (Санкт–Петербург, 2014, 2016, 2018 г.), Международном геологическом конгрессе (Бразилия, 2000 г.), Юрском совещании (Швейцария, 2006 г.), SPE (Болгария, 2017 г.).

Благодарности

Автор глубоко признательна своим учителям – профессору Ю.Н. Занину, академику А.Э. Конторовичу за постановку задачи – защиты диссертационной работы, полезные замечания, рекомендации и предоставленную возможность посвятить время подготовке диссертации. Выражаю отдельную признательность к.г.–м.н. Л.Г. Вакуленко и Е.В. Щепетовой – за ценные советы по структуре и содержанию работы, к.г.–м.н. А.Г. Замирайловой – за поддержку и предоставленные результаты литолого–геохимических исследований БС юго–восточных районов. Во время проведения исследований вопросы литологии и условий формирования БС также активно обсуждались с Н.С. Балушкиной, О.В. Бурлевой, Ф.Г. Гурари,

Ю.О. Гавриловым, Г.А. Калмыковым, Е.А. Костыревой, М.А. Павловой, С.В. Рыжковой, П.А. Яном, А.Ю. Юрченко, И.С. Сотнич, за что автор им искренне благодарна. Лабораторные геохимические исследования и пробоподготовка осуществлены сотрудниками ИНГГ СО РАН (А.Н. Фоминым, В.Н. Меленевским, Е.А. Костыревой, Г.П. Турковой, Н.В. Аксеновой (лаб. геохимии нефти и газа), Г.М. Писаревой, Т.Н. Меняйло (лаб. седиментологии)), ИГМ СО РАН (И.В. Аборневой, Л.А. Горчуковой, Н.Г. Кармановой, И.А. Никитиным, А.В. Николаевой, Н.А. Пальчик, И.М. Фоминых), изотопный анализ карбонатных пород выполнен А.Ю. Юрченко (МГУ) и В.А. Пономарчук (ИГМ СО РАН), большая работа по подготовке графических иллюстраций осуществлена сотрудником ИНГГ СО РАН Е.Х. Никифорова, за что автор всем очень признательна. Благодарю И.А. Жигульского и И.А. Коваленко за то, что при подготовке своих дипломных работ они продолжили исследования по основным направлениям литологической группы ИНГГ СО РАН, занимающейся изучением БС, и получили новые интересные результаты. В заключении хочу отметить колоссальную моральную поддержку моего супруга – Л.В. Эдера, моих родителей (Г.Г. Полякова и В.Г. Поляковой) и большой семьи диссертанта, за что всем – мой низкий поклон.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Общий объем – 352 страницы, включая 14 таблиц, 122 рисунка, 6 приложений и список литературы из 338 наименований.

Основное содержание работы

Территория исследования охватывает наиболее значительную часть области распространения БС – от Межовского свода (на юге ЗСБ) до Большехетской мегасинеклизы (на севере), от Мансийской синеклизы (в центре ЗСБ) до Обь–Васюганской гряды (на востоке). В ее пределах условно выделены Центральный, Юго–восточный, Южный и Северный районы.

Название тектонических элементов в работе дано в соответствии с тектонической картой юрского структурного яруса (под ред. Конторовича А.Э., 2001)

В главе 1 приведена краткая геологическая характеристика БС, включающая особенности ее литологии, стратиграфии и описание тектонических структур юрского структурного яруса, к которым приурочены изученные разрезы.

В главе 2 описана методика исследования, подразделенная на три блока: литолого–петрографический, физико–химический и интерпретационный. Для каждого из них составлены схемы исследования и описаны применяемые методы, приведен объем выполненных литолого–геохимических работ.

В главе 3 дана характеристика основных (кремнезем, глинистый материал, пирит, карбонаты) и второстепенных (барит, сфалерит, каолинит) компонентов вещественного состава и наиболее распространенных типов пород БС. Рассмотрены закономерности их распределения в разрезах и на исследуемой площади, проведена типизация разрезов, выделены области, имеющие свои особенности седиментации. Составлены карты–схемы и рассмотрены закономерности распространения основных компонентов пород БС для нижней, средней и верхней ее частей. Приведена литолого–геохимическая характеристика зоны перехода БС в вышележащую подачимовскую пачку.

Глава 4 посвящена анализу условий седиментации БС. Проанализированы факторы, благоприятные для накопления высокоуглеродистых осадков в целом. Составлено 5 корреляционных профилей изученных разрезов. Реконструированы условия осадконакопления на разных этапах седиментации. По результатам изучения элементного и микроэлементного состава (включая редкоземельные элементы) оценен петрографический состав пород–источников сноса, проанализированы

признаки возможного воздействия подводных эксгаляций на образование пород, подтверждены предположения предыдущих исследователей о характере климата на прилегающей суше во время образования БС.

В главе 5 приведены данные, характеризующие постседиментационные преобразования осадков БС в диа- и катагенезе. По комплексу геохимических показателей определены окислительно-восстановительные условия, существовавшие в осадочной толще. Рассмотрены особенности морфологии, геохимии и условия образования различных генетических типов карбонатов и пирита. Выявлены литолого-геохимические свидетельства отложения аутигенных минералов на геохимических барьерах в БС. Проведен сравнительный литолого-геохимический анализ разрезов, сложенных породами с разной степенью катагенетической преобразованности ОВ, определены основные тенденции изменения состава пород БС в условиях роста пластовой температуры в мезокатагенезе.

Далее изложение основных результатов диссертационной работы приводится в соответствии с защищаемыми положениями, порядком обоснования научной новизны и последовательностью глав.

Закономерности распространения основных типов пород и типизация разрезов БС

Попытки классифицировать породы БС по вещественному составу и увязать их с условиями седиментации были предприняты ранее (И.Н. Ушатинский, И.Д. Полякова, Г.Н. Перозио, Л.А. Кроль, Е.А. Предтеченская, Ю.Н. Занин, В.Д. Немова, Н.С. Балушкина и др.). Автором составлена классификационная схема основных типов пород (по минеральному составу), включающая их микротекстурные и генетические характеристики. Показано, что в составе БС силициты, силициты керогеновые, микститы кероген-глинисто-кремнистые, микститы кероген-кремнистые с содержанием кремнезема >40% и кероген-карбонатно-кремнистые имеют преимущественно биогенное происхождение, для них характерны массивные

или линзовидно–слоистые микротекстуры. В микститах кероген–глинисто–кремнистых с содержанием кремнезема <40% и в микститах кремнисто–глинистых биогенная и терригенная составляющие находятся в близких соотношениях. В микститах глинистых и аргиллитах преобладает глинистый материал, для них характерны текстуры, описанные ранее для отложений дистальных турбидитных низкоплотностных потоков. Подтверждено, что карбонатные и карбонатсодержащие породы БС – это, главным образом, карбонатизированные радиоляриты или конкреционные образования, основным источником материала для которых служил кальцит нанопланктона (верхняя часть БС) и раковины двустворок или аммонитов (средняя часть свиты). Подчиненное значение имеют известковые прослои, состоящие из остатков раковин двустворок и кокколитофоридовых водорослей.

Диссертантом составлена принципиальная схема распределения типов пород в условно выделенных Центральном, Юго–восточном, Южном и Северном районах (рис. 1). Выявлены особенности распределения основных типов пород БС. Показано, что значительные мощности силицитов и микситов кероген–глинисто–кремнистых и микситов кероген–кремнисто–карбонатных (с остатками кокколитов) характерны, главным образом, для Центрального района. В Северном районе такие породы практически отсутствуют, там распространены микситы кремнисто–глинистые; для крайне северных площадей Северного района (Медвежья, Харасавейская пл.) более характерны аргиллиты. В Юго–восточном районе микситы кероген–кремнисто–карбонатные практически не встречаются, а доля силицитов и микситов кероген–глинисто–кремнистых в разрезе БС существенно сокращена (в 2 раза) по сравнению с разрезами Центрального района. Таким образом, наблюдается постепенное уменьшение (вплоть до исчезновения) мощности пачки преимущественно кремнистых пород БС в направлении от Центрального к Южному району, та же тенденция наблюдается в разрезах БС от Центрального к Северному району, что, очевидно, связано со сменой

условий седиментации. Для оценки закономерностей распределения кремнезема в БС микститы кероген–глинисто–кремнистые/кероген–кремнистые/глинисто–кремнистые было целесообразно разделить на две подгруппы по содержанию кремнезема – $>40\%$ (высококремнистые породы близкие к силицитам) и $<40\%$ (относительно низкокремнистые). В целом для Северного района породы первой подгруппы не характерны, они встречаются лишь в виде единичных прослоев в БС в керне скважин Уренгойской и Тюменской пл. Высококремнистые микститы распространены в Центральном, Юго–восточном и Южном районах. Наибольшие мощности этих пород фиксируются в разрезах юга Южно–Надымской мегамоноклизы (Повховская и Новоуртыгунская пл.), в некоторых разрезах северной части Хантейской гемиянтеклизы (Дружная пл.), Мансийской синеклизы (Северо–Салымская, Восточно–Правдинская пл.), Юганской мегавпадины (Малобалыкская пл.).

В Юго–восточном районе микститы высококремнистые преобладают на Горстовой, Ледовой, Пельгинской, Западно–Квензерской, Северо–Чистинной пл. Микститы низкокремнистые (кероген–глинисто–кремнистые, кероген–кремнистые, глинисто–кремнистые) с содержанием кремнезема $<40\%$, встречаются на некоторых площадях Северного (Тюменской, Западно–Пурпейской) и Юго–восточного (Ершова пл.) районов и характерны для Южного района (Южно–Майская, Ракитинская, Средне–Юлжавская пл.). В Центральном районе и в остальных разрезах Юго–восточного района они присутствуют, в основном, в виде маломощных редких прослоев преимущественно у зоны перехода БС к подстилающим и перекрывающим отложениям.

Микститы кероген–кремнисто–карбонатные и кероген–карбонатные (кокколитовая пачка) встречаются в верхней части (2–6 м) разрезов БС в Центральном районе и единичных разрезах сводовых структур Северного района. Повышенной карбонатностью характеризуются разрезы Присклоновой и Южно–Ягунской пл., приуроченные к Северному и

Сургутскому сводам (палеоподнятиям дна баженовского бассейна). На большей части Юго–восточного, Южного и Северного районов кокколитовая пачка БС отсутствует.

Установлено, что аргиллиты характерны в основном для Северного района. Они также присутствуют в виде тонких прослоев в единичных разрезах Центрального (Северо–Нивагальская пл.) и Южного (Межовская пл.) районов (см. рис. 1). Эти наблюдения подтверждают результаты предыдущих исследований БС, проведенных ранее в отдельных районах Западной Сибири (Ушатинский, 1980; Занин и др., 2005; Предтеченская и др., 2006; Немова и др., 2013; Балушкина и др., 2013; Эдер и др., 2006, 2015; и др.), которые показали, что в большинстве разрезов аргиллиты отсутствуют, а основную часть разреза составляют кремнистые породы – силициты и микститы кероген–кремнистые и кероген–кремнисто–карбонатные.

На территории исследования выделено 14 типов разрезов (т.р.) БС (рис. 2, 3), различающихся по содержанию, распределению и мощностям пачек разного состава, а также по характеристикам каротажа (КС, ГК). Выделены группы разрезов с близким строением, которые, как правило, характерны для крупных районов – Центрального, Юго–восточного, Южного и Северного. Однако, внутри этих районов наблюдаются свои вариации в строении разрезов. В результате проведенной типизации разрезов БС установлены следующие закономерности их строения.

Центральный район. Разрезы имеют сходный состав, представлены преимущественно биогенными породами – микститами кероген–глинисто–кремнистыми и силицитами (пачки 1–3), в верхней части – микститами кероген–глинисто–кремнистыми и силицитами керогеновыми (пачка 4), микститами кероген–карбонатными и кероген–карбонатно–кремнистыми (пачка 5) и в кровле – микститами глинистыми (пачка 6). В районе Хантейской гемиянтеклизы и южных пл. Южно–Надымской мегамоноклизы (Сургутский т.р. – 1.2) мощность свиты понижена по сравнению с Мансийской синеклизой

(Салымский т.р. – 1.1) и составляет 20–25 и 30–35 м соответственно. В большей части разрезов Хантейской гемиантеклизы пачка 6 отсутствует, переход к вышележащим отложениям подачимовской пачки более резкий. Для Сургутского т.р. часто характерны карбонатные конкреции в верхней части свиты в пачке 5. В целом большая часть разрезов БС Центрального района (т.р. 1.1–1.2) характеризуется повышенной карбонатностью (10–50%), кремнистостью (35–50%) и высокими значениями содержания ОВ (10–25%). Встречаются единичные разрезы, которые отличаются по своему строению. В Северо–Нивагальском т.р. (1.3) (центральная часть Хантейской гемиантеклизы) наблюдается переслаивание микститов кероген–глинисто–кремнистых, кероген–кремнистых и низкоуглеродистых аргиллитов, Северо–Покачевском т.р. (1.4) – в верхней половине вместо кокколитовой пачки присутствует пачка микститов кероген–кремнисто–глинистых.

Литологическая неоднородность БС Центрального района обусловлена особенностями палеорельефа и физико–химическими особенностями среды: а) в мегавпадинах мощность свиты заметно больше (30–35 м), чем на положительных структурах (20–25 м); б) на локальных возвышенностях разрезы более карбонатные, чем во впадинах.

Юго–восточный и Южный районы. В этих районах разрезы БС характеризуются отсутствием пачек 5 и 6 (кокколитовой и глинистой), которые представлены здесь микститами глинистыми и относятся к куломзинскому горизонту (Гольберт и др., 1971; Решение..., 2004). Также общим является заметное сокращение суммарной мощности преимущественно кремнистых пород – силицитов и микститов кероген–глинисто–кремнистых с содержанием кремнезема >40% (пачек 1–3 или 2–3), что составляет 2–5 м в Нижневартовском т.р. (2.2), 7–10 м, редко до 15 м – в остальных типах разреза этого района. Пачка 4 в большинстве случаев представлена микститами кероген–кремнисто–глинистыми, с содержанием кремнезема и глинистого материала около 30 % каждого, в отличие от БС Центрального района, где она

состоит из силицитов или микститов кероген–глинисто–кремнистых с содержанием кремнезема > 40% и глинистого материала < 20%. Карбонатизация пород БС в этом районе существенно понижена по сравнению с Центральным районом и проявлена, главным образом, в виде единичных прослоев карбонатных пород, развитых по радиоляритам.

В Юго–восточном и Южном районах различия в строении разрезов БС обусловлены вариациями положения в разрезе пачки с повышенным содержанием глинистого материала. Здесь также играют важную роль факторы: а) палеорельефа – на возвышенностях мощности БС меньше, чем во впадинах, что обусловлено большим сносом глинистого материала в отрицательные структуры дна палеобассейна на стадии седиментации; б) близости к источнику сноса: наиболее южный – Колпашевский (2.5) и восточный – Тымский (2.4) т.р. БС характеризуются повышенной глинистостью и несколько пониженным содержанием ОВ. В нижней (в т.р. 2.1–2.3) или средней (в т.р. 2.3, 2.4, 2.6) частях свиты Юго–восточного района присутствует кремнистая пачка, представленная микститами кероген–глинисто–кремнистыми и силицитами. В целом мощность рассматриваемой пачки в этих районах в большинстве разрезов понижена (7–10 м) по сравнению с Центральным районом (15–25 м).

Северный район. Севернее Ортыгунской пл. разрезы БС становятся заметно более глинистыми (35–50%), менее кремнистыми (<30%), низкокарбонатными (за исключением единичных случаев, приведенных выше) и менее углеродистыми (часто <5%). Суммарная мощность преимущественно кремнистых пород в типах разреза 3.1–3.4 не превышает 1–2 м. Для БС района северной части Южно–Надымской мегамоноклизы и Большехетской мегасинеклизы характерны разрезы, состоящие из микститов глинисто–кремнистых с прослоями аргиллитов или единичным прослоями силицитов (Губкинский – 3.1 и Надымский – 3.2 т.р.). В первом из вышеперечисленных типов разрезов содержание ОВ не превышает 5%, во втором – встречаются

прослой с содержанием этого компонента 8–10%. Для Надымского типа разреза, описанного на Присклоновой пл. Северного свода характерна повышенная карбонатность – обусловленная присутствием значительного количества карбонатных конкреций. В этом типе разреза в пачках 5 и 6 обнаружены остатки кокколитофоридовых водорослей.

Несколько севернее в районе Медвежье–Нугинского наклонного мегавала (Медвежий т.р. – 3.4) в породах значительно увеличивается содержание алевритовой примеси и глинистого материала, в заметном количестве в БС присутствуют аргиллиты. На территории Большехетской мегасинеклизы встречаются разрезы (Газовский т.р. – 3.3) повышенной мощности (56 м), представленные микститами глинисто–кремнистыми с редкими прослоями микститов кероген–глинисто–кремнистых.

Изложенные результаты позволяют сформулировать защищаемое положение 1 и обосновать научную новизну работы (пункт 1).

Литолого–геохимическая характеристика зоны перехода БС в вышележащую подачимовскую толщу

Выявлены следующие особенности зоны перехода БС в вышележащие отложения (на примере разрезов Хантейской гемиантеклизы) (Эдер и др., 2020). В изученных разрезах Центрального района в зоне перехода от БС к подачимовской толще снизу-вверх выделяются четыре пачки, различающиеся по литолого–геохимическим и геофизическим параметрами: I – кокколитовая пачка БС; II – верхняя переходная пачка БС; III – переходная пачка подачимовской толщи; IV – нижняя пачка подачимовской толщи. Верхняя граница БС устанавливается между переходной пачкой БС (пачкой II) и переходной пачкой подачимовской толщи (пачкой III) и характеризуется выраженными литологическими и геохимическими изменениями, в первую очередь, касающимися органического вещества. В разрезах БС Хантейской гемиантеклизы и Южно–Надымской мегамонаклизы наблюдается резкая смена пород за счет отсутствия переходной пачки БС (пачки II), а в

Мансийской синеклизе — переход более постепенный. В обоих случаях изменения состава пород и параметров органического вещества свидетельствуют о существенной перестройке седиментационной системы, которая привела к заметному сокращению накопления ОВ в осадках. Установлено, что переход от БС к подачимовской толще характеризуется зоной интенсивной пиритизации.

Особенности зоны перехода от БС к подачимовской толще впервые детально исследованы, что является элементом научной новизны (пункт 3).

Условия седиментации БС

На основе результатов изучения вещественного состава пород, типизации разрезов и анализа их корреляционных профилей (рис. 4) разработана модель седиментации БС в Северном, Центральном, Юго–восточном и Южном районах. Для стратиграфической привязки пачек использовались результаты: 1) палеонтологических исследований лаборатории палеонтологии и стратиграфии ИНГГ СОРАН; 2) детального сопоставления данных литологического анализа, ГИС, а также изучения комплексов макро– и микрофауны, приведенной в публикации И.В. Панченко и соавторов (2016). По аммонитовым зонам произведено сопоставление кривой уровня моря в целом по миру (для титона-раннего валанжина, Наг, 2014) и пачек БС (по Панченко и др., 2016) (рис. 5). Районы территории исследования отличаются по степени охарактеризованности БС керном. Свита Северного района наименее представлена керном, в связи с чем в некоторых скважинах она разделена условно на нижнюю и верхнюю части, по стратиграфическому диапазону предположительно соответствующие пачкам 1–3 и 4–6, выделенным в Центральном районе И.В. Панченко и соавторами (2016). Существуют отличия в количестве пачек БС в Центральном и Юго–восточном районах. Как было описано выше, в Юго–восточном районе стратиграфические аналоги пачек 5 и 6 БС относятся к куломзинскому горизонту, что подтверждает скользящий характер верхней границы свиты

(Булынникова и др., 1970; Гольберт и др., 1971; Решение..., 2004). Модель седиментации БС представлена на рисунках 6-8.

Таким образом, особенности седиментационных моделей БС для разных районов состоят в следующем: для Центрального района охарактеризованы 4 этапа седиментации (см. рис. 7) – 1) ранне-средневожский; 2) конец средневожского–раннерязанский; 3) рязанский–начало ранневаланжинского; 4) ранневаланжинский; для Юго–восточного и Южного районов (см. рис. 8) – 2 этапа седиментации БС: 1) ранне-средневожский; 2) конец средневожского–раннерязанский и 1 этап – (конец средневожского–раннерязанский) начало седиментации куломзинского горизонта; для Северного (см. рис. 6) – 2 этапа: 1) ранне–средневожский; 2) конец средневожского–рязанский (возможно ранневаланжинский).

По данным Б. Хэка и соавторов (Haq et al., 1988) в период от поздней юры до раннего мела (в целом по миру), эвстатический подъем уровня моря достиг своего максимума в раннем титоне, что произошло, вследствие увеличения скоростей спрединга морского дна. В Западно–Сибирском палеобассейне при переходе от киммериджа к ранневожскому времени также произошло постепенное углубление (Гурари, 1981; Филина и др., 1984; Конторович др., 2015 и др.). Изменения состава пород при переходе от георгиевского к баженовскому горизонту подтверждают это предположение – наблюдается смена глауконитовых аргиллитов, песчаников и алевролитов с прослоями карбонатов, обедненных ОВ, на преимущественно биогенные кремнистые и кремнисто–карбонатные породы с высоким содержанием ОВ. На западе ЗСБ в Шаимском районе микробиолитовые карбонатно–марганцевые породы сменяются кремнистыми радиоляриевыми породами (Занин и др., 2003; Eder et al., 2018). При этом наблюдается достаточно резкое изменение ассоциации аутигенных минералов: фосфаты и глауконит в георгиевской свите сменяются на пирит в БС, одновременно происходит практически полное исчезновение следов инфавны. Все эти признаки

свидетельствуют о смене окислительного режима придонных вод на восстановительный, который способствовал сохранению ОВ. В некоторых разрезах БС в ее нижней части присутствуют редкие зерна глауконита и фосфатов, и отмечается невысокое содержание ОВ, вероятно, это свидетельствует о том, что вследствие локальных факторов изменения физико-химической обстановки не были резкими.

Ранне-средневожжское время. После углубления Западно-Сибирского палеобассейна на обширной территории, включающей Центральный и Юго-восточный районы, при тектоническом покое на окружающей суше началось отложение биогенных кремнистых илов на фоне ослабленного привноса терригенного (глинистого) материала. Основными продуцентами кремнезема являлись радиолярии, силикофлагелляты и диатомеи (Брадучан и др., 1986; Захаров, 2006 и др.). На некоторых унаследованных от доюрского основания палеоструктурах Юго-восточного района (Ледянская мезоседловина, Верхнеवासюганская антеклиза и Александровский свод и др.) привнос глинистого материала был минимальным, на других – (Усть-Тымская мегавпадина, Обь-Васюганская гряда) доля поступавшего в осадки терригенного глинистого материала была несколько выше (25–30%), а в Северном районе была повышена (30–40%). В пределах наиболее северных площадей Северного района (Медвежья пл.) происходила преимущественно терригенная седиментация (отложение глинистого материала). В Центральном и Юго-восточном районах с преобладанием биогенной седиментации осаждались большие массы ОВ. Благоприятными факторами, способствовавшими его аккумуляции, являлись: 1) спокойные гидродинамический и тектонический режимы, что приводило к возникновению застойных восстановительных условий в придонных водах; 2) существенно ослабленный привнос терригенного материала, на фоне которого происходило относительное возрастание концентрации сапропелевого ОВ в осадке; 3) высокая биопродуктивность; 4) усиленное

химическое выветривание на континенте, главным образом, на Урале (Гурова, Казаринов, 1962; Конторович и др., 1972; Занин и др., 2003), обеспечивавшее поступление необходимых питательных веществ (азота, фосфора и др.) для развития организмов, а также кремнистого и карбонатного вещества для строительства их скелетов.

В первой половине средневожского периода фиксируется периодическое распространение (в основном на палеоподнятиях) бентоса в виде двустворок (Захаров, 2006; Панченко и др., 2016), свидетельствующее о временной аэрации придонных вод. Во второй половине средневожского периода происходило отложение преимущественно кремнистого материала (до 80%). Существование радиоляриевых горизонтов в нижней половине БС отмечалось ранее (Гурова, Казаринов, 1962; Эдер и др., 2015а; Панченко и др., 2015а; Калмыков, 2016 и др.). Вышеописанный радиоляриевый слой характеризуется пониженными содержаниями ОВ и глинистого материала, по сравнению с вмещающими кремнистыми породами. Ранее (Эдер и др., 2015а; Панченко и др., 2015а; Калмыков, 2016) сделаны предположения о том, что период накопления радиоляритовой пачки 3 соответствует максимуму затопления ЗСБ. Однако, детальное сопоставление возраста (по аммонитовым зонам) пачек, выделенных И.В. Панченко с соавторами (2016) и кривой изменения уровня моря (Naq et al., 2014) не подтвердило это предположение (см. рис. 5). Определено, что максимум трансгрессии в целом по миру приходится на пачку 1, а начало образования пачки 3 – соответствует периоду постепенного уменьшения уровня моря. Возможно максимум углубления бассейна, сопровождаемый внедрением арктических масс с севера бассейна, мог способствовать подъему питательных веществ в более верхние горизонты водных масс (по модели Н.М. Страхова (1976) для Черного моря), что вызвало расцвет радиолярий. В пределах интервала пачек 1–3 наблюдается несколько радиоляриевых прослоев, мощностью 0,5–1 до 3–х м, обычно они залегают в кровле пачек. Предположительно эти горизонты отражают периоды массовой

гибели радиолярий, вызванных флуктуацией условий седиментации (возможно окислительно–восстановительного режима – временное распространение сероводородного заражения в более верхние слои водных масс).

Конец средневолжского–раннерязанское время. В этот временной интервал происходит некоторое уменьшение глубин палеобассейна, что соотносится с кривой изменения моря по (Наг, 2014). В Центральном районе продолжается биогенное кремненакопление при незначительном поступлении глинистого материала. В Юго–восточном и Южном – увеличивается привнос глинистого материала (с 10–15 до 30%). Широкое распространение получают двустворчатые моллюски и аммониты (Брадучан и др., 1986; Захаров, 2006; Предтеченская и др., 2006; Занин и др., 2005; Панченко и др., 2015а; Калмыков, 2016 и др.), по данным В.А. Захарова (2006) в бентосе резко возрастает роль арктических бухий и иноцерамов, что может косвенно свидетельствовать о поступлении арктических вод и временном улучшении аэрации придонных вод. В кровле пачки 4 на уровне аммонитовой зоны *Hectoroceras kochi* фиксируется повышение уровня моря в целом по миру (Наг, 2014).

Рязанское–начало ранневаланжинского время. Согласно данным (Наг et al., 2014) на протяжении этого периода времени происходит постепенное падение уровня моря в целом по миру. В разрезах БС Центрального района отчетливо фиксируется изменение характера седиментации – смена биогенной кремнистой седиментации (пачка 4) на кремнисто–карбонатную (пачка 5). Преобладание радиолярий на протяжении длительного периода времени в водной толще Центрального района баженовского палеобассейна заканчивается, и далее происходит расцвет кокколитофоридовых водорослей.

Подобные процессы, которые наблюдаются в Центральном районе, несколько раньше (в конце поздней юры) отмечались также и в Тетисе, где в этот период климат стал более теплым, кремнистое осадконакопление прекратилось и происходило формирование кокколитофоридовых

известняков (Weissert, Channell, 1989; Weissert, Erba, 2004; Muttoni et al., 2005). В баженовском море, располагавшемся в Бореальном поясе, не наблюдается столь резкой смены осадков, а кремнистые породы здесь сменяются кремнисто–карбонатными. Однако, в целом осадки центральной части баженовского палеобассейна несут в себе свидетельства влияния перестройки геохимии среды – появление условий, наиболее благоприятных для осаждения карбонатов.

В Центральном и Северном районах существовали площади, в пределах которых на заключительном этапе накопления БС периодически поступал терригенный глинистый материал (Северо–Нивагальская, Уренгойская пл.). Здесь наблюдается периодическая смена накопления кремнистых и кремнисто–карбонатных осадков, обогащенных органическим веществом, на глинистые низкоуглеродистые, что объясняется наличием подводных каналов и пульсационным распространением терригенного материала по ним от периферии к центру бассейна (Условия формирования, 1988; Занин и др., 2005).

Необходимо подчеркнуть, что тенденция изменения седиментации с кремнистой на кремнисто–карбонатную наблюдается именно в Центральном районе. В этот период в Юго–восточном и Южном районах происходит отложение глинистого, относительно низкоуглеродистого материала низов куломзинской свиты. Масштабное распространение кокколитофорид для этих районов, также, как и для Северного, не характерно, что по–видимому связано с неблагоприятными условиями для развития этой фауны (возможно, замутненностью вод). Исключение представляют единичные площади в Северном районе (Присклоновая пл.), где в разрезах сводовых структур (Северный свод) встречаются остатки известкового нанопланктона. В целом, мощность биогенных кремнистых осадков в Юго–восточном районе была, по сравнению с Центральным районом несколько сокращена за счет повышенных темпов привноса терригенного глинистого материала на заключительном

этапе седиментации БС. Из анализа распределения глинистых и кремнистых пород БС Юго–восточного и Северного районов, сделан вывод о том, что Северный район располагался значительно ближе к источникам сноса терригенного материала. В этом районе преобладало терригенное осадконакопление с образованием преимущественно глинистых осадков с подчиненным количеством биогенного кремнезема, которое прерывалось редкими периодами накопления кремнистых илов.

Ранневаланжинское время. Рассмотрены изменения условий осадконакопления в переходный период (окончания заключительной стадии седиментации БС и начала отложения материала подачимовской пачки) на примере Центрального района. Отложения зоны перехода накапливались в период завершения обширной трансгрессии, развивавшейся в позднеюрско–раннемеловое время на территории ЗСБ. Анализ литологических данных и геохимических характеристик ОВ, показывает, что в районе Хантейской гемиантеклизы и Южно–Надымской мегамоноклизы эта граница выглядит более резкой, чем в Мансийской синеклизе, а переходная зона от БС к вышележащим отложениям практически отсутствует. Здесь наблюдается изменение окраски пород, обусловленное существенным снижением в них содержания $C_{орг}$ (до 1–3% – в Хантейской антеклизе и Южно–Надымской мегамоноклизе и до 2–5% – в Мансийской синеклизе); заметно уменьшается содержание урана. Наблюдается возрастание количества мелкоалевритовой примеси (с 1–2% до 5–7%) и глинистого материала (с 20 до 40–70%). Соответственно в породах заметно увеличивается содержание калия и тория, появляются микротекстуры, характерные для дистальных турбидитных потоков низкой плотности и скорости. У верхней границы БС происходит также смена генезиса кремнистого материала, присутствующего в породах: если в кокколитовой пачке БС он преимущественно биогенный, то в переходных зонах и в подачимовской пачке – он терригенный.

Как было отмечено ранее, кокколитовая пачка БС формировалась в условиях ослабленного привноса терригенного материала. Основными продуцентами ОВ и породообразующими организмами в этот период времени были кокколитофоридовые водоросли и радиолярии. В заключительный период развития трансгрессии, по мере проградации береговой линии, количество глинистого материала, поступавшего в центральную часть ЗСБ, заметно возросло (с 15–20% до 35% в переходной толще БС). По-видимому, такое увеличение взвешенного глинистого материала создало неблагоприятные условия для существования фауны, в этот период кокколитофоридовые водоросли перестали существовать, сократилось количество радиолярий. Следующий этап, во время которого сформировались глинистые осадки переходной зоны подачимовской толщи, вероятно, ознаменовался еще более заметным увеличением темпов привноса терригенного глинистого материала. При достижении содержания глинистого материала 40% в породах резко снижается содержание ОВ (2–4%). По сравнению с предыдущим этапом, существенно сократилась концентрация ОВ в осадке, что было обусловлено, с одной стороны, его разубоживанием глинистым материалом, а с другой – субоксидными условиями, способствовавшими разрушению ОВ. Впоследствии, при накоплении нижней части подачимовской толщи, количество привнесенного глинистого материала существенно увеличилось (до 45–70%), а ОВ заметно снизилось (0,5–2%). Условия захоронения ОВ становятся окислительными – субоксидными.

Пространственно-временная модель БС представлена в защищаемом положении 2; новизна полученных результатов отражена в пунктах 3–5 приведенного диссертантом обоснования.

В результате изучения микроэлементного состава пород БС получены выводы, подтверждающие и дополняющие результаты предыдущих исследователей:

- климат в позднеюрско–раннемеловой период на территории

исследования был теплым, семиаридным;

– в Центральный, Северный и Юго–восточный районы поступал терригенный материал из источников сноса, сложенных преимущественно магматическими породами основного состава. В Южном районе (район Межовского свода) накапливались продукты разрушения и размыва кислых магматических пород;

– в породах на изученных площадях не обнаружены свидетельства эксталяционной деятельности.

Особенности преобразования БС в диа– и катагенезе

Пиритизация. По результатам исследования в сканирующем электронном микроскопе, установлено два морфологических типа пирита в интенсивно пиритизированных породах, присутствующих в толще БС и в зонах ее перехода к вмещающим отложениям: 1) скрытокристаллический и кристаллический; 2) фрамбоидальный. Фрамбоидальный пирит, образование которого связано по мнению большинства исследователей с жизнедеятельностью сульфатредуцирующих бактерий, наиболее широко распространен в породах БС. Выяснено, что скрытокристаллический и кристаллический пирит образуют мелкие линзы, микропрослойки и довольно мощные (от нескольких сантиметров до одного метра) прослои в зонах перехода БС к ниже– и вышележащим отложениям. Установлено, что на стадии раннего диагенеза скрытокристаллический пирит был образован раньше фрамбоидального.

При анализе корреляционной зависимости между содержаниями серы сульфидной и органического углерода в породах БС, в большинстве изученных разрезов устанавливаются низкие значения коэффициента детерминации ($R^2=0.2–0.5$, редко 0.6), при этом во многих разрезах основная масса проанализированных образцов выделяется в группу, в которой содержания этих элементов явно связаны прямой зависимостью, но существуют и отклонения. Определено, что такие образцы представлены

породами: 1) зон перехода БС к отложениям подстилающей георгиевской (абалакской) свиты и перекрывающей подачимовской толщи с относительно низкими содержаниями ОВ (0–5%) и повышенными – пирита (>7%, часто >10–15%); 2) БС с примерно равными высокими содержаниями пирита и ОВ (10–20% и более каждого компонента). Породы первого типа были названы – пиритовыми, второго – пирит–керогеновыми. При исключении образцов пиритовых и пирит–керогеновых пород из анализируемой выборки, значение коэффициента детерминации, рассчитанного для серы сульфидной и органического углерода, заметно возрастает ($R^2=0.7-0.9$), т.е. прямая зависимость между величинами содержания этих элементов в породах БС становится более значимой. Наблюдения показывают, что зоны интенсивной пиритизации вблизи кровли БС тесно связаны с изменениями содержания глинистого материала и карбонатного материала в породах.

Вблизи нижней границы БС, в георгиевской свите, в большинстве скважин, охарактеризованных керном, также присутствуют пиритовые низкоуглеродистые породы. По результатам анализа величин отношений ряда химических элементов, использующихся нами в качестве редокс–показателей (СП, Мп/Аl, Мо/Мп), можно предполагать, что в БС на стадии диагенеза преобладали аноксидные условия, а в наддонных водах часто развивалось сероводородное заражение. В среднем в породах БС значения степени пиритизации железа СП>0,75; доля урана аутигенного $U_a>15$; величина отношения – Мп/Аl не превышает 0,005, а Мо/Мп>1. В интервалах разреза, где распространены пиритовые породы, наблюдается относительно резкое снижение степени пиритизации железа (СП<0,75) и уменьшение содержания аутигенного урана ($U_a<10$). В некоторых разрезах БС подобная тенденция снижения СП и уменьшения U_a отмечается ниже по разрезу, расположенных под ее кровлей – в пирит–керогеновых породах БС, (Салымская, Южно–Ягунская пл.). Значения Мп/Аl в подачимовской толще существенно не меняются (не превышает 0,005), величины отношения молибдена к марганцу

Mo/Mn составляют около 0,001, т.е. указывают на окислительные условия. На основании различий в значениях СП, U_a и Mo/Mn можно предполагать, что во время накопления осадков БС в них существовали восстановительные условия, тогда как в подачимовской толще – субоксидные до окислительных. При анализе величин редокс–показателей в пиритовых породах зоны перехода георгиевской (абалакской) свиты к БС также устанавливаются отличия от тех значений СП, U_a , Mn/Al и Mo/Mn, которые определены в породах БС и в подстилающих ее отложениях. Окислительные и субоксидные геохимические обстановки, существовавшие в наддонных водах и в верхнем слое осадков при накоплении георгиевской или абалакской свит, сменились резко восстановительными обстановками во время накопления БС. По данным ряда исследователей (Страхов, 1960; Перельман, 1961, 1989; Гаврилов, 2010; Алексеенко, Алексеенко, 2003 и др.), свидетельств осаждения сульфидов следует ожидать на границах осадков разного состава, накопившихся в различных окислительно–восстановительных условиях – на интервалах существования геохимических барьеров. Согласно А.И. Перельману (1961) геохимические барьеры – это те участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, и, как следствие, их концентрация. Таким образом, интенсивная пиритизация с образованием прослоев пиритовых низкоуглеродистых и пирит–керогеновых пород могла быть связана с изменениями окислительно–восстановительного режима в толще отложений БС и его резкими изменениями в зонах ее перехода к подстилающим и перекрывающим отложениям.

Установлено, что в рассматриваемых зонах перехода в большинстве изученных разрезов присутствуют пиритовые низкоуглеродистые и пирит–керогеновые породы. Первые располагаются под подошвой БС, в подстилающих георгиевской или абалакской свитах и над кровлей БС, в подачимовской пачке, вторые – в самой верхней части БС, под ее кровлей.

Пиритизированные породы этих двух типов, как правило, характеризуются значениями отношения $C/S < 2$ и ассоциируют с диа- и катагенетическими карбонатами. Определено, что скрытокристаллический и кристаллический пирит характерен для пиритовых низкоуглеродистых и пирит–керогеновых пород, расположенных на границах литологически и геохимически различных пачек (преимущественно биогенного генезиса в БС и терригенного – в подстилающих и перекрывающих отложениях), которые накапливались в разных окислительно–восстановительных обстановках. Вероятно, породы этих двух типов образовались, в результате интенсивной пиритизации в диагенезе на интервалах геохимических редокс–барьеров, посредством миграции из БС гелеобразных сульфидов железа и H_2S и последующим ее взаимодействием с реакционноспособным железом. Предположительно процессы пиритизации продолжились в катагенезе.

Карбонатизация. Установлено, что в большинстве разрезов БС доломиты и известняки: 1) тяготеют к кровле или подошве свиты. Во многих случаях они залегают непосредственно выше или ниже прослоев пиритовых низкоуглеродистых пород; 2) часто расположены на границах пачек разного состава. В обоих случаях осаждение карбонатов происходило на контакте осадков с разными рН характеристиками – относительно более кислых, в которых карбонатный материал не отлагался, и щелочными – благоприятных для его осаждения. Такие изменения кислотно–щелочных свойств наблюдались на границах: а) кокколитовой пачки БС и вышележащих отложений подачимовской толщи (в Центральном районе на этой границе происходит резкое снижение содержания кальцита в породах в связи с исчезновением в них реликтов кокколитофорид), б) кокколитовой кремнисто–карбонатной пачки и нижележащей пачки микститов кероген–глинисто–кремнистых (низкокарбонатных), в) микститов кероген–глинисто–кремнистых и силицитов, г) силицитов БС и аргиллитов георгиевского горизонта. По данным В.А. Алексеенко и Л.П. Алексеенко (2003) кислотно–

щелочные барьеры – формируются на участках, где кислая среда сменяется щелочной, слабощелочная – резкощелочной или сильнокислая – слабокислой. Согласно этим авторам барьеры возникают при скачкообразном изменении рН, что способствует осаждению из водных растворов многих минералов, относящиеся к карбонатам, гидроксидам, фосфатам, арсенатам, ванадатам. Таким образом, на границе между вышеперечисленными пачками БС, вероятно, существовали кислотно–щелочные барьеры, на которых происходило осаждение карбонатного вещества из растворов на стадии диа– и катагенеза. Часто такому преобразованию подвергались силициты–радиоляриты.

В БС и зонах ее перехода в подстилающие и перекрывающие отложения установлены следующие интервалы с геохимическими барьерами (снизу–вверх по разрезу), на которых обнаружены свидетельства локализации карбонатных минералов и пирита (рис. 9):

– *Интервал 1* (редокс–барьер и кислотно–щелочной барьер). Нижняя граница БС – граница пачек аргиллитов (низкокарбонатных) георгиевского горизонта и радиоляриевых силицитов. Осаждение пирита и карбонатов.

– *Интервал 2* (кислотно–щелочной барьер). Граница пачек микститов кероген–глинисто–кремнистых, кероген–кремнистых и силицитов. Образование постседиментационных карбонатов.

– *Интервал 3* (кислотно–щелочной барьер). Центральный район: граница пачек микститов кероген–карбонатно–кремнистых «кокколитовой» пачки и микститов кероген–глинисто–кремнистых и кероген–кремнистых. Юго–восточный район: граница пачек микститов кероген–глинисто–кремнистых с содержанием глинистого материала около 30% и >40%. Образование вторичных карбонатов.

– *Интервал 4* (редокс–барьер и кислотно–щелочной барьер). Верхняя граница БС. Граница пачек микститов кероген–карбонатно–кремнистых («кокколитовой» пачки) БС (в Центральном районе) и кероген–глинисто–

кремнистых (в Юго–восточном районе) и аргиллитов (низкокарбонатных) подачимовской толщи (характерен для Центрального района ЗСБ). Осаждение пирита и карбонатов.

Таким образом, обосновано защищаемое положение 3 и сформулирован пункт научной новизны.

Изменения вещественного состава пород

БС в катагенезе

В настоящем разделе изложены результаты изучения литолого–геохимических характеристик пород БС, содержащих в различной степени преобразованное ОВ. Для проведения анализа были изучены закономерности распределения в БС ОВ, пирита (отношения C/S) и аутигенных карбонатов, что позволило выяснить закономерности изменения состава пород на разных этапах катагенеза. Согласно результатам исследований катагенетической преобразованности ОВ А.Н. Фомина (2014) изученные разрезы находятся в разных зонах, где: а) ОВ является слабо–преобразованным ($МК_1^1$); б) преобразование его умеренное ($МК_1^2$); в) процессы преобразования ОВ находятся в активной стадии ($МК_2$). В настоящей работе использовано обозначение градаций катагенеза по А.Э. Конторовичу (1976). Вышеперечисленные три градации по классификации С.Г. Неручева и соавторов (1976) соответствуют грациям $МК_1$, $МК_2$ и $МК_3$ соответственно. В ходе исследования установлено, что разрезы БС этих трех зон различаются по значениям отношения C/S и характеру взаимосвязи между органическим углеродом и серой, частоте встречаемости доломитсодержащих прослоев, среднему содержанию ОВ.

Выделяется две подгруппы разрезов БС, представленных породами, в которых степень преобразованности ОВ соответствует градации $МК_2$ (Фомин 2014). Так, БС в разрезах Салымской пл. БС характеризуется: а) пониженными содержаниями ОВ (<12–15%); б) низкими значениями отношения C/S (<3); в) присутствием значительного количества пирит–керогеновых и доломитовых

прослоев. Тогда как в БС Северо–Салымской пл. отличается: а) существенной долей пород с высоким содержанием ОВ (>20%); б) преобладанием пород с высокими значениями отношения C/S (>3); в) присутствием пирит–керогеновых пород лишь в кровле свиты, а доломитсодержащих пород – по всему разрезу; г) присутствием прослоев известняков. По–видимому, БС Салымской пл. на постседиментационных стадиях подвергалась воздействию более высоких температур, по сравнению с БС Северо–Салымской пл. По литолого–геохимическим характеристикам БС Северо–Салымской пл. сходна с БС группы разрезов, характеризуемых степенью преобразованности ОВ МК₁² (разрезы БС Центрального района Малобалыкской и Чупальской пл., Хантейской гемиантеклизы и южной половины Южно–Надымской мегамоноклизы).

В БС Юго–Восточного и Южного районов, а также на Урьевской и Северо–Покачевской пл. Центрального района преобладают породы с очень высокими значениями отношения C/S (>3). Степень преобразованности ОВ в породах БС этих районов соответствует градации мезокатагенеза МК₁² (Фомин, 2014). В этих разрезах пирит–керогеновые породы встречаются лишь в верхней части разреза в виде единичных прослоев; карбонатные породы редки, и содержание доломита в них существенно понижено (5–7%), по сравнению с карбонатными породами БС Центрального района.

По условиям осадконакопления и составу осадков БС в разрезах двух выделенных групп практически одинакова и представлена преимущественно биогенными кремнистыми и кремнисто–карбонатными породами с низким содержанием глинистого материала (<15–20%). Вероятно, исходное содержание ОВ в БС, вскрытой в разрезах этих двух групп, было близким. Предполагается, что в БС, представленной в разрезах первой группы (Салымской пл.) происходило более существенное перераспределение продуктов преобразования ОВ с вероятной их миграцией в подстилающие и перекрывающие отложения, и породы достигли заключительного этапа МК₂.

Породы БС в разрезах второй группы являются менее преобразованными (доломитизация в разрезе этого типа проявлена не столь масштабно, а содержания ОВ является относительно высоким) и, предположительно, претерпели изменения, соответствующие начальному этапу МК₂. Таким образом, БС Северо–Салымской пл. не подвергалась столь существенному перераспределению продуктов преобразования ОВ и сульфидов железа по сравнению с БС Салымской пл.

Для подтверждения полученных результатов рассмотрены разрезы БС (предоставленные коллективом МГУ) со степенью преобразованности ОВ соответствующей градации мезокатагенеза МК₂ (дополнительной скважины Салымской пл., Лемпинской и Приразломной пл.) и МК₁² Правдинской пл. Согласно проведенному анализу БС Салымской и Лемпинской пл. характеризуется содержанием ОВ <15%, средним содержанием доломита >5% (6–8%). По этим характеристикам рассмотренные разрезы близки к БС Салымской пл., описанной выше. В БС Приразломной (МК₂) и Правдинской пл. (МК₁²) присутствует значительное количество прослоев с содержанием ОВ 16–20%. Среднее содержание доломита в БС составляет 3,8–4,3%, т.е. относительно понижено. По этим признакам БС Приразломной пл. близка к разрезам Северо–Салымской пл. и разрезам Юганского и Северо–Сургутского районов (со степенью преобразованности ОВ МК₁²).

В направлении катагенетических преобразований от МК₁² до МК₂ в БС наблюдаются следующие тенденции (см. рис. 9):

- а) увеличение количества известково–доломитовых прослоев (от 0 до 2–3 до 4–5 до 8) и возрастание содержания в них доломита (от <15% к >15%);
- б) уменьшение содержания ОВ в целом по разрезу (от 15–25% до <12–15 %);
- в) уменьшение содержания ОВ и серы сульфидной в пирит–корогеновой пачке у кровли БС (с 20–25% каждого компонента, до 12–15%);
- г) понижение значений отношения С/S (от >3 до <3);
- д) увеличение мощности (от нескольких см до нескольких метров) пиритовой пачки в зоне перехода в

перекрывающие БС отложения и возрастание содержания пирита в ней (от <15% до >15%).

Судя по изменению содержания $C_{орг}$ и пирита в пирит–керогеновой пачке в период между этапами, отвечающими градациям МК₁² до МК₂, происходили преобразования ОВ и его миграция, а также процессы доломитизации, интенсивной пиритизации низкоуглеродистых пород подачимовской толщи, перекрывающей БС.

Свидетельства катагенетической доломитизации известны в отложениях различного возраста (Bausch, Hoefs, 1972; Mastuda, Iijima, 1989; Farr, 1992 и др.). По изотопным данным было определено, что доломитизированные радиоляриты баженовской свиты формировались в катагенезе (Немова, 2012; Балущкина и др., 2016; Немова, Панченко, 2017; и др.). В.Д. Немова (2012) определила температуру доломитизации баженовских радиоляритов по изотопным данным в 100°C. По данным Н.С. Балущкиной и соавторов (2016) изотопный состав углерода доломитов ($\delta^{13}C$ от -3,7 до -6,7‰ VPDB) характеризует их как нормальные морские карбонаты, облегченный состав кислорода указывает на диагенетические и/или катагенетические преобразования ($\delta^{18}O$ от -13,93 до -14,42‰ VPDB). По данным И.Н. Ушатинского и О.Г. Зарипова (1978) в «разрезе нефтеносных пластов распределение карбонатных и карбонатизированных пород упорядоченное. Они приурочены к прослоям слабофильтрующих отложений (глины и др.), что связано с оттеснением поровых вод поступающими в ловушки УВ». Согласно этим авторам, в общем случае наиболее важным реагентом при образовании доломита в нефтегазоносных отложениях следует считать углекислоту органического происхождения, возникшую при метаморфизме ОВ и взаимодействии углеводородов с поровыми водами. «За счет углекислоты щелочной резерв поровых вод резко повышается, что способствует усилению мигрантоспособности ионов магния, которые накапливались в отдельных участках породы, приводят к доломитизации кальцита» (Ушатинский,

Зарипов, 1978). Идея о том, что главнейшим фактором в механизме диагенетического доломитообразования является повышение щелочного резерва за счет усиленного поступления в воду CO_2 ранее выдвинута Н.М. Страховым (1960) и позднее поддержана Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис (1988, 2008). Вышеупомянутые авторы, приходят к выводу, что доломитизация кальцитового цемента во многих случаях может считаться признаком былой или существующей нефтегазоносности отложений. По данным А.А. Махнача (1989) «процесс доломитообразования в кровле и подошве карбонатных пластов и известковых линз внутри глинистых отложений вызван миграцией из последних реакционноспособных растворов». Многие авторы (Юдович, Кетрис, 2008; Коробов, 2017, 2018; и др.) полагают, что освобождающийся в катагенезе при трансформации глин Mg (Са и Mg) может также участвовать в образовании гидротермального (гидротермально–метасоматического) доломита. По данным А.Э. Конторовича с соавторами (2009), в большинстве случаев над магматическими массивами отмечаются повышенный тепловой поток и геотермический градиент (4,0–5,0°С/100 м, на остальной территории около 2,5–3,0°С/100 м), что отражается в дополнительном прогреве пород осадочного чехла. По мнению Г.А. Калмыкова и соавторов (2019) в зонах контакта гранитных массивов с вмещающими толщами возможно формирование трещиноватости, по которой, при определенных условиях, могут двигаться гидротермальные растворы, привносящие дополнительное тепло в породы осадочного чехла. Идею гидротермального воздействия на образование залежей БС на некоторых участках ЗСБ поддерживали М.Ю. Зубков (1992), Е.А. Предтеченская, А.Д. Коробов (2015, 2017), Д.Е. Заграновская (2019) и др. Вероятно, в БС мы имеем дело с процессами, описанными выше. Образование углекислоты в процессе преобразования УВ, впоследствии вступившей в химическую реакцию с высвободившимся в результате трансформации глин магнием, способствовало доломитизации известковых прослоев или линз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На территории, охватывающей большую часть распространения БС, произведена систематизация литолого-геохимических характеристик ее пород и их классификация; составлена схема, отражающая принципиальные отличия в распределении основных типов пород в разрезах разных районов; для свиты выделено 14 типов разрезов, отличающихся по строению (содержанию, распределению и мощностям пачек разного состава), а также по каротажным характеристикам (КС, ГК). *Таким образом, определены закономерности литологического строения БС, знания о которых необходимы при планировании методов ее разработки.*

2. Разработана пространственно–временная модель для разных этапов осадконакопления БС, отражающая изменения характера седиментации свиты в разных районах ее распространения в зависимости от близости к источнику сноса, флуктуации уровня моря, климата и др. *Дополнена информация о закономерностях седиментации черносланцевых отложений в эпиконтинентальных бассейнах.*

3. Впервые для БС установлена приуроченность аутигенного минералообразования (пирита, карбонатов) к интервалам геохимических барьеров. Установлено, что концентрация аутигенных минералов часто происходит на границах пачек разного вещественного состава, с различными окислительно–восстановительными и/или кислотно–щелочными характеристиками. *Выявлена природа и особенности образования пиритовых и карбонатных слоев БС, что может быть использовано при расчленении и сопоставлении разрезов.*

4. Представлена обобщенная модель преобразования вещественного состава БС в диа- и катагенезе. Показано, что в катагенезе при достижении ОВ свиты градации $МК_2$ происходит доломитизация, перераспределение продуктов преобразования ОВ и новообразование сульфидов железа над

кровлей БС. *Внесен вклад в понимание процессов аутигенного минералообразования в нефтематеринских отложениях на этапе катагенеза.*

В связи с тем, что БС характеризуется литологической неоднородностью даже в пределах относительно небольших районов, перспективным является продолжение ее детальных литолого–геохимических исследований. На основе разработанной типизации разрезов БС важно провести комплексные литологические и палеонтологические исследования, а также анализ данных ГИС с целью усовершенствования седиментационной модели и разработки методов определения литологического состава БС по геолого–геофизическим данным. Необходимо продолжить исследования закономерностей аутигенного минералообразования, локализованного на интервалах геохимических барьеров, с привлечением изотопных методов для уточнения результатов стадийного анализа. Представляет интерес анализ приуроченности повышенных концентраций микроэлементов пород к интервалам геохимических барьеров в БС. Для уточнения выводов об изменении вещественного состава и процессах, происходящих в катагенезе с ростом пластовой температуры, необходимо расширить базу данных результатов литологических исследований БС.

Статьи в рецензированных научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 25.00.06, опубликованные автором по теме диссертации

1. Эдер, В.Г. Связь содержаний органического углерода с породообразующими элементами в породах баженовской свиты Западной Сибири /Эдер В.Г., Красавчиков В.О., Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г.// Литология и полезные ископаемые. – 2001. – № 3. – С. 274–281.

2. Эдер, В.Г. Применение кластерного анализа для выделения типов пород баженовской свиты по содержанию основных породообразующих оксидов /Эдер В.Г. // Геохимия. – 2002. – № 2. – С. 233–238.

3. **Эдер, В.Г.** Ихнофоссилии баженовской и георгиевской свит верхней юры Западно–Сибирской плиты / **Эдер В.Г.**, Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г. // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 6. – С. 517–524.
4. Занин, Ю.Н. Карбонаты марганца в верхней юре Западно–Сибирской плиты / Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., **Эдер В.Г.**, Писарева Г.М. // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 7. – С. 686–694.
5. Занин, Ю.Н. Бактериальные формы в глауконитах из верхнеюрских отложений Западно–Сибирской плиты / Занин Ю.Н., **Эдер В.Г.**, Замирайлова А.Г. // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – № 6. – С. 774–777.
6. Занин, Ю.Н. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно–Сибирского осадочного бассейна / Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., **Эдер В.Г.** // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 118–135.
7. **Эдер, В.Г.** Некоторые типы разрезов верхнеюрских баженовской и георгиевской свит Обь–Иртышского междуречья / **Эдер В.Г.** // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 6. – С. 746–754.
8. **Eder, V.G.** Depositional controls on glaucony texture and composition, Upper Jurassic, West Siberian Basin / **Eder V.G.**, Algarra A.M., Navas A.S., Zanin Y.N., Zamirailova A.G., Lebedev Y.N. // *Sedimentology*. – 2007. – Т. 54. – № 6. – Pp. 1367–1387.
9. Zanin, Y.N. Composition and formation environments of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous black shale Bazhenov Formation (the central part of the West Siberian Basin) / Zanin Y.N., **Eder V.G.**, Zamirailova A.G. // *Marine and Petroleum Geology*. – 2008. – Т. 25. – № 3. – Pp. 289–306.
10. Занин, Ю.Н. О роли скелетного и бесскелетного биогенного материала в формировании органического вещества баженовской свиты / Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Лившиц В.Р., **Эдер В.Г.** // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49. – № 4. – С. 357–366.

11. Занин, Ю.Н. Мелантерит и ссомольнокит как продукты выветривания пирита баженовской свиты / Занин Ю.Н., Писарева Г.М., Замирайлова А.Г., **Эдер В.Г.** // Литология и полезные ископаемые. – 2009. – № 3. – С. 294–296.
12. Парфенова, Т.М. Геохимические предпосылки нефтеносности кембрийских отложений Лено–Амгинского междуречья (юго–восток Сибирской платформы) / Парфенова Т.М., Коровников И.В., Меленевский В.Н., **Эдер В.Г.**// Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 87–91.
13. Занин, Ю.Н. Редкоземельные элементы в баженовской свите Западно–Сибирского осадочного бассейна / Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., **Эдер В.Г.**, Красавчиков В.О. // Литосфера. – 2011. – № 6. – С. 38–54. ИФ по РИНЦ 0,758.
14. **Эдер, В.Г.** Особенности формирования баженовской свиты при переходе от юры к мелу в центральной части Западной Сибири / **Эдер В.Г.**, Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Хабаров Е.М., Ян П.А.// Литосфера. – 2015. – № 3. – С. 17–32. ИФ по РИНЦ 0,755.
15. **Эдер, В.Г.** Особенности литологического состава основных типов разрезов баженовской свиты / **Эдер В.Г.**, Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н., Жигульский И.А.// Геология нефти и газа. – 2015. – № 6. – С. 96–106. ИФ по РИНЦ 0,866.
16. Павлова, М.А. Модель баженовской свиты на примере данных участка Салымского месторождения / Павлова М.А., **Эдер В.Г.**, Замирайлова А.Г., Камкина А.Д., Глинских В.Н.// Геология нефти и газа. – 2015. – № 3. – С. 57–62. ИФ по РИНЦ 0,866.
17. Занин, Ю.Н. Уран, торий и калий в черных сланцах баженовской свиты Западно–Сибирского морского бассейна / Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., **Эдер В.Г.** // Литология и полезные ископаемые. – 2016. – № 1. – С. 82–94. ИФ по РИНЦ 0,359.
18. Занин, Ю.Н. Халькофильные элементы в черных сланцах баженовской свиты Западно–Сибирского морского бассейна / Занин Ю.Н., Замирайлова

А.Г., **Эдер В.Г.** // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 4. – С. 771–781. ИФ по РИНЦ 1,016.

19. Конторович А.Э. Классификация пород баженовской свиты / Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., **Эдер В.Г.** // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 11. – С. 2034–2043.

20. **Эдер, В.Г.** Литология баженовской свиты в районах Хантейской гемиянтеклизы и Межовского мегамыса Западно–Сибирского нефтегазоносного бассейна / **Эдер, В.Г.**, Замирайлова А.Г., Жигульский И.А. // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 87–96. ИФ по РИНЦ 0,624.

21. Занин, Ю.Н. Никель, молибден, кобальт в черных сланцах баженовской свиты Западно–Сибирского морского бассейна / Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., **Эдер В.Г.** // Геохимия. – 2017. – № 2. – С. 161–170. ИФ по РИНЦ 0,424.

22. **Эдер, В.Г.** Закономерности распространения кремнистых пород и "кокколитовой" пачки баженовской свиты / **Эдер В.Г.**, Замирайлова А.Г., Ян П.А. // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 3–4. – С. 511–521. ИФ по РИНЦ 1,015.

23. Парфенова, Т.М. Органическая геохимия синской свиты нижнего кембрия (северный склон Алданской антеклизы) / Парфенова Т.М., Коровников И.В., **Эдер В.Г.**, Меленевский В.Н. // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 5. – С. 723–738. ИФ по РИНЦ 1,015.

24. **Eder, V.G.** Manganese carbonates in the Upper Jurassic Georgiev Formation of the Western Siberian marine basin / **Eder V.G.**, Follmi K.B., Zhanin Y.N., Zamirailova A.G. // Sedimentary Geology. – 2018. – Т. 363. – Pp. 221–234. Impact Factor 2,728.

25. **Эдер, В.Г.** Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири / **Эдер В.Г.**, Костырева Е.А., Юрченко А.Ю., Балущкина Н.С., Сотнич И.С., Козлова Е.В.,

Замирайлова А.Г., Савченко Н.И. // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 129–142. ИФ по РИНЦ 0,557.

26. **Эдер, В.Г.** Свидетельства образования карбонатных пород на геохимических барьерах в черных сланцах на примере баженовской свиты Западной Сибири / **Эдер В.Г.**, Замирайлова А.Г., Калмыков Г.А. // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 143–152. ИФ по РИНЦ 0,557.

27. Замирайлова, А.Г. Литолого–геохимическая характеристика георгиевской, баженовской и куломзинской свит на Арчинской площади (Нюрольская впадина, Томская область) / Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., **Эдер В.Г.**, Рыжкова С.В., Сотнич И.С. // Геология нефти и газа. – 2019. – № 3. – С. 99–113. ИФ по РИНЦ 0,863.

28. **Эдер, В.Г.** Литолого–геохимические и геофизические особенности приграничных толщ баженовского и куломзинского горизонтов (основание нижнего мела) центральных районов Западной Сибири/ **Эдер В.Г.**, Рыжкова С.В., Костырева Е.А., Павлова М.А., Сотнич И.С., Замирайлова А.Г., Пономарева Е.В. // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 61. – № 7. – С. 943–961. ИФ по РИНЦ 0,762.

29. **Эдер, В.Г.** Пиритизация пород зон перехода черносланцевой толщи к вмещающим отложениям на примере баженовской свиты Западной Сибири/ **Эдер В.Г.** // Литология и полезные ископаемые. – 2020. № 3. С. 257–271. ИФ по РИНЦ 0,493.

Технический редактор Т.С. Курганова

Подписано в печать 15.01.2021

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ.л. 2,5. Тираж 150. Зак. № 190

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3

Типы пород	Условно выделенные районы территории исследования			
	Центральный	Восточный	Южный	Северный
Силлициты				
Силлициты карбонатные				
Микститы-кероген-карбонатные				
Микститы-кероген-глинисто-кремнистые (крем. > 40%)				
Микститы-кероген-глинисто-кремнистые (крем. < 40%)				
Микститы-глинисто-кремнистые				
Аргиллиты кремнистые				
Карбонаты				

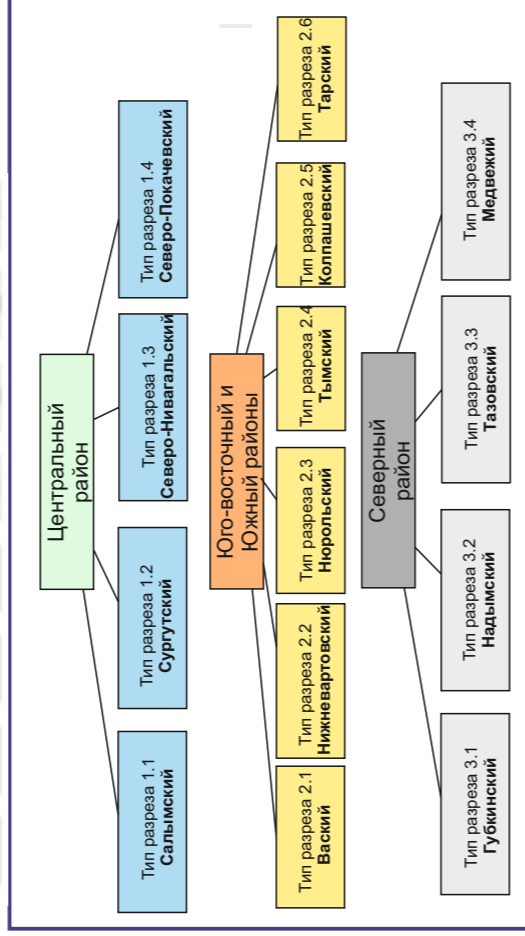
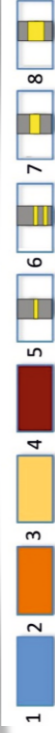


Рисунок 2 - Схема распределения типов разрезов в Центральном, Юго-Восточном, Южном и Северном районах территории исследования.

Рисунок 1 - Схема распространения основных типов пород баженовской свиты в условно выделенных районах.

Условные обозначения: 1-4 – усредненный состав пород на круговых диаграммах:

- 1 – кремнезем, 2 – глинистый материал, 3 – карбонаты (кальцит и доломит), 4 – ОВ; 5-8 – схематическое изображение относительной мощности и положения в разрезе разных типов пород Б; 5 – единичные маломощные прослои (от нескольких см до метра, 6 – маломощные прослои в количестве 2 и более, 7 – прослои мощностью от 1-2 до 10 метров, 8 – прослои мощностью 10-20 метров.

Условные обозначения:

- границы территории исследования
- усл. границы выделенных сед. областей
- Условные обозначения для круговых схем:
- содержание кремнезема >50%
- глинистого материала <20-30%
- карбонатные и карбонатсодержащие породы
- карбонатные конкреции
- содержание глинистого материала <50 и >30-40%
- содержание глинистого материала >50%
- переслаивание глинистого, кремнистого и карбонатного материала
- отсутствие керна
- границы условно выделенных районов
- 1,1 типы разрезов

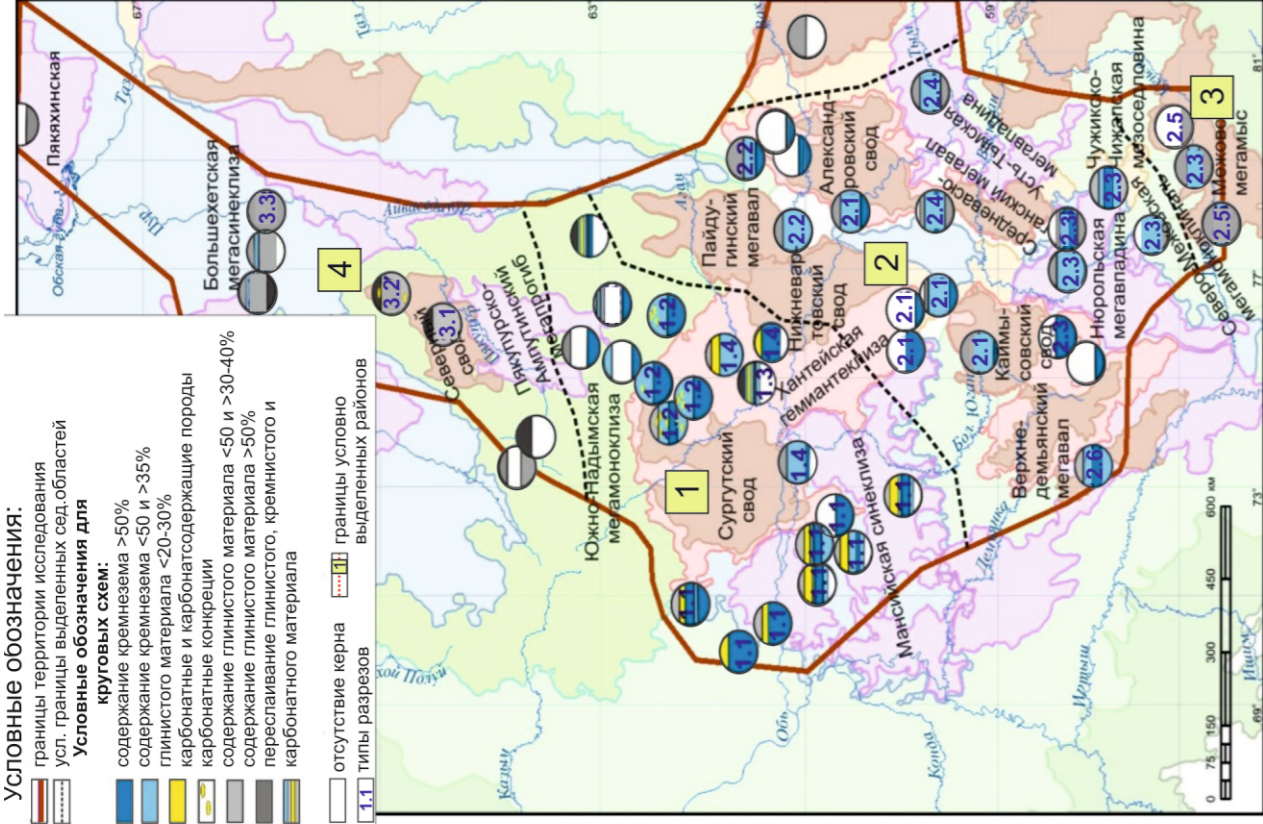


Рисунок 3 - Расположение типов разрезов и предполагаемых границ областей седиментации баженовской свиты, которые в целом совпадают с условно выделенными районами исследования: 1 – Центральный, 2 – Юго-восточный; 3 – Южным; 4 – Северным. На круговых диаграммах показано относительное распределение пачек с различной степенью кремнистости.

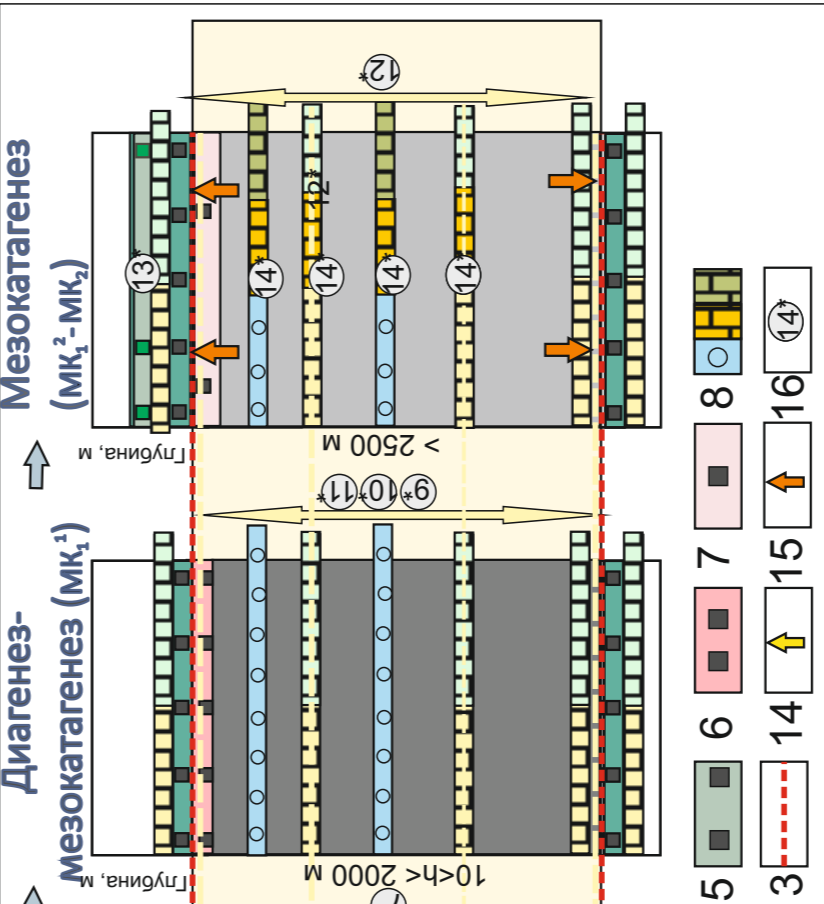
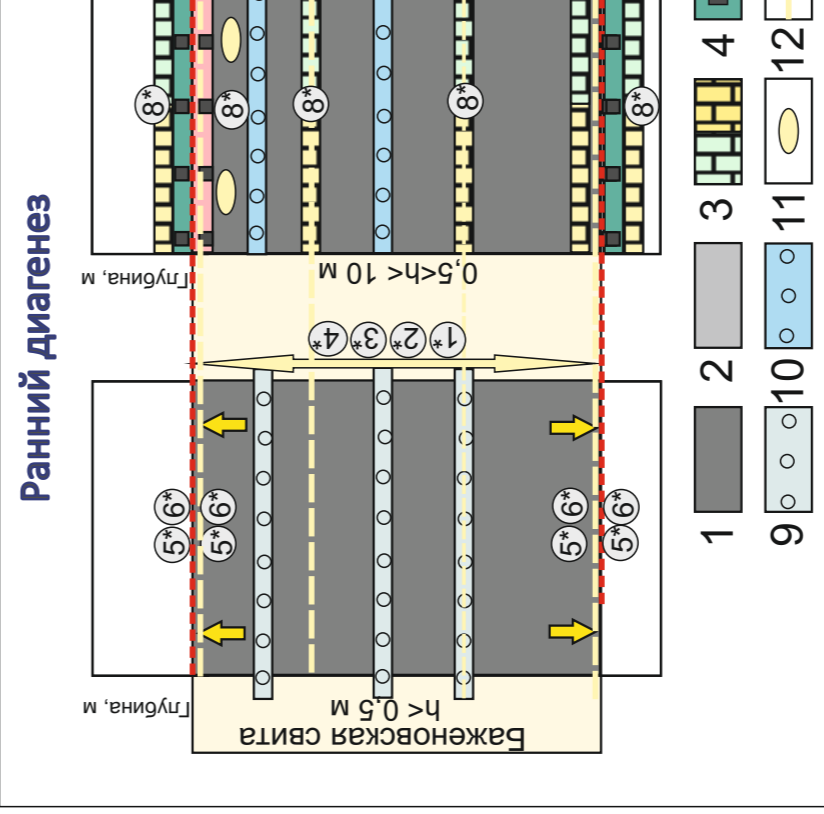


Рисунок 9 - Модель преобразования вещественного состава баженовской свиты в диа- и катагенезе. Условные обозначения: 1 - породы с содержанием керогена 5-25%, 2 - породы с содержанием ОВ менее 15%, 3 - доломиты/известняки, 4, 5 - пиритовые низкоуглеродистые породы; 4 - образованные в катагенезе, 5 - в катагенезе, 6 - пирит-керогеновые породы с содержанием ОВ и пирита 20-25% каждого, 7 - пирит-керогеновые породы с содержанием ОВ и пирита 10-15% каждого, 8 - частично кальцитизированные или доломитизированные силлициты или микститы кероген-глинисто-кремнистые с остатками радиолярий, 9 - преимущественно кремнистый радиоляриевый ил, 10 - окремненные апорадиоляриты; 11 - известковые конкреции, 12 - интервалы кислотнo-щелочных барьеров, расположенные на границах пачек разного состава, 13 - интервалы редокс-барьеров, расположенные у границ БС, 14 - направление миграции сероводорода, образованного в результате сульфатредукции, 15 - направление миграции УВ и сероводорода, возникшего в результате катагенетического преобразования органического вещества; 16 - процессы, происходящие в толще.

Рисунки 4-8 см. на обратной стороне листа.

1* - уплотнение, дегидратация;

- 2* - преобразование ОВ(1) в катагенезе \Rightarrow ОВ(2) + CO₂, NH₃, H₂S, N₂, CH₄;
- 3* - концу диагенеза - потери ОВ составляют 30-50% (Контрович и др., 1976);
- 4* - окремнение пород, частичное растворение карбонатов (раковин двусторонек, аммонитов) (pH < 7 - среда кислая из-за присутствия органических кислот);
- 5* - процессы сульфатредукции (ОВ + SO₄²⁻ \Rightarrow бактерии \Rightarrow H₂S \Rightarrow бактерии \Rightarrow S⁰) (Страхов, 1960; Веттер, 1983);
- 6* - диффузия H₂S и сульфидов Fe в гелеобразном виде в подстилающие и перекрывающие отл.;
- 7* - образование пирита (H₂S + Fe(реакционносп.) + S⁰ = FeS₂, (Страхов, 1960; Веттер, 1983));
- 8* - десилицификация пород (pH > 7 - среда становится щелочной, из-за удаления сульфатов, растворения минералов, содержащих щелочные элементы);
- 9* - образование конкреций, карбонатизация пород (часто радиоляритов);
- 10* - образование диагенетических трещин на некоторых интервалах БС;
- 11* - преобразование монтмориллонита в гидрослюда \Rightarrow высвобождение магния (на гл. > 2000 м);
- 12* - в позднем катагенезе - начало преобразования ОВ в кероген - устойчивое к растворению поликонденсированное ОВ;
- 13* - начало главной фазы нефтеобразования - кероген (1) \Rightarrow кероген (2) + УВ + (CO₂, NH₃, H₂S);
- 14* - диффузия новообразованной H₂S в подстилающие и перекрывающие отложения (Веттер, 1969);
- 15* - образование пирита (H₂S + Fe(реакционносп.) + S⁰ = FeS₂, (Страхов, 1960; Веттер, 1969));
- 16* - карбонатизация силлицитов-радиоляритов или микститов кероген-глинисто-кремнистых с остатками радиолярий ((CO₂ + Mg²⁺, Ca²⁺) \Rightarrow доломит/кальцит), доломитизация известняков.

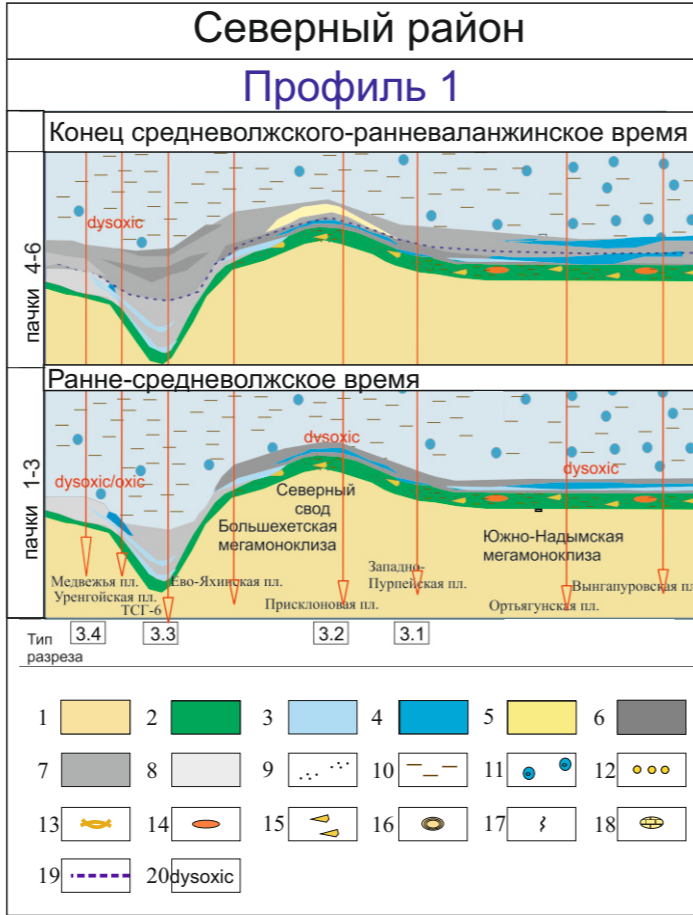
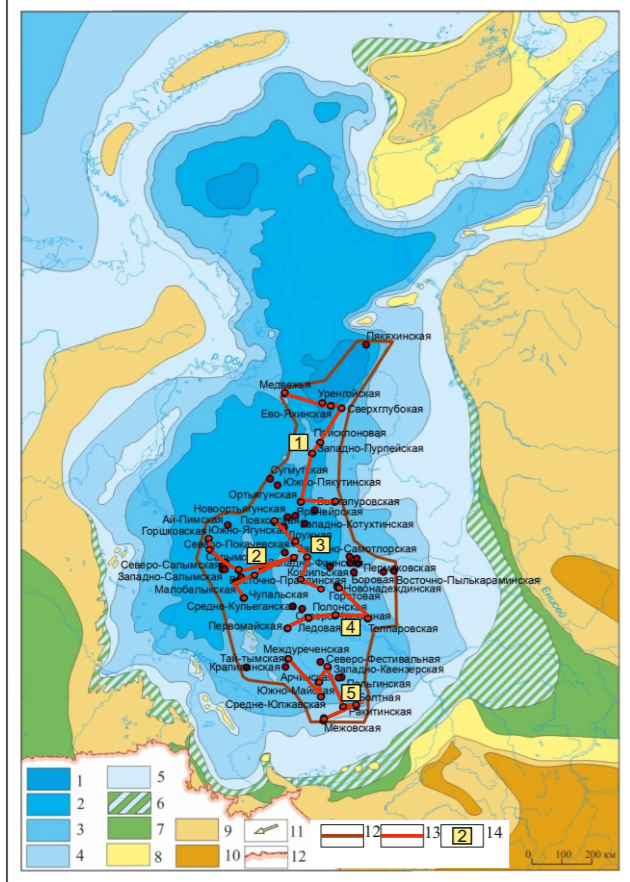


Рисунок 6 - Модель осадконакопления баженовской свиты в Северном районе.

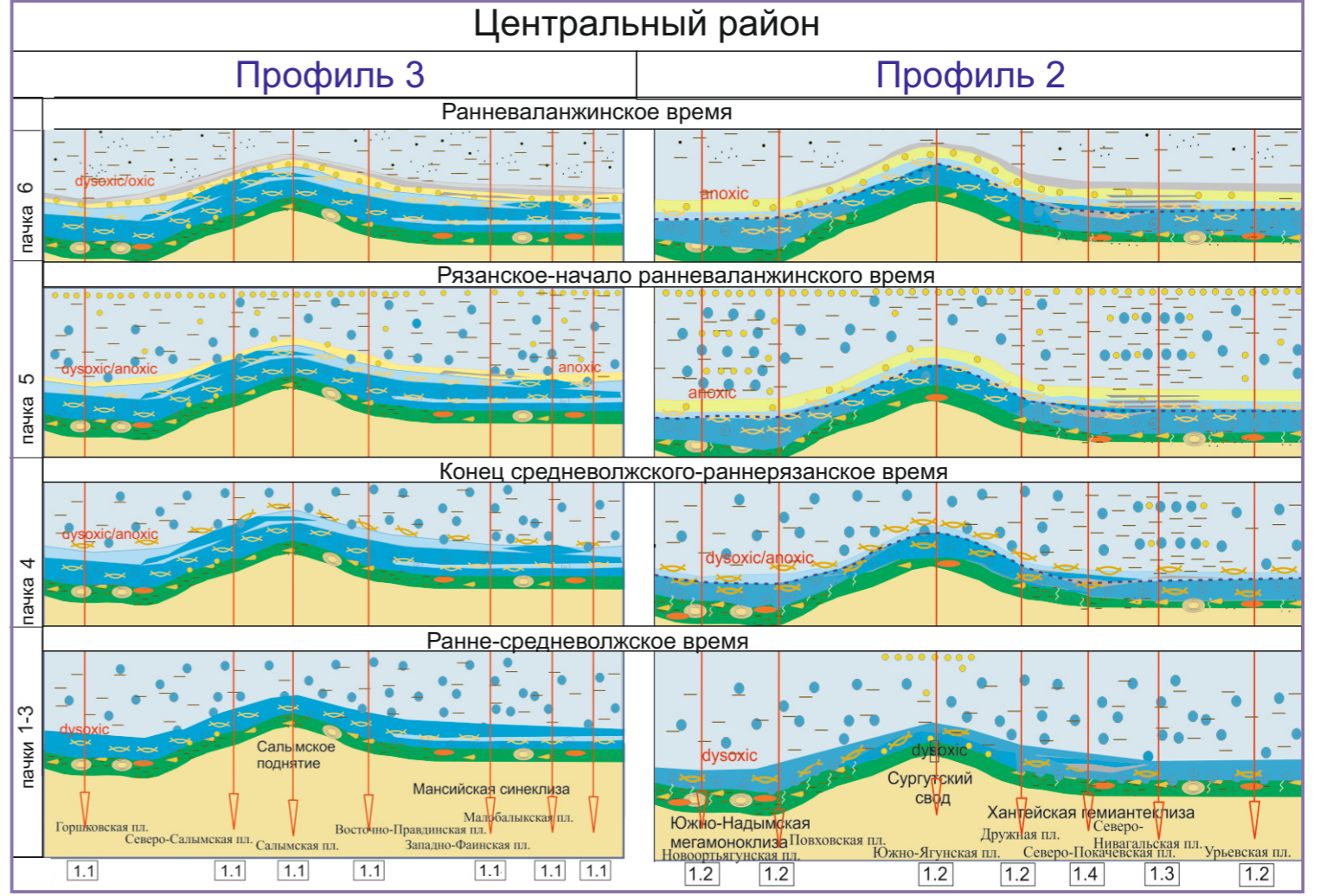
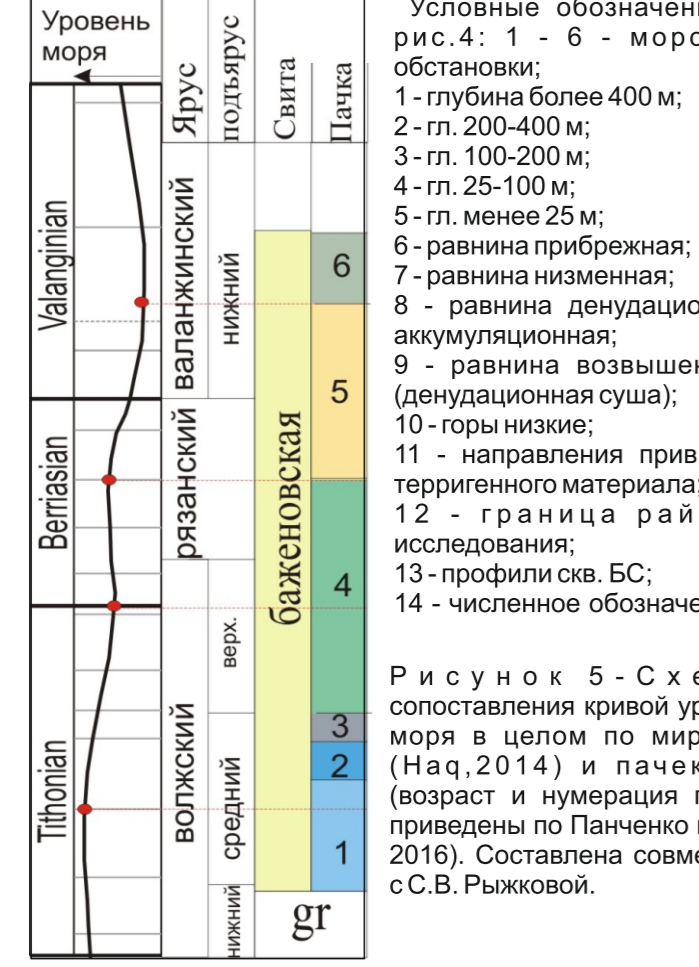


Рисунок 7 - Модель осадконакопления баженовской свиты в Центральном районе. Условные обозначения см. рис. 6.

Рисунок 4 - Схема расположения профилей изученных разрезов БС на палеогеографической схеме вожского времени Западной Сибири (Конторович и др., 2013).



Условные обозначения: 1 - отложения васюганского горизонта и нижележащих отложений средней-нижней юры. Георгиевский горизонт: 2 - терригенно-карбонатные отложения с глауконитом. Баженовский горизонт: 4 - микститы кероген-кремнисто-карбонатные, 5 - силициты; 6 - микститы кероген-карбонатно-кремнистые; 7 - микститы кероген-кремнистые; 8 - микститы кремнисто-глинистые и микститы глинистые; 9 - алевроитовый материал; 10 - глинистый материал; 11 - радиоларии; 12 - кокколитофоридовые водоросли; 13 - двустворчатые моллюски; 14 - фосфатные конкреции; 15 - ростры белемнитов; 16 - карбонатные онколиты с родохрозитом; 17 - ходы инфавны; 18 - карбонатные конкреции; 19 - граница между нижней и верхней толщей БС, 20 - редокс режим.

Рисунок 5 - Схема сопоставления кривой уровня моря в целом по миру по (Наг, 2014) и пачек БС (возраст и нумерация пачек приведены по Панченко и др., 2016). Составлена совместно с С.В. Рыжковой.

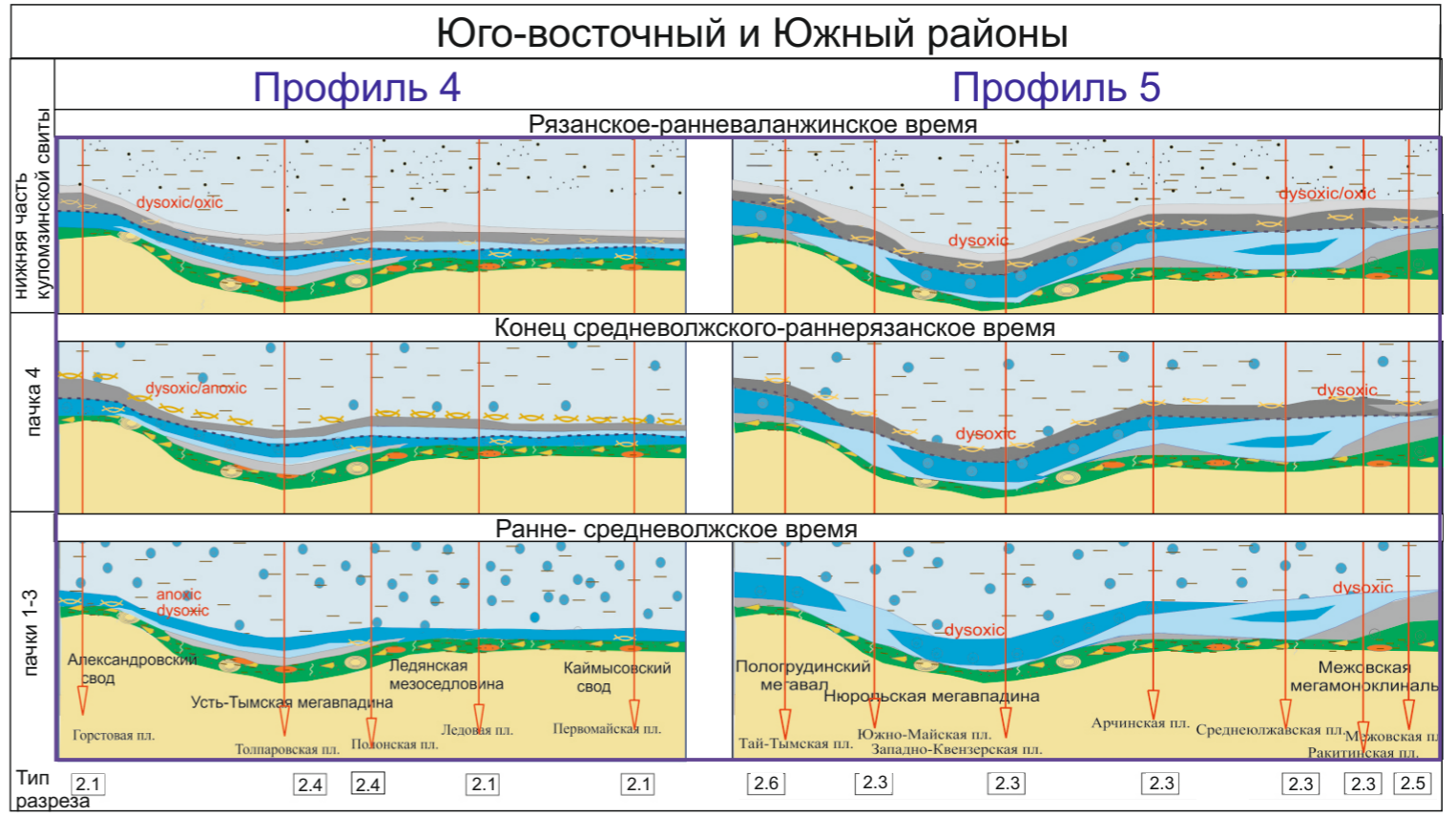


Рисунок 8 - Модель осадконакопления баженовской свиты в Юго-восточном и Южном районах. Условные обозначения см. рис. 6.