

На правах рукописи



Оксенойд Елена Ефимовна

**МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ, ТИП ОРГАНИЧЕСКОГО  
ВЕЩЕСТВА И РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ПРОДУКТИВНОСТИ  
БАЖЕНОВСКОГО ГОРИЗОНТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-  
СИБИРСКОГО НГБ**

Специальность 25.00.12 – Геология, поиски и разведка  
нефтяных и газовых месторождений

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Тюмень, 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

**Научный руководитель**

**Мясникова Галина Петровна**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор кафедры геологии  
месторождений нефти и газа ФГБОУ ВО  
«Тюменский индустриальный университет»,  
г. Тюмень

**Официальные оппоненты:**

**Гончаров Иван Васильевич**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, начальник управления  
лабораторных исследований пластовых  
флюидов, технологических жидкостей и  
реагентов ОАО «ТомскНИПИнефть»,  
г. Томск

**Зубков Михаил Юрьевич**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник, директор ООО  
«ЗапСибГЦ», г. Тюмень

**Ведущая организация:**

ФГБУ «Всероссийский научно-  
исследовательский геологический нефтяной  
институт»», г. Москва

Защита диссертации состоится 19 декабря 2019 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 при Тюменском индустриальном университете (ТИУ) по адресу: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 56, Институт геологии и нефтегазодобычи, аудитория 113

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-информационном центре ТИУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72 и на сайте [www.tyuiu.ru](http://www.tyuiu.ru).

Отзывы, заверенные печатью учреждения, в 2 экземплярах просим направлять по адресу 625000, г. Тюмень, ул. Володарского 38, Тюменский индустриальный университет, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.273.05, Семеновой Татьяне Владимировне

Тел. 8(912)993-27-38, e-mail: [semenovativ@tyuiu.ru](mailto:semenovativ@tyuiu.ru)

Автореферат разослан 9 ноября 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Т.В. Семенова

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Баженовская свита рассматривается в качестве одного из главных источников поддержания ресурсной базы углеводородного сырья в Западно-Сибирской НГП.

Значительный объем исследований, выполненных в последние годы, отличается высоким научно-техническим уровнем и детальностью, однако, довольно часто полученные данные являются узко локализованными и недостаточно статистически обоснованными.

Анализ минерально-вещественного состава, органического вещества (ОВ) баженовской свиты (БС), установление характеристик, определяющих продуктивность баженовского горизонта (БГ), на большом объеме фактического материала, полученного из разных районов, является актуальной задачей для определения перспектив добычи нефти из баженовской свиты и ее стратиграфических аналогов.

### **Степень разработанности**

После открытия в 1968 г. Салымского месторождения с залежами нефти в баженовских отложениях и дебитами в несколько сот тонн в сутки изучением баженовской свиты на протяжении 20 лет занимались многие ведущие научно-исследовательские институты. После некоторого спада, вызванного, в том числе, рядом глобальных политических и экономических причин, новый этап активного изучения баженовской свиты начался уже в XXI веке под влиянием мирового сланцевого бума.

В изучение минерально-вещественного состава пород БГ, геохимии ОВ пород и нефтей баженовской свиты, ее нефтегенерационных свойств, прогнозирование продуктивности БС, выделение и обоснование перспективных объектов внесли вклад многие исследователи: А.Д. Алексеев, О.К. Баженова, Н.С. Балущкина, В.И. Белкин, С.И. Билибин, Ф.Я. Боркун, Ю.В. Брадучан, В.А. Волков, И.В. Гончаров, Ф.Г. Гурари, М.В. Дахнова, Т.В. Дорофеева, Т.Ф. Дьяконова, Т.П. Емец, А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, М.Ю. Зубков, Г.А. Калмыков, Е.Е. Карнюшина, Т.Т. Клубова, Е.В. Козлова, А.Э. Конторович, Т.А. Коровина, Е.А. Костырева, Н.В. Лопатин, В.Н. Меленевский, А.Г. Мухер, В.Д. Немова, С.Г. Неручев, И.И. Нестеров, Н.В. Обласов, Е.В. Олейник, И.В.

Панченко, Е.А. Предтеченская, А.В. Рыльков, В.А. Самойленко, В.В. Сапьяник, В.П. Сонич, К.В. Стрижнев, И.И. Ушатинский, С.И. Филина, А.Н. Фомин, В.В. Хабаров, В.Г. Эдер, П.А. Ян и др.

### **Цели и задачи исследования**

Целью исследования является анализ минерально-вещественного состава, выделение классов (литотипов) пород, изучение их фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), типа органического вещества баженовских отложений; региональный прогноз продуктивности пород БГ в центральной части Западно-Сибирского НГБ.

### Задачи исследования:

- изучение минерально-вещественного состава пород баженовской свиты, определение соотношений основных породообразующих компонентов и глинистых минералов;
- выделение классов пород БС и оценка их фильтрационно-емкостных свойств;
- уточнение типа ОВ баженовской свиты на основании анализа пиролитических данных и свойств нефтей верхнеюрско-нижнемеловых отложений;
- анализ выявленной нефтеносности, определение факторов, существенных для получения притоков, и региональный прогноз продуктивности БС на территории исследований.

### **Научная новизна**

1. Определено содержание основных породообразующих компонентов и установлены классы пород для всей территории развития высокоуглеродистых пород баженовского горизонта в границах ХМАО-Югры от Красноленинского свода на западе до Александровского мегавала на востоке.
2. Выявлено, что относительно повышенными фильтрационно-емкостными свойствами среди баженовских пород в районе исследований обладают силициты и микститы (породы смешанного состава) кероген-кремнистые.
3. Установлено, что среди глинистых минералов пород центральной высокоуглеродистой зоны баженовского горизонта более половины содержания приходится на гидрослюда, около трети на смешаннослойный минерал иллит-сметтит. Содержание каолинита и

хлорита в породе обычно не превышает 2%, хлорит встречается лишь в каждой четвертой пробе.

4. Выполненное районирование свойств верхнеюрско-нижнемеловых нефтей подтверждает существование фаций органического вещества в баженовских отложениях, которые различаются, в том числе, генерационным потенциалом.
5. Предложена и обоснована модель керогена баженовской свиты со значениями начального водородного индекса, превышающими 600 мг УВ/г Сорг, как разновидности керогена типа IIS.
6. Выполнен прогноз региональных перспектив продуктивности баженовской свиты с использованием пиролитических параметров.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Полученные соотношения содержаний основных вещественных компонентов баженовских отложений, показатели встречаемости основных классов и подклассов баженовских пород имеют значение для разработки методики подсчета запасов, выбора целевого объекта разработки и определения технологии извлечения углеводородов из БС.

Полученные результаты по определению ФЕС и индекса нефтенасыщения по пиролитическим данным для различных классов (литотипов) пород могут быть использованы при подсчете запасов и при выборе целевых объектов разработки баженовских отложений.

Предложенное районирование территории распространения БГ по свойствам верхнеюрско-нижнемеловых нефтей подтвердило существование фаций ОВ в баженовской свите, что в совокупности с комплексом геохимических и палеогеографических данных позволило обосновать отнесение органического вещества БС в центральной части рассматриваемой территории к типу IIS.

Полученные закономерности распределения типов органического вещества могут использоваться при бассейновом моделировании и оценке перспектив нефтегазоносности. Представленная модель распределения типов керогена II и IIS была использована при расчете геологических запасов нефти в рамках дифференцированной оценки перспектив нефтеносности БС на территории ХМАО-Югры.

Установление характеристик, определяющих естественную продуктивность баженовской свиты, позволило получить прогнозную карту-схему региональных перспектив естественной продуктивности БС, которая может использоваться в качестве основы при выборе участков перспективных для добычи углеводородов из баженовской свиты.

### **Методология и методы исследования**

Для решения основных задач исследования проанализирован керновый материал из баженовского горизонта более чем из 200 скважин: результаты рентгеноструктурного, рентгенофлуоресцентного анализов, пиролиза, петрографические шлифы, фильтрационно-емкостные свойства пород. Автором выполнено макроописание более чем 2500 м керна баженовско-абалакских пород. Проведен расчет содержаний основных породообразующих компонентов и разделение на классы и подклассы пород баженовской свиты по выборке более чем из 3000 проб. По данным из баланса запасов построены карты вязкости, плотности, температуры и газосодержания верхнеюрско-нижнемеловых нефтей, содержания в них серы, парафина, смол и асфальтенов. Выделены и закартированы градации свойств нефтей. Выполнен прогноз региональных перспектив баженовского горизонта на основании сопоставления выявленной нефтеносности с различными характеристиками БГ.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Преобладающая часть отложений внутренней высокоуглеродистой области баженовского горизонта представлена породами смешанного состава (микститами, около 60%) и силицитами (порядка 30%). Суммарное количество аргиллитов и карбонатов не превышает 10%. Среди глинистых минералов преобладает гидрослюда, на втором месте по встречаемости смешаннослойный минерал иллит-сметтит, содержание каолинита и хлорита составляет первые проценты.

2. Различия в свойствах нефтей верхнеюрско-нижнемеловых отложений, в первую очередь, в содержании серы, величинах пиролитического водородного индекса ОВ и условиях осадконакопления позволяют подразделить кероген центральной высокоуглеродистой зоны развития БГ на типы IIS и II, что существенно для оценки геологических запасов и ресурсов нефти.

3. Определяющими факторами регионального прогноза естественной продуктивности БГ являются пластовая температура, плотность генерации углеводородов и термическая зрелость ОВ. Наиболее перспективными являются районы Красноленинского свода, северо-западный и восточный борта Фроловской мегавпадины, к перспективным относятся земли к югу от Красноленинского свода, северная часть Сургутского свода с прилегающей с востока территорией вплоть до Толькинского мегапрогиба, западный и северный борта Юганской мегавпадины.

### **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Достоверность полученных результатов подтверждается высокой представительностью использованных данных: объем пиролитических исследований – более 3900 образцов из 208 скважин, определений Сорг – более 5400 из 322 скважин, объем минералогических анализов (РСА) – более 2900 образцов из 94 скважин, результаты силикатного анализа – более 3700 проб по 206 скважинам. Скважины пробурены по всей территории ХМАО-Югры. Параметры свойств верхнеюрско-меловых нефтей выбраны из баланса запасов более чем по 3800 залежам. При анализе выявленной нефтеносности баженовской свиты использованы данные испытаний 339 скважин.

Для проверки содержаний минерально-вещественных компонент в составе баженовских пород, рассчитанных по результатам силикатного анализа, проводилось попарное сопоставление расчетных величин с данными рентгеноструктурного анализа. Были построены графики изменения содержаний основных компонентов баженовских пород (рассчитанных по РФА и определенных по РСА) в зависимости от глубины их залегания для ряда скважин с наиболее представительным выносом керна.

Полученные результаты сопоставлены с данными исследований баженовской свиты, опубликованными в последние годы.

### **Апробация результатов**

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на VIII Всероссийском литологическом совещании «Эволюция осадочных процессов в истории Земли» (Москва, 2015 г); VIII Всероссийском совещании «Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии» (Республика Крым, 2016); V научно-технической конференции «Проблемы и опыт разработки трудноизвлекаемых запасов

нефтегазоконденсатных месторождений» (Санкт-Петербург, 2016 г), совместном семинаре EAGE/SPE 2017 «Наука о сланцах: проблемы разведки и разработки» (Москва, 2017 г); XVIII, XX, XXI окружных научно-практических конференциях «Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» (Ханты-Мансийск, 2014, 2016, 2017 гг.).

Автором опубликовано 13 научных работ по теме диссертации, из них 4 - в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ.

### **Структура и объем работы**

Работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 160 страницах, включая 69 рисунков, 7 таблиц. Список литературы насчитывает 121 наименование.

### **Благодарности**

Автор глубоко признателен своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Г.П. Мясниковой за помощь при выполнении исследований. Диссертант благодарит кандидата геолого-минералогических наук В.А. Волкова за помощь в выборе направлений исследования и за плодотворное сотрудничество в процессе изучения баженовской свиты, которое позволило осмыслить полученные результаты и подготовить диссертационную работу. Автор также выражает признательность сотруднику лаборатории геологии отложений баженовско-абалакского НГК Р.И. Баширову за помощь в подготовке диссертационной работы.

### **Содержание работы**

#### **Глава 1. Минерально-вещественный состав баженовского горизонта**

Изучением минерально-вещественного состава баженовского горизонта занимались многие исследователи: Н.С. Балущкина, В.А. Волков, Ф.Г. Гурари, Т.В. Дорофеева, А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, М.Ю. Зубков, Г.А. Калмыков, Е.Е. Карнюшина, В.Н. Меленевский, А.Г. Мухер, В.Д. Немова, И.И. Нестеров, Е.В. Олейник, И.В. Панченко, Е.А. Предтеченская, А.В. Рыльков, И.И. Ушатинский, С.И. Филина, В.Г. Эдер, П.А. Ян и др.

Для анализа минерально-вещественного состава БС использовались результаты геохимических, минералогических и петрографических исследований керн, выполненных в специализированных лабораториях: пиролитические – в ТомскНИПИнефть (проф., д. г-м. н. И. В. Гончаров) и



ВНИГНИ (д. г.-м. н. М. В. Дахнова); петрографические и минералогические исследования (рентгеноструктурный и рентгенофлуоресцентный анализы) в Институте геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН (д. г.-м. н. К. С. Иванов, к. ф.-м. н. Ю. В. Щапова, к. г.-м.н. Н. В. Вахрушева), Институте минералогии УрО РАН (к. г.-м. н. П. В. Хворов), Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН.

Произведен пересчет данных силикатного анализа на минеральные компоненты по коэффициентам, полученным из молекулярных весов. Определено содержание следующих минеральных компонентов баженовских отложений: кремнистого, глинистого, карбонатного веществ, альбита и пирита. Содержание органического вещества рассчитано по величине  $S_{org}$  с учетом степени катагенеза.

Для верификации расчетных значений по выборке из 1896 анализов были проведены попарные сопоставления содержаний глинистого (ГлВ), кремнистого (КрВ), карбонатного (КбВ) веществ, пирита и альбита, полученных в результате пересчета данных силикатного анализа, с соответствующими содержаниями, определенными по рентгеноструктурному анализу. Парные регрессии характеризуются высоким уровнем корреляционных связей. Наиболее высокая достоверность аппроксимации у карбонатного вещества  $R^2 = 0,88$ , у глинистого, кремнистого веществ и альбита  $R^2 = 0,85$ ,  $R^2 = 0,83$  и  $R^2 = 0,76$ , соответственно.

Сходимость результатов PCA и расчетных данных позволила использовать полученные значения содержаний основных вещественных компонентов баженовской толщи для дальнейшего анализа особенностей состава изучаемых отложений.

Распределения содержаний основных породообразующих компонентов за исключением карбонатного характеризуются совпадением средних значений и медиан, которые составляют: 42–43% (кремнистое вещество), 22–21% (глинистое вещество), 13–12% (органическое вещество), 7% (альбит), 7–6% (пирит). Более половины выборки характеризуется содержанием карбонатов менее 5%, при этом средняя карбонатность составляет 9,8%.

Сопоставление полученных данных с опубликованными результатами [Конторович и др., 2016] показало, что распределения органического, карбонатного вещества и пирита близки. Проанализированная выборка

характеризуется более высоким содержанием кремнистого вещества и повышенной относительной частотой встречаемости глинистого вещества в диапазоне 10-30%, что может быть обусловлено различиями в строении разрезов баженовских отложений в разных районах.

Изучением глинистого вещества баженовского горизонта занимались многие исследователи: Ф.Г. Гурари, А.Г. Замирайлова, Ю.Н. Занин, М.С. Зонн, М.Ю. Зубков, Г.А. Калмыков, А.Э. Конторович, М.В. Корж, В.Н. Меленевский, И.И. Нестеров, Г.Н. Перозио, А.В. Рыльков, О.В. Сидоренко, И.И. Ушатинский, С.И. Филина, М.В. Шалдыбин, В.Г. Эдер и др.

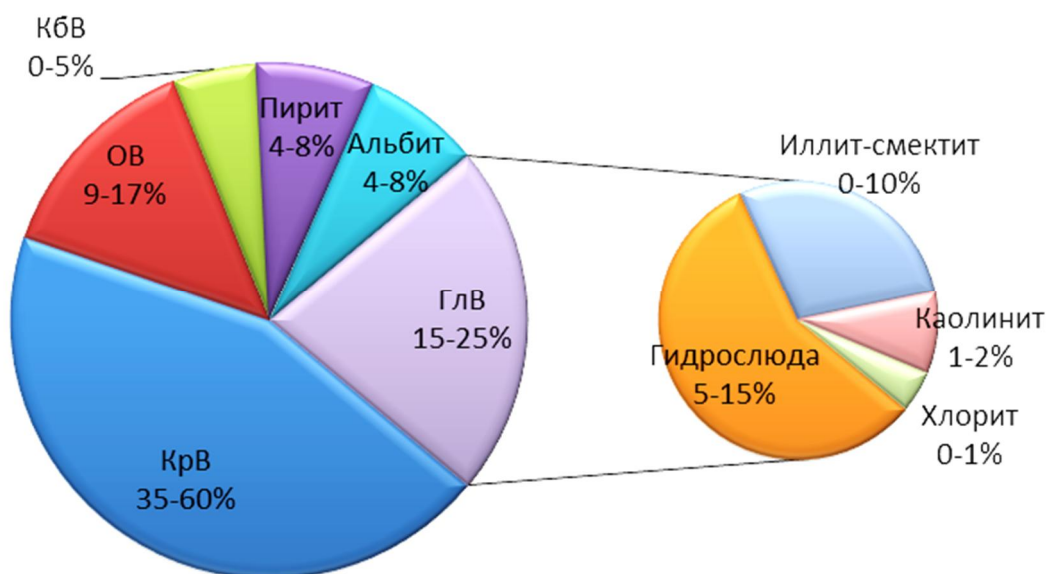
По выборке из 59 скважин выполнен анализ содержаний глинистых минералов с использованием данных РСА, полученных по методу Ритвельда в Институте минералогии Уральского отделения РАН к. г.-м.н. П.В. Хворовым.

Полученные автором данные о преобладании во внутренней высокоуглеродистой области баженовского горизонта среди глинистых минералов гидрослюды и смешаннослойного минерала иллит-сметита не противоречат существующим представлениям [Гурари, 1988; Зубков, 1987; Ушатинский, 1988; Филина, 1984].

Гидрослюда диагностируется во всех пробах, ее содержание в основном варьирует в диапазоне 5-15%, среднее значение, мода и медиана распределения составляют 12%. На втором месте по встречаемости смешаннослойный минерал иллит-сметит. Его концентрация в основном не превышает 10%, в половине случаев составляет 5%. Среднее значение, мода и медиана распределения попадают в диапазон 4-7%. Содержание каолинита и хлорита в породе обычно не превышает 2%, хлорит встречается лишь в каждой четвертой пробе.

Полученные результаты согласуются с материалами, опубликованными в 2017 году [Shaldybin & all, 2017]. Данные РСА по 83 образцам из баженовской свиты из 6 скважин, пробуренных на западе Томской области вдоль юго-восточной границы ХМАО-Югры, показали, что глинистое вещество представлено преимущественно иллитовым материалом, состоящим из гидрослюды и смешаннослойного минерала иллит-сметита. Каолинит также часто присутствует в подчиненных количествах, тогда как хлорит встречается спорадически в незначительных количествах.

На рисунке 1 представлены типичные содержания основных вещественных компонентов и глинистых минералов в породах внутренней высокоуглеродистой области баженовского горизонта.



*Рисунок 1 - Типичные содержания основных вещественных компонентов и глинистых минералов в породах внутренней высокоуглеродистой области БГ [Оксенойд, 2018]*

Разработкой классификации пород баженовской свиты на основе минерально-вещественного состава занимались многие исследователи [Дорофеева и др., 1983; Филина и др., 1984; Ушатинский и др., 1981, 1985; Нестеров и др., 1985; Зубков и др., 1987, 2016; Гурари и др., 1988; Перозио, 1988; Занин и др., 1999, 2005; Эдер, 2002; Предтеченская и др., 2006; Важенина, 2010; Балушкина и др., 2014; Гаврилов и др., 2015; Конторович и др., 2016].

К породам БС из выборки более чем из 3000 проб была применена классификация по соотношению четырех породообразующих компонентов: кремнистого, глинистого, карбонатного и органического веществ, разработанная в ИНГГ СО РАН [Конторович и др., 2016].

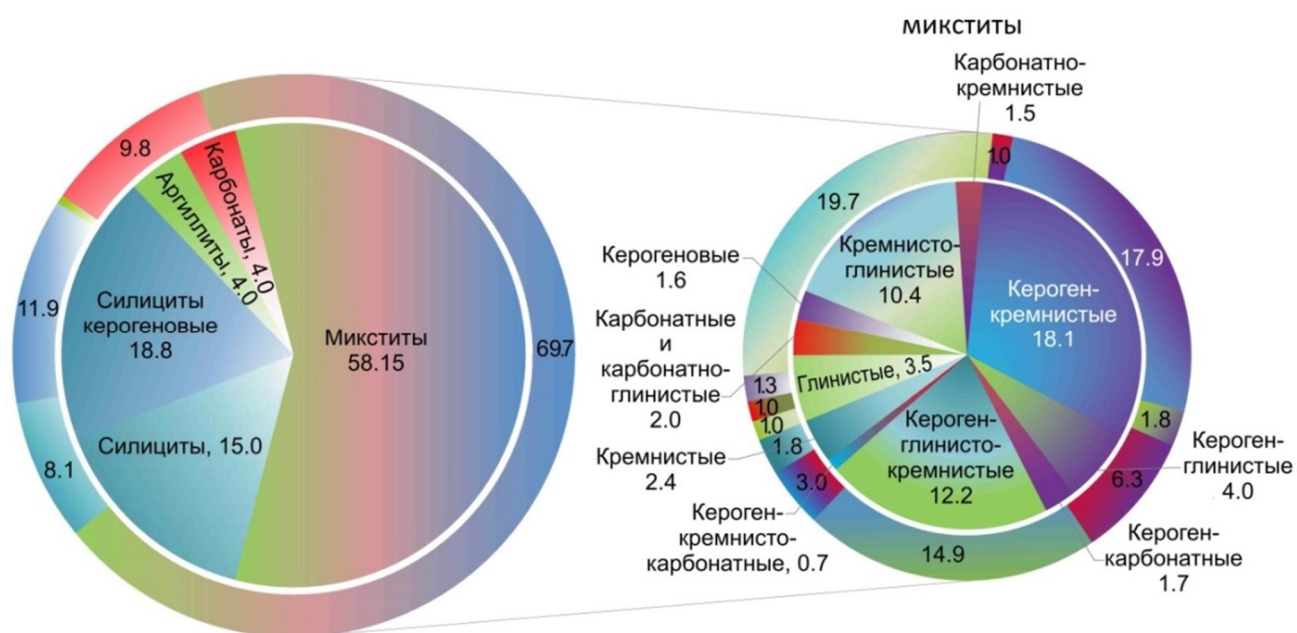
Для деления пород на классы и подклассы использовались граничные значения концентраций: 25% и 50% для минеральных фаз и 10% - для органического вещества. Выделены классы «чистых» разностей: силициты, аргиллиты и карбонаты (с содержанием соответствующих минералов более 50%) и микститы (содержание ни одного из компонентов не достигает 50%).

В классах обособлены подклассы. Силициты и карбонаты подразделяются по содержанию керогена: больше 10% - силициты керогеновые

и карбонаты керогеновые. При содержании керогена менее 10% литотипы обозначаются «собственно» силициты и «собственно» карбонаты. Аргиллиты представлены подклассами «собственно» аргиллитов и аргиллитов кремнистых с разделением по содержанию кремнистых минералов <25% и >25%, соответственно.

По количеству преобладающих групп минералов с содержанием 25-50% и керогена >10% выделяются микститы однокомпонентные, двухкомпонентные и трёхкомпонентные. Например, глинистые, глинисто-кремнистые, кероген-глинисто-кремнистые.

На рисунке 2 представлены распределения встречаемости классов и подклассов пород в баженовских отложениях по анализируемой выборке и выборке ИНГГ СО РАН.



*В наружных кольцах встречаемость по литературным данным [Конторович и др., 2016], во внутренних кругах – по данным диссертанта.*

*Рисунок 2 - Распределения встречаемости классов и подклассов пород в баженовских отложениях по двум выборкам [Оксенойд и др., 2018]*

В обеих выборках преобладают микститы – породы смешанного состава 58.1% и 69.7%, соответственно. В анализируемой выборке около трети (33.8%) составляют существенно кремнистые разности – силициты, в сравниваемой выборке их значительно меньше - 19.9%. Соотношения встречаемости аргиллитов и карбонатов – противоположные: в анализируемой выборке больше

аргиллитов (4%) и меньше карбонатов (4%), чем в сравниваемой (0.5% и 9.8%, соответственно).

Среди микститов преобладают те же три основные группы, величины встречаемости для подклассов кероген-кремнистых и кероген-глинисто-кремнистых микститов близкие. Существенно отличаются (почти в 2 раза) значения частоты встречаемости кремнисто-глинистых микститов (10.4% и 19.7%), это различие формирует и разницу в величине общей встречаемости микститов.

Различия во встречаемости классов пород могут быть связаны с большей долей в анализируемой выборке скважин, пробуренных в западной части ХМАО-Югры. На западе в зоне развития подстилающих отложений абалакской свиты в подошвенной части БС широко развиты прослои кремнистых пород, эти отложения отсутствуют или сокращены на востоке в области развития георгиевской свиты.

Более высокая глинистость баженовских отложений на западе ХМАО-Югры может объясняться приближением к окраине Западно-Сибирского бассейна, где в баженовское время на месте Висимско-Хашгортской гряды, видимо, существовал архипелаг [Волков и др., 2016], который служил источником сноса терригенного материала.

Более высокая встречаемость карбонатов в сравниваемой выборке может объясняться присутствием скважин, пробуренных на территории Томской области, где в Каймысовской акватории баженовского палеобассейна Е.А. Предтеченской с коллегами закартированы ракушняковые банки [Предтеченская и др., 2005].

Автором выполнен анализ фильтрационно-емкостных свойств различных классов и подклассов пород до и после экстракции. Относительно повышенные значения пористости после экстракции в диапазоне 4–8% и проницаемости после экстракции в диапазоне 0,1–10 мД характерны для силицитов керогеновых и микститов кероген-кремнистых. Наиболее высокими и стабильными значениями пиролитического индекса нефтенасыщения ( $OSI = S_1 \times 100 / TOC$ ) характеризуются силициты (рисунок 3).

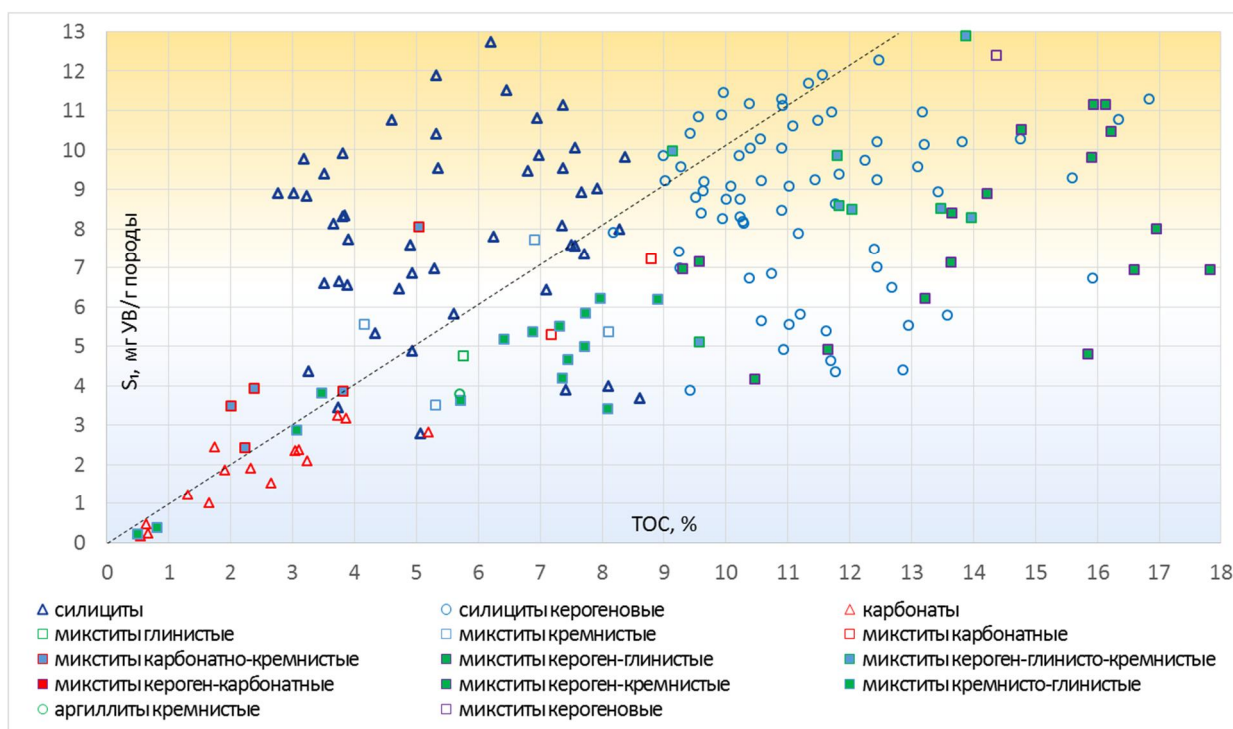


Рисунок 3 - Сопоставление пиролитических параметров  $S_1$  и ТОС [Оксенойд и др., 2018]

## Глава 2. Свойства нефтей верхнеюрско-нижнемеловых отложений

Различные аспекты геохимии нефтей Западной Сибири рассмотрены в работах И.В. Гончарова, Ф.Г. Гулари, М.В. Дахновой, М.Ю. Зубкова, А.Э. Конторовича, И.И. Нестерова, М.Я. Рудкевича, А.В. Рылькова, Ф.З. Хафизова.

Ввиду того, что баженовская свита большинством исследователей рассматривается как основная нефтематеринская толща Западной Сибири, для районирования территории по свойствам нефтей использовались данные из баланса запасов по залежам трех нефтегазоносных комплексов: неокомского, включая ачимовский, баженовского и васюганского, всего 3806 залежей.

Построенные автором карты вязкости и плотности верхнеюрско-нижнемеловых нефтей, содержания в них серы, смол и асфальтенов характеризуются сходными трендами: в центральной части рассматриваемой территории выделяется область повышенных значений этих параметров, объединяющая территорию Сургутского свода, Юганской и южной части Фроловской мегавпадин. Полученные распределения параметров по площади сопоставимы с представленными в работах М.Ю. Зубкова (1983 г.), Ф.З. Хафизова (2011 г.) и К.Е. Peters (1993 г.).

По соотношениям вышеперечисленных параметров были выделены и закартированы градации свойств нефтей (таблица 1).

**Таблица 1 - Градации свойств нефтей**

градация	содержание серы, %	содержание смол и асфальтенов, %	вязкость, мПа*с	плотность, г/см <sup>3</sup>
I	1.00-3.00	8.0-20.0	1.5-7.0	0.86-0.91
Ia	1.00-3.00	6.0-7.9	0.0-1.4	0.84-0.85
I-II	0.60-0.99	6.0-7.9	0.0-1.4	0.84-0.85
II	0.30-0.59	4.0-5.9	0.0-1.4	0.79-0.83
III	0.00-0.29	0.0-3.9	0.0-1.0	0.79-0.82

Использование соотношения Pr/Ph и серосодержания позволило соотнести выделенные градации свойств нефтей с палеогеографическими условиями формирования баженовских отложений: нефти градаций I, Ia и I-II характеризуются повышенной сернистостью, высоким содержанием смол и асфальтенов, повышенной плотностью и низкой газонасыщенностью. Величина соотношения Pr/Ph менее 0.96 и серосодержание более 0.5% свидетельствуют о том, что они образовались из органического вещества, формировавшегося в морских резко восстановительных условиях. Нефтям градаций II и III свойственны более низкие сернистость, концентрация асфальтено-смолистых веществ, вязкость, плотность и более высокая газонасыщенность. Более высокие отношения Pr/Ph (0.97-1.44) характеризуют восстановительные и слабо восстановительные условия. Накопление органического вещества, продуцировавшего эти нефти, происходило в морских условиях, но в районах несколько более отдаленных от центра бассейна, с другим количеством и качеством ОВ, определяемым не только его источником, но и степенью окисленности.

Выполненное автором районирование нефтей по физико-химическим характеристикам подтверждает существование фаций органического вещества в баженовской свите. Изменчивость характеристик ОВ баженовской свиты упоминалась в работах Н.В. Лопатина (1987), К.Е. Peters (1993), А.Э. Конторовича (1998). Фации органического вещества во многом определяются его источником, обстановкой осадконакопления и термической зрелостью и, что существенно, различаются генерационным потенциалом. Нефти сернистые, повышенной плотности являются прямым указанием на высокий генерационный потенциал нефтематеринского ОВ [Гончаров, 1987].

### Глава 3. Типы керогена баженовской свиты

Многие специалисты [Зубков, 2015; Конторович, 1998, 2013; Лопатин, 1987] относили исходное органическое вещество баженовской свиты ко II типу по классификации Тиссо и Вельте (1981). В пользу этого, в частности, свидетельствовали начальные значения водородного индекса ( $300 < HI_0 < 600$  мгУВ/гСорг) и формирование керогена из остатков фито-, зоопланктона в морских восстановительных условиях. В более поздних публикациях [Гончаров, 2014; Конторович, 2013; Лопатин, 1999; Самойленко, 2011; Скворцов и др., 2017] показано, что генерационный потенциал БС характеризуется значениями начального водородного индекса до 700 мг УВ/г Сорг и более. В публикации 2016 г. И.В. Гончаров делает вывод о том, что ОВ баженовской свиты представлено переходными формами между I и II и II типами, в отдельных интервалах – I типом.

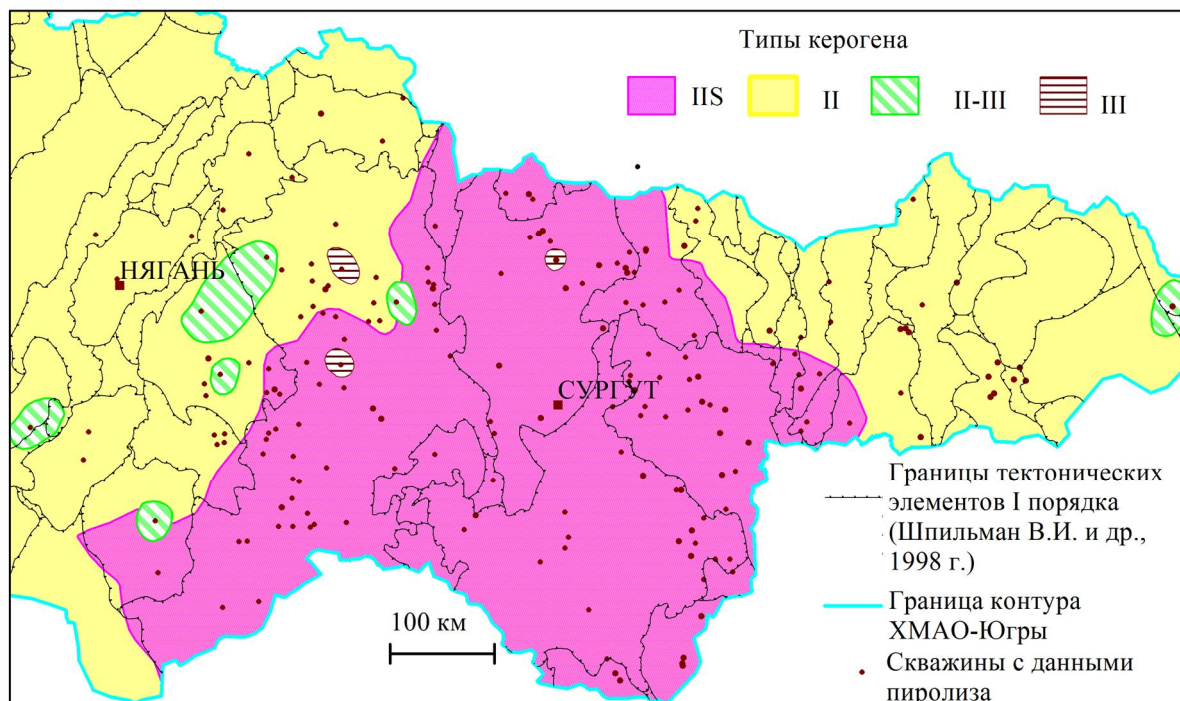
В НАЦ РН им. В.И. Шпильмана Е.В. Олейник по результатам интерпретации пиролитических данных с использованием диаграмм Ван Кревелена (3995 образцов из 208 скважин центральной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции) были идентифицированы типы керогенов I, II, III, смешанные типы и закартировано их распределение по площади.

Диссертантом было проведено сопоставление распределения типов органического вещества по площади с распределением значений сернистости верхнеюрско-нижнемеловых нефтей. Область с сернистостью нефти более 0.6% соответствует зоне керогена I+II типов, которая характеризуется начальным водородным индексом ( $HI_0$ ), превышающим 600 мгУВ/гСорг, ареалы с серосодержанием более 1.0% коррелируют с ОВ I типа. Территории с содержанием серы в нефтях менее 0.6% можно соотнести с зонами распространения керогена II типа ( $300 < HI_0 < 600$  мгУВ/гСорг).

Сопоставление содержания серы и соотношения Pr/Ph в нефтях, пирита в породе с палеогеографической обстановкой, существовавшей в Западной Сибири в волжское время, позволило автору отождествить органическое вещество баженовских отложений с органофациями A и B по Reppe and Corvit (1995 г.), различающимися объемом привноса обломочного материала и диагенетическими трансформациями, определяющими химию морского водорослевого/бактериального ОВ. Это послужило основанием для



соотнесения керогена с начальным водородным индексом, превышающим 600 мг УВ/г Сорг, с керогеном типа IIS, выделенным в 1986 году W.L. Orr. Область развития этого типа керогена откартирована по содержанию серы в нефтях, превышающему 0.6% (рисунок 4).



*Рисунок 4 - Области распространения керогена разных типов [Оксенойд и др., 2017] с изменениями*

Об обоснованности отнесения ОВ баженовской свиты на рассматриваемой территории к типам керогена II и IIS могут свидетельствовать следующие факторы. Группой исследователей [Богородская и др., 2005] отмечалась относительная обогащенность серой керогена баженовской свиты центральных и южных районов по сравнению с северными. Кроме того, по мнению Л.М. Бурштейна (2015), при бассейновом моделировании в центральных и южных районах Западно-Сибирского бассейна наилучшее соответствие фактических и расчетных величин водородного индекса было получено при использовании кинетических параметров промежуточных между стандартным керогеном II типа тоарских сланцев Парижского бассейна и керогеном миоценовой формации Монтерей со значительным содержанием серы.

Представленное распределение типов керогена II и IIS в районе исследований использовано при расчете объема сгенерированных УВ в рамках дифференцированной оценки перспектив нефтеносности БС на территории

ХМАО-Югры и может применяться при бассейновом моделировании и при оценке перспектив нефтегазоносности.

#### **Глава 4. Региональный прогноз естественной продуктивности баженовских отложений в центральной части Западно-Сибирского НГБ**

В пределах ХМАО-Югры по состоянию на 01.01.2018 г. в баженовско-абалакском нефтегазоносном комплексе открыто 150 залежей нефти с начальными геологическими запасами категории  $AB_1C_1B_2C_2$  около 3.4 млрд. т (по данным НАЦ РН им. В.И. Шпильмана). Основные запасы приурочены к Фроловской и Красноленинской нефтегазоносным областям. Наиболее крупными по запасам являются Красноленинское, Салымское и Приобское месторождения. Остальные залежи мелкие, в большинстве случаев запасы оценены в радиусе 2 км вокруг скважины, давшей промышленный приток нефти.

Анализ выборки из 339 опробованных скважин, пробуренных преимущественно в западной части ХМАО-Югры (Красноленинская и Фроловская НГО), показал, что притоки получены в 44% скважин, на дебиты 0-3, 3-10 и 10-50 м<sup>3</sup>/сут приходится по 11% от количества скважин. В единичных скважинах Салымского и Красноленинского месторождений дебиты превышают 100 м<sup>3</sup>/сут.

Сопоставлением выявленной нефтеносности баженовской свиты с различными ее характеристиками в разные годы занимались многие исследователи: В.И. Белкин, Ф.Я. Боркун, Ф.Г. Гурари, Т.В. Дорофеева, М.Ю. Зубков, А.Э. Конторович, В.Н. Меленевский, С.Г. Неручев, И.И. Нестеров, Е.А. Предтеченская, А.В. Рыльков, И.И. Ушатинский, С.И. Филина, В.В. Хабаров, М.Б. Скворцов и др.

Автором был рассмотрен комплекс литологических, геохимических и термобарических факторов с использованием карт, построенных в НАЦ РН им. В.И. Шпильмана коллективом авторов с участием диссертанта в рамках работ по дифференцированной оценке перспектив нефтеносности баженовской свиты.

В результате проведенного анализа выявлены характеристики баженовской свиты, связанные с естественной продуктивностью: плотность генерации углеводородов, термическая зрелость органического вещества и пластовая температура.

Методом наложения друг на друга карт-схем трех вышеупомянутых характеристик: плотности генерации УВ, параметра  $T_{max}$  и пластовой температуры баженовской свиты с выбранными критическими значениями параметров автором построена обобщенная прогнозная карта-схема региональных перспектив естественной продуктивности баженовской свиты (рисунок 5).

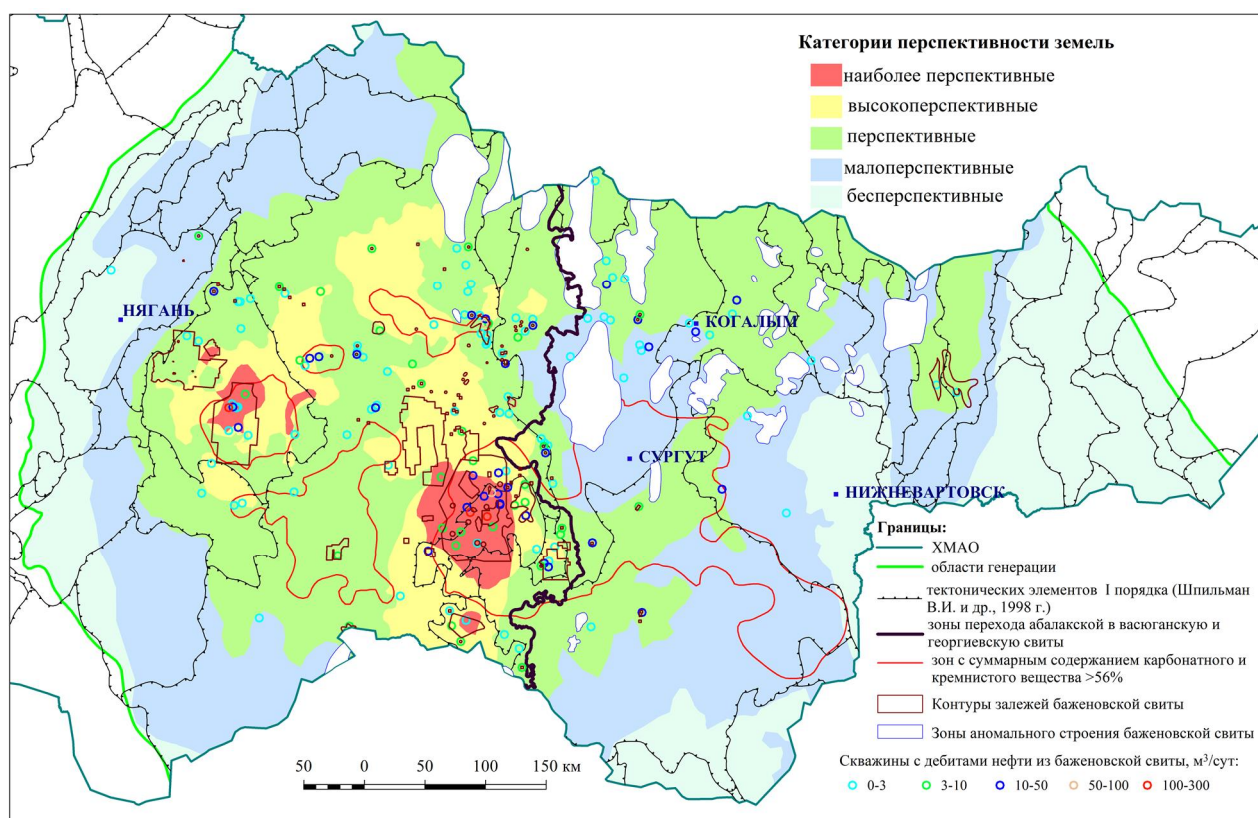


Рисунок 5 - Прогнозная карта-схема региональных перспектив естественной продуктивности баженовской свиты [Оксенойд и др., 2017] с дополнениями

На карту вынесена граница зоны перехода абалакской в васюганскую и георгиевскую свиты, восточнее которой наблюдается существенное уменьшение толщины флюидоупора между баженовской нефтематеринской породой и отложениями васюганского нефтегазоносного комплекса, что влияет на перспективы нефтегазоносности. Также на карту нанесены зоны повышенного суммарного содержания кремнистого и карбонатного вещества (>56%) и зоны аномальных разрезов баженовской свиты по данным НАЦ РН им. В.И. Шпилемана.

Выделены пять категорий земель различной степени перспективности.

Сопоставление полученной карты с опубликованной М.Ю. Зубковым [Зубков, 2016] показывает, что в западной части ХМАО-Югры области перспективных земель на обеих схемах в целом совпадают, к востоку от границы зоны перехода абалакской свиты в васюганскую участки перспективных земель отличаются по размеру и форме, и, в целом, площадь бесперспективных земель на сравниваемой схеме больше, чем на полученной диссертантом.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволили сделать выводы о вещественном составе отложений баженовской свиты, фильтрационно-емкостных свойствах ее литотипов, свойствах нефтей и керогена, параметрах, существенных для прогноза региональных перспектив баженовской свиты.

Установлены содержания основных породообразующих компонентов баженовских отложений: кремнистого, глинистого и органического веществ, средние значения которых превышают 40%, 20% и 10%, соответственно. Средняя карбонатность составляет около 10%, средние содержания пирита и альбита 6-7%.

Среди глинистых минералов центральной высокоуглеродистой зоны баженовского горизонта более половины приходится на гидрослюда (57%), около трети на смешаннослойные минералы (29%). Каолинит встречается реже, хлорит - спорадически. Модальные содержания глинистых минералов в породе составляют 12% (гидрослюда), 4% (иллит-сметтит), 1% (каолинит) и 1% (хлорит).

В баженовских отложениях преобладают микститы – породы смешанного состава, около трети составляют существенно кремнистые разности – силициты. На долю аргиллитов и карбонатов в совокупности приходится менее 10% выборки.

На основании сопоставления выделенных классов пород баженовской свиты с их фильтрационно-емкостными свойствами и индексом нефтенасыщения по пиролизическим данным установлено, что относительно повышенными ФЕС характеризуются силициты и микститы кероген-кремнистые. Комплексирование петрофизических и пиролизических параметров обуславливает выделение «собственно» силицитов в качестве наиболее перспективных объектов с точки зрения получения притоков.

Выполненный автором анализ верхнеюрско-нижнемеловых нефтей показал, что между такими параметрами как содержания серы, смол и асфальтенов, плотность и вязкость имеются значимые корреляционные связи. Выделенные и закартированные по соотношению этих параметров градации нефти, сопоставленные с полученным по пиролитическим данным распределением по территории типов керогена, подтверждают существование органофаций [Pepper and Corvit, 1995] в породах БГ, определяемых источником ОВ, его термической зрелостью и обстановкой осадконакопления.

На основании сопоставления распределений по территории таких параметров, как тип керогена по пиролитическим данным, серосодержание нефтей, содержание пирита в породе и с учетом палеогеографических условий автором предложено и обосновано отнесение керогена с начальным водородным индексом, превышающим 600 мг УВ/г Сорг, к разновидности керогена типа IIS.

Сопоставление выявленной нефтеносности баженовской свиты с различными литологическими, термобарическими и геохимическими параметрами позволило установить характеристики БС, связанные с естественной продуктивностью: плотность генерации углеводородов, термическая зрелость органического вещества и пластовая температура.

С помощью наложения друг на друга карт-схем плотности генерации УВ, параметра  $T_{max}$  и пластовой температуры с выбранными критическими значениями параметров автором составлена обобщенная прогнозная карта-схема региональных перспектив естественной продуктивности баженовской свиты.

Выделены пять категорий земель различной степени перспективности. Наиболее перспективными с точки зрения естественной продуктивности баженовской свиты являются районы Красноленинского свода, северо-западного и восточного бортов Фроловской мегавпадины и Салымского поднятия, к перспективным относятся земли к югу от Красноленинского свода, север Сургутского свода с прилегающей с востока территорией вплоть до Толькинского мегапрогиба, а также западный и северный борта Юганской мегавпадины.

**Список работ, опубликованных по теме диссертации*****Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ:***

1. Волков, В.А. Строение и генерационный потенциал баженовской свиты на территории центральной части Западной Сибири / Волков В.А., Олейник Е.В., Оксенойд Е.Е., Сидоров А.А. // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – 2016. - №3(27). - С. 79-98.

2. Оксенойд, Е.Е. Типы керогена баженовской свиты по данным пиролиза и их сопоставление с параметрами нефтей / Оксенойд Е.Е., Волков В.А., Олейник Е.В., Мясникова Г.П. // Известия вузов. Нефть и газ. - 2017. - № 5. - С. 34-43.

3. Оксенойд, Е.Е. Минерально-вещественный состав и фильтрационно-емкостные свойства баженовских пород в центральной части Западной Сибири / Оксенойд Е.Е., Козлов И.В., Баширов Р.И. // Недропользование XXI век. - 2018.- № 1.- С. 30–37.

4. Оксенойд, Е.Е. Характеристика минерально-вещественного состава пород баженовского горизонта в центральной части Западно-Сибирского НГБ / Оксенойд Е.Е. // Известия вузов. Нефть и газ. - 2018. - № 3. - С. 20-28.

***Работы, опубликованные в прочих изданиях:***

5. Оксенойд, Е.Е. Литология коллекторов баженовской свиты по результатам изучения керна западной части Фроловской мегавпадины (Западная Сибирь)/ Оксенойд Е.Е., Мухер А.Г., Олейник Е.В. // «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Восемнадцатая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск, ОАО “Тюменский дом печати”. - 2015. - Т.1. - С.79-86.

6. Олейник, Е.В. Литологические особенности баженовско-абалакских отложений Фроловской мегавпадины (Западная Сибирь) / Олейник Е.В., Оксенойд Е.Е. // «Эволюция осадочных процессов в истории Земли» Материалы VIII Всероссийского литологического совещания (Москва, 27-30 октября 2015 г). Москва: РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина. – 2015. -Т.II, С. 254-257.

7. Волков, В.А. К вопросу о типе органического вещества пород баженовской свиты / Волков В.А., Олейник Е.В., Оксенойд Е.Е., Солопахина

Л.А. // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. - 2016. №28. -С. 3-18.

8. Олейник, Е.В. Взаимосвязь свойств нижнемеловых нефтей с геохимическими характеристиками баженовской свиты (Западная Сибирь) /. Олейник Е.В, Оксенойд Е.Е. // «Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии». Сб. науч. трудов – Симферополь: Издательский Дом Черноморпресс. -2016. - С. 196-198.

9. Оксенойд, Е.Е. Региональный прогноз естественной продуктивности баженовских отложений в центральной части Западно-Сибирской НГП / Оксенойд Е.Е., Волков В.А., Олейник Е.В., Сидоров А.А. // «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Двадцатая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск, ООО “ИздатНаукаСервис”.-2017.-Т.1, С.153-162.

10. Оксенойд, Е.Е. Региональный прогноз естественной продуктивности баженовских отложений в центральной части Западно-Сибирской НГП / Оксенойд Е.Е., Олейник Е.В. // Совместный семинар EAGE/SPE 2017 "Наука о сланцах: проблемы разведки и разработки". [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=87784>.

11. Олейник, Е.В. Строение баженовско-абалакского нефтегазоносного комплекса /Олейник Е.В., Оксенойд Е.Е. // Совместный семинар EAGE/SPE 2017 "Наука о сланцах: проблемы разведки и разработки".- [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=87783>.

12. Галинский, К.А. Литология и условия формирования баженовской свиты в зоне сочленения Сургутского и Нижневартовского сводов / Галинский К.А., Оксенойд Е.Е., Баширов Р.И. // «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Двадцатая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск, ООО “ИздатНаукаСервис”. - 2017. -Т.2, С.321-333.

13. Олейник, Е.В. Строение баженовско-абалакского нефтегазоносного комплекса / Олейник Е.В., Волков В.А., Оксенойд Е.Е. // «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Двадцатая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск, ООО “ИздатНаукаСервис”. - 2017. - Т.1, С.140-152.