

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ОНДАР Солангы Александровна

**ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОХИМИЯ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СРЕДНЕЮРСКИХ
УГЛЕЙ УЛУГ-ХЕМСКОГО БАССЕЙНА**

1.6.11 – Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных
и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН).

Научный руководитель: ***Бушнев Дмитрий Алексеевич***
доктор геолого-минералогических наук

Официальные оппоненты: ***Каширцев Владимир Аркадьевич***
доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН, главный научный сотрудник лаборатории геохимии нефти и газа

Вялов Владимир Ильич
доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского», главный научный сотрудник

Пронина Наталия Владимировна
кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, доцент


Защита диссертации состоится 14 июня 2024 г. в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.8 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, геологический факультет, ауд. 621.

E-mail: poludetkinaelena@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3028>

Автореферат разослан «13» мая 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
канд. геол.-мин. наук

 Е.Н. Полудеткина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности исследования. Исследование геохимических особенностей и генерационного потенциала органического вещества (ОВ) среднеюрских углей Улуг-Хемского бассейна (УХБ) является актуальной задачей, поскольку этот объект является доступным для изучения стратиграфическим аналогом углистых материнских пород нефтегазоносных бассейнов Китая (формация Сишаньяо J_2x), а также Западной Сибири (тюменская свита J_2tm) [Hendrix et al., 1995; Обласов, 2010; Комков и др., 2022; Ян, 2023]. Генерационный потенциал углистого ОВ определяется условиями его формирования и катагенезом, которые находят отражение в его петрографических характеристиках и составе углеводородов-биомаркеров. Поэтому изучение этих характеристик угля в совокупности с данными пиролиза Rock-Eval позволяет прогнозировать нефтегазоматеринские свойства среднеюрских углистых отложений на слабоизученных территориях.

Также исследование состава исходного ОВ углей имеет значение для прогноза свойства продуктов переработки углей, подбора оптимальных технологических параметров и объяснения их реакционной способности в различных процессах переработки.

Уже на ранних этапах изучения УХБ исследователи отмечали специфические физико-химические свойства углей, не соответствующие степени их метаморфизма. При стадии метаморфизма «Ж» жирные угли обладают весьма высоким выходом летучих веществ и смолы, повышенным содержанием водорода и значительными пластическими свойствами в сравнении с углями других угольных бассейнов аналогичной стадии метаморфизма (Кузнецкий, Иркутский). Основываясь на литолого-фациальных, петрографических и палеонтологических данных исследователи объясняли это своеобразными условиями накопления углей, примесью сапропелевого вещества, разнообразием исходных растений-углеобразователей и различным химизмом процессов преобразования ОВ [Травин и др., 1951; Афанасьева, 1952 *ф.*; Вялов и др., 1991]. Детальные палеогеографические реконструкции УХБ выполнены П.П. Тимофеевым [1964] методом литолого-фациального и формационного анализа обширного фактического материала из скважин и разрезов. Он установил, что разрезы второй подформации, завершающейся накоплением пласта Улуг, на Межегейском месторождении представлены преимущественно прибрежно-бассейновыми и бассейновыми циклами, которые в сторону Эрбекского и Каа-Хемского месторождений сменяются озерно-болотными, аллювиально-озерно-болотными и аллювиально-прибрежно-бассейновыми циклами.

Однако, несмотря на то, что на сегодняшний день имеется значительное количество опубликованных и фондовых работ по УХБ, на современном аналитическом уровне методами органической геохимии среднеюрские угли бассейна ранее не исследовались. В настоящей работе представлены результаты геохимического изучения органического вещества углей основного продуктивного пласта Улуг УХБ, которые в сочетании с углепетрографическими и пиролитическими данными позволили определить тип исходного ОВ, условия его накопления и преобразования и оценить его нефтегазогенерационный потенциал.

Состав углеводородов-биомаркеров установлен в углях Печорского, Кузнецкого, Ленского, Зейско-Буреинского, Донецкого бассейнов в России и ближнем зарубежье [Каширцев и др., 2010; Бушнев и др., 2016; 2017; Бутузова и др., 2016; Котик, Валяева, 2017; Носкова, Сорокин, 2020; Тимошина, Фомин, 2020]. В иностранной литературе большое количество публикаций посвящены петрографии и геохимии ОВ углей бассейнов Китая (бассейны Джунгарский, Бохай Бей, Цайдам, Ордос), Индии, Турции и др. в связи с их нефтегазогенерационным потенциалом и нефтегазоносностью [Erik, Sancar, 2010; Wu et al., 2016; Qian et al., 2018; Qi et al., 2020; и др.].

В настоящее время особое внимание уделяют изучению геохимических характеристик и нефтегазогенерационного потенциала среднеюрских, а также нижнемеловых горючих сланцев и углей южнее УХБ, на территории Монголии [Erdenetsogt et al., 2018; 2022; Erdenetsogt, 2023]. Недавние исследования показывают, что к потенциальным нефтематеринским в Монголии относятся не только нижнемеловые, но и юрские отложения центральной части страны [Hasegawa et al., 2018]. Кроме того, значительное количество нефти, полученной из юрских пород, находят в китайских бассейнах Джунгарский и Турфан-Хами, прилегающих к юго-западной Монголии.

Объектом исследования является органическое вещество углей пласта Улуг среднеюрского возраста эрбекской свиты Улуг-Хемского бассейна.

Цель работы: выявление петрографических и геохимических особенностей органического вещества углей пласта Улуг и оценка его нефтегазогенерационного потенциала.

Научная задача: исследование состава, строения и закономерностей распределения органического вещества углей пласта Улуг Улуг-Хемского бассейна на основе комплекса углепетрографических, геохимических и пиролитических методов для определения его генетической природы, степени катагенетической преобразованности и нефтегазогенерационного потенциала.

Поставленная научная задача решалась в несколько этапов:

1. Анализ и обобщение литературных данных по геологическому строению района, ознакомление с имеющимися представлениями о составе, особенностях строения и обстановках осадконакопления юрской угленосной толщи УХБ;
2. Проведение полевых исследований и опробование разрезов пласта Улуг в различных частях УХБ, формирование коллекции образцов;
3. Исследование углепетрографического состава ОБ углей и вмещающих углистых отложений;
4. Изучение состава и закономерностей распределения углеводородов-биомаркеров (*n*-алканов, изопренанов, стеранов, гопанов) и ароматических УВ в битумоидах углей;
5. Определение типа исходного ОБ углей, условий и обстановок его накопления и преобразования в диагенезе, степени его катагенетической преобразованности и генерационного потенциала, с использованием геохимических, пиролитических и генетических параметров и диаграмм.

Фактический материал и методы исследования. Основу для изучения геохимических особенностей органического вещества и петрографического состава углей пласта Улуг составил каменный материал, отобранный автором в период полевых работ в 2017 и 2021 гг. в обнажениях на горе Бегреда и угольных разрезах Элегестского и Каа-Хемского месторождений. Опробование пласта в шахте на Межегейском месторождении проведено главным геологом А.Л. Трулем (УК Межегейуголь) в 2018 г. В исследовании использованы также образцы углей Каа-Хемского и Элегестского месторождений, любезно предоставленные н.с. Н.Н. Янчат и н.с. Г.Р. Монгушем (ТувИКОПР СО РАН). Таким образом, всего в работе изучено 7 разрезов пласта Улуг, из которых суммарно отобрано и исследовано 35 образцов угля и углистых вмещающих пород.

Для отобранной коллекции образцов выполнены следующие аналитические и петрографические исследования. Определение аналитической влажности и зольности образцов проведено с использованием стандартных методик ГОСТ 3503-2015 и ГОСТ Р 55661-2013 соответственно (кол-во проб 10 и 21). Углепетрографические исследования включали изучение мацерального состава под микроскопом ПОЛАМ 312-Р и Olympus VX-60 в шлифах в проходящем и отраженном свете (30 шлифов) методом подсчета не менее 500 точек в каждом образце. Замеры отражательной способности витринита в аншлифах (23 пробы) проводились на микроскопе-спектрофотометре МСФП-2 (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск) при длине волны 546 нм в воздушной среде и пересчитывались в значения отражательной способности витринита в иммерсионной среде (R_0). Для

трех образцов определен изотопный состав углерода. Комплекс химико-аналитических методов включал выделение хлороформенного битумоида А (ХБА), его фракционирование, газовую хроматографию (Кристалл-2000М) и хромато-масс-спектрометрию алифатических и ароматических фракций (Shimadzu QP2010 Ultra) и был выполнен в ИГ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Анализ образцов пород методом пиролиза проведен на установке Rock-Eval Turbo 6 (Томский политехнический университет).

Степень достоверности полученных результатов основана на выборе, изучении и опробовании разрезов пласта Улуг, расположенных в различных частях бассейна, в пределах которого метаморфизм углей закономерно возрастает с северо-востока на юго-запад. В каждом из разрезов пласт Улуг опробован равномерно по всей мощности.

Сочетание углепетрографического и геохимических методов взаимно дополняют друг друга и позволяют получить наиболее полную и всестороннюю информацию о составе и типе ОВ, условиях и обстановках его накопления и преобразования, степени его катагенетической зрелости. Для верификации полученных результатов мацеральный состав углей сравнивался с фондовыми материалами и проиллюстрирован микрофотографиями шлифов. При интерпретации генетических построений и геохимических данных учитывались результаты литолого-фациальных, углепетрографических, палеоботанических и палеогеографических реконструкций предшественников из литературных и фондовых источников.

Защищаемые положения:

- 1) Исходное органическое вещество среднеюрских углей пласта Улуг Улуг-Хемского бассейна содержит как террагенную, образованную из остатков континентальной флоры, так и аквагенную, сформированную из остатков погруженных и плавающих на поверхности воды макрофитов, составляющие. Наибольшая доля аквагенного органического вещества выявлена в углях Межегейского месторождения.
- 2) Органическое вещество углей Улуг-Хемского бассейна относится к керогену II/III и III типов и обладает повышенным нефтегазогенерационным потенциалом. Наиболее высокими нефтегазогенерационными свойствами обладают угли с высоким содержанием компонентов группы липтинита и витринита. В группе липтинита основной вклад в генерационный потенциал вносит кутинит, в группе витринита — бесструктурный гелинит.
- 3) Органическое вещество углей Улуг-Хемского бассейна сходно по углепетрографическим и геохимическим характеристикам с органическим веществом среднеюрских нефтегазоматеринских пород Западной Сибири и северо-запада Китая, а сами среднеюрские угли могут рассматриваться как возможно нефтегазоматеринские породы в

более погруженных геологических структурах к югу от Улуг-Хемского бассейна (напр., Их-Богд и Онги-Ривер (Монголия)).

Научная новизна. Впервые среднеюрские угли УХБ исследованы современными комплексными геохимическими методами, установлен состав, структура и распределение ряда широко применяемых углеводород-биомаркеров, унаследованных от живого вещества. Выявлены ряды направленных изменений геохимических параметров, рассчитанных на основе алканов, стеранов, гопанов и ароматических УВ. Оценен углеводородный потенциал углей Улуг-Хемского бассейна по результатам пиролиза Rock Eval. Определение петрографического состава углей было проведено с использованием международной классификации мацералов, утвержденной Международным комитетом по петрологии углей и органических ископаемых (International Committee for Coal and Organic Petrology — ICCP), что позволило рассчитать широко используемые в зарубежных публикациях генетические индексы и применить диаграммы для определения условий и обстановок формирования углей.

Личный вклад автора заключается в постановке научной задачи, проведении полевых работ и опробовании разрезов, первичной пробоподготовке, определении аналитической влажности и зольности образцов. Автором выполнены замеры отражательной способности витринита, углепетрографические исследования мацерального состава, анализ результатов изучения вещественного состава углей, построены графические материалы. Автором проведены интерпретация и обобщение полученных данных по содержанию хлороформенных битумоидов в породах, группового состава битумоидов, распределению углеводородов-биомаркеров. Выполнено сравнение полученных результатов с опубликованными данными по стратиграфическим аналогам углей в Западной Сибири, Китае и Монголии. На основе анализа выявленных закономерностей автором получены новые научные результаты.

Теоретическая и практическая значимость работы. Проведенные исследования позволили получить новые знания о составе и распределении ОВ углей пласта Улуг среднеюрского возраста в Улуг-Хемском бассейне, а также выявить направленные ряды изменений геохимических параметров ОВ в пределах бассейна. Сочетание результатов геохимических и петрографических исследований ОВ и выполнение на их основе палеогеографических реконструкций существенно дополнили представления об условиях и обстановках накопления углей УХБ. Установленное по площадям бассейна распределение ОВ террагенного и смешанного генезисов позволяют расширить представления о генерационном потенциале ОВ углей. Изучение генерационных свойств улуг-хемских углей позволяет прогнозировать нефтегазоматеринские свойства среднеюрских

углистых отложений на сопредельных слабоизученных территориях.

Полученные знания о составе и типе исходного ОБ углей основных разрабатываемых месторождений УХБ позволяют обосновать подбор углей и состав шихты для углубленной переработки, оптимизировать технологические параметры процессов, прогнозировать количество и качество продуктов переработки и объяснять полученные результаты.

Апробация результатов. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 13-ти научных работах, в т. ч. 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК («Геология и геофизика», «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов», «Химия твердого тела», «Химия в интересах устойчивого развития»). Результаты исследований докладывались на совещаниях различного уровня: Международный Российско-Казахстанский Симпозиум «Углекислотная и экологическая Кузбасса» (г. Кемерово, 2017 и 2018 гг.), Всероссийская научная конференция «Геохимия нефти и газа, нефтематеринских пород, угля и горючих сланцев» (г. Сыктывкар, 2019), 2-я Всероссийская научная конференция с участием иностранных ученых «Успехи органической геохимии» к 120-летию члена-корреспондента АН СССР Н.Б. Вассоевича и 95-летию заслуженного геолога РСФСР С.Г. Неручева (г. Новосибирск, 2022), IV Всероссийская молодежная школа-конференция с международным участием «Природные системы и экономика Центрально-Азиатского региона: фундаментальные проблемы, перспективы рационального использования» (г. Кызыл, 2022), в материалах Международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа» (г. Москва, 2023), Всероссийская научная конференция «Фундаментальные, глобальные и региональные проблемы геологии нефти и газа», посвященная 90-летию со дня рождения академика А.Э. Конторовича (г. Новосибирск, 2024).

Объем и структура работы. Диссертация объемом 122 страницы, состоит из введения, 5 глав, заключения, включает 31 рисунок, 10 таблиц и 1 табличное приложение. Список литературных источников содержит 177 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н., зав. лаборатории органической геохимии Института геологии Коми НЦ УрО РАН Дмитрию Алексеевичу Бушневу за поддержку, внимание и содействие в подготовке диссертационной работы.

Особую благодарность автор выражает д.г.-м.н., г.н.с. ИНГГ СО РАН А.Н. Фомину за обучение методике углепетрографических исследований. При проведении лабораторных исследований неоценимая помощь была оказана сотрудниками лаборатории органической геохимии Института геологии Коми НЦ УрО РАН А.А. Ильченко, Т.А. Зубовой и В.А. Лобановым. Автор благодарен д.г.-м.н. Н.С. Бурдельной за помощь при изучении ароматических

УВ. Автор искренне благодарит ТувИКОПР СО РАН в лице директора к.г.-м.н. Р.В. Кужугета, зав. химико-технологической лаборатории к.х.н. Л.Х. Тас-оол и н.с. Н.Н. Янчат за создание условий, мотивацию и веру в диссертанта. За ценные консультации в вопросах палеогеографических реконструкций и дружескую поддержку диссертант благодарит зав. лаборатории седиментологии ИНГТ СО РАН к.г.-м.н. П.А. Яна и в.н.с., к.г.-м.н. Л.Г. Вакуленко, а также И.Н. Серикова за качественное изготовление угольных шлифов.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геология и история исследования угленосного Улуг-Хемского бассейна

В главе представлены основные сведения о стратиграфии, тектоническом строении, газо- и угленосности УХБ, а также приводится обзор истории геологического изучения и обозначены современные направления исследования и переработки углей УХБ.

Планомерное изучение УХБ, которому предшествовал этап разрозненных исследований И.П. Рачковского, М.Ф. Нейбург, началось в середине XX в. Изучению его геологического строения посвящены работы А.Л. Лосева, И.Н. Николаева, В.А. Вехова, Д.М. Лисина, В.С. Быкадорова, Л.Г. Гончаровой. Основные результаты петрографических исследований углей получены Г.Н. Трошковой, Н.А. Афанасьевой, И.И. Аммосовым, А.Б. Травиным, В.В. Калининко, П.П. Тимофеевым. С возобновлением в 1980-ые гг. геологоразведочных работ значимый вклад в изучение угленосности бассейна внесли В.П. Алексеев, В.И. Вялов, Н.Е. Дубовик, А.А. Семеряков, Р.Т. Уссар, В.И. Шибанов, И.Ю. Яковлев и др. На основе полученных представлений о составе и технологических свойствах углей в настоящее время развивается направление по разработке технологий глубокой переработки на основе тувинских углей в работах Ю.Ф. Патракова, М.П. Куликовой, Г.Р. Монгуша, Ш.Н. Солдуна и др.

УХБ площадью около 2700 км² представляет собой крупную отрицательную структуру типа наложенной мульды, выполненную юрскими терригенными отложениями. В геологическом строении бассейна принимают участие элегестская (J_{1el}), эрбекская (J_{2er}), салдамская (J_{2-3sl}) и бомская (J_3-K_1bm) свиты (Рисунок 1).

Наиболее угленасыщенной является эрбекская свита, содержащая основной рабочий пласт Улуг простого строения мощностью от 0,5 до 19,7 м (в среднем 5–6 м). Максимальная глубина его залегания достигает 1700 м. Установлено закономерное увеличение метаморфизма углей с северо-востока на юго-запад — от Чихачевского (марки Г) и Каа-Хемского (Г, ГЖ) месторождений в сторону Элегестского (Ж) и Межегейского (Ж).

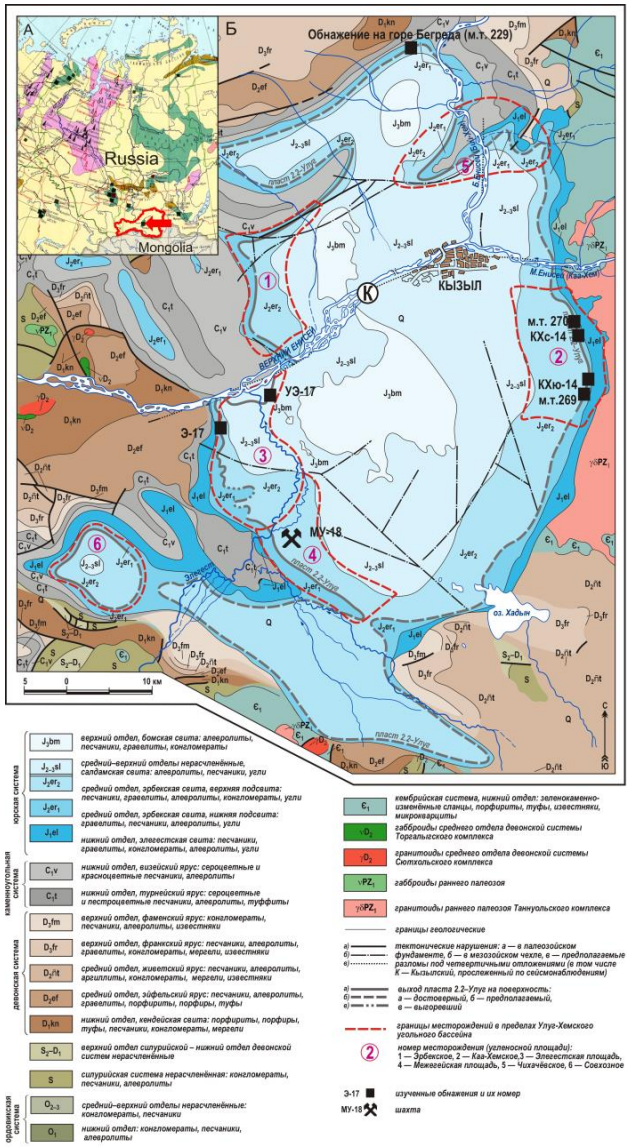


Рисунок 1 – Географическое местоположение Улуу-Хемского бассейна (А) и его схематичная геологическая карта (Б) [по Лебедеву, 2007]

Глава 2. Материал и методы исследования

В главе приведены литологические описания изученных обнажений и их разрезы с указанием мест отбора образцов, а также сведения о видах и количестве выполненных анализов. Особое внимание уделено описанию комплекса углепетрографических и геохимических методов качественной и количественной характеристики ОБ, примененных для решения поставленной задачи.

Глава 3. Петрографические исследования углей Улуг-Хемского бассейна

3.1. Микрокомпоненты углей пласта Улуг

В соответствии с классификацией ИССР [International..., 2009], использованной в настоящей работе, в изученных породах были определены следующие микрокомпоненты: в группе вигринита (Vt) — телинит, колотеллинит, корпогелинит, гелинит; в группе инертинита (I) — фюзинит, семифюзинит, фунгинит, секретинит, макринит, микринит и инертодетринит; в группе липтинита (L) — кутинит, споринит, резинит и липтодетринит (Рисунок 2, см. вклейку).

3.2. Углепетрографический состав органического вещества пласта Улуг

В разделе представлены результаты углепетрографического исследования компонентов ОБ углей и углистых пород. Полученные численные значения были нанесены на диаграмму группового состава ОБ (Рисунок 3). В составе углей пласта Улуг наблюдается преобладание компонентов группы витринита (от 71 до 100 %). Доминирует подгруппа геловитринита с содержанием от 66 до 99 %, представленная преимущественно бесструктурным гелинитом. Подгруппа теловитринита варьирует от 0 до 21 %, сложена в основном телинитом различной степени сохранности, в меньшей степени – обрывками колотелинита.

Телинит с хорошей степенью сохранности клеточной структуры характерен для образцов с горы Бегреда, а также углистых алевролитов в основании пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении.

Содержание инертнитовых компонентов варьирует от 0 до 29 %. При этом наиболее повышенные значения (6–29 %) зафиксированы в углях на горе Бегреда, где они представлены в основном фюзинитом (1–16 %), реже макринитом (0–24 %), тогда как в образцах остальных разрезов суммарно группа инертинита не превышает 3,4 %.

В состав группы липтинита в изученных углях входят кутинит, споринит, резинит и липтодетринит общим содержанием до 5,4 %. Среди них преобладает кутинит (до 4 %), тогда как содержание других не превышает 1 %. Каа-хемские угли наиболее обогащены липтинитом. В межегейских

углях с наибольшей по геохимическим данным долей сапропелевого органического вещества примененными микроскопическими методами липтинит не обнаруживается. Диагностика липтинита (альгинита) на высоких стадиях катагенеза затруднена [Алексеев и др., 2006; Волкова, 1990; Столбова, Исаева, 2013] из-за изменения им своих оптических свойств.



Рисунок 3 – Компонентный состав органического вещества углей пласта Улуг: классы углей I — гелитолиты, II — фюзенолиты, III — липоидолиты, IV — микто-гумолиты (составлено с дополнением по [Яковлев, 1987 ф.])

3.3. Условия и обстановки образования углей пласта Улуг

Одним из подходов к анализу условий накопления углей на основе исследований мацерального состава является применение генетических диаграмм. Наиболее распространенными и использованными в настоящей работе являются диаграммы, предложенные [Mukhopadhyay, 1989; Diessel, 1992].

При нанесении подсчитанных индексов на ABC-тригонограмму П. Мухопадея, образцы улугхемских углей образовали поле вблизи вершины В, что может указывать на образование углей в маршевых болотах богатых растительностью с высокой степенью обводнённости и бактериальной активности (Рисунок 4 а). Это подтверждается и данными на диаграмме Дисселя, на ней большинство образцов ложатся в область с высоким индексом GI и низким TRI (Рисунок 4 б). В соответствии с диаграммой Дисселя накопление углей УХБ происходило преимущественно в обстановках озерных окраин, близких к маршевым болотам, в условиях медленного прогибания бассейна, компенсируемого накоплением ОВ при постоянной обводненности.

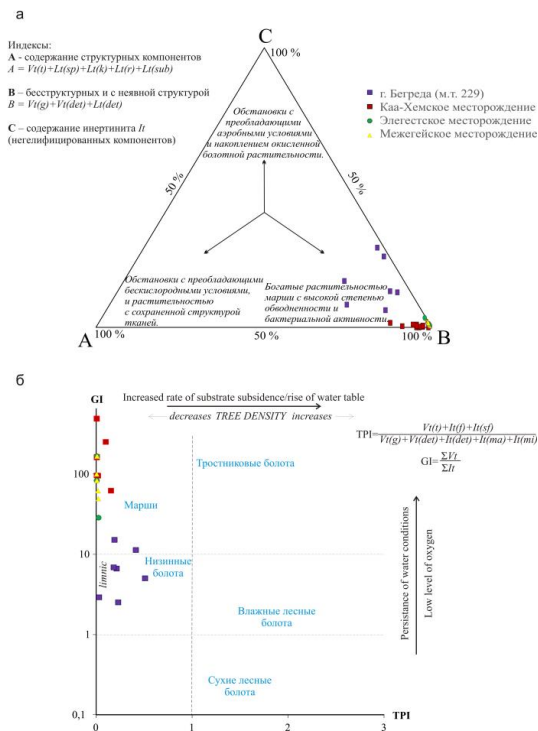


Рисунок 4 – Условия накопления органического вещества углей пласта Улуг на генетических диаграммах: а — по Р. Mukhopadhyay [1989], б — по С. Dissel [1992]

Полученные данные не противоречат палеогеографическим реконструкциям юрской угленосной формации Тувинского прогиба, выполненным П.П. Тимофеевым. В разрезах им фиксируется частая смена направленности трансгрессивно-регрессивного режима бассейна седиментации, который располагался на юго-востоке Тувинского прогиба и за его пределами, в области северной окраины Долины Великих озер Монголии, а обширная суша, откуда сносился обломочный материал, находилась на северо-востоке и востоке, в области Восточно-Тувинского нагорья. Основной водной артерией была крупная река Палео-Улуг-Хем, имевшая широкую и разветвленную дельту [Тимофеев, 1964]. Бассейн седиментации представлял собой обширный пресный внутриконтинентальный водоем (озерного типа) с преобладающим осадконакоплением на глубинах до первых десятков метров [Сушанек, Алексеев, 1998].

Глава 4. Геохимия органического вещества углей Улуг-Хемского бассейна

4.1. Изотопный состав углерода

Значения $\delta^{13}\text{C}$ углей УХБ составляют $-25\div-26\%$ и являются типичными для ОВ терригенного происхождения [Галимов, 1973].

4.2. Выхода хлороформенного битумоида и его групповой состав

Содержание хлороформенного битумоида $b_{\text{хл}}$ в изученных образцах варьирует от 0,04 до 2,73 % (среднее 0,84 %) на породу. Высокие концентрации битумоидов характерны для образцов углей с повышенным содержанием мацералов группы липтинита.

Групповой состав битумоидов характеризуется содержанием УВ от 21 до 55 %, смол — 17–59 % и асфальтенов от 5 до 60 % (в среднем 31, 31 и 38 % соответственно) (Рисунок 5). По мере увеличения углефикации в ряду образцов Бегреда–Каа-Хем–Элегест–Межегей уменьшаются содержания смол и возрастают концентрации асфальтенов, их отношение падает от 3,4 до 0,3, уменьшается содержание углеводородной фракции, а в ее составе сначала преобладают насыщенные УВ (Бегреда), в каа-хемских углях марки Г ароматические УВ начинают доминировать над насыщенными почти в 2 раза, а на стадии Ж их концентрации выравниваются (межегейские).

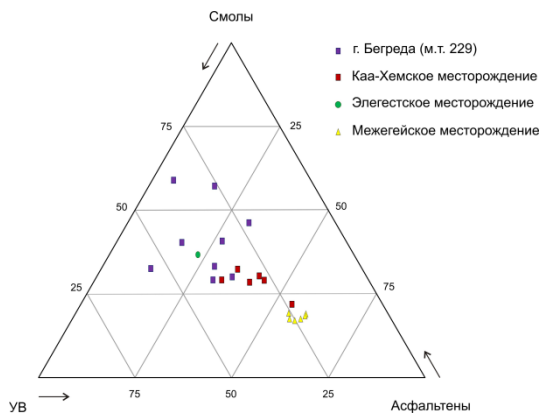


Рисунок 5 – Распределения группового состава битумоидов из углей УХБ

4.3. Углеводородный состав битумоидов

Распределение *n*-алканов в изученных битумоидах указывает на вклад как терригенного, так и аквагенного вещества: максимум в бегрединских, каа-хемских и элегестских углях приходится на диапазон *n*-C₂₃–C₂₅, а в межегейских смещается на *n*-C₁₉–C₂₃. Вклад водной и терригенной видов

растительности в состав органической массы углей оценен при помощи коэффициентов P_{aq} и P_{wax} [Ficken et al., 2000; Zheng et al., 2007]. Значения P_{aq} варьируют от 0,64 до 0,95, что соответствует погруженным и плавающим на поверхности воды макрофитам, а низкие значения коэффициента P_{wax} от 0,17 до 0,47 свидетельствуют об относительно низкой роли надводных макрофитов и наземных растений в общем количестве УВ.

По распределению стерановых УВ органическое вещество углей с обнажения Бегреда, Каа-Хемского и Элегестского месторождений характеризуется террагенным типом, связанным с липидами высшей наземной растительности ($C_{29}/C_{27} > 16$, $C_{29}/C_{28} > 3,8$). ОВ углей Межегейского месторождения показывает несколько иное распределение стеранов и трикланов и отражает хоть и небольшое количество, но ОВ аквагенного типа ($C_{29}/C_{27} = 3,2-4,4$; $C_{29}/C_{28} = 1,8-2,6$; трициклановый индекс $TCI = 1,8-2,6$) (Рисунок 6).

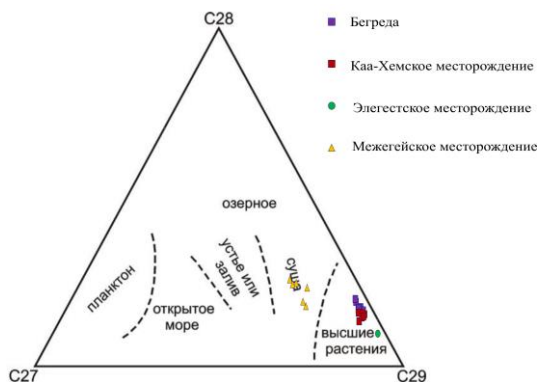


Рисунок 6 – Относительное содержание регулярных стеранов C_{27} , C_{28} и C_{29} в насыщенной фракции битумоидов углей УХБ

По биомаркерным показателям катагенеза наименее преобразовано ОВ углей обнажения Бегреда и Каа-Хемского месторождения ($CPI = 1,23-2,52$; $K^1 = 20S/(20S+20R) < 0,39$; $K^2 = \beta\beta(20S+20R)/\alpha\alpha 20R = 0,3-0,7$; $Ts/Tm < 0,05$) и находится в верхней зоне газообразования. Молекулярные параметры зрелости ОВ межегейских углей указывают на уровень главной зоны нефтеобразования: $CPI = 1,06-1,09$; $K^2 = 1,9-2,0$; $Ts/Tm = 0,48-0,63$).

ОВ углей захоронялось при наличии кислорода в осадке на ранних стадиях преобразования ОВ в диагенезе: $Pr/Ph = 1,6-11$; $Pr/n-C17 = 0,3-5,0$; $Ph/n-C18 = 0,1-0,6$; гомогопаны $C35/C34 < 0,8$. На графике (Рисунок 7) межегейские и частично бегрединские образцы обособляются в область

прибрежно-морских условий в отличие от большинства образцов, расположенных в наземных, озерно-болотных и дельтовых обстановках накопления ОВ. Наличие перегруппированных гопанов hZ в битумоидах углей также может служить показателем окислительных условий.

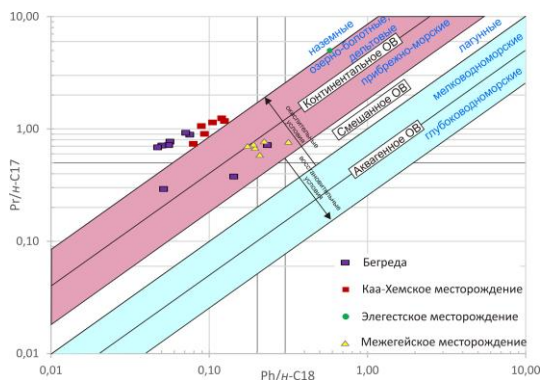


Рисунок 7 – Диаграмма Коннона-Кассоу зависимости отношений $Ph/n-C17$ и $Ph/n-C18$ для битумоидов углей пласта Улут

Состав ароматических фракций экстрактов углей изученных месторождений весьма отличается друг от друга. Расчёт MPI-1 показал, что наименее преобразовано ОВ углей обнажения на г. Бегреда (0,03 – 0,21), более высокий метаморфизм имеет уголь из Межегейского месторождения (1,19–1,41). Значения MPI-1 для ОВ углей из Каа-Хемского месторождения изменяются в пределах 0,31–0,49, Элегестского — 1,08.

Для битумоидов углей обнажения Бегреда характерно очень высокое содержание дибензофурана, бензоафтофурана и их метильных производных. Концентрации метилзамещенных нафталинов здесь ничтожны. Среди фенантронов доминируют голоядерный углеводород и его монометилпроизводные. Характерны повышенные концентрации фенилнафталина, пирена, флуорантена, хризена и бензантраценов.

Каа-Хемские угли отличаются высокими концентрациями метилзамещенных нафталинов, кадалена и ретена. Присутствие в составе ароматической фракции ретена, кадалена, а также 6-изопропил-1-изогексил-2-метилнафталина [Ellis et al., 1996] свидетельствует в пользу вывода о высших наземных растениях как одном из важнейших источников исходного ОВ каа-хемских углей [van Aarssen et al., 2000]. Среди трёх упомянутых маркеров высшей растительности в углях Каа-Хемского месторождения доминирует ретен, свидетельствующий о значительном вкладе хвойных пород в состав терригенной растительности, поступавшей в осадок.

Наиболее преобразовано ОВ углей Межегейского месторождения. Основными компонентами ароматической фракции являются фенантрен и его метилпроизводные. Отношение Ретен/Фенантрен меняется от 0,17 до 0,48. Отношение кадалена к ретену незначительно меняется в пределах разреза.

Глава 5. Нефтегазогенерационный потенциал углей Улуг-Хемского бассейна

5.1. Углеводородный потенциал улуг-хемских углей

По результатам пиролитических исследований выполнена диагностика типа, зрелости и оценка нефтегазогенерационного потенциала ОВ (Рисунок 8). ОВ береговых углей относится к III типу, является наиболее обеднённым углеводородной составляющей ($HI=8-89$ мг УВ/г $C_{орг}$) и довольно окисленным ($OI=42-57$ мг CO_2 /г $C_{орг}$).

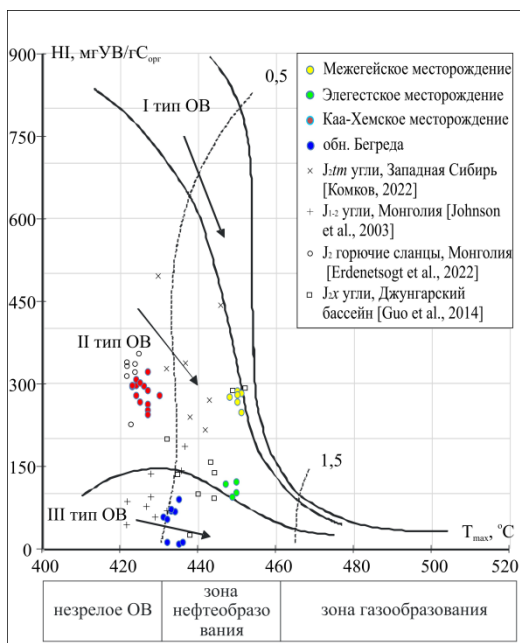


Рисунок 8 – Диаграмма HI– T_{max} , характеризующая тип ОВ и зрелость углей и углистых пород Улуг-Хемского и других среднеюрских бассейнов

Степень их преобразованности соответствует началу главной зоны нефтеобразования ($МК_1^1$, $R_0=0,56-0,60\%$). Каа-хемские угли, напротив, отличаются довольно значительным для угля водородным индексом

($243 < HI < 321$ мг УВ/г $C_{орг}$) и минимальным кислородным, обладают высоким углеводородным потенциалом, их ОВ характеризуется как слабопреобразованное (MK_1^1). Межегейские угли имеют достаточно высокий остаточный потенциал ($247 < HI < 289$ мг УВ/г $C_{орг}$) и по степени зрелости ОВ соответствуют главной фазе нефтеобразования. Углеводородный потенциал элегестского угля в значительной мере реализован, так как низкое значение HI ($93-121$ мг УВ/г $C_{орг}$) в нём сочетается с повышенным значением T_{max} . Сравнительный анализ данных по углям Каа-Хемского и Элегестского месторождений может свидетельствовать о принадлежности их ОВ к керогену преимущественно III типа с некоторой долей II типа, а в межегейских углях содержится органическое вещество II–III типов со значительным вкладом II типа.

5.2. Взаимосвязь пиролитических параметров и петрографического состава углей

Результаты корреляционного анализа показывают, что параметры S2 и HI имеют прямую очень сильную связь с содержанием бесструктурного гелинита $Vt(g)$ и прямую умеренную с содержанием кутинита L_k . А так как гелинит и кутинит являются преобладающими компонентами в группе витринита и липтинита соответственно, параметры S2 и HI показывают прямую сильную взаимосвязь с суммой всех гецефицированных компонентов $\sum Gel$ и прямую умеренную с суммой липтинитовых компонентов $\sum L$ (Рисунок 9). Это сопровождается обратной сильной связью последних с суммой инертинитовых компонентов $\sum I$. Среди них обратную умеренную связь показывает содержание фюзинита I_f .

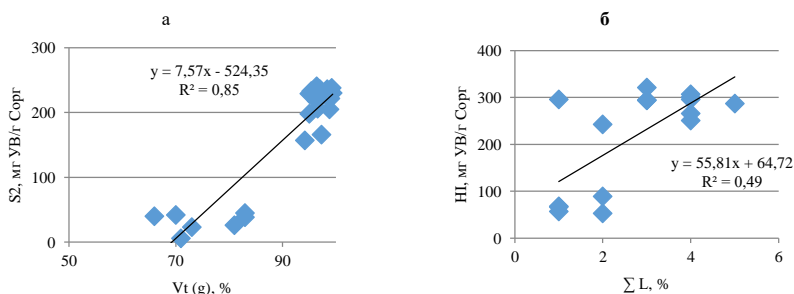


Рисунок 9 – Взаимосвязь параметров S2 и HI с петрографическим составом углей

5.3. Среднеюрское угленакопление и известная нефтегазоносность

Среднеюрское угленакопление прослеживается на обширных территориях Сибири и Центральной Азии (Рисунок 10, см. вклейку). Эрбекская

свита, содержащая пласта Улут с высоким генерационным потенциалом, является стратиграфическим аналогом тюменской свиты Западной Сибири. Повышенные генерационные свойства тюменской свиты установлены во Фроловской, Красноленинской, Средне-Обской, Каймысовской, Васюганской, Пайдугинской нефтегазоносных областях, а также в Карабашском нефтегазоносном районе [Гончаров и др., 2006; Шиманский и др., 2006; Обласов, 2010; Мусихин, 2020; Комков и др., 2022].

Залежи нефти, образованные из юрских углей и ассоциированных с ними обогащенных ОВ аргиллитов, обнаружены в бассейнах на северо-западе Китая (формации Xishanyao J_{2x} в Джунгарском и Kezilenueg J_{2k} в Таримском бассейнах) [Tang et al., 2014; Ян, Соболева, 2021].

Было проведено сравнение основных геохимических показателей, характеризующих состав и тип ОВ, чтобы выяснить, как ОВ улуг-хемских углей соотносится с ОВ одновозрастных материнских пород бассейнов с известной нефтегазоносностью (Таблица 1, см. вклейку). Несмотря на некоторые отличия в наборе биомаркеров между среднеюрскими углями, аргиллитами и горючими сланцами рассматриваемых бассейнов, они показывают уникальный набор биомаркеров материнских пород юрских угленосных толщ: доминирование среднепечечных *n*-алканов (преимущественно C₂₃), преобладание стерана C₂₉, высокое значение Pr/Ph, низкое содержание Ts и гомогпанов C₃₄–C₃₅. Большинство исследователей приходят к выводу о смешанном типе исходного ОВ с разной долей гумусовой и сапропелевой составляющих [Qian et al., 2018; Шиманский и др., 2006; Бушнев и др., 2021; Ян, Соболева, 2021]. Их соотношения могут существенно варьировать даже на небольших расстояниях (в пределах 10 км). Примером тому являются угли межегейского месторождения с явно выраженной сапропелевой компонентой в отличие от элегестских. Наличие биомаркеров хвойной растительности, ряда дитерпеноидов — филлокладана, норлабдана, нор-изопимарана, изопимарана, 4β(H) нор-изопимарана — в китайских углях [Hendrix et al., 1995] и 4β(H)-19-норизопимарана, кадалена, 6-изопропил-1-изогексил-2-метилнафталина и ретена в улуг-хемских [Бушнев и др., 2021], является их общей чертой, указывая на значительный вклад хвойных в образовании гумусовой составляющей ОВ углей. В петрографическом составе углей Улуг-Хемского, Джунгарского и Таримского бассейнов витринит является доминирующей компонентой. Содержание инертинита может варьировать в разных разрезах до 30 % в улуг-хемских и до 60 % в джунгарских. В углях северо-запада Китая содержится больше липтинитовой компоненты — до 30 % против 19 % (по фондовым материалам) в улуг-хемских. Мацеральный состав рассматриваемых углей указывает на III тип керогена с вкладом керогена II типа в состав ОВ.

Нижне-среднеюрские отложения относятся к потенциальным нефтема-

теринским на слабо изученных площадях в центральной части сопредельной Монголии [Erdenetsogt et al., 2022; Erdenetsogt; 2023].

Анализ геологического строения угленосных бассейнов Монголии [Erdenetsogt et al., 2009] позволил выделить 3 угленосных бассейна — Их-Богд, Онги-Ривер и Южный Хангай (см. Рисунок 10 на вклейке) в Долине Озёр, в которых ниже-среднеюрские угленосные толщи могут находиться в главной зоне нефтеобразования. В Долине Озёр формация Бахар (J_{1-2}) мощностью до 2700 м сложена конгломератами, песчаниками, сланцами и углями, которые местами перемежаются с вулканическими породами. По аналогии с Джунгарским бассейном региональной покрывкой юрского нефтегазоносного комплекса могут служить глинистые отложения мелового возраста, представленные здесь формацией Андхудаг (K_1) мощностью до 700 м и сложенные углистыми аргиллитами, горючими сланцами, а также песчаниками с прослоями тонких известняков и мергелей [Erdenetsogt et al., 2009]. Все три бассейна в разной степени были затронуты процессами орогенеза в кайнозое. Из них бассейн Южный Хангай был наиболее подвергнут деформациям и складкообразованию, что снижает потенциал обнаружения сохранившихся залежей УВ в его пределах.

Среднеюрские витринитовые угли бассейна Онги-Ривер по мацеральному составу близки улуг-хемским углям и содержат до 11 % липтинита и 1–2 % инертинита. По данным пиролиза Rock Eval, изотопным характеристикам и биомаркерным показателям среднеюрские горючие сланцы центральной Монголии, перекрывающие угольные пласты [Erdenetsogt et al., 2022], имеют сходство с углями Улуг-Хемского (межегейскими и каа-хемскими) и Джунгарского бассейнов и относятся к керогену II типа, а угли в этих бассейнах – к керогену III как некоторые угли Улуг-Хемского и Джунгарского бассейнов (см. Рисунок 10, Таблица 1 на вклейке). Таким образом, в бассейнах Их-Богд и Онги-Ривер можно ожидать как нефтяные, так и газовые скопления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения петрографическими и геохимическими методами углей основного продуктивного пласта Улуг среднеюрского возраста Улуг-Хемского бассейна установлены следующие закономерности.

Общий характер распределения компонентов ОВ в изученных углях показал существенное преобладание витринитовых компонентов ОВ во всех изученных разрезах. Угли обнажения Бегреда отличаются повышенными содержаниями инертинитовых компонентов (до 29 %), каа-хемские угли характеризуются значительными содержаниями липтинита континентального генезиса (кутинит, споринит, резинит, липтодетринит; до 5,4 %).

Установленные различия микрокомпонентного состава указывают на

неодинаковые условия и источники образования пласта Улуг в пределах бассейна. На основе результатов исследования мацерального состава углей реконструированы условия накопления ОВ. Накопление и преобразование исходного органического материала углей Межегейского месторождения происходило в пределах прибрежных болот на окраине крупного озера. Каа-хемские угли имеют близкие с межегейскими условия образования, но отличаются составом исходного органического вещества, а бегрединские накапливались под влиянием более окислительных дельтовых и озерно-болотных обстановок.

По комплексу геохимических параметров показано, что исходное органическое вещество среднеюрских углей пласта Улуг Улуг-Хемского бассейна содержит как доминирующую террагенную составляющую, образованную из остатков континентальной флоры, так и примесную аквагенную, сформированную из водных макрофитов и водорослей. Соотношения между террагенным и аквагенным органическим веществом по площади угольного бассейна не остается постоянным: наибольшая доля аквагенного органического вещества выявлена в углях Межегейского месторождения.

Вариации состава исходного ОВ по площади бассейна прослеживаются по отдельным биометкам. В ароматических фракциях битумоидов по содержаниям ретена, являющегося маркером хвойных, установлено, что наибольшую роль хвойные вносили в накопление ОВ каа-хемских углей. Это находит отражение в их микрокомпонентном составе – относительно повышенном содержании резинита, образованного из смолы и воска растений. Минимальные концентрации ретена и, соответственно, слабая роль хвойных определена в углях Межегейского месторождения.

Органическое вещество углей Улуг-Хемского бассейна имеет варьирующие стадии термической зрелости. Это следует из показателей распределения полициклических биомаркеров, параметров Rock-Eval, показателям отражающей способности витринита и известных данных по маркам углей. Зрелость ОВ углей возрастает в ряду обнажение Бегреда, Каа-Хемское, Элегестское и Межегейское месторождения от ПК до МК₂-МК₃¹.

По совокупности пиролитических, геохимических и петрографических данных органическое вещество углей Улуг-Хемского бассейна относится к керогену II/III и III типов и обладает повышенным нефтегазогенерационным потенциалом. Результаты корреляционного анализа показывают, что наиболее высокими генерационными свойствами обладают угли с повышенным содержанием компонентов группы витринита и липтинита. В группе витринита основной вклад в генерационный потенциал вносит бесструктурный гелинит, в группе липтинита – кутинит. Отрицательное влияние на выход углеводородов оказывают содержания мацералов группы инертинита (фюзинит).

Органическое вещество углей УХБ аналогично по типу и составу среднеюрским угольным отложениям нефтегазоматеринским в Западной Сибири и бассейнах северо-запада Китая, что позволяет классифицировать среднеюрские угли как потенциальные нефтегазоматеринские породы в соседних слабоизученных погруженных геологических структурах. К таковым относятся бассейны Их-Богд и Онги-Ривер (Монголия). Вариативность состава среднеюрских углей позволяет прогнозировать реализацию ими в ходе нефтидогенеза преимущественно газообразных, не исключая возможности генерации жидких УВ.

Результаты исследования рекомендуется использовать при палеогеографических реконструкциях, в бассейновом моделировании процессов генерации углеводородов из углистого органического вещества, планировании поисково-оценочных работ на метан угольных пластов, а также при подборе углей в состав шихты для их углубленной переработки в зависимости от петрографического и геохимического состава ОБ.

Перспективы дальнейшей разработки темы связаны с расширением коллекции образцов на другие разновозрастные угленосные площади Тувы и сопредельных территорий. На угольном материале определенный интерес представляет увязка конкретных хемофоссилий с видовым составом исходного ОБ. Другим направлением исследований является выявление взаимосвязей параметров геохимии ОБ углей и ценных элементов-примесей в них в зависимости от их состава и условий формирования в прогнозных целях.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ **Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защит в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.11:**

1. **Ондар С.А.**, Солдуп Ш.Н., Михайленко М.А., Тас-оол Л.Х. Исследование продуктов сверхкритической экстракции каменных углей Чаданского месторождения методами термогравиметрии и ИК-спектроскопии // Химия твердого топлива. 2019. №2. С. 10–14. <https://doi.org/10.1134/S0023117719020099> (авторский вклад — 30%). Импакт-фактор журнала в РИНЦ, 2022: 1,019.
2. **Ондар С.А.**, Михайленко М.А., Толочко Б.П., Брызгин А.А., Котельников В.И., Коробейников М.В. Воздействие ионизирующего излучения на органические компоненты каменных углей и последующее коксование // Химия в интересах устойчивого развития. 2019. № 5. С. 499–504. <http://dx.doi.org/10.15372/KhUR2019165> (авторский вклад — 30 %). Импакт-фактор журнала в РИНЦ, 2022: 0,605.
3. Бушнев Д.А., **Ондар С.А.**, Бурдельная Н.С. Геохимия органического вещества углей Улуг-Хемского бассейна // Геология и геофизика. 2021.

- № 11. С. 1499–1510. <https://doi.org/10.15372/GiG2020156> (авторский вклад — 33 %). Импакт-фактор журнала в РИНЦ, 2022: 1,342.
4. **Ондар С.А.**, Бушнев Д.А. Органическое вещество и геохимия углей среднеюрского возраста Межегейского месторождения (Улуг-Хемский бассейн, Тыва) // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2022. № (11). С. 71–80. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/11/3603> (авторский вклад — 50 %). Импакт-фактор по SJR (Scopus) (2023): 0,282.

Статьи в других научных изданиях:

1. **Ондар С.А.** Распределение алканов в битумоидах из углей Каа-Хемского разреза Улуг-Хемского бассейна // Углекимия и экология Кузбасса: Сб. тез. докл. (16–18 окт. 2017, Кемерово). – Кемерово: ФИЦ угля и углекимии СО РАН, 2017. – С. 42.
2. **Ондар С.А.**, Бушнев Д.А. Условия образования и источники органического вещества среднеюрских углей Тувы // Успехи органической геохимии: Материалы 2-й Всерос. науч. конф. с участием иностр. ученых, посвящ. 120-летию со дня рожд. чл.-кор. АН СССР Н.Б. Вассоевича и 95-летию со дня рожд. засл. геолога РСФСР, проф. С.Г. Неручева (05–06.04.2022, Новосибирск). – Новосибирск: ННИГУ, 2022. – С. 186–188.
3. **Ондар С.А.**, Бушнев Д.А. Источники органического вещества и условия образования среднеюрских углей Каа-Хемского месторождения // Новые идеи в геологии нефти и газа–2023: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Перо, 2023. – С. 264–266.

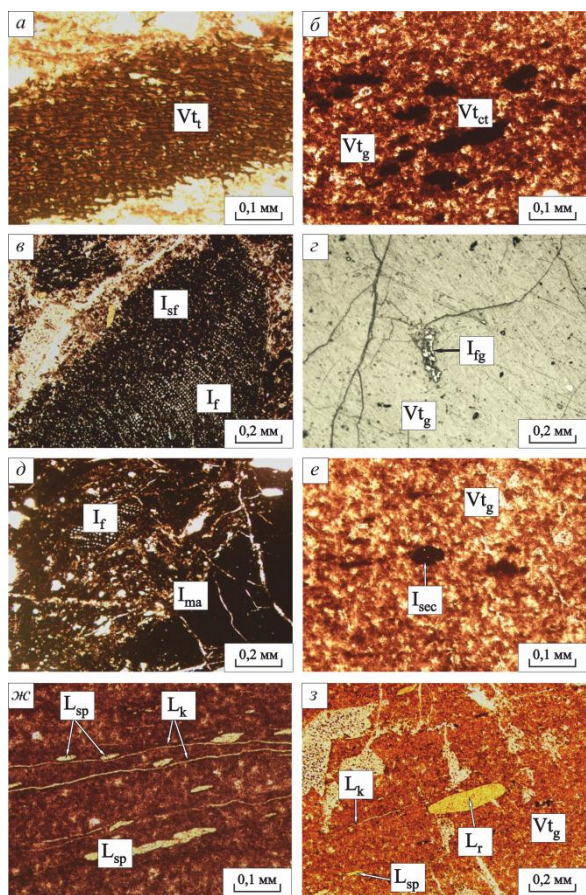


Рисунок 2 – Микрокомпонентный состав углей Улуг-Хемского бассейна: Vt_t — телинит, Vt_{ct} — колотелинит, Vt_g — гелинит, I_f — фузинит, I_{sf} — семифузинит, I_{fg} — фунгинит, I_{sec} — секретинит, I_{ma} — макринит, L_k — кутинит, L_{sp} — споринит, L_r — резинит; номера образцов: *a* — 269-6, *б* — МУ-18-2, *в* — 229-2, *г* — УЭ-17-5, *д* — 229-8, *е* — МУ-18-5, *ж* — 269-5, *з* — 270-6

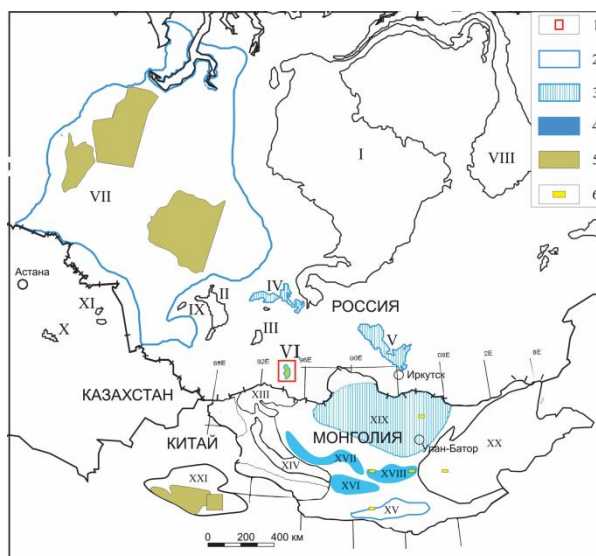


Рисунок 10 – Схематическая карта угленосных бассейнов и перспективных на углеводороды площадей с нефтегазоматеринскими породами среднеюрского возраста.

1 — территория исследования; бассейны J_{1-2} ; 2 — угольные, 3 — с мощностью < 750 м и/или бурогольные; 4 — перспективные на УВ мощностью > 2700–3000 м; 5 — площади с НГМП среднеюрского возраста; 6 — образцы горючих сланцев J_{1-2} на рисунке 5. Бассейны: I — Тунгусский (С-Р), II — Кузнецкий (С-Р), III — Минусинский (С-Р), IV — Канско-Ачинский (J_{1-2}), V — Иркутский (J_{1-2}), VI — Улуг-Хемский (J_{1-2}), VII — Западно-Сибирский, VIII — Ленский (К), IX — Горловский (С-Р), X — Карагандинский (С), XI — Экибастузский (С), XII — Майкубенский (J), XIII — Хархира (С), XIV — Монгол-Алтайский (С); XV — Южно-Гобийский (Р, J), XVI — Их-Богд (J), XVII — Южный Хангай (Р, J, К), XVIII — Онги-Ривер (Р, J, К), XIX — Орхон-Селенга (J, К), XX — Восточно-Гобийская провинция (Р, J, К), XXI — Джунгарский (Р, Т, J).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика углеводородов-биомаркеров битумоидов среднеюрских отложений Сибири, северо-запада Китая и Монголии

Месторождение (локация)	Свита	Литология	$n-C_{max}$	CPI	Pr/Ph	Pr/n-C ₁₇	Ph/n-C ₁₈	C27 St, %	C28 St, %	C29 St, %	C29 St (S/S+R αα), %	Ts/Tm
Улуг-Хемский угольный бассейн (Россия) [Бушнев и др., 2021; Ондар, Бушнев, 2022]												
Каа-Хемское	эрбекская	уголь	C ₂₃	1,62	7,62	1,05	0,10	4	15	81	0,36	0,02
Элегестское			C ₂₃	1,23	5,95	5,02	0,61	2	10	88	0,44	0,16
Межегейское			C _{19–C23}	1,08	2,52	0,71	0,23	17	23	60	0,40	0,54
Юг Западной Сибири (Россия) [Шиманский и др., 2006]												
Юг ЗСНП	тюменская	аргиллиты	C _{21–C25}	1,25	3,62	1,33	–	22	23	55	0,43	0,05
Джунгарский бассейн (Китай) [Ян, Соболева, 2021; Hendrix et al., 1995]												
Выступ Байцзяхай	Xishanyao	аргиллит	C ₂₃	1,16	6,29	2,43	0,37	–	–	–	–	–
Зона Гумуди			C ₁₈	0,99	0,49	0,49	0,56	–	–	–	–	–
Манас		уголь	C ₂₃	1,1	3,4	–	–	2	17	81	0,50	–
Xishanyao			C ₂₃	1,7	3,8	–	–	3	17	80	0,02	–
Таримский бассейн (Китай) [Hendrix et al., 1995]												
Awate	Kezilenuer	уголь	C ₂₂	–	–	–	–	5	12	83	0,45	–
Цагаан-Овоо (Монголия) [Erdenetsogt et al., 2022]												
обр. TSO-1602	Khamarkhoovor	горючие сланцы	C ₂₃	2,24	1,50	1,1	0,57	10	18	72	0,19	–