

**ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**



На правах рукописи

*Скиба*

Скиба Дарья Александровна

**УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, СОСТАВ И КАЧЕСТВО УГЛЕЙ  
АЛЬКАТВААМСКОГО РАЙОНА БЕРИНГОВСКОГО БАССЕЙНА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,  
минералогия

Томск – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), г. Санкт-Петербург

**Научный руководитель:**

**Вялов Владимир Ильич**

доктор геол.-минер. наук, главный научный сотрудник отдела геологии горючих полезных ископаемых ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского»

**Официальные оппоненты:**

**Эпштейн Светлана Абрамовна**

доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», руководитель научно-учебной испытательной лаборатории «Физико-химия углей»

**Бушнев Дмитрий Алексеевич**

доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук», заведующий лабораторией, главный научный сотрудник лаборатории органической геохимии

Защита состоится 25.03.2025 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.28 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская 73, аудитория 111, «Томский политехнический университет, корпус №1»



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте [dis.tpu.ru](http://dis.tpu.ru) при помощи QR-кода.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » февраля 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета ДС.ТПУ.28  
кандидат геолого-минералогических наук

Якич Тамара Юрьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время основой энергетики северо-восточных регионов России, в частности Чукотского АО, является уголь и в ближайшее время эта тенденция сохранится. Практически весь добываемый в регионе уголь обеспечивает традиционных потребителей округа – тепловые электростанции, районные и промышленные котельные, коммунально-бытовой сектор, кроме коксующихся углей, экспортируемых в страны АТР. Развитие угледобычи в регионе существенно отстает от потребности в угольном топливе, а завоз угля из других районов страны, сохраняя тенденцию роста при наличии угленосных залежей на месте, экономически нецелесообразен. Основными причинами сложившейся ситуации остаётся слабая геологическая изученность угленосных отложений, качества и направлений использования углей, и практически полное отсутствие инфраструктуры для угледобычи.

**Объектом исследования** являются угли и углевмещающие породы Алькатваамского угленосного района Беринговского каменноугольного бассейна, расположенного на крайнем северо-востоке России, в Чукотском автономном округе. В регионе выполнен значительный объем поискового и разведочного бурения, накоплен большой новый фактический материал по угленосности и качеству углей, требующий углубленного изучения и обобщения. Без этого дальнейшее осуществление поисковых и разведочных работ на угленосных площадях в бассейне невозможно. Таким образом, изучение условий образования угленосной формации, вещественно-петрографического состава, качества и метаморфизма, технологических свойств углей в целях прогнозирования и определения их рационального использования на рассматриваемой территории является актуальной проблемой.

**Цель и задачи исследования.** Целью данной работы является изучение условий образования, вещественно-петрографического состава и метаморфизма, качества углей Алькатваамского угленосного района. Исходя из данной цели, в диссертации поставлены следующие задачи:

1. Обобщение всех имеющихся материалов по Беринговскому каменноугольному бассейну и, в частности Алькатваамскому угленосному району: изучение и систематизация геологического материала предыдущих исследований – условий образования углей и угленосной толщи, литологического состава угленосных отложений, угленосности, петрографического состава, метаморфизма, качества и свойств углей, попутных компонентов (микроэлементов).

2. Изучение основных закономерностей изменения генетических, технологических, в т. ч. спекающих свойств углей, обусловленных вещественно-петрографическим составом и метаморфизмом; уточнение марочного состава углей и проявления метаморфизма по простиранию и падению пластов и в стратиграфическом разрезе угленосной толщи.

3. Выявление особенностей литологического строения осадочной толщи, условий осадконакопления и обстановки формирования угольных пластов, качества и свойств углей, степени угленосности верхнекоряжской подсвиты для прогноза перспектив освоения площади Алькатваамского района.

**Фактический материал и методы исследования.** Сбор фактического и теоретического материала производился автором во время работы в качестве геолога на стадиях поисково-оценочных, разведочных и эксплуатационных работ на Алькатваамской и Амаамской угленосных площадях за период с 2011 по 2018 гг. и в 2021 г. Фактический материал, положенный в основу диссертационной работы, был получен при опробовании вмещающих пород, угольных пластов, пропластков и их контактов с кровлей и подошвой в скважинах колонкового бурения (8 скважин для петрографических исследований угля, 7 скважин для изучения вмещающих пород).

Отбор проб осуществлялся бороздовым и штуфным способом. Бороздовым способом отбирались угольные пластово-дифференциальные пробы (лично автором – 121 проба) в рамках производственных задач компании, производившей поисково-оценочные и эксплуатационные работы. Минимальная мощность интервалов опробования составляла 0,05 м для неоднородных по строению пластов. Для пластов однородного строения пробы отбирались мощностью не

более 1 м. Пробы анализировались в лаборатории SGS (г. Новокузнецк). Штуфные пробы отбирались в ходе работы над диссертацией из каждой литологической разности пласта, при однородном строении пласта – каждые 0,2 м. Всего отобрано 203 штуфных пробы. Из них было подготовлено 140 штуфных проб для изучения элементов-примесей инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) на 28 элементов. Анализ выполнен на базе ФГАОУ ВО НИ ТПУ (г. Томск) в лаборатории ядерно-геохимических методов исследования (зав. лаб. А. Ф Судыко).

Петрографические исследования углей проводились в шлифах и аншлифах. Прозрачные угольные шлифы и аншлиф-штуфы изготавливались в углешлифовальной мастерской ФГБУ Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (Ю. И. Боровихина). Аншлиф-штуфы изготавливались также в МГУ им. Ломоносова. Исследования проводились автором на микроскопе Leica microsystems DL MP под руководством Г. М. Волковой. Образцы вмещающих пород в количестве 23 шт. и прозрачные минеральные шлифы были подготовлены (распилены, отшлифованы и отсканированы) на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, при содействии проф. В. П. Алексеева.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программ MS Office Excel и Statistica (Statsoft).

Составление карт производилось с помощью программных пакетов AutoCad, MapInfo, Micromine.

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

1. Сочленение заливного лагунного побережья и подводной части дельты обуславливает литологический облик фаций вмещающих пород угленосных отложений, который характеризуется морскими (мелководно-бассейновыми) и континентальными (озерными, делювиально-пролювиальными, аллювиальными) отложениями. Процесс образования осадочной толщи проходил в стадию стабилизации тектонических процессов при медленном неравномерном погружении осадков в недра в зоне Беринговского прогиба.

2. Процесс древнего торфонакопления в поздне меловое время происходил в потамических условиях, сменяясь от низинных торфяных болот проточного типа до застойных болот переходного типа. К концу времени торфонакопления существенное влияние на торфяники оказывало море. Существовали аллохтонно-автохтонные условия привноса и отложения растительного материала при преобладании аллохтонии. В пределах северного гумидного климатического пояса, близкого к субтропическому, накапливались растительные осадки высших растений с преобладанием хвойных.

3. Наличие спекающихся палеогеновых углей марки ГЖ и меловых углей марки Ж в угленосной толще мощностью не более 1,5 км обусловлено действием термально-регионального метаморфизма, преобразовавшего ОВ до каменноугольных стадий II и III (градаций мезокатагенеза МК2-МК3), а также характером исходного растительного вещества, фациальными условиями накопления ОВ и особенностями вещественно-петрографического состава углей (витринита – от 55,5 до 92 %, инертинита – от 4,8 до 28,1 %).

**Степень достоверности защищаемых положений** определяется представительностью фактического материала, применением современных методов химико-аналитических и петрографических исследований, использованием новейших компьютерных программ для обработки полученной информации.

**Апробация результатов работы.** Работа выполнена в процессе обучения в заочной аспирантуре ФГБУ «ВСЕГЕИ» им. А. П. Карпинского и во время производственной деятельности в ЗАО «Северо-Тихоокеанская угольная компания» и ООО «Берингпромуголь» в течение 2017-2022 гг.

Результаты исследования автора использованы при выполнении гранта Российского научного фонда, проект № 18-17-00004 «Теоретическое и эмпирическое обоснование условий и факторов накопления ценных и токсичных элементов-примесей в углях, прогнозно-поисковые критерии металлоносных углей и оценка металлоносности угольных бассейнов азиатской части России».

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации.**

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований опубликованы в научной печати (9 работ, из них 3 – статьи в рецензируемых ВАК журналах, в т. ч. WoS и Scopus) и обсуждались на следующих научных конференциях: «Практика геологов на производстве: II Всероссийская студенческая научно-практическая конференция» (ЮФУ, Ростов-на-Дону, Таганрог, 2017 г.); «X Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых» (ПГНИУ, Пермь, 2017 г.); «Проблемы геологии и освоения недр: XXI Международный симпозиум имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященный 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина» (ТПУ, Томск, 2017 г.); Международный молодежный научный форум «ЛОМОНОСОВ» (МГУ, Москва, 2019-2020 гг.); «Геохимия нефти и газа, нефтематеринских пород, угля и горючих сланцев: Всероссийская научная конференция» (ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 2019 г.).

**Научная новизна исследования.** Впервые детально определены условия образования угленосной толщи и углей Алякватваамского района Беринговского бассейна, палеогеографические условия древнего торфонакопления. Впервые установлены особенности фациального состава вмещающих пород и составлен их литогенетический Атлас. По отпечаткам остатков древних растений-углеобразователей во вмещающих угли породах впервые для Алякватваамского района установлены древние растения-углеобразователи *Coniopteris tschuktschorum* (Krysht.) Samyl. из сем. Dicksoniaceae, сем. Pinaceae – *Pityophyllum* sp. и *Picea* sp., сем. Cupressaceae – *Metasequoia* ex gr. *occidentalis* (Newb.) Chaney, *Trochodendroides* sp. (сем. Cercidiphyllaceae) и *Corylites* sp. (сем. Betulaceae).

Впервые изучен петрографический состав углей верхнекоряжской подсвиты в петрографических шлифах и аншлиф-штуфах, диагностированы петрографические признаки термального метаморфизма. Впервые составлен петрографический Атлас углей бассейна. По результатам нейтронно-активационного анализа впервые определены геохимическая специализация углей и ее связь с геохимической и металлогенической специализацией региона, а также наличие потенциально промышленных концентраций ценных металлов в углях.

### **Практическая значимость работы.**

1. При макроскопическом описании и анализе (полированные срезы образцов характерных пород, описание керна) и микроскопических исследованиях (прозрачные минералогические шлифы и аншлиф-штуфы) определены фациальные обстановки древнего осадконакопления. Составленный литогенетический Атлас вмещающих пород позволяет осуществлять региональный прогноз угленосности разновозрастных осадочных толщ.

2. Уточненные условия образования, петрографического строения, метаморфизма и качества углей, составленный петрографический Атлас углей верхнекоряжской подсвиты необходимы для прогнозирования вещественно-петрографического состава и качества, технологических свойств и определения направлений рационального использования углей Беринговского бассейна, а также малоизученных разновозрастных углей северо-востока РФ.

3. Разработанная авторская методика прогнозирования малоамплитудной тектоники используется при составлении планов развития горных работ на действующем месторождении «Фандюшкинское поле» Беринговского каменноугольного бассейна.

4. Выявлен ряд элементов-примесей, которые потенциально могли бы представлять промышленный интерес для попутного извлечения. К таким элементам отнесены гафний, скандий, редкоземельные элементы (в сумме их концентраций), цинк, стронций.

**Личный вклад автора.** Автор принимала непосредственное участие в проведении геологических работ на месторождениях Алякватваамского и Амаамского угленосных районов в период с 2011 по 2018 гг., а также в 2021 г. Самостоятельные маршрутные исследования по изучению выходов пород вдоль морского побережья в пределах Беринговского бассейна были проведены автором в 2019 г. Автор производила отбор проб каменного материала на месторождении «Фандюшкинское поле» и его флангах, осуществляла макроскопическое описание и петрографическое изучение отобранных проб. Автор провела литолого-фациальный анализ, составила литогенетический и петрографический Атласы. Установила поисковые признаки и прогнозные критерии для углей верхнекоряжской подсвиты. Выполнила

математическую и статистическую обработку данных, их аналитическую и геологическую интерпретацию.

**Благодарности.** Диссертация выполнена под руководством д.г.-м. н. В. И. Вялова, которому автор искренне признательна и благодарна за ценные советы и методическую помощь. Автор благодарит и.о. зав. углетрографической лаборатории отдела геологии горючих полезных ископаемых ФГБУ «ВСЕГЕИ» Г. М. Волкову за помощь в проведении петрографических исследований, а проф. В.П. Алексеева, А. В. Плугину, А. Г. Никитина, Н. А. Ларкина, М. А. Петровец – за помощь в изготовлении шлифов вмещающих пород и изучении фациальных обстановок углеобразования. Сотрудников кафедры геологии и геохимии горючих полезных ископаемых МГУ имени Ломоносова к. г.-м. н. Н.В. Пронину, А. Х. Богомолова, Д. В. Митронова автор благодарит за ценные консультации. Проф. С. И. Арбузова – за помощь в проведении инструментального нейтронно-активационного анализа, а мл. науч. сотрудника Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН А. А. Грабовского – за помощь в проведении палеонтологических исследований. Поддержку автору оказывал д.г.-м.н., академик РАЕН Г. А. Фандюшкин. За помощь в петрографических исследованиях минеральных шлифов автор благодарна к. г.-м. н. Л. А. Краснощековой. Всем им автор искренне признательна.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, 2 приложений. Содержит 163 страницы, включая 30 рисунков, 12 таблиц и списка литературы из 109 наименований. *Введение* аналогично вводной части автореферата. В *первой главе* описано состояние геологической изученности Беринговского каменноугольного бассейна и Алькатваамского угленосного района. Описаны основные этапы освоения и открытия месторождений, приведена геологическая характеристика района исследования. Во *второй главе* представлены результаты изучения вмещающих уголь пород и угленосной толщи, выполнен их литолого-фациальный анализ, определены новые уточняющие фациальные обстановки. *Приложение 1* ко второй главе представляет собой литогенетический Атлас характерных для угленосного района пород. В *третьей главе* рассмотрена петрография углей, сделаны выводы по наличию в районе специфического регионально-термального метаморфизма. *Приложение 2* представляет петрологический Атлас углей верхнекоряжской подбиты Беринговского бассейна. В *четвертой главе* приведены данные по качеству и технологическим свойствам углей. Представлены новые сведения по элементам-примесям в углях. В *пятой главе* сделаны выводы по условиям и особенностям формирования угленосной толщи. В *шестой главе* представлены рекомендации по прогнозированию углей, проведению ГРР и направлениям их нетрадиционного использования. В *заключении* приведены основные выводы по результатам работы.

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Сочленение заливного лагунного побережья и подводной части дельты обуславливает литологический облик фаций вмещающих пород угленосных отложений, который характеризуется морскими (мелководно-бассейновыми) и континентальными (озерными, делювиально-пролювиальными, аллювиальными) отложениями. Процесс образования осадочной толщи проходил в стадию стабилизации тектонических процессов при медленном неравномерном погружении осадков в недра в зоне Беринговского прогиба.

Беринговский каменноугольный бассейн расположен в южной части Чукотского полуострова. Состоит из нескольких угленосных районов: Амаамского и Алякватваамского, а также Бухты Угольной. Угленосные районы обладают сходным структурно-фациальным строением. При прогнозе угленосности важнейшее значение имеют закономерности временного и пространственного распределения угольных месторождений или установление поясов угленакопления, с которыми связаны изменения климата, эпохи трансгрессий и регрессий (Угольная база России, 2004). В Беринговском бассейне угленосность связана с комплексами апт (альб)-верхнего мела и палеоцен-эоцена, приуроченными к благоприятному для торфонакопления северному гумидному климатическому поясу.

В геологическом строении участвует комплекс терригенных и вулканогенных морских, лагунных и континентальных образований мезозоя и кайнозоя. Промышленно-угленосными являются отложения меловой и палеогеновой систем (рис. 1).

Для уточнения обстановок древнего торфонакопления в Алякватваамском угленосном районе отобраны образцы характерных отложений коряжской свиты верхней подсвиты (верхний мел) и чукотской свиты нижней и средней подсвит (палеоген). Литолого-фациальное изучение осадочных образований позволяет восстановить палеоландшафты, выяснить их положение во времени и пространстве, определить закономерности образования осадков с учетом характера угленосных формаций. В комплексе с другими методами это дает возможность трактовать особенности геотектонического режима областей древнего осадко- и торфонакопления.

Алякватваамский угленосный район в области распространения угленосных отложений отличается довольно узнаваемым набором литотипов. В районе месторождения Фандюшкинское поле и его флангов разрез состоит в основном из континентальных и прибрежно-морских образований – гравелитов, песчаников, алевролитов, углистых алевроаргиллитов, алевроаргиллитов и углей.

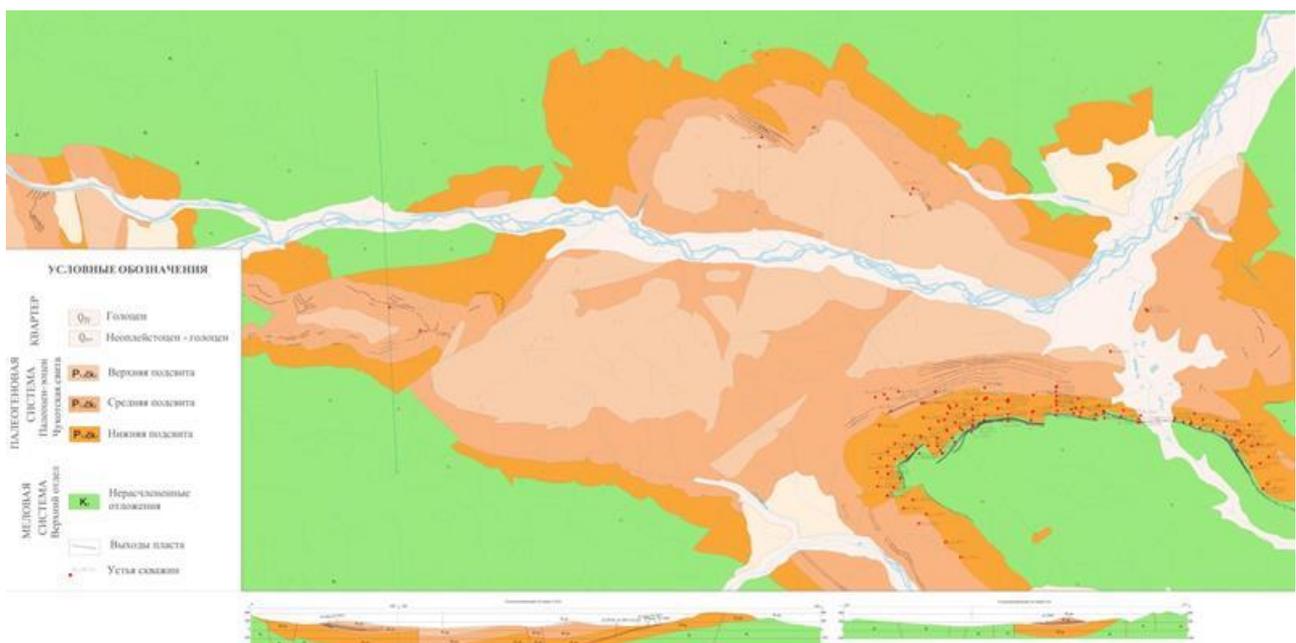


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта Алякватваамского угленосного района (Фандюшкин и др., 2014).

Грубозернистые породы в целом отличаются плохой окатанностью и сортировкой материала, что говорит о близком источнике сноса и достаточно расчлененном рельефе. По расположению в разрезе и по отношению к угольному пласту отложения можно разделить на четыре группы: перекрывающие уголь, угольная пачка, подпочва угольного пласта и подстилающие уголь породы (рис. 2, 3).

**Корякская свита, верхняя подсвита (K<sub>2</sub>kr<sub>3</sub>).** Подстилающие отложения представлены алевроаргиллитами, сформированными в обстановке заливно-лагунного побережья и относятся к фации песчано-алевритовых осадков прибрежных частей заливов (рис. 2, д). Ниже по разрезу алевроаргиллиты сменяются разномзернистыми песчаниками, сформированными в неуравновешенных условиях, вблизи вулканических эффузивных пород, с достаточно большой скоростью – фация песчано-алеврито-глинистых осадков подножий склонов (рис. 2, е, ж) (Алексеев, 2014; Алексеев и др., 2006). Мощность – 80-150 м.

*Подпочва угольного пласта*, представленная аргиллитами и углистыми аргиллитами, относится к фации глинисто-алевритовых слабоуглистых осадков застойных и слабопроточных участков зарастающих озер (рис. 2, г). Средняя мощность – 0,5-1 м.

*Угленосная толща* Аляктаваамского района представлена угольным пластом «Одинокий», мощностью до 30 м (рис. 2, в). Пласт имеет сложное строение, состоит из четырех пачек, имеющих значение самостоятельных угольных пластов. Количество породных прослоев меняется на коротких расстояниях и колеблется от 1-2 до 10-12 (в среднем 5-7). Мощность породных прослоев изменяется в пределах от первых сантиметров до 10-15 метров. Маломощные породные прослои чаще всего представлены алевролитом и углистым аргиллитом, мощные – песчаником. Контакт угольного пласта с вмещающими породами резкий, часто неровный, эрозионный.

*Перекрывающие уголь отложения* представлены маркирующим горизонтом «полосатики»: чередование тонкозернистых песчаников, алевролитов и гравелитов, овеивающее несколько генетически близких фациальных обстановок (рис. 2, б). Ведущей обстановкой является обстановка песчано-гравийных и галечниковых осадков потоков конуса выноса рек – аллювиальных пролювиальных отложений, прерываемых песчаными речными и углинисто-алевритовыми осадками озер. По-видимому, в прошлом здесь располагалась обширная долина, с течением времени перемещающаяся по латерали. Некоторые ее части периодически лишались активного речного питания и привноса осадочного материала, превращаясь в участки слабопроточных озер. Средняя мощность – 25 м.

**Нижнечукотская подсвита (P<sub>1-2</sub>čk<sub>1</sub>).** Разрез «полосатиков» завершается *маркирующим горизонтом гравелитов* – отложений потоков конусов выноса рек (рис. 3, ж). Средняя мощность – до 5 м.

Выше по разрезу представлен характерный горизонт песчаников. Его нижнюю часть можно отнести к речным русловым отложениям, сменяющимся на отложения подводной части дельты (рис. 3, д, е). Мощность – 50-60 м.

*Горизонт алевроаргиллитов*, расположенный над песчаниками. Рассматривая данную часть разреза в комплексе в подстилающими отложениями, можно предположить, что она относится к подгруппе мелководно-бассейновых отложений, фации песчано-алевритовых осадков малоподвижного мелководья. В средней части разреза наблюдается интервал, фиксирующий изменение условий на более динамичные, что выражается укрупнением структуры породы (рис. 3, б, в, г). Мощность – до 150 м.

#### **Среднечукотская и верхнечукотская подсвиты (P<sub>1-2</sub>čk<sub>2</sub> – P<sub>1-2</sub>čk<sub>3</sub>).**

*Горизонт песчаников среднечукотской подсвиты.* Песчаники светло-серые, тонко-мелкозернистые. Предположительно относятся к фации песчаных осадков конусов выноса рек (рис. 3, а). В это время здесь, вероятно, происходит постепенное поднятие рельефа с последующим переходом к новому циклу углеобразования. Мощность горизонта – около 65 м.

Выше по разрезу среднечукотской подсвиты, над горизонтом песчаников расположена *угленосная толща*. Она состоит из 7-8 угольных пластов мощностью от 1 до 4 м, с преобладанием 1-1,5 м. Межпластья представлены алевролитами, аргиллитами и мелкозернистыми песчаниками. Общая мощность угленосной толщи составляет 110-120 м.

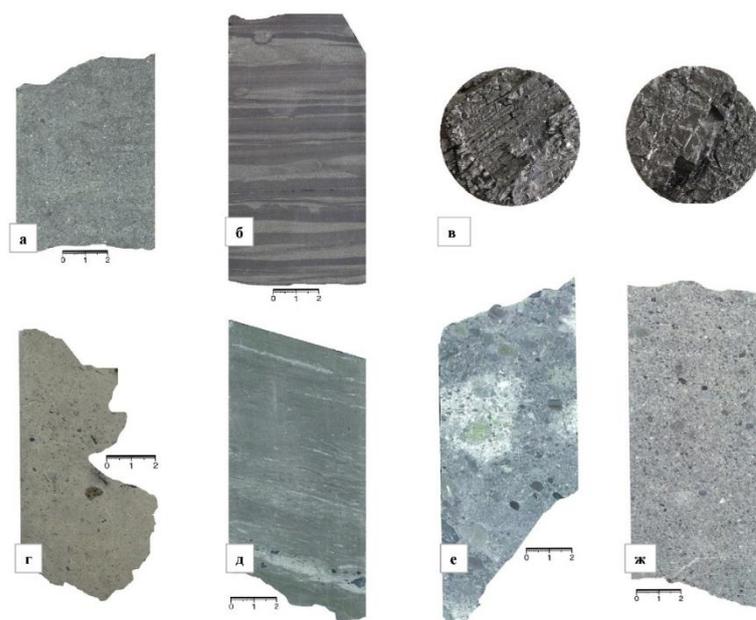


Рисунок 2 – Перекрывающие отложения: а – переходные отложения; б – маркирующий горизонт «полосатики»; в – уголь, пласт «Одинокий»; г – подпочва угольного пласта. Подстилающие уголь отложения: д – алевроаргиллиты, отложения прибрежных частей заливов, е, ж – разнозернистые песчаники, отложения подножий склонов.



Рисунок 3 – Среднечукотская подсвета: а – песчаные отложения конусов выноса рек. Нижнечукотская подсвета. Маркирующий горизонт алевроаргиллитов: б – верхняя часть разреза на контакте со среднечукотской подсветой, следы биотурбаций и обломки аргиллитов; в – основная часть разреза, мелководно-бассейновая подгруппа. Отложения полуизолированного малоподвижного мелководья; г – средняя часть разреза. Горизонт песчаников: д – отложения конусов выноса рек (подводная часть дельты); е – отложения приустьевых частей равнинных рек (русловые отложения речных долин). Маркирующий базальный горизонт гравелитов: ж – отложения потоков конусов выноса.

*Верхнечукотская подсвета* представлена тонко-мелкозернистыми песчаниками, переслаивающимися с алевролитами. В верхней ее части встречаются маломощные угольные

пласты. Общая мощность подсытки составляет порядка 150 м на флангах месторождения «Фандюшкинское поле» и до 350 м – по Беринговскому бассейну.

Общая мощность отложений верхнекоряжской подсытки и чукотской свиты составляет порядка 1500 м.

Влияние рельефа на торфонакопление связано с тектоникой и активностью денудационно-аккумулятивных процессов. Если интенсивная тектоническая деятельность и связанные с ней горообразовательные процессы препятствуют торфонакоплению, то денудационно-аккумулятивные процессы, выравнивая рельеф, наоборот, создают благоприятные для этого условия. Беринговский каменноугольный бассейн приурочен к одноименному прогибу. С позиции плитной тектоники, в условиях субдукции литосферы на месте Беринговского прогиба к концу альба сформировался относительно небольшой бассейн остаточного типа, окруженный горными областями. Значительная часть территории, отвечающая современным поднятиям, вышла из-под уровня моря и на протяжении почти всего позднего мела служила источником сноса обломочного материала (Фандюшкин, 2021). При петрографическом и макроскопическом изучении образцов вмещающих пород обнаружено сходство их минерального состава и достаточно плохая окатанность и сортировка зерен, что предполагает единый, близкорасположенный источник сноса. В составе зерен вмещающих обломочных пород преобладают эффузивы (до 50 %), предположительно занесенные в процессе седиментации из ранее образованных вулканических пород. В шлифах внешний вид кварца и полевых шпатов аналогичен по разрезу, что также может говорить о едином источнике сноса и об отсутствии значительных изменений рельефа. Осадочно-угольные мезо-кайнозойские бассейны Северо-Восточного региона тяготеют к линии морского побережья (в т. ч. древнего) и образованы уже после формирования основных складчатых структур региона. Направления простиранья слоев меловой и палеогеновой толщ близки по азимутам, что свидетельствует об унаследованности кайнозойской структуры (рис. 1).

По данным авторов (Угольная база России..., 2004), анализ структурно-тектонической приуроченности угленосных отложений регионов Чукотки показывает, что накопление торфоугольной массы происходило преимущественно в приразломных прогибах, на участках земной коры 30-35 км, для которых погружение ложа заболоченной впадины не превышало 2 мм в год.

Таким образом, древнее торфонакопление развивалось предположительно в открытой системе, в межгорной впадине, на приморской низменности вблизи речных дельт. Геотектонический режим определялся слабыми нисходящими, периодически затухающими, блоковыми движениями фундамента на протяжении всего времени формирования вмещающей осадочной толщи, что привело к ее невысокой (сотни метров) мощности.

**2. Процесс древнего торфонакопления в позднемеловое время происходил в потамических условиях, сменяясь от низинных торфяных болот проточного типа до застойных болот переходного типа. К концу времени торфонакопления существенное влияние на торфяники оказывало море. Существовали аллохтонно-автохтонные условия привноса и отложения растительного материала при преобладании аллохтонии. В пределах северного гумидного климатического пояса, близкого к субтропическому, накапливались растительные осадки высших растений с преобладанием хвойных.**

Угольный пласт «Одинокий» верхнекоряжской подсытки подразделяется на группу Верхних и Нижних угольных пачек, имеющих самостоятельное значение отдельных угольных пластов. Торфонакопление происходило в различных условиях для каждой из пачек: пачки Нижняя-1 и Нижняя-2 – проточные низинные торфяные болота с преобладанием аллохтонных условий привноса растительного материала, пачка Верхняя-1 – застойные болота переходного типа, пачка Верхняя 2 – слабопроточные болота низинного типа, периодически подпитываемые морскими водами. Установление фаций производилось по совокупности факторов (табл. 1).

*Морфология пластов и зольность (рис. 4, 5).* По степени выдержанности пачки Нижняя-1, Нижняя-2 на площади их распространения соответствуют невыдержанным пластам.

Таблица 1 – Характеристика признаков фаций ископаемых торфяников Алякватваамского угленосного района (верхнекоряжская подсвита). Маркеры изменения условий. Примечание. Средние, минимальные и максимальные содержания элементов-примесей в изученных углях (в пересчете на золу, г/т). МПС\*\*\* – минимальные промышленные содержания в известных типах руд, \*\* – повышенные содержания (в 1,5 и более раз выше кларка в золе каменных углей), \* – промышленные содержания, сопоставимые с МПС в известных типах руд (по данным (Вялов и др., 2019))

Наименование пачки (пласта)		Нижняя 1	Нижняя 2	Верхняя 1	Верхняя 2	
Фация		Сильно обводненные проточные низинные торфяные болота с преобладанием аллохтонных условий привноса растительного материала		Обводненные застойные болота переходного типа	Обводненные слабопроточные болота низинного типа, влияние морских вод	
Трофность болота		Эфтрофные (нижние террасы)		Мезотрофные (верхние террасы)		
Характер привноса растительного материала		Преимущественно аллохтонный растительный материал		Преимущественно автохтонный растительный материал		
Морфология пластов	Мощность, м	10		2-5	1-2	
	Выдержанность и строение	Невыдержанная, с прослоями 10-15 см		Выдержанная, с единичными прослоями около 1 см	Невыдержанная, с единичными прослоями до 5 см	
Зольность, %		22-25		9-11	12-13	
Химический состав золы, %	SiO <sub>2</sub>	54,3	55,57	41,28	45,41	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,87	26,4	23,28	26,52	
	CaO	4,69	6,96	15,46	10,06	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,72	4,35	9,37	8,17	
	MgO	0,32	0,53	1,41	1,07	
	SO <sub>3</sub>	1,22	1,79	4,21	4,46	
Соотношение компонентов золы (SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) / (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CaO+MgO)		8,14		2,46	3,73	
Содержание микроэлементов в пересчете на золу, г/т	Ba	38,5	69	172	175	
	Sr	4	58,5	1068*	424	
	U	8	3,4	0,15	2,8	
	Th	26	11	6,35	4,5	
	Cr	126	125	122,5	80	
	Sc	53*	46**	14,5	13	
	Zn	261**	232	613,25*	311**	
	Co	16	36	179**	60**	
	Hf	53*	13,0	8,85	4,9	
	Ta	5,4**	2,2	0,7	0,5	
	Cs	0,2	0,1	0,15	0,4	
	Rb	2,8	0,8	5,75	2,7	
	Sb	2,5	2	4,15	2,5	
	As	3,5	1,7	4,55	1,1	
	Br	11	14	6,9	6,7	
		∑ (Sm, Ce, Nd, Eu, La)	476*	235	235	212
		∑ (Lu, Yb, Tb)	37*	13	8	17,5

Расщепление и потеря рабочих параметров характерны также по падению. В пластах выделяется множество пропластков углисто-глинистых и углисто-алевритовых пород, имеющих различную мощность (от 1 см и более). Нижние пачки имеют золу 22-25 %. Такое строение является признаком достаточно динамичных условий образования торфяной залежи с существенным объемом привносимого материала. По степени выдержанности пачка Верхняя-1 соответствует выдержанным пластам, а пачка Верхняя-2 – невыдержанным.

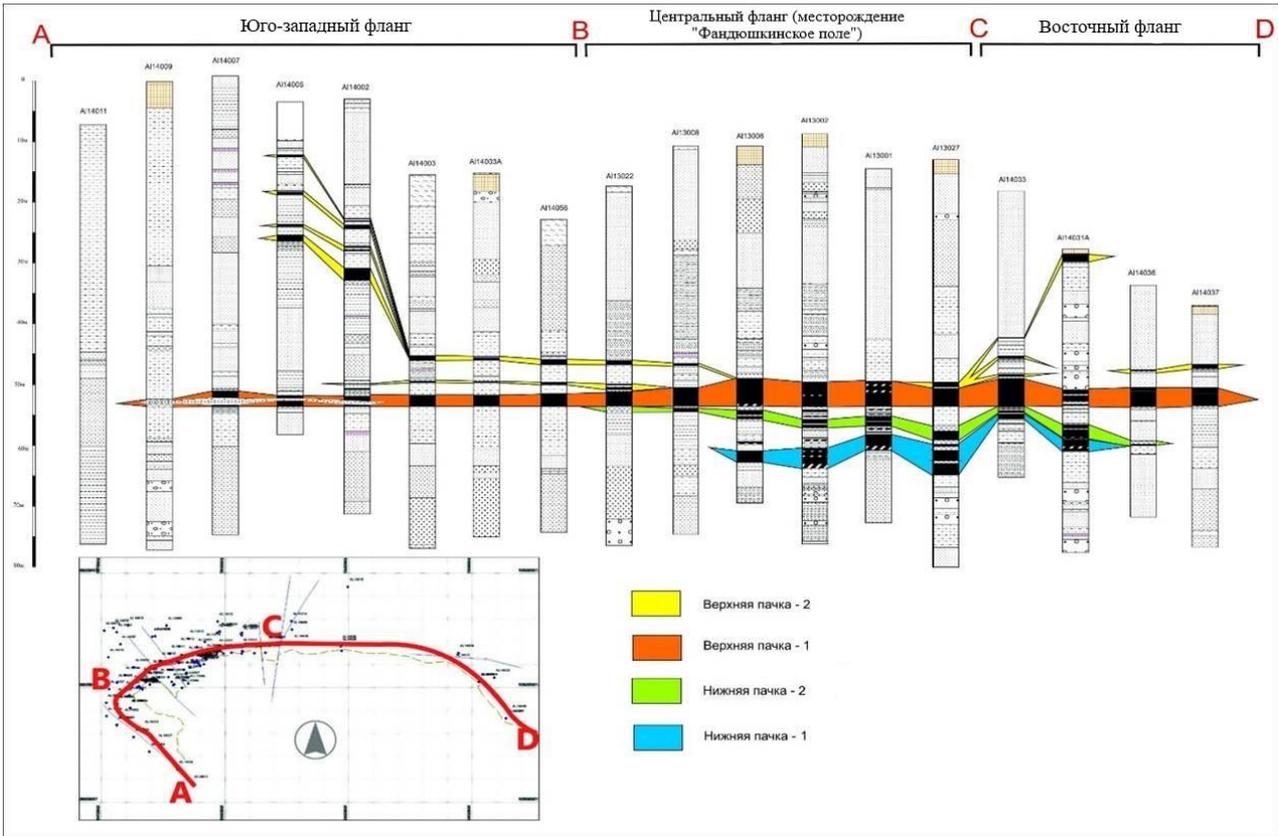


Рисунок 4 – Корреляционный разрез по простиранию пласта «Одинокий» (Фандюшкин и др., 2014; 2015).

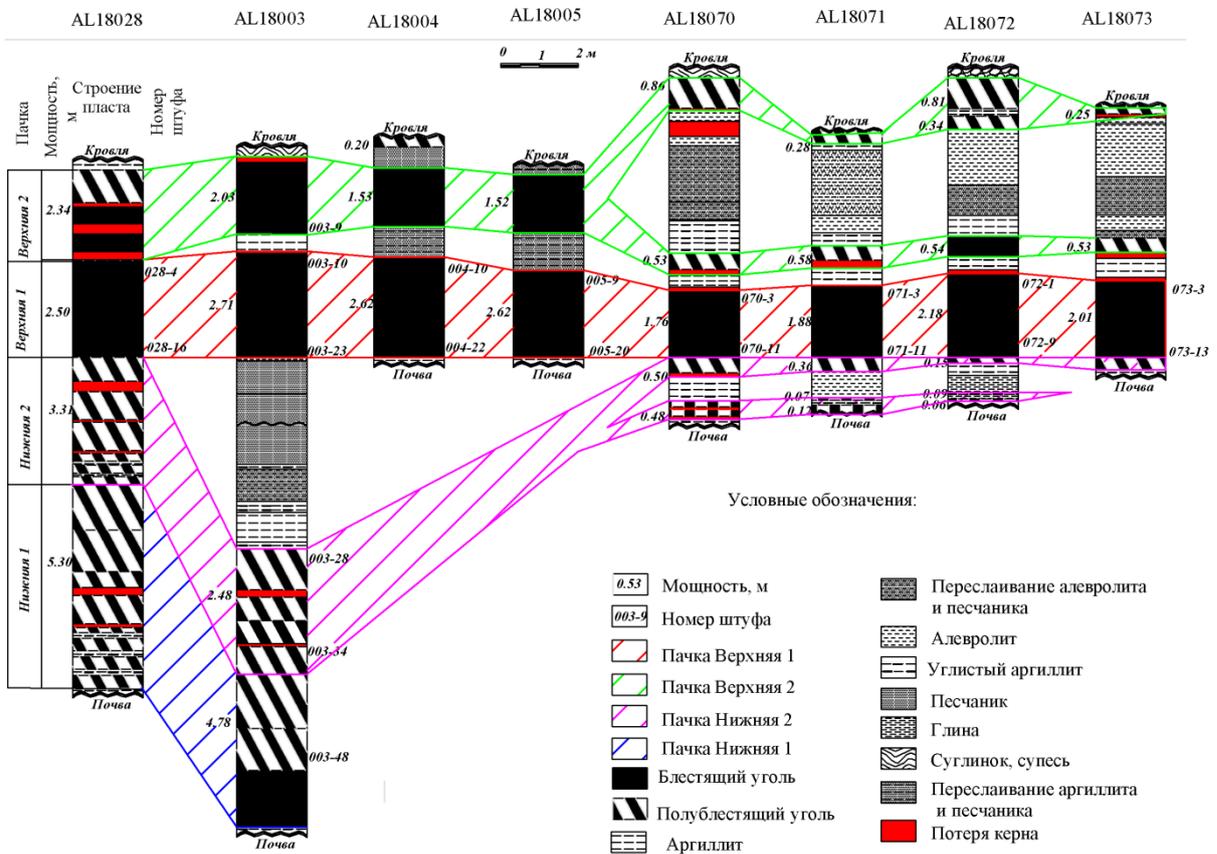


Рисунок 5 – Структурные колонки пластов и схема отбора проб.

Верхняя пачка-1 выдержанна по мощности, строению и качеству угля как по падению, так и по простиранию. Включает в себя единичные маломощные породные прослои. Зольность Верхних пачек составляет 9-12 %. Обстановка торфонакопления по указанным признакам характеризуется как застойные болота.

С точки зрения происхождения углей такая разница в строении и зольности диагностирует изменение условий накопления и режима водно-минерального питания исходных торфяных болот (трофность). По переходу эвтрофных залежей торфа в мезотрофные можно судить о смене условий в болоте и миграционных процессах различных элементов (кальция, магния, алюминия, железа) (Макаренко, 2005). По-видимому, с течением времени преобладающий низовой режим активного водного питания болот и достаточно обильный привнос минеральных компонентов (Нижние пачки) сменились на более скудный переходный тип питания (Верхние пачки), что привело к образованию здесь высококачественных низкозольных углей.

Степень обводненности торфяного болота и неодинаковая степень застойности или проточности определяют химизм среды болота и направленность процесса биохимического превращения исходного материала, а также формирование типа вещества углеобразующих микрокомпонентов: гелифицированного, гелифюнизированного, фюзенизированного (табл. 2). Большая роль принадлежит зольности угля (свыше 15 %), которая сдерживает степень биохимического разложения растительных тканей (Угольная база России, 2004).

Геотектонический режим, с которым связана различная скорость погружения области торфонакопления, регулирует время пребывания торфогенного слоя в условиях благоприятных для разложения. По структуре и текстуре вещества углеобразующих компонентов выделяется пять генетических групп от минимальной до максимальной степени разложения исходного растительного вещества: телинитовая, посттелинитовая, преколлинитовая, коллинитовая, лейптинитовая. Каждая генетическая группа углей соответствует определенной макрофации торфонакопления (Угольная база России. Том VI (Сводный, заключительный). Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России). В изученных шлифах отмечается достаточно хорошая сохранность клеточной структуры мацералов группы витринита и инертинита, особенно для Нижних пачек углей. Микроструктура фрагментарная и аттритово-фрагментарная. Текстура слоистая, а также линзовидно-горизонтальная, горизонтальная, волнисто-горизонтальная (рис. 6).

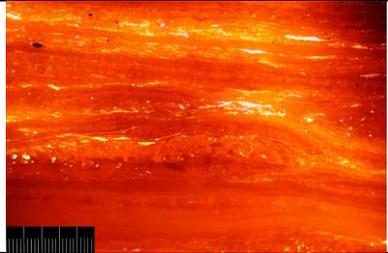
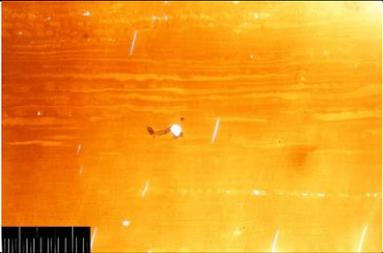
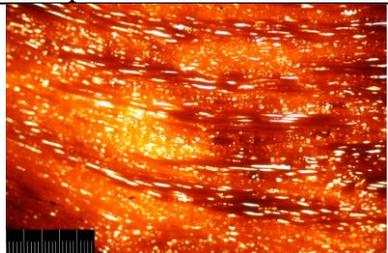
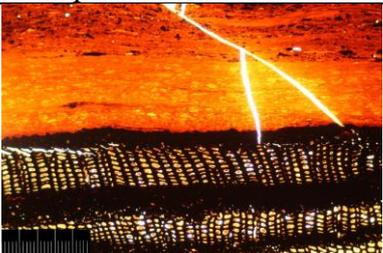
	
003-9. Витринит структурный с включениями споринита, текстура линейная	003-23 Смолоподобное вещество в витрините
Пласт Верхний – 2	Пласт Верхний -1
	
003-28. Древесные кольца (?). Витринит.	003-48. Витринит структурный, фюзенит
Пласт Нижний - 2	Пласт Нижний 1

Рисунок 6 – Петрографическое строение углей верхнекоряжской подсвиты.

Угли Нижних пачек вероятнее всего соответствуют первой-второй генетическим группам. Угли Верхних пачек – второй-третьей генетическим группам. Образование углей второй генетической группы связано с макрофациями относительно подвижных, сильно обводненных торфяных болот, аллювиально-заливно-лагунных обстановок. Угли третьей генетической группы соответствуют макрофации относительно устойчивых торфяных болот, приурочены к озерно-болотным, заливно-лагунным обстановкам (Угольная база России, 2004). Угли нижних пачек образовались из аллохтонного растительного материала, захороненного в проточных условиях и сравнительно динамичной геотектонической обстановке, а угли Верхних пачек – преимущественно из автохтонного растительного материала, накапливавшегося в застойных условиях и спокойной обстановке.

*Растения углеобразователи (рис. 7).* Степень разложения торфа зависит как от биохимической среды области накопления, так и от состава растений-торфообразователей. Высокий процент целлюлозы и активных минеральных элементов в растениях ускоряет процесс разложения, а высокое содержание в торфянике антисептиков и биохимически устойчивых компонентов, содержащихся в хвойных растениях – наоборот, замедляет. Основная часть растений, обнаруженная в угольных отложениях верхней подсвиты коряжской свиты угольного пласта «Одинокий», принадлежала смешанному хвойно-широколиственному лесу с богатым подлеском, в котором доминировали представители кипарисовых (*Metasequoia*) и сосновых (*Pityophyllum*, *Picea*), а среди цветковых – багрянниковые (*Trochodendroides*) и березовые (*Corylites*) с незначительным участием вечнозеленых тропических и субтропических растений. Папоротники играли наименьшую роль в сложении растительности и произрастали в подлеске или в пойме рек (Егоров, 1997; Ронов, 1989; Фандюшкин, 2006). Видовой состав растений из отложений верхней подсвиты коряжской свиты угольного пласта «Одинокий» сопоставим с позднемаастрихтским коряжским флористическим комплексом из верхней части коряжской свиты междуречья Эмима-Ильнайваам. В составе этой флоры было установлено 32 вида растений, которые представлены хвощовыми, папоротниками, гинкговыми, хвойными и цветковыми (Moiseeva, 2012; Головнева, 1994).

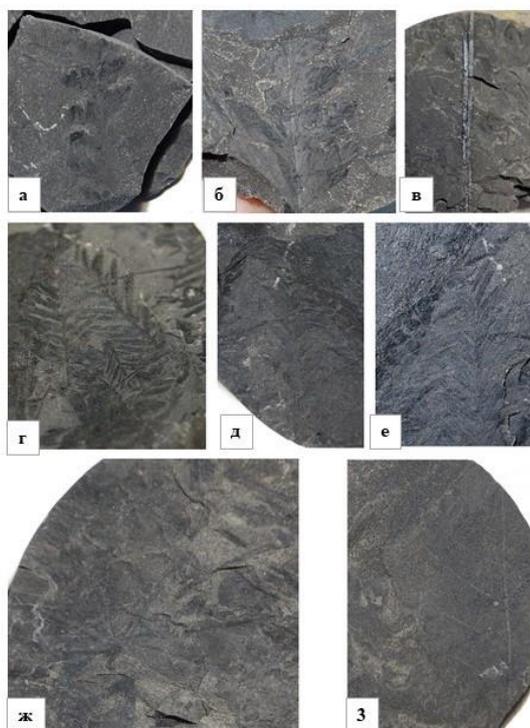


Рисунок 7 – Ископаемые растения пласта «Одинокий»: а, б – стерильные перышки *Coniopteris tschuktschorum* (Krysht.) Samyl., а – х3; б – х4; в – лист *Pityophyllum* sp., х1; г, д – побеги *Metasequoia ex gr. occidentalis* (Newb.) Chaney, х1,5; е – шишка *Picea* sp. и побег *Metasequoia ex gr. occidentalis* (Newb.) Chaney, х1,5; ж – *Trochodendroides* sp., х2; з – *Corylites* sp., х2.

Рассматриваемая территория углеобразования находилась в пределах одного климатического пояса – северного гумидного. Климат позднего мела оставался теплым на всем земном шаре. На предгорных низменностях побережья морей и крупных бассейнов климат отличается повышенной температурой и влажностью, что, вероятно, и было характерно для Беринговского бассейна. В условиях тёплого и влажного климата на побережье морей чаще всего формируются пласты угля небольшой мощности (Егоров, 1997; Ронов, 1989).

*Минеральные примеси.* Состав и количество минеральных примесей в углях – важный аспект для реконструкции среды древних торфяников. Относительную восстановленность углей можно определять по основности – отношению алюмосиликатов ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) и основных компонентов золы ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$ ). По этому показателю устанавливается тип состава золы как кислый ( $> 1$ ), что косвенно характеризует среду торфо-углеобразования при невысокой зольности (табл. 1).

Сернистость углей верхнекоряжской подсвиты Аькватваамского района в среднем по всем пластам не значительная (0,4 %), но отличается по пачкам и возрастает вверх по разрезу от 0,24 % в Нижних пачках до 0,72 % в Верхней пачке-2. Вероятно, такое изменение сернистости связано с изменением фациальных условий (обозначилось влияние морских вод).

Примечательно значительное изменение количественного содержания элементов примесей в Нижних и Верхних пачках, что однозначно маркирует изменение условий торфонакопления. Повышенные содержания цинка и стронция в углях Верхних пачек также объясняются сменой фациальных особенностей углеобразования. Условием фиксации цинка в обстановке торфяных болот является подщелачивание среды, а его связь со стронцием может указывать на влияние морских вод на обстановку угленакопления.

Наличие конкреций сидерита во вмещающих породах и углистых прослоях является дополнительным индикаторным признаком близкого моря, косвенно об этом свидетельствует также форма и размеры угольной залежи пласта «Одинокий» – залегание в виде лунообразной моноклинали, уменьшающаяся мощность отложений по падению и флангам (рис. 1).

**3. Наличие спекающихся палеогеновых углей марки ГЖ и меловых углей марки Ж в угленосной толще мощностью не более 1,5 км обусловлено действием термально-регионального метаморфизма, преобразовавшего ОВ до каменноугольных стадий II и III (градаций мезокатагенеза МК2 – МК3), а также характером исходного растительного вещества, фациальными условиями накопления ОВ и особенностями вещественно-петрографического состава углей (витринита – от 55,5 до 92 %, инертинита – от 4,8 до 28,1 %).**

Образование углей – это сложный естественноисторический процесс преобразования растительных осадков в осадочную органическую породу, который состоит из этапов торфогенеза и углефикации – буроугольной, каменноугольной и антрацитовых стадий (Кухаренко, 1960).

Торфогенез, или процесс превращения растительной массы в органическую массу торфяника, является производным результатом действия различных первичных геолого-генетических факторов углеобразования на стадии седиментации осадков. К таким факторам относятся исходный растительный материал, условия накопления органического и неорганического материала в торфяниках, сочетание значений pH и Eh, солевой состав болотных вод, их обводненность, степень разложения растительной массы и скорость её превращения в органическое вещество. Под их влиянием происходит формирование генетических свойств углей: петрографического состава, степени восстановленности и метаморфизма. По мере погружения осадки подвергаются температуре и давлению. Наступает стадия углефикации или метаморфизм углей (Ерёмин, Арцер, Броневец, 2001; Аммосов, 1953; Жемчужников, Гинзбург, 1960; Бабенко, 1983).

*Петрографический состав.* По определению (ГОСТ 170 70-87), петрографический состав угля – это количественная характеристика угля по содержанию основных групп мацералов, микролитотипов, литотипов и минеральных включений. Рассматриваемые угли представлены одной группой – гумолитами, образовавшимися из остатков высших растений. В группе гумолитов основным классом углей являются гелитолиты, в которых преобладают

гелифицированные компоненты, образовавшиеся в результате остудневания растительных тканей высших растений. Подкласс гелиты (для углей среднечукотской подсвиты) и гелититы (для углей верхнекоряжской подсвиты). Такие угли обычно формируются из торфа, образованного в топяных болотах с постоянным высоким уровнем воды, при недостаточном количестве кислорода и с преобладанием деятельности анаэробных бактерий. Угли среднечукотской подсвиты характеризуются высоким средним содержанием мацералов группы витринита и незначительным содержанием мацералов группы инертинита. В углях верхнекоряжской подсвиты реакционноспособных мацералов значительно меньше – 71,8 %, при этом среднее содержание инертных мацералов возросло до 28,1 (табл. 2).

Таблица 2 – Основные параметры качества углей верхнекоряжской подсвиты (Фандюшкин и др., 2014)

Показатели	Положение в разрезе	
	среднечукотская подсвита (палеоген)	верхнекоряжская подсвита (мел)
$W^a, \%$	1,2	1,0
$W_{max}, \%$	1,8	1,8
$A^d, \%$	12,5	21,1
$V^{daf}, \%$	39,6	30,0
$Q_s^{daf}$ МДж/кг	35,45	34,9
$Q_{ir}$ , МДж/кг	27,16	28,5
$St^d, \%$	2,7	0,39
$P^d, \%$	0,06	0,06
x, мм	37	29
y, мм	25	14
$R_0, \%$	0,76	1,02
Марка угля	ГЖ	Ж
Витринит, $V_t\%$	92,0	55,5
Семивитринит, $S_v\%$	2,0	16,0
Инертинит, $I\%$	4,8	28,1
Липтинит, $L\%$	1,2	0,34
Минеральные примеси, $MI\%$	7,5	5,3
$C^{daf}, \%$	86,5	86,6
$H^{daf}, \%$	5,4	5,2
$N^{daf}, \%$	0,96	0,9
$O^{daf}, \%$	6,8	7,0
$Sorg^{daf}, \%$	0,42	0,42

*Классификационные показатели.* В единой промышленно-генетической классификации углей ГОСТ 25543-2013 генезис углей характеризуется показателями  $R_0$  и  $\Sigma OK$ , которые отражают стадию метаморфизма и петрографический состав. Степень восстановленности каменных углей предложено оценивать показателями  $y$  и  $V_v^{daf}$ . Использование параметров  $Q_s^{daf}$ ,  $V^{daf}$ ,  $R_0$  позволяет разделить угли по энергетическим свойствам теплоты сгорания ( $Q_s^{daf}$ ), зависящей от стадии метаморфизма угля ( $V^{daf}$ ,  $R_0$ ), и выделить по следующим стадиям углефикации: бурые, каменные угли и антрацит.

Согласно ГОСТ 25543-2013, угли верхнекоряжской подсвиты месторождения «Фандюшкинское поле» классифицируются как жирные, технологической группы 1Ж и относятся к 10 классу ( $R_0 = 1,00- 1,03 \%$ ), категории 2 и 3 ( $\Sigma OK = 28,74- 31,66 \%$ ), типам 28, 30, 32 ( $V^{daf} = 28,7-32,2 \%$ ), подтипу 14 ( $y = 14$  мм). По показателю отражения витринита они соответствуют III стадии метаморфизма по ГОСТ Р 59261-2020. Также для оценки метаморфизации углей использовался выход летучих веществ ( $V^{daf}$ ) и содержание органического углерода ( $C^{daf}$ ), которые приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Палеотемпература, стадии углефикации, марки (Иванов, 2015)

Группа	Стадия	Палео-температура, °С	$R_0$ , %	$V^{daf}$ , %	$C^{daf}$ , %	$Q^{daf}_s$ , Мжд/кг	Марка
Торфяная		50	0,2	70		<28,0	
Буроугольная	O <sub>1</sub>	100	<0,37	50	71	28,9-31,4	Б
	O <sub>2</sub>		0,43				
	O <sub>3</sub>		0,54	77			
Каменноугольная	I	150	0,63	40	77	31,4-33,5	Д
	II		0,81	39	82	33,1-33,5	Г
	II-III		0,96	35			
	III	200	1,10	31	85	34,7-36,4	Г-Ж
	IV		1,32	24	89	35,2-36,4	К-КО
	IV-V		1,58	16			
	V		1,84	12	90	35,4-36,8	ТС
	VI	2,24	10	91	30,6-36,6	Т	
Антрацитовая	VII	250	3,12	<10	91	30,6-34,3	ПА
	VIII			<7			
	IX	300	4,5	5	94 и более	33,9-34,9	А
	X		<4,5				

Точность определения марки угля зависит от точности определения классификационных показателей. Проведение анализов без внешнего (межлабораторного) контроля не может гарантировать удовлетворительной точности результатов. Поэтому одним из основных мероприятий по контролю точности измерений является межлабораторный контроль. Для отбраковки ошибочных замеров и различного рода аномалий также можно воспользоваться методами математической статистики (Иванов, 2015).

Проведена оценка достоверности марочного состава углей верхнекоряжской подсвиты и определено количество опорных точек в плотности разведочной сети для выделения марочных и технологических границ с помощью методов математической статистики (Еремин, Броневец, 1995).

Марка углей определяется как ГЖ для палеогеновых углей и Ж – для меловых углей, что соответствует результатам ранее проведенных ГРП (табл. 4) Для уточнения классификационных

показателей на следующем этапе изучения района нужно заложить минимум 62 точки опробования для палеогеновых и минимум 40 точек опробования – для меловых углей, что с погрешностью 8 % обеспечит участок разведки надежными опорными данными для выделения марочных блоков.

Таблица 4 – Результаты межметодного контроля

	Палеоген		Мел	
Количество проб	16		106	
<b>Первый этап межметодного контроля</b>				
	$V^{daf}$	$R_0$	$V^{daf}$	$R_0$
Граничные значения контроля	1,845	0,088	1,557	0,085
Количество отбракованных проб	10 или 62 %	10 или 62 %	34 или 32 %	42 или 40 %
<b>Второй этап межметодного контроля</b>				
Граничные значения контроля	0,65	0,015	1,13	0,03
Количество отбракованных проб	7 или 44 %	10 или 62 %	42 или 40 %	43 или 40 %
Итого по сумме этапов ММ				
<b>Прогноз пределов отклонения маркирующих показателей</b>				
$R_0$	0,71-0,81		0,83-1,10	
$V^{daf}$	37,4-41,2		25,8-34,9	
Марка угля	ГЖ		Ж	

*Восстановленность углей.* В ГОСТ 17070-87 дано следующее определение восстановленности углей: «восстановленность – это различие углей одинаковой стадии метаморфизма и петрографического состава по химическим, физическим и технологическим свойствам, обусловленное особенностями исходной растительности и условиями его превращения на начальных стадиях углеобразования». Выделяются более или менее восстановленные типы углей, которые в пределах одной стадии углефикации обладают различными коксующими свойствами. Более восстановленные угли при прочих равных условиях имеют большую величину пластического слоя и содержат больше водорода и меньше углерода, имеют телинитовую и посттелинитовую структуру-текстуру. Менее восстановленные угли имеют преколлинитовую и коллинитовую структуру-текстуру (Угольная база России, 2004). Применительно к углям Алякватваамского угленосного района можно сказать, что палеогеновые угли являются более восстановленными по отношению к меловым углям, а внутри меловых углей Нижние пачки – более восстановленными по отношению к углям Верхних пачек.

*Направления использования.* Согласно ГОСТ 25543-2013, угли участка «Фандюшкинское поле» пригодны для следующих направлений использования:

- технологическое – слоевое коксование в шихте с углями других марок;
- энергетическое – слоевое и пылевидное сжигание в котловых агрегатах ГРЭС и ТЭЦ, а так же для коммунальных и бытовых нужд;
- производство строительных материалов – извести.

Согласно классификации ASTM, угли соответствуют коксующимся углям класса «битуминозные угли ранга «В» (Фандюшкин, 2014).

*Метаморфизм.* Анализ, проведенный Г. А. Фандюшкиным (2006; 2016) по распределению углей Северо-Востока по бассейнам, возрасту и марочному составу, позволил выявить две региональные закономерности изменения метаморфизма углей данной территории. Первая заключается в том, что чем древнее угли, тем степень их метаморфизма выше. Общий усредненный региональный фон степени метаморфизма верхнеюрских углей – марка Г, нижнемеловых углей – марки Д-Г, верхнемеловых углей – 3Б-Д, палеогеновых – 2Б-3Б и неогеновых – 1Б-2Б. Этим подчеркивается ведущая роль регионального метаморфизма. Повышенная степень углефикации (марки Т-А) в некоторых нижнемеловых бассейнах

связывается исключительно с контактно-термальным метаморфизмом. Вторая региональная закономерность состоит в постепенном повышении степени метаморфизма углей в направлении с северо-запада на юго-восток внутри диапазонов метаморфизма, ограниченных возрастом углей.

Исходя из приведенных закономерностей, степень метаморфизма углей Беринговского бассейна должна соответствовать не выше марки Д. Мощность отложений, перекрывающих верхнемеловые угли бассейна, составляет не более 1500 м, что при отсутствии дополнительных факторов также соответствует маркам не выше Д.

Для достижения той стадии метаморфизма, в которой находятся ископаемые угли верхнекоряжской подсвиты, мощность перекрывающих отложений должна быть не менее 4000 м, что соответствует палеотемпературам от 120 С. В статье (Фандюшкин, 2016) о метаморфизме углей Беринговского бассейна эта проблема решается реконструкцией палеоглубин на основе глубокой нефтепоисковой скважины. По данным реконструкции, максимальная глубина погружения Алькатваамской структуры составляла 3000-3500 м. Автор считает такую рассчитанную мощность маловероятной. Проведенный литолого-фациальный анализ отложений не выявил признаков столь мощных размывов (денудаций), таких как угловые несогласия или мощные пласты базальных пород. Следует отметить, что, по мнению авторов (Угольная база России, 2004), такие геологические факторы, как прогибание, накопление мощных перекрывающих отложений, рост поднятий, являются не первопричиной, обусловившей структурообразование и геоэнергетические факторы метаморфизма углей, а производным от глубинных процессов. Последние протекали в период заложения и формирования бассейнов седиментации. При этом метаморфизм углей, диагенез и метаморфизм вмещающих пород являются частью единого глубинного процесса, который существовал на всем протяжении формирования угленосной структуры.

Признаки контактного метаморфизма (зачастую это «горелый» уголь, преобладание инертных мацералов над реакционноспособными, резкая смена марки угля) в изученных пластах и пробах не обнаружены. Диагностированы петрографические признаки термального преобразования углей:

1) Наличие и значительное развитие в мацеральном составе т. н. псевдоинертинита (участки потемнения витринита (Вялов, 2000)) (рис. 9).

2) Пористость в органическом веществе, наличие карбонатного материала по порам и трещинам, клеточным полостям в инертините (рис. 10, 11).

3) Повышенное содержание инертинита в углях верхнекоряжской подсвиты. В углях верхнекоряжской подсвиты мацералов группы витринита значительно меньше – 71,8 %, при этом среднее содержание мацералов группы инертинита возрастает до 28,1 % (табл. 2).

Беринговский полуостров и прилегающие к нему территории приурочены к юго-восточной окраине Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и северо-восточной части Корякско-Камчатского региона, расположенного на периферии Тихого океана, и характеризуются незавершенностью процесса формирования континентальной коры. Оценки потенциальной температуры мантии под вулканическими полями могут косвенно указывать, существовал ли во время выплавления избыточный источник тепла или, напротив, температура не превышает ту, которая характерна для окружающей мантии. В опубликованной литературе приведены значения температуры по большей части высокие, достигающие 1550-1650 С. Температуры корреспондируют с высоким геотермальным градиентом, типичным для мантийного апвеллинга и плюмового источника (Акинин, 2012; 2011). Строение восточной части Алькатваамской брахисинклинали представляет собой купольно-кольцевую структуру г. Одинокая диаметром около 12 км. По восточному и южному краям купольной структуры прослеживается прогиб, выполненный отложениями чукотской свиты и коряжской свит. В отложениях известны туфолавы базальтов в виде пластовых залежей мощностью 2-5 м, а также слабосекущие пластовые тела и дайки кислого состава. Вполне возможно, что купольное поднятие г. Одинокой существовало и в момент накопления угленосных отложений. Можно предположить, что эта купольно-кольцевая структура сформирована глубинным магматическим очагом (рис. 1).

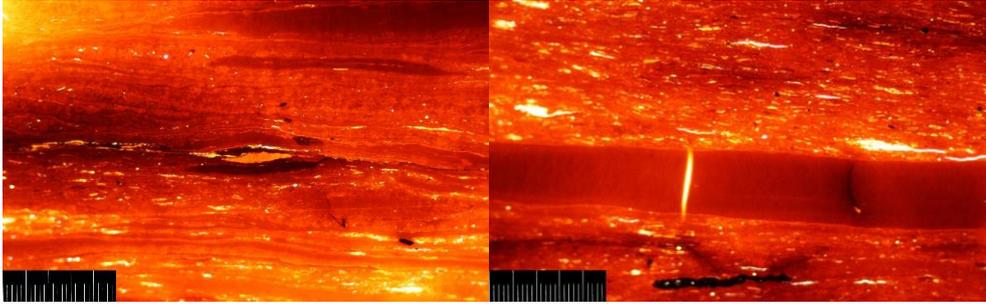


Рисунок 9 – Пример участков потемнения витринита.

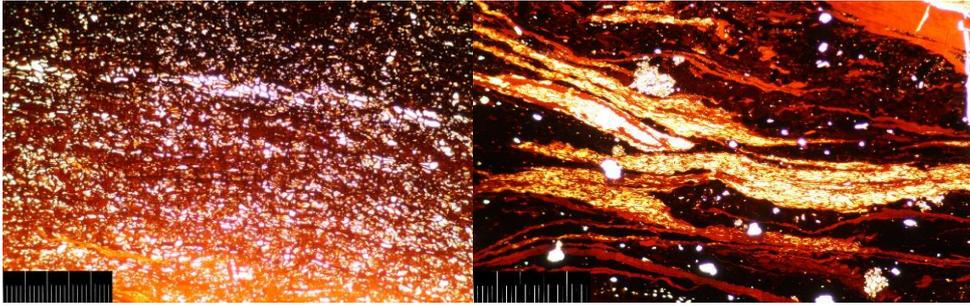


Рисунок 10 – Пористость в органическом веществе углей с карбонатным материалом.

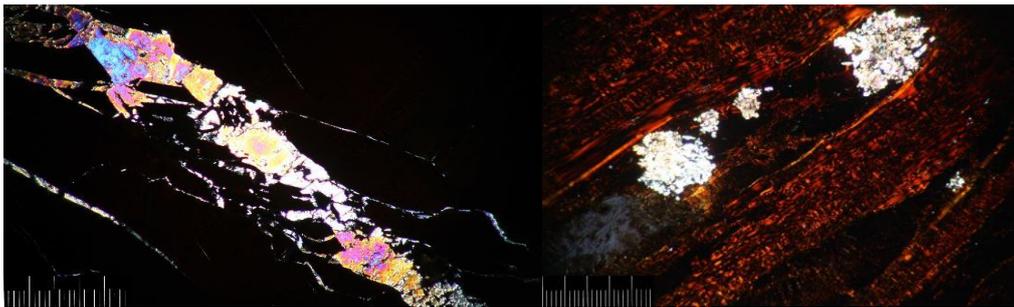


Рисунок 11 – Трещина, залеченная карбонатным материалом, участки потемнения витринита.

С учетом описанных выше особенностей петрографического состава углей, тектонического строения, а также принимая во внимание невысокую мощность угленосных и перекрывающих отложений, можно предположить, что угли верхнекоряжской подсвиты образовались в результате термально-регионального, а не только регионального, метаморфизма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс образования углеводородной толщи Алякатваамского угленосного района происходил на приморской низменности в стадию стабилизации тектонических процессов при медленном неравномерном погружении осадков в недра. Выделены фации делювиально-пролювиальных отложений, аллювиальных отложений, заливно-лагунного побережья и подводной части дельты, мелководно-бассейновые отложения, озерные отложения.

Торфонакопление происходило в различных условиях: пласты пачка Нижняя-1 и Нижняя-2 – сильно обводненные проточные низинные торфяные болота с преобладанием аллохтонных условий привноса растительного материала, пачка Верхняя-1 – обводненные застойные болота переходного типа, пачка Верхняя 2 – слабопроточные болота низинного типа. Существовали аллохтонно-автохтонные условия привноса и отложения растительного материала при преобладании аллохтонии. Накапливались остатки высших растений при преобладании хвойных в пределах северного гумидного климатического пояса в теплых и влажных условиях, близких к субтропическим.

Угли верхнекоряжской подсвиты представлены группой гумолитов, классом гелитолитов, подклассов гелититов. Петрографический состав углей обусловлен составом исходной растительности. Основная часть растений, обнаруженная в угольные отложения верхней подсвиты коряжской свиты угольного пласта «Одинокий», принадлежала смешанному хвойно-широколиственному лесу, в котором доминировали представители кипарисовых (*Metasequoia*) и сосновых (*Pityophyllum*, *Picea*), а среди цветковых – багрянниковые (*Trochodendroides*) и березовые (*Corylites*). Папоротники играли наименьшую роль в сложении растительности и произрастали в подлеске или в пойме рек.

Уникальные технологические свойства углей (высокая спекаемость) в условиях небольшой (до 1,5 км) мощности вмещающей осадочной толщи обусловлены воздействием специфического, термально-регионального метаморфизма недр, вследствие высокого теплового потока от глубинных магматических очагов позднемелового Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Это определило наличие марки углей Ж.

Установлены критерии для прогноза угленосности на неизученных площадях Алякатваамского района: стратиграфический (приуроченность к верхнекоряжской подсвите), литологический (маркирующие горизонты пород «полосатики» и базальный горизонт гравелитов), фациальный (дельтовые обстановки), петрографический (среднее содержание мацералов группы инертинита до 28,1 %) и геохимический (повышенные содержания цинка, стронция, гафния, скандия, суммы редкоземельных элементов, сравнимые с минимальными промышленными содержаниями).

Возможно направление нетрадиционного использования этих углей, связанное с извлечением элементов-примесей. Промышленное значение элементы-примеси могут получить лишь в случае, если степень их концентрации в продуктах обогащения и других процессов переработки, а также технология последующей переработки данных продуктов, обеспечивают извлечение ценных компонентов по технико-экономическим показателям.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК, индексируемых Wos и Scopus*

1. **Скиба Д.А.**, Кузеванова Е.В., Шишов Е.П. Элементы-примеси в углях месторождения Фандюшкинское поле (Беринговский каменноугольный бассейн, Чукотка)/Д.А. Скиба, Е.В. Кузеванова, Е.П. Шишов//Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2021. — Т. 332. — № 1. С. 64–75.

2. Вялов В.И., Гуревич А.Б., Волкова Г.М., **Скиба Д.А.**, Шишов Е.П., Чернышев А.А. Коксующиеся угли Арктической зоны России/ В.И. Вялов, А.Б. Гуревич, Г.М. Волкова, Д.А. Скиба, Е.П. Шишов, А.А. Чернышев// Георесурсы. — 2019. — № 21(3). — С. 111–129.

*Статьи в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК*

3. **Скиба Д.А.** Особенности геологического строения и качество углей Алякватваамского угленосного района Беринговского каменноугольного бассейна (новые данные)/Д.А. Скиба//Региональная геология и металлогения. — 2022. — № 92. — С.41–49.

*Материалы и статьи в сборниках отраслевых и научных конференций*

4. Волкова Г.М., **Скиба Д.А.**, Добрякова Н.Н. Особенности петрографического строения углей Беринговского бассейна (Алякватваамский район, месторождение «Фандюшкинское поле»)/Г.М. Волкова, Д.А. Скиба, Н.Н. Добрякова//Геохимия нефти и газа, нефтематеринских пород, угля и горючих сланцев: Материалы Всероссийской научной конференции. — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. — С. 24–25.

5. **Скиба Д.А.** Диагностика малоам-плитудных тектонических нарушений в залежах каменного угля по данным эксплуатационной разведки (Алякватваамский угленосный район)/Д.А. Скиба//Практика геологов на производстве: сборник трудов II Всероссийской студенческой научно-практической конференции (15 декабря 2017 г.)/Южный федеральный университет; [редкол.: Н. В. Коханистая (отв. ред.) и др.]. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2017. С. 74–76.

6. Плугина А.В., **Скиба Д.А.** Сравнительный анализ отложений скважин AL16003 и AL16014 месторождения «Фандюшкинское поле» Алякватваамского угленосного района/А.В. Плугина, Д.А. Скиба//Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. Том I/Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. — 877 с. — С. 310–312.

7. **Скиба Д.А.** Экологические, социальные и экономические аспекты угольной промышленности Северо-Востока России на примере Беринговского каменноугольного бассейна (Чукотский автономный округ) [Электронный ресурс]/Д.А. Скиба//Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2019»/Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. — М: МАКС Пресс, 2019. — 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. — Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader. — 1600 Мб. — 11000 экз.

8. **Скиба Д.А.** Геохимические особенности углей Чукотки (Беринговский каменноугольный бассейн) [Электронный ресурс]/Д.А. Скиба//Конференция «Ломоносов 2020» Секция «Геохимия». Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020»/Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. — Электрон. текстовые дан. (1500 Мб.). — М.: МАКС Пресс, 2020. — Режим доступа: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2020/index.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020/index.htm), свободный.

9. **Скиба Д.А.** К вопросу о литологии отложений Алякватваамского угленосного района (Чукотка)/Д.А. Скиба//Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам X Междунар. науч.практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т./Отв. ред. Р. Р. Гильмутдинов. — Перм. гос. нац. исслед. ун-т. — Пермь, 2017. — Т. 1. — 351 с.: ил. С. 169–171.